

共同溝トンネル工事の高速施工実績

紀伊 吉隆¹・酒井 学²

^{1,2}鹿島建設株式会社 関西支店 土木部 (〒540-0001 大阪府大阪市中央区城見2-2-22 (マルイトOBPビル))

国土交通省近畿地方整備局より出件された大阪北共同溝寝屋川門真地区工事は、高度技術提案Ⅱ型総合評価落札方式にて出件され受注した。その技術提案の要求事項として様々な項目があったが、その項目の中で「施工日数の短縮(共同溝(シールド工)の工期短縮)」に対し、大幅な短縮を提案した。

本報告は、実施工において「品質確保と高速施工(生産性向上)」をテーマに、様々な創意工夫を実施して履行した実績について報告するものである。

キーワード 技術提案, 工期短縮, 品質確保, 高速施工, 創意工夫

1. 工事概要

(1) 全体事業概要

大阪北共同溝工事は、京都と大阪を結ぶ延長約28.3kmの道路事業の一環として、第二京阪道路副道下に沿線住宅のライフラインであるNTTや関西電力の電線、大阪ガスのガス管を収納する幹線共同溝をシールドトンネルや立坑・分岐シャフト立坑にて築造する工事である。

(2) 工事概要

工事名:大阪北共同溝寝屋川門真地区工事
発注者:国土交通省近畿地方整備局
施工者:鹿島建設株式会社
工事場所:寝屋川市高宮地先～門真市葺島地先
工期:2009(H.21).2.28～2012(H.24).2.28
主要工種:

寝屋川シールド 内径φ3,250mm×L2,658m
泥水式(マシン外径φ3,660mm)

門真シールド 内径φ3,900mm×L3,029m
泥水式(マシン外径φ4,310mm)

発進立坑 1箇所
(ニューマチックケーソン工法)

中間立坑 1箇所(開削立坑)

到達立坑 1箇所(開削立坑)

分岐シャフト立坑 5箇所
(RCセグメント圧入ケーソン工法)

(3) 共同溝線形

平面線形は、第二京阪道路副道に沿ったトンネル線形であり、曲率半径200mを最小とし、300m・600mを組み合わせた線形である。また、第二京阪道路の橋脚杭との離隔を1m以上確保している。

縦断線形は、硬質安定地盤へトンネルを構築することを大前提とし、洪積砂礫層・洪積粘性土層で土被りは15～25mである。また、トンネルの維持管理面から縦断勾配は0.2%を最小としている。

路線上にある河川(讃良川・寝屋川)とは1.5D以上、また埋設管路(地下河川構造物)とは1D以上の離隔を確保した線形である。



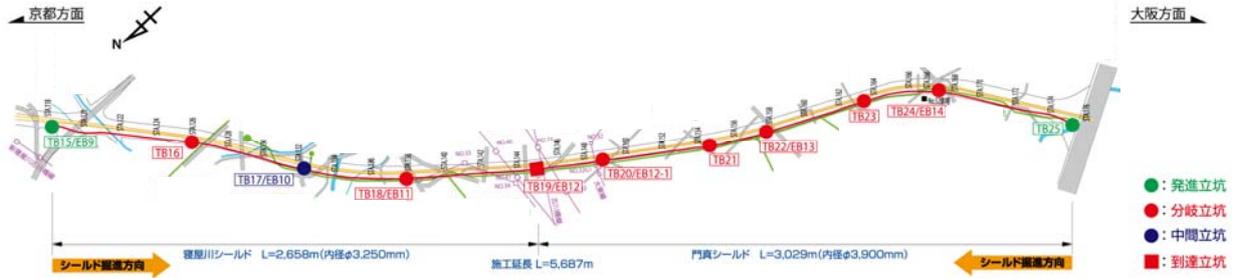
図-1 第二京阪道路と幹線共同溝

(4) 地盤特性

大阪平野東部の河内平野と呼ばれる低地に地形区分され、標高3～5m前後の平坦地である。全線を通じ、上側には沖積砂層・粘性土層(N値=0～2)が分布し、その下側には上部洪積層が厚く広がる。上部洪積層にはMa12と呼ばれる海成粘土層が存在するが、N値は10前後と比較的硬質である。

図-2に、路線平面図と地質縦断図を示す。

路線平面図



地質縦断面図

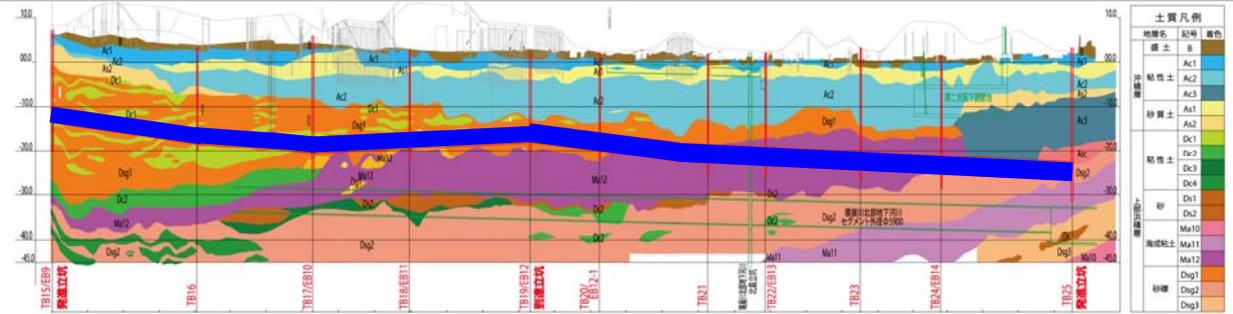


図-2 路線平面図・地質縦断面図

(5) 共同溝標準断面図

図-3 に、共同溝の標準断面図を示す。

トンネル構築完了後、インバートコンクリートや添加金物が設置される。以後、参画企業者により電気・通信・電話線が敷設され、共同溝として供される。

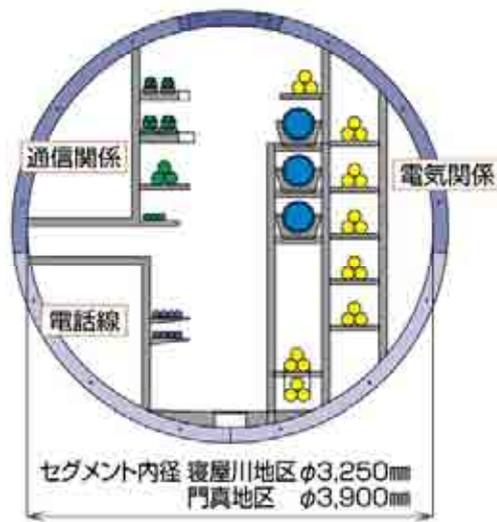


図-3 共同溝標準断面図

(6) セグメント仕様

- 厚み : 145mm
- 分割数 : 5分割
- 幅 : 1,400mm
- 継手 : ワンパス方式



図-4 セグメントピース図

2. 高速施工の実現

(1) 技術提案内容

シールド工（掘削機の製作～一次覆工完了）の工期短縮に対し、12.4ヶ月を提案した。その詳細については、シールドマシン仕様・セグメント組立・作業効率（掘進稼働率）等により、その工期を履行するものとした。

具体的には、一次覆工における日進量・月進量は、今までの実績を遥かに超える 600m/月以上の高速掘進である。

(2) 創意工夫

以下に挙げる実施項目は、技術提案した項目を除き実施した事項である。その内容は、詳細施工計画策定時やシールド掘進初期段階において生じた事象に対し取り組んだものである。

a) RCセグメント防護措置

セグメント組立時間短縮の観点から、分割数を6分割から5分割としたことで、トンネル内での取り回しのクリアランスが少なくなる。そのため、セグメントピースコーナー部接触による割れ欠け防止を目的とし、防護カバーを設置した。

この対策により、品質確保と取り回し時間の短縮も図れ、掘進サイクルの向上に繋がった。

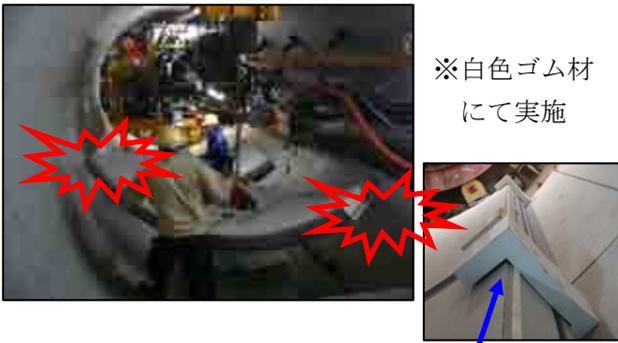


写真-1 RCセグメント搬送状況



写真-2 吊金物取付状況

b) 吊金物の軽量化

高速施工を実現するには、RCセグメントの搬送～組立作業を繰り返すこととなる。一般的に、通常作業の2倍に近い作業量となるが、セグメント分割数低減・セグメント幅の幅広化により、その作業は低減されるものの、1.5倍程度の作業となる。そのため、作業員の労働負荷低減を目的に、セグメント搬送・組立に必要な吊金物の軽量化を行った。

具体的には、強度確保を前提に鋼鉄製のものからアルミ製(ジュラルミン製)にすることにより、7.0kgから2.5kgへの軽量化を実現した。

このことにより、繰り返し作業による疲労軽減・安全性向上・組立時間の短縮に繋がった。

実績について図-6 に示す。

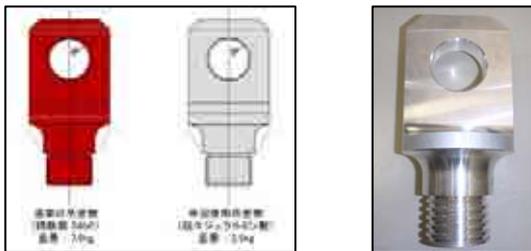


図-5 RCセグメント吊金物図

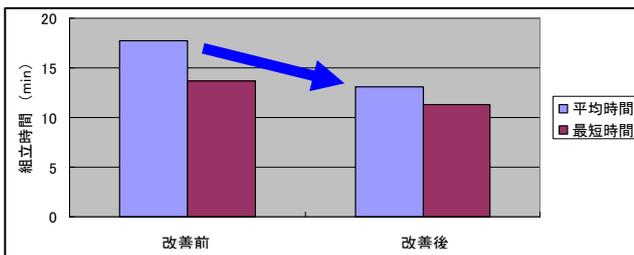


図-6 RCセグメント組立時間推移グラフ

c) 円形移動装置の開発・実用化

門真シールドは寝屋川シールドと比べ、施工延長が約600m長く、立坑深度も30mと深い。この前提条件を受けて、通常は、図-8のようにトラバーサ方式+資材搬送設備2編成にする。しかし、搬送サイクルの効率や安全上の観点から見ると、一考の余地があると考えられる。

このことから、以下のコンセプトにより新型装置の開発を試みた。

- ・各台車を切り離さない (安全・サイクル)
- ・円形立坑内に収まる (物理的構造)
- ・軌道装置に該当しない (法規制)

この3点を満足することで、安全性が向上し、セグメント積込時間短縮の効果が期待出来る。

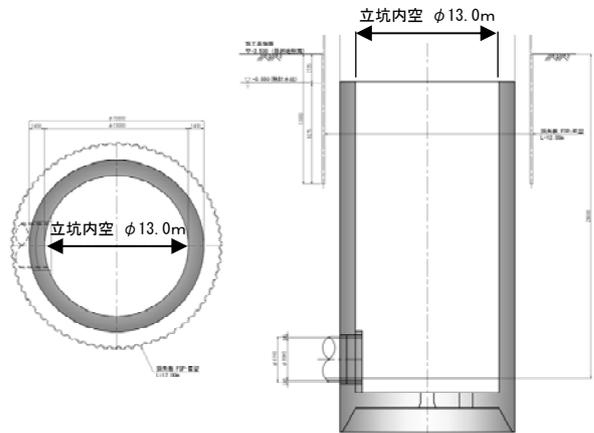


図-7 発進立坑構造図

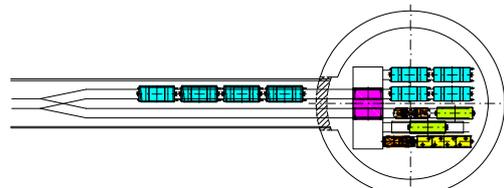


図-8 従来(トラバーサ)方式概略図

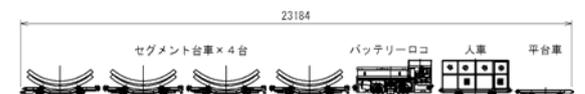


図-9 資材運搬台車編成図

この開発コンセプトを受けて、「円形移動装置」の開発を行い、実際に門真シールドに適用した。

その結果、従来のトラバーサ方式と比べ、安全性が格段に向上したことに加え、積込時間も半減し10分程度で実施することが可能となり、門真シールド掘進完了まで切羽部でのセグメント供給待ちは生じず、長距離高速施工に十分に寄与する装置であることが確認出来た。

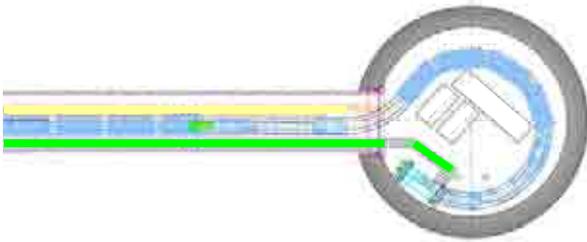


図-10 円形移動装置概略図



写真-3 円形移動装置使用状況

d) 見学者対応

掘進作業において、サイクルに影響を与えるものとして見学者対応が挙げられる。これは、見学者の安全を考慮することから一時作業を中断するためである。

当工事では、最終800名程度の見学者を招いたが、一部（国交省主催による一般公募見学会）を除き、すべて掘進作業を実施しながらの開催であった。

これは、安全性の確保を大前提として、見学者ルートを設定すると共に、見学者にシールド工場の臨場感を体験頂けるように工夫を凝らした結果である。

以下に具体事例を挙げる。

- ・施工サイクル一連のビデオ撮影・上映
- ・見学者ルートの整備（エレベータ等）
- ・シールド坑内展示ブースの設営
- ・工事状況写真パネルの設営
- ・中央管理室等のリアルタイム映像

これらの実施により、掘進作業を中断することな

く、かつ見学者には地下構造物の壮大感やシールド工事現場の臨場感を体感頂いた。



写真-4 現場見学状況

e) その他実施事項

先のa)~d)に挙げた事項以外にも様々な対策を実施している。その内容について、以下に列記する。

これらの実施事項が功を奏し、全体工程にも大きく寄与する結果となった。

- ・マシン排泥管内異物回収蓋設置
- ・振動篩網への高粘性粘土附着防止措置
- ・坑内インバートシート養生
- ・その他



写真-5 異物回収状況および回収蓋設置状況



写真-6 高粘性粘土附着防止措置実施状況



写真-7 インバートシート養生状況

3. 高速施工実績

(1) 寝屋川シールド

当シールドは、第二京阪道路開通間際であったが、作業ヤード確保が出来たことから、門真シールドに先立って掘進を開始した。途中、隣接工区の到達作業により、一時掘進作業の中断があった。また、地中障害物（第二京阪道路により用地を空け渡したプラントタンク基礎杭の残骸）により掘進が一時停滞したが、中間立坑スルー掘進を含め順調に掘進を続け、無事到達した。

(2) 門真シールド

当シールドは、本工事での発進立坑築造完了後、関連工事との工程調整により、発進時期が遅れた。また、寝屋川シールドと同じく地中障害物（第二京阪道路により用地を空け渡した関西電力鉄塔杭の残骸）と、高粘着な海成粘土により掘進が一時停滞したが、寝屋川シールドで実施した工夫を引き継いで掘進を進め、無事到達した。

(3) 実績

高速施工の実現は、先に記した創意工夫により、掘進施工サイクルの短縮が図れた結果である。

掘進施工サイクルとしては、掘進速度・セグメント組立時間の各々の作業短縮、また、全体工程としては、掘進稼働率を上げ、日々コンスタントに高速施工を継続させることが必要である。

これら各項目について、創意工夫の効果が十分に表れた。両シールドの実績を表-1 に示す。

表-1 掘進実績一覧表

	寝屋川シールド	門真シールド
最大掘進速度	68mm/min	65mm/min
最小组立時間	10.1min/リング	11.2min/リング
掘進稼働率	0.974	0.902
最大日進量	32.2m/日	36.4m/日
最大月進量	708.3m/月	804.9m/月

4. まとめ

本シールド工事は、発注者の要求事項である工期短縮に対して、十分な実績を残し竣工した。これは、数々の創意工夫により実現出来たものであるが、これらの実施事項は、計画時や掘進初期段階に様々な検討を行い、改善・改良活動を繰り返した結果である。

これらを掘進実績として数値化してみると、今回の高速施工を改めて実感する。最後に、実際に作業に従事して頂いた作業員に感謝する。

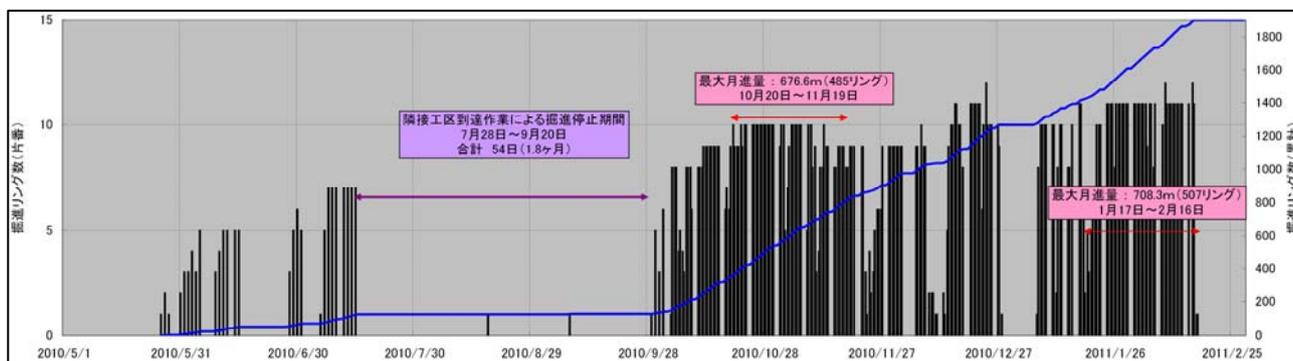


図-11 寝屋川シールド掘進実績

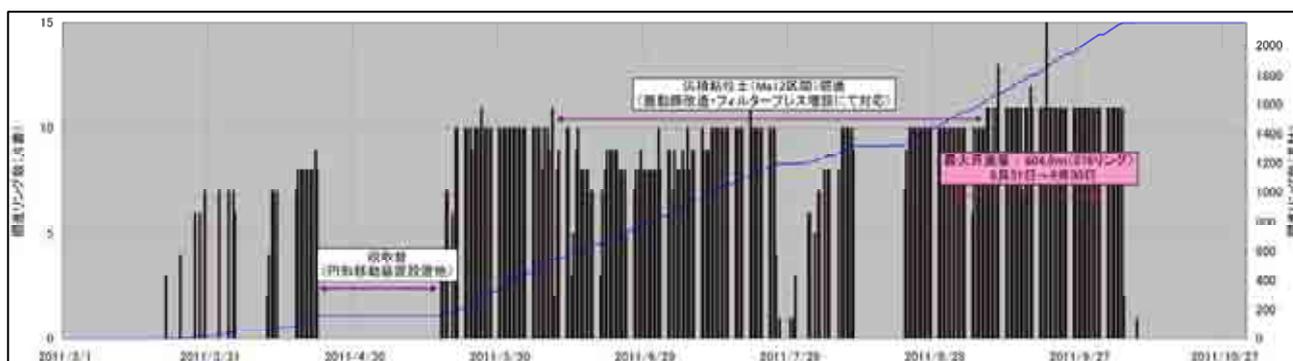


図-12 門真シールド掘進実績

高安定性アスファルト混合物の耐油性評価方法と施工事例について

杉山 亮¹・中森 康裕²

¹東亜道路工業（株）関西支社 技術部技術センター （〒664-0837 兵庫県伊丹市北河原6-2-5）

²西日本高速道路（株）関西支社 福崎高速道路事務所 （〒679-2204 兵庫県神崎郡福崎町西田原2023）.

西日本高速道路（株）では、休憩施設（SA/PA）内の大型車駐車帯の表層に、駐車車両タイヤ部の静荷重沈下や油モレによるカットバック対策として、新設時および供用中の維持修繕において半たわみ性舗装を多く採用してきたが、供用中の維持修繕を半たわみ性舗装で施工する場合、2日間以上の駐車禁止を要するため、お客様にご不便をお掛けしてきた。

今回、休憩施設の維持修繕に当たり、半たわみ性舗装と同程度の耐油性を有し耐流動性に優れた高安定性アスファルト混合物¹を試行的に採用したので、高安定性アスファルト混合物の耐油性評価方法とその施工事例について、本報で報告する。

キーワード 休憩施設補修、大型車駐車帯、高安定性アスファルト混合物、耐油性

1. はじめに

西日本高速道路（株）（以後、NEXCO西日本と称す）では、休憩施設（SAPA）内の大型車駐車帯の表層に耐流動・耐油性を考慮し、半たわみ性舗装を採用しているが、近年半たわみ性舗装においてもカットバックやひび割れによる損傷が表れている。また、この補修を半たわみ性舗装で行う場合、母体アスコンの補修とセメントミルク浸透作業の2工程を必要とするため、2日間以上の駐車禁止を要し、お客様にご不便をお掛けしてきた。

NEXCO西日本では、中国縦貫自動車道の「社PA上下線」・「加西SA上下線」・「安富PA上下線」の大型車駐車帯の補修を行うに当たり、通常の密粒度系アスファルト混合物と同様の施工で施工当日に路面開放ができ、かつ、半たわみ性舗装と同程度の耐油性を有し耐流動性に優れた高安定性（High Stability）アスファルト混合物（以後、HSアスコンと称す）に着目し、試行的に採用したので、施工事例として報告する。

また、HSアスコンの採用に当たって、マーシャル供試体を用いた耐油性評価試験により耐油性を確認するとともに、その結果から暫定目標値を得たので、耐油性評価方法として、併せて報告する。

2. 既設舗装の破損原因

補修対象箇所の破損原因について、採取コアによる調査を行った。路面損傷状況を写真-1に、採取コアを写真-2に、調査結果を表-1に示す。その結果、ポット

ホール補修箇所とわだち掘れ箇所の破損原因の52%が、油が舗装内に浸透したことによるものと確認された。



写真-1 路面損傷状況



写真-2 採取コア

表-1 採取コアによる破損原因調査結果

破損状況		駐車場部			
		健全箇所	補修箇所	クラック箇所	わだち箇所
クラック	5cm 以上			4	
	5cm 未満 10cm			3	
	舗装全層			3	
半たわみ表層部	破損なし		1		
	破損			1	3
	劣化進行	1	2		2
	油浸透		4	1	4
基層部	劣化進行	3	3	3	4
	油浸透		3	1	4
油浸透に起因する破損率(%)		(15/29) × 100 = 52			

油浸透に起因する破損率の母体数は、補修箇所とわだち箇所の合計とした。

3. 補修工法の選定

既設半たわみ性舗装のポットホールとわだち掘れによる破損の主たる原因が油によるカットバックと確認されたことから、耐油性に優れた表層材料として、HSアスコンによる補修を検討した。検討結果を表-2に示す。

その結果、HSアスコンによる補修工法の施工費用が

半たわみ性舗装による施工費用をわずかに上回ったが、お客様へのご不便等を考慮し、HSアスコンによる補修工法を試行的に採用することとした。

表 - 2 補修工法の比較

項目	表層工	
	半たわみ性舗装	高安定性舗装
耐油性 (油浸残留安定度) 暫定目標値: 75%以上	85.3%	81.0%
耐流動性 (5,000回/mm以上)	63,000回/mm (15分沈下量0.01mm)	21,000回/mm (15分沈下量0.03mm)
施工日数 (500㎡あたり)	路面切削～半たわみ母体アスコン: 1日、セメントミルク浸透: 1日 計2日	路面切削～表層: 1日
直接工事費(円/㎡)	3,920	4,150
総合評価		

4. HSアスコン

HSアスコンの表層用混合物としては、粗面SMAと密粒度ギャップがあるが、今回の補修では密粒度ギャップ【NEXCO西日本仕様:表層用混合物タイプG】を採用した。以下にその仕様について述べる。

(1)使用材料

HSアスコンに使用するアスファルトは、ポリマー改質アスファルト型に適合する主材アスファルトに写真-3に示す添加材を80:20でプラントにてウェット混合するもので、その性状を表-3に示す。

(2)混合物の配合と性状

採用したHSアスコン【表層混合物タイプG】の配合と性状を、表-4に示す。なお、HSアスコンの添加材がプラントミックスであることから、試験練り時に練り落とされたO.A.C混合物の左右と真ん中の3箇所を試料を採取し、動的安定度試験を行い分散性に問題がないことを確認した。

(3)出荷温度

施工時期は7月～9月の夏期であるが、合材工場(伊丹アスコン)から「安富PA上り線」までおおよそ100分の運搬時間が想定されることから、4tダンプトラックで試験運搬を行った。その結果、最大で5程度の温度低下となることから、出荷温度を175±5とした。



写真 - 3 HS添加材

表 - 3 HSアスファルトの性状

試験項目	試験値	社内規値
軟化点	75.0	70以上
伸度(15)	cm 55	30以上
針入度(2.5)	1/10mm 35	25以上45未満
タフネス(2.5)	N・m 25.5	20以上
薄層摩耗量変化率	% 0.08	0.6以下
薄層摩耗量変化率	% 83.3	75以上
引火点	325	260以上
密度(15)	g/cm ³ 1.020	報告
推奨混合温度	175±10	
推奨締固め温度	150以上	

表 - 4 表層混合物タイプGの配合と性状

項目	配合種別	タイプG(HSアスコン)		
		骨材配合	混合物配合	摘要
配合率	6号砕石 (%)	61.0	57.8	
	砕砂	7.0	6.6	
	細砂	25.0	23.7	
	石粉	7.0	6.6	
	アスファルト		5.3	
骨材合成粒度	区分	試験値	基準値	表層タイプG
	19.0 (mm)	100.0	100	
	13.2	98.0	95~100	
	9.5	78.4		
	4.75	41.7	35~55	
	2.36	37.6	30~45	
	0.6	24.4	20~40	
	0.3	16.8	15~30	
	0.15	9.5	5~15	
	0.075	6.8	4~10	
混合物の性状値	密度 (g/cm ³)	2.388		
	理論密度 (g/cm ³)	2.485		
	空隙率 (%)	3.9	3~7	表層タイプG
	飽和度 (%)	76.1	65~85	
	安定度 (KN)	15.40	10以上	HSアスコンタイプG
	フロー値 (1/100mm)	31	20~40	表層タイプG
	残留安定度 (%)	91.2	75以上	
	動的安定度 (回/mm)	21,000	5,000以上	特記仕様書
油浸残留安定度 (%)	81.0	75以上	耐油性目標値	
油浸質量変化率 (%)	1.2	2.0以下(暫定)	耐油性目標値	
カンタプロ損失率 (%)	10.5			
油浸カンタプロ損失率 (%)	25.4	30以下(暫定)	耐油性目標値	

5. 耐油性評価試験

平戸らの論文¹⁾によれば、HSアスコンの耐油性はマーシャル供試体を用いた「油浸マーシャル残留強度率」で評価している。今回HSアスコンを採用するに当たり、HSアスコンの化学的評価と動的評価を行うために、化学的評価方法としてマーシャル供試体を用いた「油浸後質量損失率試験」、動的評価方法として油浸後質量損失率試験後のマーシャル供試体を使用した「油浸後カンタプロ損失率試験」を新たに追加した。

また、図-1に示す揮発性の違いを考慮し、大型駐車車帯で駐車車両からのモレが想定される油種である、軽油およびディーゼルエンジンオイルについても、評価試験を行った。試験結果を、図-2から図-4に示す。

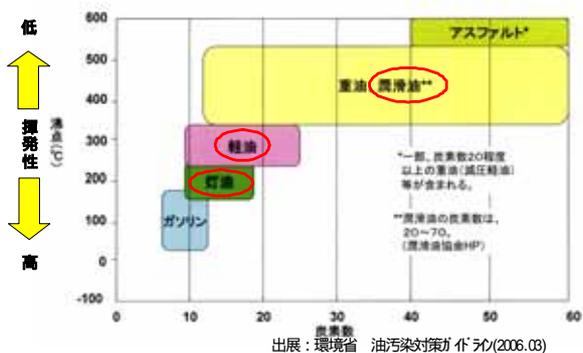


図 - 1 石油系材料の揮発性

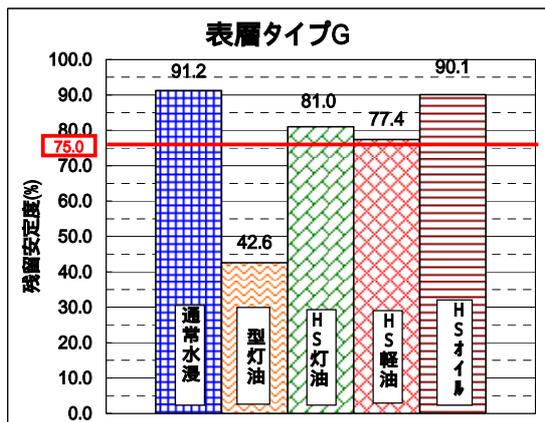


図 - 2 油浸マーシャル残留強度率

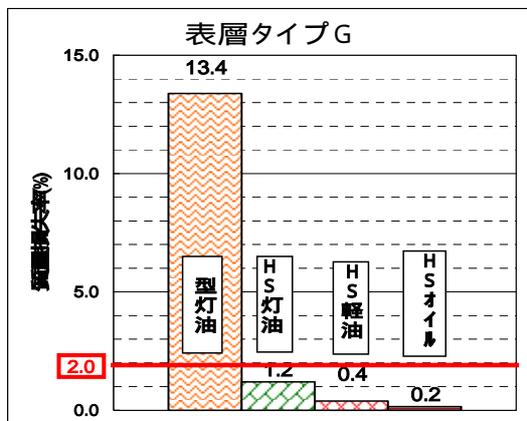


図 - 3 油浸後質量損失率

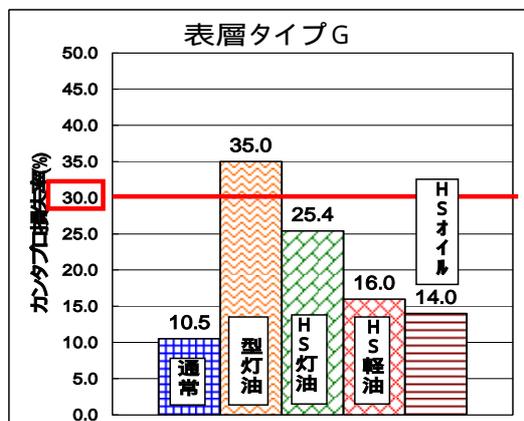


図 - 4 油浸後カンタブロ損失率

(1) 油浸マーシャル残留強度率

石油系油種を比較すると、3種の油種のうち揮発性の低い軽油がマーシャル残留強度率に影響を及ぼすことが確認できた。試験の結果、すべての油種で残留強度率75%以上の値が得られている。

(2) 油浸後質量損失率

石油系油種を比較すると、3種の油種のうち揮発性の高い灯油が油浸後質量損失率に影響を及ぼすことが確認できた。試験の結果、すべての油種で質量損失率2%以下の値が得られている。

(3) 油浸後カンタブロ損失率

石油系油種を比較すると、3種の油種のうち揮発性の高い灯油が油浸後カンタブロ損失率に影響を及ぼすことが確認できた。試験の結果、すべての油種でカンタブロ損失率30%以下の値が得られている。

6. 補修概要

HSアスコンの休憩施設補修概要を、以下に述べる。

(1) 工事も

平成23年度 播磨地区舗装補修工事（休憩施設舗装工）

(2) 工期

2011年7月19日～2011年11月30日（うちHSアスコンの施工は16日）

(3) 舗装構成

表層：表層用混合物タイプG（HSアスコン） $t=50$
 基層：基層用混合物（ポリマー改質型） $t=70$

(4) 補修方法と施工面積

表層のみ補修：A=4,374.8m²
 表・基層補修：A=4,993.8m²

(5) 日別施工箇所

表 - 5 日別施工箇所

日別施工箇所を、表 - 5に示す。

SA・PA	上下線	位置	施工日	施工数量	
				表層 t=5.0cm 高安定性AS	基層 t=7.0cm 改質型
				m ²	m ²
加西SA	上り線	1列目東側	8月31日	572.4	525.5
		1列目西側	8月30日	758.4	
		2列目東側	9月5日	530.4	384.7
		2列目西側	9月6日	749.4	564.8
	下り線	1列目東側	8月24日	643.9	276.7
		1列目西側	8月23日	640.8	230.1
社PA	上り線	東側	9月7日	522.8	522.8
		西側	9月8日	604.6	604.6
		東側	9月15日	614.4	500.4
		西側	9月14日	522.0	441.4
	下り線	2分割	8月1・2日	1,001.3	
		2分割	8月3・4日	924.6	
合 計				9,388.8	4,993.8

7. 現場管理

HSアスコンは、施工に当たり特別な施工方法や施工機械を必要とせず、通常のポリマー改質アスファルト混合物と同様に施工できることから、舗設温度と転圧回数の現場管理を行うことで、品質の確保を図った。

(1) 舗設温度管理

到着温度は、写真 - 4に示す3点管理を1～5台目のダンブトラックで行い、6台目以降は1点管理を行った。また、初期転圧温度および2次転圧温度管理は、写真 - 5と写真 - 6に示す管理を行い、転圧エリアを明示した。

(2) 転圧回数管理

転圧回数は、写真 - 7と写真 - 8に示すように、ロードローラとタイヤローラに転圧回数管理担当者が一目見て分かるように明示し、転圧回数管理を行った。



写真 - 4 到着温度測定



写真 - 5

初期転圧温度測定



写真 - 6

2次転圧温度測定



写真 - 7

ロードローラ回数明示



写真 - 8

タイヤローラ回数明示

8. 施工管理結果

HSアスコンの施工管理として、アスファルト混合物出荷工場における日常管理（粒度・アスファルト量・混合温度・マーシャル安定度）と耐油性（油浸マーシャル残留強度率）、現場舗設温度および密度・締固め度を行った。

(1) 日常管理

表 - 6および表 - 7に、日常管理結果を示す。平均値は現場配合とほぼ同値であり、かつ、最大値と最小値が上下3（標準偏差）内に入っていることから、十分な管理が行われたことが確認された。

(2) 耐油性

表 - 8に、アスファルト混合物出荷工場における耐油性（灯油による油浸マーシャル残留強度率）管理結果を示す。管理結果から、平均値 - 3（標準偏差）の管理下限値で76.6%と75%以上となることから、HSアスコンの耐油性が確認された。

(3) 現場舗設温度

表 - 9に、現場舗設温度管理結果を示す。管理結果は、目標管理範囲を十分満足しており、適切な現場温度管理が行われたことが確認された。

(4) 密度・締固め度

表 - 10に密度および締固め度の管理結果を示す。最小値が規定値（平均値で96%以上）以上となっており、適切な現場管理が行われたことが確認された。

表 - 6 日常管理（粒度・As量・混合温度）

	骨材通過率(%)						As量(%)	混合温度(°C)
	ふる目別							
	4.75mm	2.36mm	600μ	300μ	150μ	75μ		
最大値	41.7	37.7	25.1	18.2	10.0	7.3	5.31	177.8
最小値	40.6	36.8	24.4	17.2	9.6	6.8	5.29	173.6
平均値	41.1	37.1	24.6	17.9	9.8	7.1	5.30	175.6
標準偏差	0.32	0.34	0.18	0.35	0.13	0.16	0.006	1.21
母数	16							
現場配合	41.0	37.5	25.0	17.5	9.5	7.0	5.3	175
許容範囲	±5%以内	±4%以内	±3%以内		±1.5%以内		±0.3%以内	±4%以内

アスファルト量は、シグナスによる抽出が可能なため、印刷値による

表 - 7 日常管理（マーシャル安定度）

	安定度(KN)	空隙率(%)	飽和度(%)	フロー値(1/10mm)
最大値	15.70	4.0	76.5	32
最小値	15.03	3.8	75.6	29
平均値	15.43	3.9	76.1	30.3
標準偏差	0.197	0.07	0.29	0.92
母体数	16			
現場配合	15.37	3.9	76.1	30
基準値	6.0以上	3~7	65~85	20~40

表 - 8 油浸マーシャル残留強度率

	安定度(KN)		残留安定率(%)
	標準マーシャル	油浸マーシャル	
最大値	15.64	12.65	81.5
最小値	14.98	11.98	77.4
平均値	15.40	12.30	79.9
標準偏差	0.233	0.224	1.09
母体数	15		
基準値	6.0以上		75%以上

表 - 9 現場舗設温度

	出荷温度(°C)	到着温度(°C)	敷きならし温度(°C)	初期転圧温度(°C)	二次転圧温度(°C)
最大値	178	175	165	159	115
最小値	172	167	158	148	110
平均値	175.6	171.5	160.6	150.7	111.6
標準偏差	1.37	1.32	1.12	1.53	1.02
母体数	159				
目標温度範囲	175±10	170±10	160±10	150±10	110以上

表 - 10 密度および締固め度

	見掛け密度(g/cm³)	基準密度(g/cm³)	締固め度(%)
最大値	2.388	2.391	100.0
最小値	2.299	2.385	96.3
平均値	2.360	2.388	98.9
標準偏差	0.018	0.002	0.73
母体数	55		
規定値			96以上

9. 路面性状値(すべり抵抗値)

今回の補修では、大型車駐車帯は表層をHSアスコン【表層混合物タイプG】で、通路部を【表層タイプA】で施工した。大型車駐車帯にはすべり抵抗値の暫定運用基準値は適用されないが、参考までに振り子式スキッドレジスタンステストによるすべり抵抗値を計測した。計測結果を、表 - 11に示す。HSアスコン【表層混合物タイプG】は、暫定基準値を満足し、その平均値は【表層タイプA】とほぼ同等の値であった。

表 - 11 すべり抵抗値

	すべり抵抗値(BPN)	
	表層用混合物	
	タイプG(HS)	タイプA
最大値	85	75
最小値	61	68
平均値	72.6	71.4
標準偏差	4.75	2.41
母体数	90	24
暫定基準値	60以上	

休憩施設内ではあるが、暫定運用基準値を適用した。

10. 供用後の路面状況

HSアスコンの供用後の観察による路面状況(2012年5月23日)は、以下のとおりである。

(1) タイヤ部沈下わだち

今回の施工では、夏期工事抑制期間前に5日間の補修(2011年7月27日~8月4日)を実施しており、補修後は9月18日までほぼ真夏日となり、かつ、猛暑日も8日間記録されたが、タイヤ部沈下わだちは確認されていない。

(2) 油モレ

2011年12月22日の路面状況観察の際に軽油がモレた直後の箇所を発見した。2012年5月23日に路面状況の観察を行ったが、油モレによる路面のカットバックは見られず、HSアスコンの耐油性が確認された。(写真 - 9および写真 - 10)



写真 - 9 2011/12/22 油モレ路面



写真 - 10 2012/05/23 路面

11. まとめ

耐油性評価試験結果と補修箇所の供用後路面状況をまとめると、以下のとおりである。

- 油浸マーシャル残留強度率試験の油種は軽油とし、その暫定目標値は75%以上とする。
- 油浸後質量損失率および油浸後カンタブロ損失率試験の油種は、灯油とする。
- 油浸後質量損失率の暫定目標値は2%以下とする。
- 油浸後カンタブロ損失率の暫定目標値は30%以下とする。
- 路面のタイヤ部沈下わだちと油モレの観察結果から、HSアスコンは耐流動性と耐油性に優れることが確認された。

今後HSアスコンの経時に伴う耐流動性と耐油性を更に検証するために、1年後(2012年9月15日頃)をスタートに、6ヶ月毎に路面の状況観察を行う予定である。

参考文献

- 1) 平戸利明,幸坂優一,村山雅人:ハイブリッドバインダによる高安定性アスファルト混合物の開発,道路建設,2011/7,No.727,pp.76~82(2011)

既設アンカー緊張力モニタリングシステム (Aki-Mos) を用いたアンカーの維持管理手法 の紹介

歳藤 修一

ライト工業株式会社 西日本支社 技術営業部 (〒564-0063大阪府吹田市江坂町1-16-8)

道路法面を安定化させる抑止工としてグラウンドアンカー工（以下アンカーという）が用いられているが、導入以来50年余りの年月が経過し、道路資産を有効に活用するために今後の維持管理や長寿命化が重要である。これを受けて産官学連携プロジェクト「アンカー工設置のり面の健全性評価に関する研究会（以下アンカー研究会という）」としてアンカー設置法面の健全性評価について2008年度から2010年度の3年間研究を行っており、その後もアンカー荷重のモニタリングを継続している。本発表では、約3年間のアンカー荷重モニタリングの結果や既設アンカーに設置できる新しい荷重計を使用したアンカーの維持管理手法を紹介する。

キーワード 維持管理, Aki-Mos, モニタリング

1. はじめに

アンカーは1957年に、はじめて日本に導入されて以来、道路法面の抑止工や地すべりの安定化工として様々な用途で使用されており、道路を安全に供用するための重要な構造物である。

しかしながら、「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説;地盤工学会」が出版された1990年（平成2年）以前に施工されたアンカー（以後旧タイプアンカーという）は、防食を重要視していなかったため、アンカー体の腐食・劣化等によりアンカー体が破損し、飛び出す現象などが見られ、交通障害を招くことが指摘されている。

今後も道路資産を有効に活用してゆくためには、旧タイプアンカーを含めたアンカーの維持管理と補修を効果的に行うことが重要である。

がほとんど存在せず、土砂部（風化頁岩）と硬岩部（頁岩、礫岩、凝灰岩）分布していることが分かった。弾性波探査の結果で断層破砕帯の分布も確認されている。

表-1 アンカー諸元

工法名称	ゲビンデスタープ工法
規 格	総ネジPC鋼棒 φ23mm
	自由長 Lf=5.0~9.0m
	定着長 La=3.0m
	アンカー長 L=8.0~12.0m
設計荷重	受圧構造物の規格から 80kN 以下と推定される。
受圧構造物	吹付法砕工 □300-2.0m×2.0m 許容最大設計アンカー力 約 80kN

2. 旧タイプアンカーの現状

(1) 現地の概要

アンカー研究会は2008年からの3年間にわたり、近畿圏のアンカーの実態と研究フィールドにおける旧タイプアンカーの調査を行った。

主な調査対象となったのはA法面で、1988年（昭和63年）頃にアンカーが施工されている。（表-1参照）

アンカー研究会の調査により、調査地の地質は軟岩部

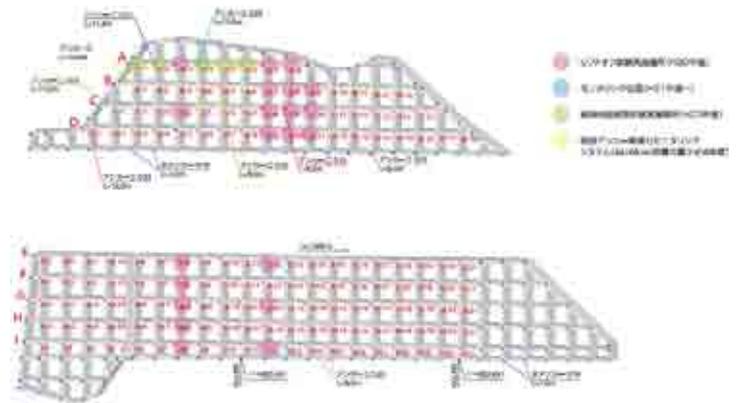


図-2 A法面調査位置図

(2) 現地調査の結果

アンカー工の維持管理は、アンカー頭部や頭部背面の目視点検が中心であり、アンカー機能を確認する場合には、リフトオフ試験が用いられる。

リフトオフ試験は、油圧ジャッキを使用してテンドン接続具を介してアンカーの残存荷重を確認する試験で、荷重-変位量曲線の変化点から残存荷重を得る。

アンカー研究会においてもリフトオフ試験を実施して、アンカーの残存荷重を把握した際に、次のような課題が明らかになった。

a) 残存荷重の減少

リフトオフ試験によって得られた残存荷重は、約25～80kNとバラツキのある結果となった。特に、最下段のI列に大きい荷重が集中していた。吹付法砕工の許容応力が約80kNであることから、施工時に設計アンカー力で定着した荷重が残存しているのか、定着後に荷重が増加したかの判断はできない。またI列以外のリフトオフ試験荷重で25kN程度のアンカー（B-8, H-8）は、全体の平均に比べ荷重が低いことから、荷重が減少した可能性がある。

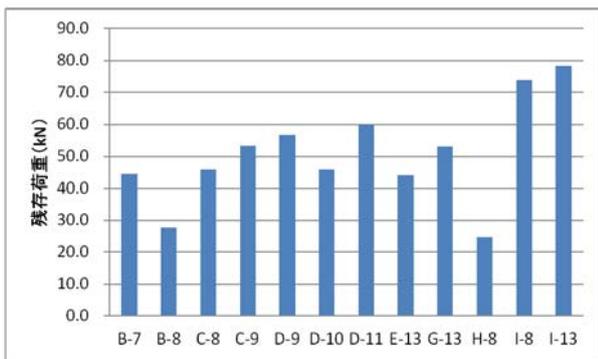


図3 リフトオフ試験結果 (2008年度)

b) その後の対応

アンカーの残存荷重が減少した原因を把握するために、アンカー荷重の継続的なモニタリングを実施して、アンカー荷重の経年変化を調査した。

3. アンカー荷重モニタリング

アンカー研究会でアンカー荷重の継続的なモニタリングを実施した結果について報告する。モニタリング期間は2009年4月から2011年12月までである。

(1) モニタリングの概要

モニタリングを実施したアンカーは法面の上段2本 (C4, C-10) と下段2本 (E-12, I-12) の合計4本である。アンカー荷重のモニタリングに使用した荷重計は以下の理由により油圧ディスク式荷重計を採用した。

- ①軽量であり法面作業が容易であること。

- ②価格が比較的安価であること。

- ③アンカーの種類と問わず設置可能であること。

- ④荷重計の厚みが薄いため余長の短いアンカーでも設置が可能であること。

アンカーに設置した荷重計をデジタル歪み測定器に接続して、3時間毎のアンカー荷重の計測を実施した。

ただし油圧ディスク式荷重計を設置する際に荷重を除荷して、再緊張している。



写真-1 荷重計設置状況

(2) モニタリング結果と考察

アンカー荷重のモニタリング結果を図4に示す。

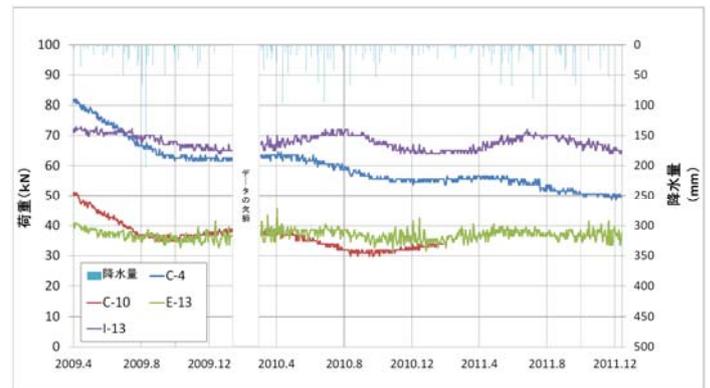


図4 モニタリング結果

a) 考察

2009年4月から2011年12月まで行ったアンカー荷重のモニタリングでは次のような事項が確認されており、その考察をまとめる。

事象①：上段のアンカー（C4, C-10）の荷重がモニタリング直後から荷重低下（C4で約20kN）している。

考察①：のり面上段に分布する崖錐堆積物の地山の強度が低いため、緊張後の表層土のクリープ現象により荷重が減少したことも考えられるが、受圧構造物や地山の変状が確認されていないことからアンカー定着部でのクリープであると推察される。

事象②：下段のアンカー（E-13, I-13）では、気温が高くなる夏期にアンカー荷重が大きくなり、気温が低くなる冬季にアンカー荷重が小さくなる特徴が見られるが、C4では冬季に荷重変動がなく夏期に荷重が低下している。

考察②：夏期にアンカー荷重が大きくなり、冬季にアンカー荷重が小さくなる要因については明らかでないが、アンカー工では一般的に見られる現象である。これに比べC4ではE-13、I-13のアンカー荷重が大きくなる時期に荷重が低下していることから、気温の変化ではなくアンカー体定着部がクリープしているものと推察される。

事象③：上段のアンカーの内、特にC4では計測期間を通じて荷重が減少傾向にあり、残存率が小さくなっている。

表-2 モニタリング荷重の減少率 (2009.4~2011.12)

アンカー孔番	モニタリング開始荷重 (kN)	計測値 kN (kN)	残存率 (%)
C-4	82.5	49.6	60.1
C-10	51.6	33.9 (~2011.1)	65.7
E-13	40.5	37.6	92.8
I-13	71.7	65.1	90.8

考察③：減少率が経過観察により対策の必要性を検討する残存率 (50~80%) にあり、今後の荷重低下に注意する必要がある。

b) その後の対応

約3年間のモニタリングの結果、最大40%の荷重が低下していることが分かった。そこで、今後の維持管理の検討資料とするため、更に継続してモニタリングを行うこととした。

4. Aki-Mosの旧タイプアンカーへの適用事例

(1) Aki-Mosの概要

2011年度にA列の5本のアンカー (A-1, A-2, A-4, A-5, A-6) について、維持性能確認試験を実施した。その結果A-6において、最大試験荷重は一定時間保持できたが、弾性変位量が急激に大きくなる現象が見られた。また塑性変位量も他アンカーに比べ大きいことから、アンカーの機能に不安があることがわかった。

そこで今後のアンカー荷重の変動を調査するために追加モニタリングを実施することになった。

近年「独立行政法人 土木研究所」から特殊な緊張治具と専用のアンカー荷重計を使用することで既設アンカーに設置・取替が可能な荷重計「既設アンカー緊張力モニタリングシステム (Aki-Mos)」 (以下Aki-Mosという) が開発されており、これを採用した。

(2) Aki-Mosの構成

Aki-Mosは既設アンカーに後から取り付けられることが特徴で、荷重計が故障した場合でも容易に取り替える

ことができる。

a) 緊張治具

緊張治具は既設アンカーに荷重計を取り付けるためのもので、アンカー本体を繋ぐ「ジョイントスリーブ」、ジャッキとジョイントスリーブを繋ぐ「テンションスリーブ」、荷重計に荷重を伝達させる「定着ナット」があり、これに緊張器具 (油圧ジャッキ、ラムチェア、テンションロッド、テンションナット) を組み合わせる。

b) 荷重計

Aki-Mosに使用する荷重計はセンターホール型で、荷重計の内径は既設アンカーヘッドが入る大きさとしている。荷重計には、ひずみゲージ式、差動トランス式、油圧式があり、本件ではひずみゲージ式を使用した。

(3) Aki-Mosの適用事例

旧タイプアンカー (ゲビンデスターブ工法 φ23) にAki-Mosを適用するにあたり、これまでの既存のシステム (PC鋼線用) が使用できなかったことから、現場のアンカー状況 (頭部余長) 確認し、専用のジョイントスリーブ、テンションスリーブを製作した。(図-5参照)

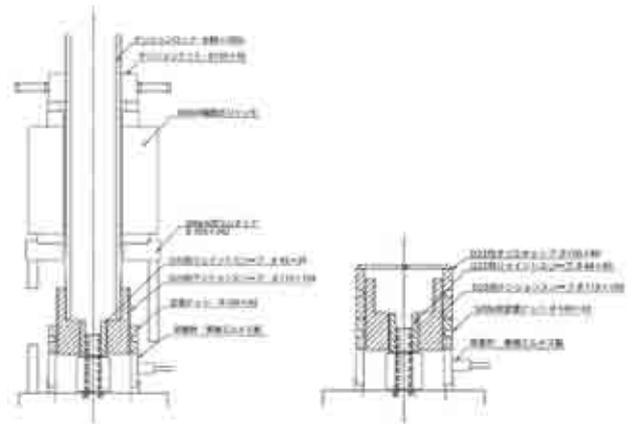


図-5 鋼棒タイプへの適用

以下に、Aki-Mosの取り付け手順を示す。



写真-2 ジョイントスリーブ・荷重計の設置



写真3 テンションスリーブの設置



写真8 オイルキャップの設置



写真4 定着ナットの設置



写真5 テンションロッドの設置



写真6 油圧ジャッキの取り付け



写真7 リフトオフ確認後の定着ナットの締め付け

(3) 検証

既設アンカーヘッドからAki-Mosへの荷重移行は比較的スムーズに行うことができた。旧タイプアンカーには鋼棒タイプのものが多いため、今後の維持管理に有用な技術であると思われる。

5. 今後の取り組み

アンカー荷重を長期間にわたりモニタリングすることで、アンカーの経年変化を把握することができ、アンカーの長寿命化に向けた補修計画を策定することができる。

現在もアンカー荷重のモニタリングを継続しており、新たに設置したAki-Mosの計測結果を含めて、定期的なデータの回収と分析を行って今後の維持管理に役立てたい。

既設アンカーは施工時の初期導入荷重が不明であることが多く、正確な荷重の増減を確認するためにも、施工記録の保存が重要である。最近では電子納品に加えて、アンカー頭部キャップに施工記録を入力したICタグ設置するなど取り組みが始まっており、荷重モニタリングを合わせて実施すれば、アンカーの維持管理に有用であると考えられる。

6. まとめ

旧タイプアンカー荷重のモニタリング事例について報告した。このような取り組みはまだ少ないが、今後モニタリング適用事例を増やした上で、近畿圏の旧タイプアンカーの健全性の調査に活用できると考える。

謝辞：本研究に際して、国土交通省 近畿地方整備局姫路河川国道事務所には多大なご指導をいただき、ここに記して謝辞を申し上げます。

スマートサイトシステムの展開について

鈴木 正憲¹

¹清水建設株式会社 土木技術本部 技術開発部主査 (〒105-8007東京都港区芝浦1-2-3シーバンスS館)

地球温暖化対策のためのCO₂削減の取り組みや東日本大震災以後の電力不足に対する節電対策が検討されている中、建設現場では大型の機械設備や多くの電気設備が使用されており、建設現場におけるCO₂削減、省エネ、節電対策は重要な取り組みの一つとなっている。このような中、情報化施工を環境負荷低減対策の手段として用い、現場の各設備の電力使用状況および省エネをリアルタイムで監視（見える化）するとともに、各種の省エネ・創エネ技術を総合的に一元管理し、定量的な管理を実現する「スマートサイトシステム」を開発し、実用化している。本稿では、スマートサイトシステムの概要と最新の状況、技術を報告する。

キーワード CO₂削減、省エネ、情報化施工、節電、見える化、クラウド化

1. はじめに

東日本大震災以降、原子力発電所の停止に伴い国内の電力不足が懸念され、大口需要家を対象にした電力使用制限令や地域毎の計画停電などが実施された。また、震災以前から地球温暖化対策のためのCO₂削減に対する様々な取り組みも実施されている中、環境にやさしい新エネルギーとして、太陽光発電や風力発電、水力発電、地熱発電などの再生可能エネルギー活用の方向性が示されつつある。このような中、大型の機械設備や多くの電気設備が使用され大量のエネルギーが消費される建設事業において、省エネ・創エネ・節電・CO₂削減は重要な取り組みとなっている。そのため、従来の建設現場では、重機やダンプ等のエコ運転やアイドルリングストップなど

の省エネ活動、電動式機械の導入によるCO₂削減、消灯ルール徹底などの活動が行われている。しかしながら、建設現場では、各設備で大量の電力を消費するものの消費電力量は月毎の総量管理しか行われておらず、前述した省エネ対策における日常の取り組み活動においても定性的な取り組みが多く、定量的に効果を把握することは困難であった。こういった背景から、最新のICTを用いて各設備の電力の節電効果や省エネ活動、創エネ状況を「見える化」して総合的に一元管理し、省エネ、創エネ、節電、CO₂削減の管理を実現する「スマートサイトシステム」が開発された。

本報では、「スマートサイトシステム」（以下、本技術）の概要及び各種省エネ技術を紹介する。

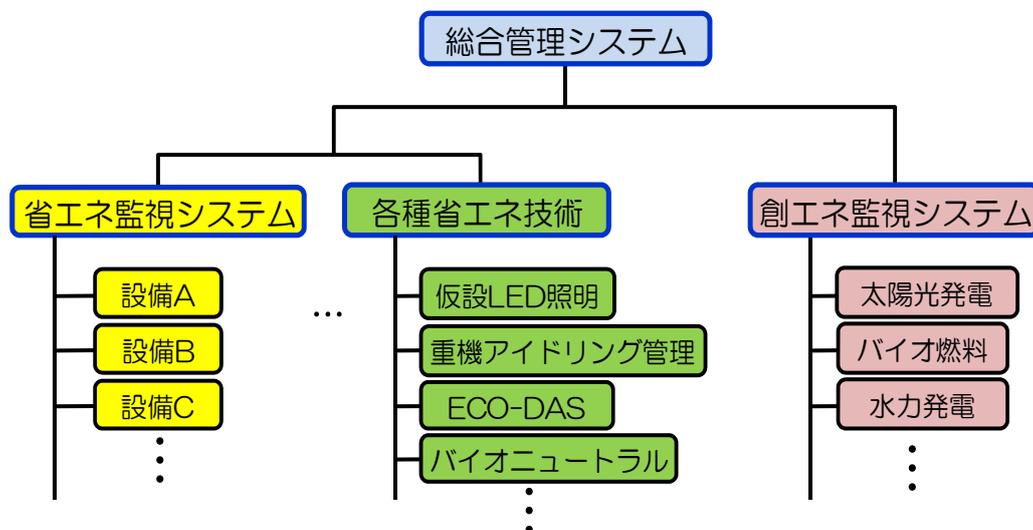


図-1 スマートサイトシステムの構成

2. スマートサイトシステムの概要

本技術は、図-1に示すように複数のシステム、技術により構成され、各現場の状況に応じて任意にそれらを選択して適用される。本技術により、いままで定性的、総量的な管理しか行われてこなかったものを「見える化」をキーワードにそれぞれの要素や効果、使用量を数値化することで定量的な管理を行うことが可能となる。

3. 総合管理システムの最適化

総合管理システムは、本事務所において現場全体の省エネや創エネ、CO₂削減の取り組み状況を一元管理するシステムである。現場から送られてきたデータを組み合わせることで状況をリアルタイムに「見える化」し、定量的、戦略的な省エネ、CO₂削減対策を行う。ここで、当初は現場毎にサーバを立ち上げ常時インターネットに接続しておくことでリアルタイムの管理を可能にしていたが、水平展開が進み現場数が増えることを想定すると、サーバの消費電力、設置による労務、CO₂排出など省エネ、節電を推進するシステムでありながら余分なエネルギーを消費することになる。また、「見える化」した情報を技術者が共有しやすく管理の効率を上げることを考慮し、データセンターを設けてデータを集約するクラウド化を行った。これにより、現場毎のサーバ立ち上げが不要になり導入時の作業を簡素化できた。また、インターネットを使用したサービスとなるため、どのコンピュータからでもアクセス可能となり情報の共有化を進めることが出来る。図-2に総合管理システムをクラウド化したイメージ図、写真-1に総合管理システムの画面例を示す。

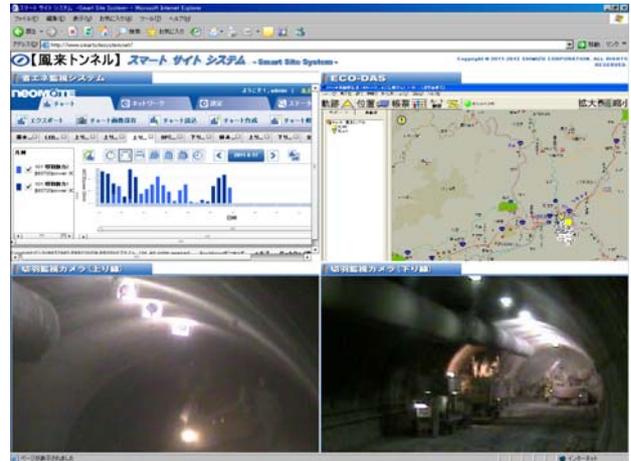


写真-1 総合管理システムの画面例

4. 技術の紹介

各種省エネ技術は、個別にCO₂を削減し、省エネ、節電を実現する様々な技術であり、現場毎に任意に選択される。以下に、省エネ技術の一部を紹介する。

(1) 省エネ監視システム

現場内の電力負荷設備の個別の電力使用状況や環境情報を本事務所に収集し、「見える化」して管理するシステムである。

広範囲に配置された電力負荷設備毎にセンサを設置し、無線もしくは有線によるネットワークを介して分散する情報を収集し本事務所で一元管理する。リアルタイムに使用している電力量を把握することで、設備毎の電力のムダ、ムラの発見や省エネ活動の成果などが定量的に「見える化」できるため、効率的な節電活動及び活動自体のモチベーションの維持が可能となり、計画的、戦略的な節電活動が持続的に行える。図-3に省エネ監視画面の例、図-4に無線センサネットワークの概念図を示す。

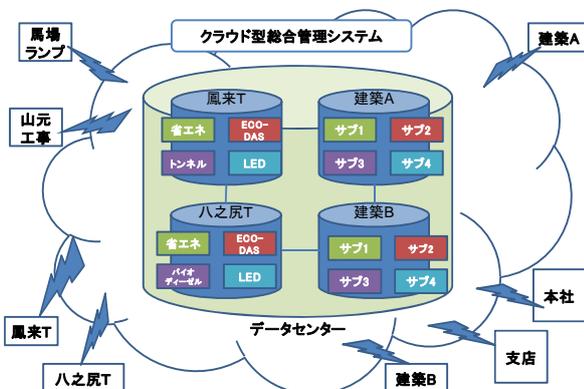


図-2 クラウド型総合管理システムのイメージ

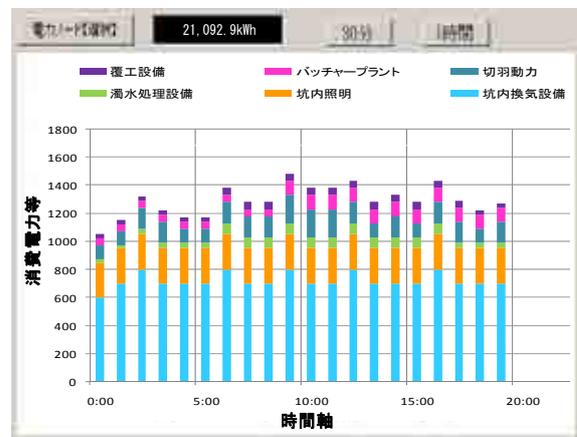


図-3 省エネ監視画面の例

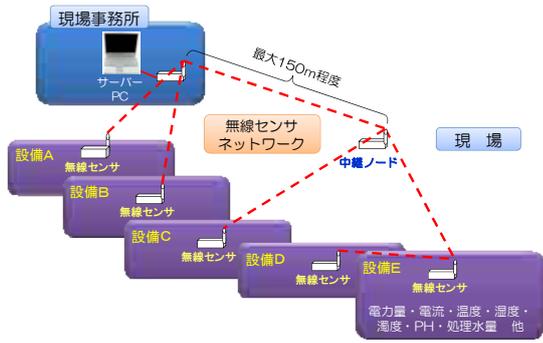


図-4 無線センサネットワークの概念図



写真-2 無線センサ

(2) 各種省エネ技術

a)ECO-DAS

ECO-DAS (Eco-Drive Assist System) は、図-5に示すような車載モニタを工事用車両に搭載して運転状況からエコドライブに対する評価を行い、評価点として表示することができる車両運行管理システムである。車載モニタに内蔵したGPS、加速度センサより、急加速、急減速、車両速度、アイドリング時間を検知し、標準的な運転状況と比較した評価により、エコドライブ評価点を算定、表示するとともに、車両の位置、作業状況も管理できる。また、CO₂排出増減量も想定して数値化している。これらにより、運転状況や作業状況、車両の位置が見える化したことで定量的な指示のもとに省エネ運転（エコドライブ）を教育、指導することが可能となり、省エネ運転の展開を効率的に行える。図-6に省エネ運転の展開をした導入効果の一例を示す。なお、車載モニタは、シガーソケットからの電源供給だけで利用可能であるため、不特定多数の車両への載せ替えも容易に行える。



図-5 ECO-DAS車載モニタ

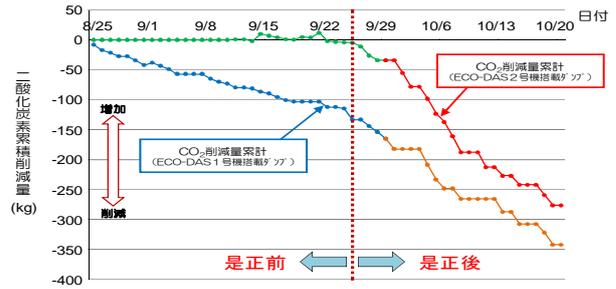


図-6 ECO-DAS搭載ダンプのCO2排出量改善度合いに事例

b) 坑内照明のLED化

山岳トンネルにおける坑内照明は、これまで水銀灯が用いられることが多かったが、LEDを使用することで、消費電力を約1/8に低減することが出来る。通常、一般に普及しているLED照明は指向性が強く光が広がらないため、坑内において安全上必要な照度が確保できないことや照明の色が坑内の作業に適さないなどの懸念される点があった。そこで、個々のLEDのレンズや色温度を工夫し従来の水銀灯と同等程度の照度と色温度を確保し、現場への適用の際にも電球を交換するだけで使用が可能なように製作することで坑内照明のLED化を実現した。写真-3に坑内LED照明の使用状況を示す。

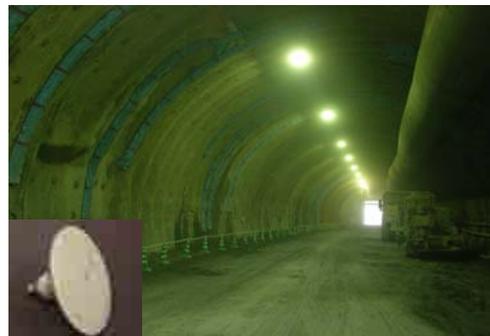


写真-3 坑内LED照明の使用状況

c) バイオニュートラル

セメント含有汚泥に発酵促進剤（写真-4：ニュートラルコンポ）を添加・攪拌することにより、嫌気発酵の効果で含有する六価クロムを低減すると同時にpHを低下させて無害化する技術である。従来は、セメント含有汚泥は産業廃棄物処分であったが、現場内で盛土等に再利用することで産業廃棄物処分場までの搬出車両が不要となりCO₂排出量を大幅に削減できる。図-7に六価クロムの低減効果を示す。



写真-4 ニュートラルコンポ



図-8 重機アイドリング管理画面の例

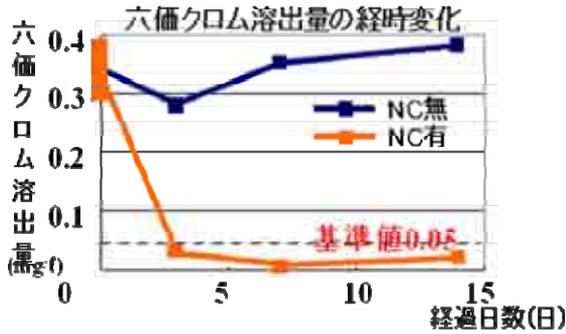


図-7 六価クロムの低減効果

(3) 創エネ監視システム

a) バイオディーゼルの現場精製

持続可能な資源循環型社会の構築及び地球温暖化の防止、地域における地産地消の取組の促進の観点からNPO法人と協力して、近隣で使用した食用廃油を回収してバイオディーゼルの精製し活用している。カーボンニュートラルの考え方から、バイオディーゼルの通常の化石燃料の代替えとして活用すれば、その分、CO₂排出量を削減することが出来る。写真-6に現場で精製したバイオディーゼル、図-9にバイオディーゼルの管理画面の例を示す。

d) 重機アイドリング管理システム

本システムは、重機の作業状態を管理し、不要なアイドリングの防止に寄与するシステムである。重機に搭載するアイドリング検知センサ (写真-5) には、GPS、加速度計が内蔵され、それらから得られるデータを分析することで重機の作業状態を認知し、不要なアイドリングを行っている場合にはオペレータに注意喚起を行うことができる。また、その作業状態を事務所で管理し、アイドリングストップ活動を定量的に行うことが出来る。図-8に重機アイドリング管理画面の例を示す。



写真-6 バイオディーゼル



写真-5 アイドリング検知センサ



図-9 バイオディーゼル管理画面の例

6. 今後の展開

本技術は、施工中のCO₂削減の定量的な管理手法としてダム工事に初適用し、その後トンネル工事、造成工事等への展開を行っている。今後も他工種への適用を検討する中で不足する新しい技術にもチャレンジしていき、幅広い工種への適用を実現させ、建設現場でのCO₂削減・省エネ・節電を行う為のツールとして積極的に活用していく。

7. おわりに

本技術の導入によりリアルタイムでの電力消費量や現場内で行われている省エネ対策、CO₂削減対策の効果を把握できるようになり施工現場でのムダ、ムラの「見える化」が実現した。また、具体的な改善効果が見えることで作業員への意識付けが明確になり、環境負荷低減に対する作業所全体のモチベーションアップにつながってきている。

今後はこれらの技術を広く展開・活用していき低炭素社会の実現に貢献していきたい。

高架橋の剥落防止対策における タフガードQ-R工法の概要について

日野 友尋

近畿地方整備局 大阪国道事務所 南大阪維持出張所 (〒595-0031 大阪府泉大津市我孫子99-6)

近年、社会情勢や自然環境の変化によって、50年、100年持つと言われてきたコンクリート構造物が急速に劣化してくる事象が多発している。

原因は種々考えられるが、コンクリートの劣化は鉄筋構造物の鉄筋腐食やコンクリート片の剥落事故を招くため、最近では大きな社会問題となっている。

防止対策工法として従来のモルタルによる復旧工の他に繊維シート工法等の補修工法が考えられるが、管内の幾つかの橋梁で採用した「タフガードQ-R工法」は従来の工法に比べ様々な利点を確認されたため、従来工法と比較して本工法を紹介するものである。

キーワード 新技術、剥落防止、コンクリート補修

1. はじめに

国道 26 号線は大阪の中心部から和歌山市までに至る幹線道路である。国道 26 号線に架設されている橋梁については、各橋梁とも供用開始から長い年月が経過しており、各構造部の維持補修については様々な方法により適切に行われているところである。

一方で、我々は、良質で低コストな社会資本整備を目指し、有用な新技術のより一層の活用促進を図っており、そのような状況において、剥落防止工法タフガード Q-R 工法は近年摘要件数を伸ばしてきている。

大阪国道事務所南大阪維持出張所管内においても、平成 23 年度にタフガード Q-R 工法を施工する工事が 3 件発注されており、今回の施工を通じて、本工法の優位性や現場施工における留意すべき点について以下に述べる。



写真-1 タフガードQ-R工法施工後（堺高架橋）

2. 対象工事箇所

比較検討を行った対象現場として、平成 23 年度に剥落防止工法としてタフガード Q-R 工法を施工した国道 26 号の 3 つの高架橋を選定した。



図-1 タフガードQ-R工法施工箇所

表-1 高架橋諸元

	架設	橋梁構造	タフガードQ-R工法施工範囲
堺高架橋	1980年	P C 橋	6,762m ²
貝塚高架橋	1979年	R C 橋	1,190m ²
鳥取中高架橋	1973年	P C 橋	110m ²

対象となる3高架橋は、1970年から1980年にかけて架橋され、供用から30年以上が経過しており、コンクリートの適切な維持補修がライフサイクルコストを考える上で重要となってきている。

3. 剥落防止工法の必要性

今回の対象橋梁の他にも多数の橋梁で剥落防止工法が施工されている。構造物にこのような剥落防止工法を施工する必要性は次に挙げる2点が道路の維持管理上重要となっている。

(1) 剥離しない対策

前章でも述べている通り、我々の管理している道路には供用から数十年経過しているコンクリート構造物が多数あり、コンクリート等の劣化により破片が剥離する事象が起り得る。

しかし、コンクリート構造物からの剥離は構造物の強度低下を招くだけではなく、構造物が鉄筋コンクリートの場合、剥離箇所から雨の浸食等により中の鉄筋に錆びが生じる危険性もある。

そのため、特に供用から数十年経過するコンクリート構造物に対して、破片を剥離しない対策は必要不可欠である。

(2) 落下しない対策

構造物が剥離しない対策は必要であるが、もし剥離した場合、破片が落下しない処置が非常に重要となってくる。

なぜなら、剥離した破片が落下するまでに、巡回等で剥離を発見することができ、有効な対策を検討、施工することが可能となるからである。

道路管理において、コンクリート構造物に対し、「剥落させない（剥離しない、剥離した場合は落下させない）」ことが非常に重要であり、剥落防止工法はその2点を同時に満たしている工法である。

4. 工法選定理由

3工事において剥落防止としてタフガードQ-R工法を選定した大きな要因は施工性と経済性である。

今回の工事においては、表-2に示す比較検討¹⁾を行っており、良質で低コストな社会資本整備を目指している中では施工性、経済性に優位なポリウレタン樹脂系剥落防止工法を選出した。

表-2 剥落防止工法比較¹⁾

	ガラスクロス接着工法	連続繊維シート接着工法	タフガードQ-R工法
構造	使用材料が多い 高強度の反面、変位量が小さい	使用材料が多い	ウレタン樹脂が剥落によく追従し、耐候性・耐久性に優れる
施工性	ガラスクロス樹脂を積層するため施工性は劣る	3軸ビニロンシートを樹脂で積層するため施工性は劣る	施工工程が5工程のため施工性に優れている
経済性	安価であるがタフガードQ-R工法に比べ高い	材料が多く高価	一番安価

5. 検証と考察

発注前に議論を重ねて工法選定を行っているが、施工環境や現場条件等により想定外の結果となる場合がある。今回の工事結果を比較することで、この工法が有効かどうかの検証を行った。

(1) 経済性

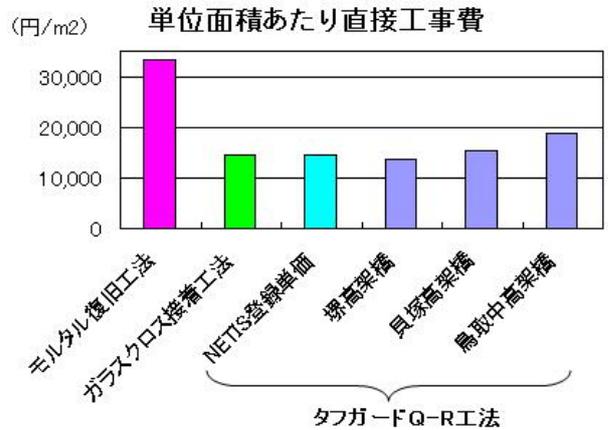


図-2 剥落防止工法比較

従来のモルタル復旧工法に比べても5割程度のコスト縮減ができています。

ここでNETIS登録単価と3高架橋の直接工事費の差は施工環境の差である。貝塚高架橋については、建築限界の関係で足場を架設することができず、結果ローリングタワー等の移動足場による施工となった。このため一日当たりの施工量が減少したため、結果として施工費がおおきくなった。

また、鳥取中高架橋では施工量が少ないため施工面積あたりの労務費単価が上昇している。

一方で、堺高架橋は、他の2高架橋に比べて想定通り

の施工が行えた結果 NETIS 登録単価よりさらにコスト縮減を行うことができた。

(2) 剥落防止性

表-3 剥落防止性比較

工法種類	付着強度 (N/mm ²)	変位 (mm)
モルタル復旧工法	1.50	10.0
ガラスクロス接着工法	1.50以上	ほぼ0
タフガードQ-R工法	2.80	50.0

剥落防止性を比較するには、付着強度と変位が重要な要素となる。

付着強度は耐荷性に関係し、高いほど剥離を生じなくなる。また、変位は剥落した場合に塗膜がどの程度まで伸びるかを表しており、剥落はするが塗膜が伸びて支えるため剥離片が落下しなくなる。

従来技術では無機材料を使うため劣化に対し弱く、クラックが入ると直ぐに剥離、破片落下となり第三者被害の危険性がある。

近年主流のガラスクロス接着工法では、付着強度が高く剥離自体の発生は減少すると推測されるが、変位がほとんど観察されずに突然クラックが入るため、剥離の発見から対策までの時間が少なく、道路管理上使いやすさとは言えない。

タフガード Q-R 工法は、付着強度が従来工法に比べて 2 倍近くあり、剥離自体の発生が減少し、さらに変位が 50mm もあるため、剥落によく追従し、剥落したコンクリート片が落下するまでに十分視認することができると思われる。

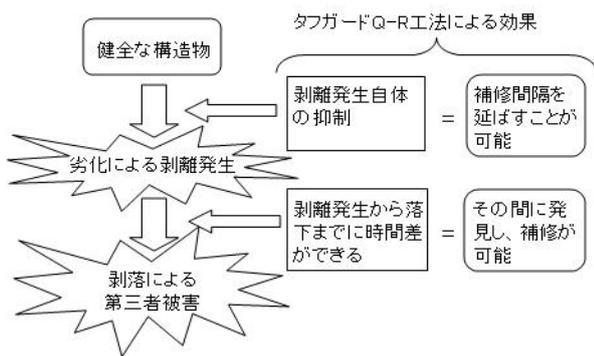


図-3 タフガード Q-R 工法による効果

図-3 に示すように、タフガード Q-R 工法は、管理上の面においても剥落防止性が高く、とても良好な結果を示している。

(3) 施工性

表-4 剥落防止工の施工工程数

工法種類	施工工程数
モルタル復旧工法	5
ガラスクロス接着工法	7
タフガードQ-R工法	5

ガラスクロス接着工法の 7 工程に比べ、タフガード Q-R 工法は 2 工程少なく 5 工程で施工でき、工期の短縮が期待できる。

また、水切りなどの複雑な形状部に対してもガラスクロス工法ではシートを形状に合わせて折り曲げていくため、シートの折り曲げ部周辺部の剥がれが心配されるが、タフガード Q-R 工法は塗装であるため、適切に施工ができ、施工性の向上が期待できる。

6. 付着強度についての考察

付着強度は剥落防止性能で最も重要な値であり、当然付着強度が大きいほど剥離片の落下を防ぐことができる。

しかし、実際には各橋梁で付着強度は大きく違っており、その原因は構造物の状態意外に、施工の前段階となる素地調整が重要ではないかと考える。

そこで付着強度について様々な条件、箇所にて 40mm 角の供試体を引っ張ることにより、以下の結果と考察を行った。

(1) 素地調整の程度による付着強度試験

試験は、堺高架橋及び貝塚高架橋ではブラスト工法による素地調整を行い、ブラストの噴射時間によりどの程度コンクリート付着強度が変化するかを確認した。

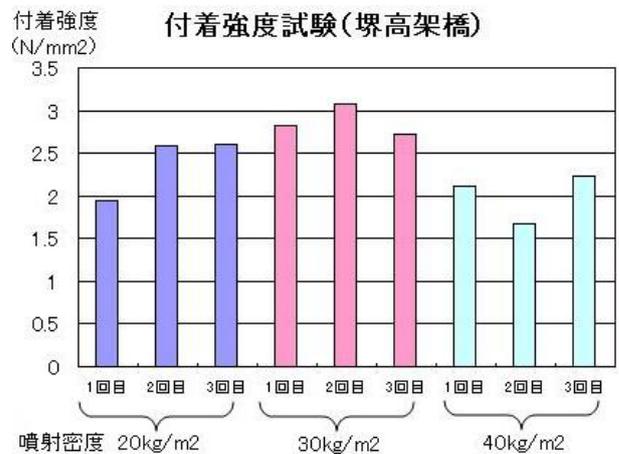


図-4 噴射密度による付着強度の差 (堺高架橋)

堺高架橋においては噴射密度が 30kg/m² 時が最も付着

強度が大きいことがわかる。

噴射密度 40kg/m² ではブラストを行い過ぎたためコンクリート表面が痛んだのではないかと推測される。

事実、噴射密度 40kg/m² の3回目の試験では、破断状況が既設コンクリートからの破断であった。

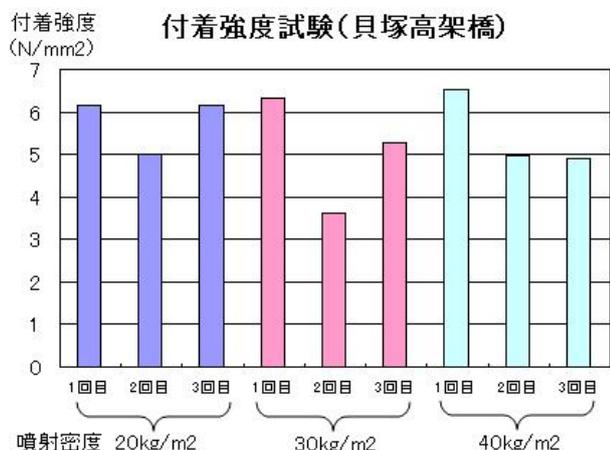


図-5 噴射密度による付着強度の差 (貝塚高架橋)

貝塚高架橋においては噴射密度が 20kg/m² 時が最も付着強度が大きいことがわかる。

噴射密度 30kg/m² の3回目の試験では値が大きく低下している。これは表面近くに骨材があるためである。

また、20kg/m² から 40kg/m² までの付着強度に大きな差は確認できず、噴射密度よりもコンクリートの材質や状態により付着強度が変化していると推測される。

2つの橋梁によって最適なブラスト噴出密度が違う結果となった。

これは堺高架橋が PC 橋だったのに対し、貝塚高架橋が RC 橋であるため、コンクリートの材質や強度に差が生じていることが考えられる

また、図-6 では対象とした 3 橋について平均付着強度の比較を行った。

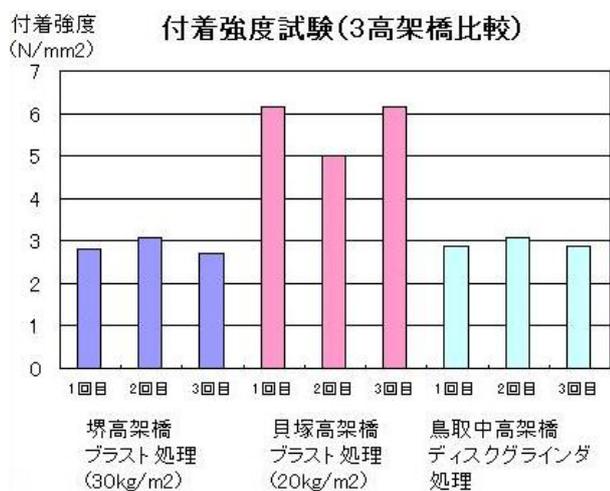


図-6 素地処理方法による付着強度の差

PC 橋である堺高架橋や鳥取中高架橋に対し、RC 橋である貝塚高架橋の付着力が大きい。これは RC 橋の方が表面の凹凸により表着面積が増加するためと考えられる。

また、同じ PC 橋であるが堺高架橋と鳥取中高架橋では素地調整処理の方法に違いがあるにも関わらず、付着強度に差が生じていない。

今回の施工においては、ブラスト処理にはバキュームブラスト工法を採用しているため、付着強度の低下を招く塵の発生量は少なく、当初想定していた付着強度については十分に発揮されている。

一方でディスクグラインダ処理による素地調整処理においても、処理後の刷毛による塵の除去等を適切に行ったことにより、付着強度については十分に発揮される結果となった。

ディスクグラインダ処理でも付着強度は十分発現しているが、素地調整処理の不出来によってその後の剥落防止の付着強度に大きな影響を与えると推測され、監督職員としては、施工前の下地処理については特に留意が必要であると判断する。

(2) 施工箇所の違いによる付着強度試験

今回の施工において、3 橋の内、鳥取中高架ではタフガード Q-R 工法は断面補修箇所のみ施工している。しかし、断面補修後に剥落の危険性がどの程度あるのかは不明であり、その中で剥落防止を第三者被害が予想される箇所全てに行うという考え方もある。

そこで、断面修復箇所と剥落していない健全全部でタフガード Q-R 工法を行い、付着強度の差がどの程度あるのか試験を行った。

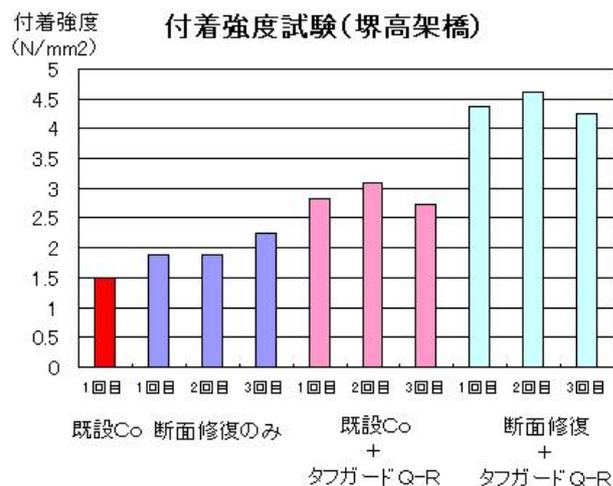


図-7 施工状態による付着強度の差

図-7は堺高架橋においての、施工度合いによる付着強度の比較である。

既設コンクリートの推定付着強度 1.5N/mm² に対し、今回の施工で断面修復を行った箇所の平均付着強度は

2.00N/mm²であり、修復により付着強度が上がった事が分かる。

一方で、第三者被害防止のために健全部に対し施工したタフガードQ-R工法では付着強度は平均2.87N/mm²となり、断面修復より高い付着強度を示し、健全部に対しても効果を発揮していることがわかった。

さらに断面修復を行った箇所第三者被害防止のためにタフガードQ-R工法を施工した箇所においては平均4.40N/mm²の高い付着強度を示した。

この差は断面修復部では下地処理を行わないため、表面付着強度が増したためだと推測する。

これにより、補修部は健全部に対し付着強度が一時期は上回るが、補修目地からの再劣化が早いことなどを考えると、断面補修後にタフガードQ-R工法を施工することにより付着強度の増強は有効な補修方法であることがわかる。

7. 留意点と今後の課題

前章で述べた考察とは別に、監督職員としてタフガードQ-R工法を使用した場合、留意すべき点や今後の課題について以下に述べる。

(1) 施工範囲の決定

当初発注時に施工範囲は決定しているが、現場の条件や状態等により施工範囲が変更する必要が生じる場合がある。

その最たるものが第三者被害予防であり、橋梁によっては橋梁の高さや構造により剥落した場合の落下範囲に違いが生じる。そのため施工に際し範囲の線引きが問題となる。

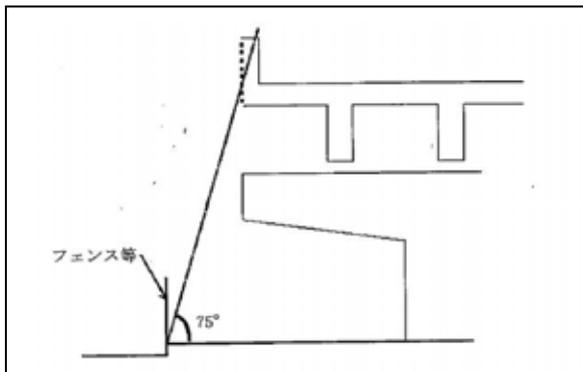


図-8 剥落防止工の対象範囲

図-8 で示される通り、剥落した破片は鉛直真下に落下するとは限らないため、外側線より75度²⁾を対策範囲と規定している。

しかし、実際の現場においては柵の有無やその形状など現場条件は現場毎に変わってくるため、対象となる剥落防止工の範囲についてはかなりの違いがあることが想定される。

どこまでを施工範囲とするかは丁寧に議論する必要があると思われる。

(2) 品質の確保

施工については、コテ・ヘラによる左官工となるため、現場における品質は、左官の技量によるところが大きい。



写真-2 左官工によるタフガードQ-R工法施工

(3) 品質の確認

今回のタフガードQ-R工法において、品質を確認する最もよい方法は膜厚を測定することである。膜厚によって品質が均一化すれば、予想された付着強度や変位を発現するはずであり、反対に膜厚が不足している箇所については想定している強度が発現せず、剥離片が大きく重い場合などは、剥離直後に落下の可能性もある。

しかし、通常の膜厚検査と違ってコンクリートに塗膜を施工していくこの方法においては、機械による膜厚が測定することができない。

また、通常塗装で行っている空缶検査については、使用量について確認できるが、膜厚の均一性については確認できないという問題もある。

そのため、膜厚管理が非常に重要となる今回の施工においては、空缶検査に加え特に未乾燥塗膜厚測定が可能なウェットゲージによる膜厚確認を行った。

このように、品質の確認方法について全体として決める必要があると思われる。



写真-3 ウェットゲージによる膜厚管理

(4) 耐久性

タフガード Q-R 工法は性能上 15 年程度機能を維持できる計算であるため、ライフサイクルコストの低減や構造物の長寿命化に貢献できると考えられる。しかし初施工が平成 16 年前後であるため、効果については追跡調査が必要と判断する。

(5) 補修箇所の点検

タフガード Q-R 工法は高弾性により剥落によく追従する。しかし、その高弾性によりハンマーによる叩き調査での判定がとて難しくなるという事が想定される。

今後この工法が増加していくと思われる中、施工後の剥落調査の難しさによる、浮きやひび割れの見落としが心配され、この工法を施工した後の調査方法について考えていく必要がある。

8. 最後に

第三者被害防止を考えた場合、経済性や施工性に優れ、従来補修による付着強度よりも高い付着強度を発揮し、構造物の長寿命化を維持できるタフガードQ-R工法は、非常に有効な補修方法と判断する。

一方で、素地調整や膜厚の確認方法など通常の監督方法では確認が難しい項目もあり、今後も剥落防止工法が広く施工されていく中、膜厚の品質管理基準等について議論し共有していくことが望ましいと言える。

参考文献

- 1) 国道26号堺高架橋他補修設計業務 報告書 平成22年3月
- 2) 道路橋マネジメントの手引き (2004年)

写真撮影による河床材料調査

中路 貴夫¹

¹近畿地方整備局 淀川河川事務所 調査課 (〒573-1191大阪府枚方市新町2-2-10)

河床材料調査は、流砂の移動量や河床の変動算定など河道計画に必要な基礎資料として、粒度分布、比重、空隙率などの調査を行うものである。調査地点は原則として河川の縦断方向については1 km間隔、1断面については3点以上をとるものとなっていることから、調査する河川の縦断延長が長い河川によっては調査地点数は非常に多くなり、調査に要する時間やコストが相応に必要となる。本論文では、現場での写真撮影による簡易的な調査手法により、画像から解析を行う粒度分析方法と従来どおりの採取法（容積法）による調査と同時に実施し、その適用性について考察したものである。

キーワード 河床材料，写真画像解析，粒度分布

1. はじめに

河床に分布している材料（礫や石分など）の粒度を調べる最も簡単な方法として、“ふるい”を用いた粒度分析が行われている。この方法は、現地の最大粒径によって試料（河床材料）の採取量が定められており¹⁾、巨石（直径30cm以上の礫）が分布するような地点においては、極めて大量の礫材料（河床材料）を対象とした試験となることから多くの労力が必要とされている。

また、河床材料調査ガイドライン（案）²⁾によれば、河床材料調査は1回/3年に実施することを基本としながら、河床変動が生じる規模の出水等が発生した場合には、河床材調査を実施するのが望ましいとされている。

今後、淀川水系河川整備計画を進めていく中で定期的に河床材料を把握することが必要であることから、調査には相応のコストがかかる。そこで、河床材料調査の調査効率の向上・調査コストの削減のための方策として、「河床の写真画像解析による粒度分析方法」について試験的に実施し、その適用性について検証した。

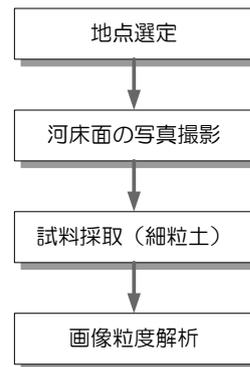


図-1 画像粒度解析による作業の流れ

(1)地点の選定

写真画像解析は、上述したように大量の試料採取を行うことなく、粒度曲線を作成するところに、ふるい分け試験との差別化が図られている。したがって、本調査では粗粒径の礫の分布が予想される、宇治川、桂川、木津川を対象に表-1の調査サイトを設定した。

2. 写真画像を用いた粒度解析方法

写真画像を用いた粒度解析方法は、画像中の礫の大きさ（面積）を読み取り、全体面積（撮影面積）に対する礫の占める面積比の関係から、ふるい分析と同様な粒度曲線を作成するものである。

図-1に画像粒度解析の一連の流れを示した。

表-1 調査サイト一覧

河川名	調査サイト
宇 治 川	49.2k 左岸
	43.0k 右岸
桂 川	16.0k 左岸
木 津 川	37.0k 左岸
	30.9k 右岸

(2)河床面の写真撮影

現地の河床面の写真撮影方法を写真-1, 2に示す。

写真-1は、他河川で最大粒径が30cmを超えるような礫（巨石）が分布する河床で行われている方法で、最大礫径 50cmを想定して、その最大粒径の礫 1個の占める面積比（礫の面積/撮影面積）を5%以下に抑え、撮影範囲を2m×2mとして撮影している状況である。撮影面積が広いことから、写真の歪みを少なくすることを目的として、三脚を使用して撮影範囲直上4mの高さにカメラを据えて撮影している³⁾。

一方、写真-2は本調査で河川の河床面を撮影している状況である。表-1に示した対象地点に分布している礫の最大粒径が、おおよそ10cm～20cm（礫の面積約78～314cm²）程度であったことから、100cm×100cmの撮影面積（約10,000cm²）を設定し、人の高さからデジタルカメラを用いて撮影を行った。

通常、石分や礫質材料を対象とした“ふるい分析方法”は、地盤工学会基準「石分を含む地盤材料の粒度試験方法」（JGS 0132）に準じて行われている。この基準では、表-2に示すように、1個の礫（最大粒径の礫）が占める重量比率が概ね5%以下となるように採取量が定められている。写真画像解析においても、最大粒径に応じて撮影範囲（面積）は最大礫の面積（等価円として求めた面積）が撮影した全体面積の5%以下になるように撮影範囲が提案³⁾されており、本調査においても確立された条件設定がないことから目安として採用した。



写真-1 河床面の写真撮影状況(1)
(巨石が分布する他河川の例)

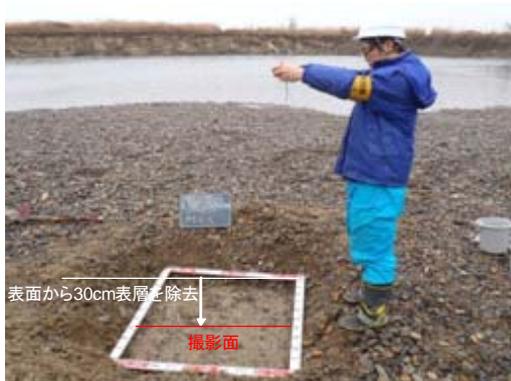


写真-2 河床面の写真撮影状況(2)

表-2 最大粒径に応じた採取試料量の目安と
1個の礫が占める重量割合の試算

① 試料の最大粒径	② 試料質量 kg	③ 最大粒径相当の 石の質量 (kg)	④ 石1個の占める 割合 (%)
300 mm	750～1500	38	5.1～2.5
125 mm	100～200	2.7	2.7～1.4

①, ②; JGS 0132 「石分を含む地盤材料の粒度試験方法」の採取量の目安
③ ; 最大粒径を直径とした”球”を仮定して求めた質量。
④ ; 試料質量②に対する1個の最大粒径の石③が占める重量割合。(③/②)

(3) 試料採取(細粒土)

本調査では画像解析による方法と従来どおりの採取法（容積法）による結果の比較を目的としていることから、写真撮影した河床面下（GL-30cm～GL-60cm）の試料採取を行った。採取した試料のうち、100mm以上の礫については、現場で長径・中径・短径・質量の計測を行い、100mm未満の試料については試験室に持ち帰りふるい分け試験を行った。

なお、写真画像解析のみの場合は、19.1mm未満の粒径については試料約1.5kg程度（日本工業規格「土の粒度試験方法」JIS A 1204）を現地から持ち帰り、その試料に対してふるい分け試験を実施した。

(4) 画像粒度解析

現地にて撮影した写真画像から、以下の手順で粒径加積曲線を求めた。

a) 撮影した写真の整理と写真のゆがみ補正

現地で撮影した写真を整理し、画像解析に用いる写真を選択する（写真-3）。

撮影した写真は、多くの場合斜めに撮影されているので、設置したスケールのゆがみから正方形（遠くのものには広げ、手前側は幅を狭めて）に調整し、撮影時のゆがみ補正を行った（写真-4）。



写真-3 撮影した画像

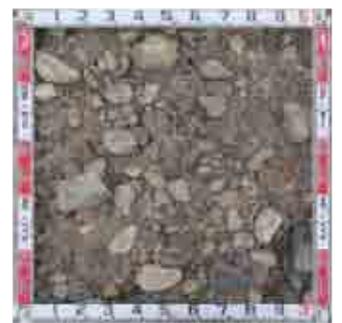


写真-4 ゆがみを補正した画像

b) 礫の囲い込み

CAD 上に貼付けた写真から、ペンタレットによって個々の礫の縁取りを行う。この作業は、個々の礫の大

きさ（面積）を求めるための重要な工程であり、写真-5に示すように現状は“手動認識”によって行われている。1枚の画像の処理に要する時間は2～3時間程度であるが、工場生産されているような均一粒径製品の粒度解析などでは“自動認識”ソフトも市販されているようである。しかし、様々な粒径が不規則に分布するような河床においては、現状、自動認識による精度が期待できない状況にあることから、写真-5に示したような方法で作業した。

手動によって認識された画像は、写真-6に示すように赤で縁取られ、内部はハッチングされているので、認識していない礫とで識別されている。

c) 粒子の認識と粒子直径の計算

CAD上で礫の囲い込みが終了した画像は、専用のソフトを使用して個々の礫の認識と、面積ならびに等価円形にしたときの直径（粒径）が自動計算される。認識された個々の礫には写真-7に示すようにナンバーリングされて識別される。

本調査では、囲い込みを行なった礫径は、なるべく作業手間がかからないよう「粗礫」の基準粒径である19.1mmまでとした。



写真-5 礫の囲い込み

写真-6 囲い込み後の写真

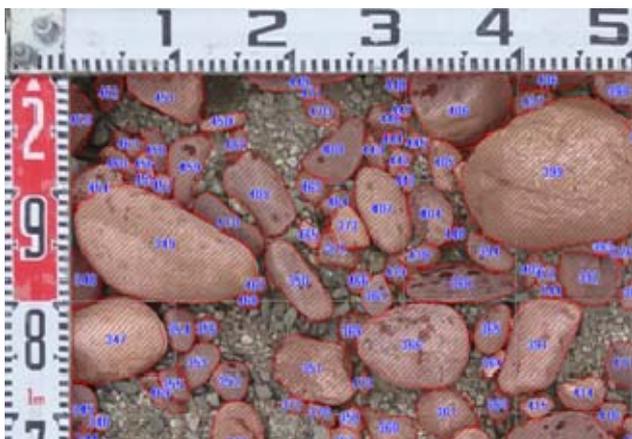


写真-7 粒子の認識と識別番号

d) 粒径加積曲線の作図

c)の計算結果をもとに、認識した礫の面積を全体の撮影面積で除して、各々の礫の面積比を計算した。個々の

礫の面積比と直径（粒径）から図-2に示すような粒径と通過百分率（面積百分率）の関係（粒度曲線）を作図するものである。

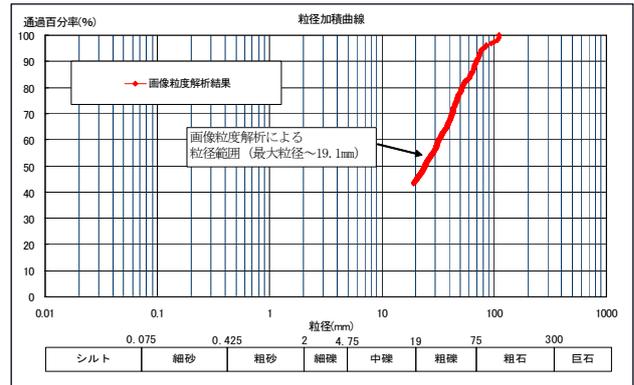


図-2 画像粒度解析による粒径加積曲線

e) 粒径加積曲線の合成

図-3に画像粒度解析結果と19.1mm未満の試料のふるい分け（土の粒度試験法）による結果を合成した粒度曲線を示した。図中の太線（赤線）は画像粒度解析による結果で、細線（青線）はふるい分けによる結果である。

本調査においては、19.1mm以上の礫について上述した画像粒度解析による方法で粒径加積曲線を得ることが出来るが、粒径幅が広く19.1mm未満の礫や細粒土が多く分布する河床においては、現地より持ち帰った試料で粒度試験を行い、その結果を合成して粒度曲線を作図する必要がある。しかし、粒度曲線の合成に必要な現地から持ち帰る試料量は1.5kg程度（日本工業規格「土の粒度試験方法」JIS A 1204）であり、容積法に比べれば、現地の攪乱や現地作業量の大幅な軽減に結びついているといえる。

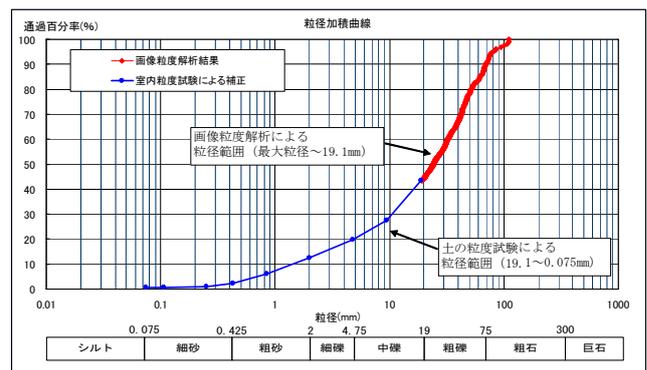


図-3 画像粒度解析とふるい分けによる結果の合成

3. 画像粒度解析と容積法の比較検証

試験の精度について確認する目的で、写真撮影による粒径加積曲線と、実際に通常的手法による粒径加積曲線とを重ね合わせた例を図-4に示す。

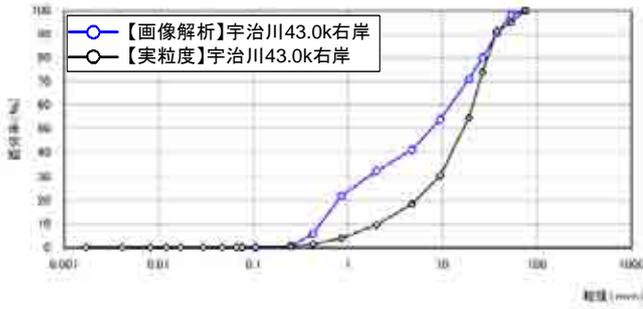


図-4 画像粒度解析と容積法による粒径加積曲線

また、各地点の精度を比較するために次の2点について着目し、試験結果を整理した。

(1) 粒径加積曲線の位置

粒径加積曲線の位置は、曲線の左側の面積（粒度による線とY軸（通過百分率 $D_{10} \sim D_{80}$ ）線とで囲まれる範囲）を換算面積（図-5）とし差を比較した。

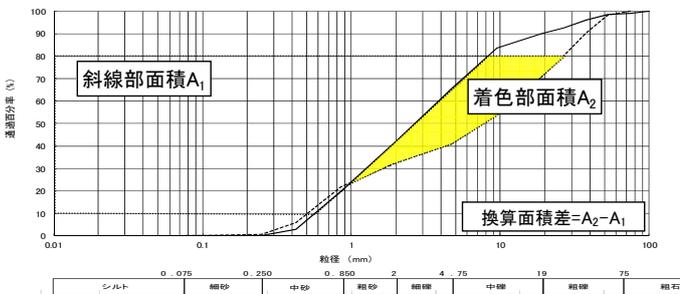


図-5 換算面積差イメージ

(2) 粒径加積曲線の傾き

粒径加積曲線の傾きは、均等係数 $U_c (=D_{60}/D_{10})$ で代表させた。両方による D_{60} 、 D_{10} の比較を図-6、7に示す。

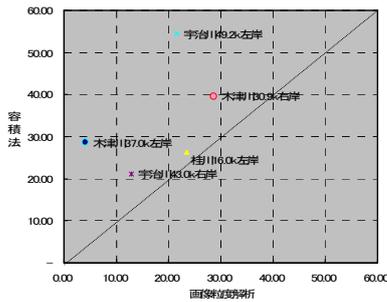


図-6 D_{60} の比較

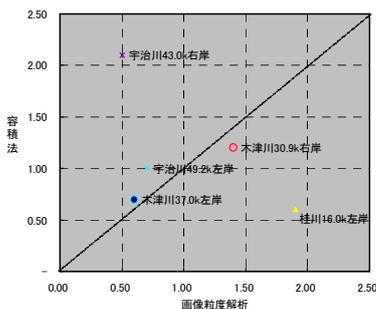


図-7 D_{10} の比較

また均等係数の比（画像粒度解析/容積法）を横軸、(1)で求めた面積の差分（容積法-画像粒度解析）を縦軸に取り、各試験結果をプロットした（図-8）。

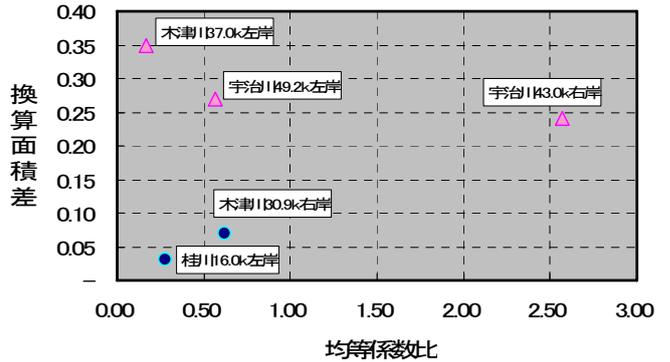


図-8 換算面積差と均等係数比の関係

プロットした結果、赤△で標記される箇所については、写真による解析と通常的手法による解析との適合性が良くないケースである。

宇治川 43.0km 右岸、宇治川 49.2km 左岸、木津川 37.0km 左岸は、写真撮影面では細粒分がほとんど占められていたが、実際に深度方向 30cm の範囲には、比較的大きな礫が多く分布していることに起因すると考えられ、このようなケースでは、試験の精度も落ちる傾向がみられる。（図-9）。

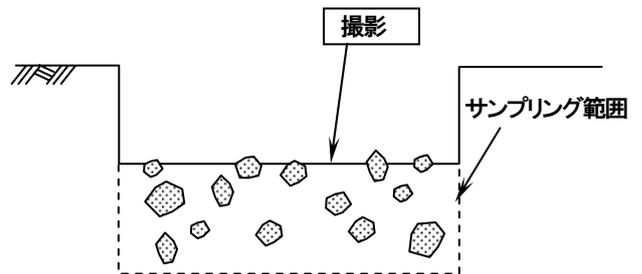


図-9 画像解析の誤差の原因イメージ

これを逆にとると、出水前後での表面の粒度状況変化を把握するには、適切な手法であると考えられる。したがって、比較的高頻度に材料が攪乱されるような環境においては、出水前後の画像を解析することにより、出水によるレスポンスを効率的定量的に把握する方法としての適用性が高いと考えられる。

(3) 作業効率とコスト縮減

写真画像粒度解析と従来どおりの採取法（容積法）による粒度分析において、作業効率とコストについて下表のとおり比較した。

表-3 画像粒度解析と採取法(容積法)による作業効率とコスト比較

		容積法(現地採取)	写真画像解析
現地作業	作業内容	50cm四方の河床面下30cm掘削して、GL-30cm~60cmの試料を採取。10cm以上の礫は、現地で寸法と、重さを量り、残りを試験室に持ち帰る。	河床面の表層にスケールを置いて、真上より写真撮影。写真で解析できない19.1mm未満の細粒土約1.5kgを試験室に持ち帰る。
	作業時間(1試料あたり) コスト(1試料あたり)	1地点あたり3名で3時間程度の作業 約23,000円	1地点あたり3名で1時間程度の作業 約7,700円
室内作業	作業内容	試験室に100kg程度持ち帰り、JIS A 1204「土の粒度試験」の実施	・写真の画像解析(1画像3時間程度) ・試験室に1.5kg程度持ち帰り、JIS A 1204「土の粒度試験」の実施(19.1mm未満) ・粒径加積曲線の合成(1試料1時間程度)
	作業時間(1試料あたり) コスト(1試料あたり)	3時間程度 (土の粒度試験にかかる時間) 約23,250円	4時間程度 (解析と粒度試験にかかる時間) 約24,950円(人件費(12,500) + 試験費(12,450))
合計	コスト(1試料あたり) 作業時間(1試料あたり)	約46,250円 6時間程度	約32,650円 5時間程度

結果、現地作業では作業効率として容積法より約66% (1時間/3時間) 低減、コストとして約66% (7,700円/23,000円) 削減される。室内作業では容積法と写真画像解析でほぼ等しい。全体では作業効率として容積法より約20% (5時間/6時間) 低減、コストとして約30% (32,650円/46,250円) 削減される。

4. 課題の分析と解決の方向性

画像解析による粒度分布調査は効率性や応用範囲の広さの面などで、優位性が考えられる。ただし、写真画像は撮影時に暴露している面での情報しか取得できないため、次の様な現地条件では十分な調査精度が確保困難な場合が想定される。このため、適用に当たっては十分留意する必要があると考えられる。

(1) 表層と材料採取範囲とにギャップがあるサイトの適用性

木津川 37.0km の様に、暴露した撮影面の粒度分布に細粒分が卓越するような場合には、暴露面だけでは粗粒分のサンプル数が少なく、画像解析による調査精度は低下する。従って、出水直後に細粒の土砂のみが繰り返し堆積していると考えられる箇所などでは、この手法の適用は困難である。

一方、アーマコートの発達している個所では、表層分を除去しないと適正な粒径を把握することが困難である。したがって、アーマコートの分布が予想される場合には、調査面の暴露時に、撮影面を更に下げるなどの配慮が必要であると考えられる。

(2) 分布礫の形状

今回の調査サイトでは確認されなかったが、層理や片理の発達する基盤岩が分布する流域においては、短径と中長径とで大きなギャップのある礫が生産されやすい場合がある。このような粒度特性のある個所では、礫径は3辺数値を実測により計測することが、適正な礫分の粒度把握には重要である。写真画像による解析は、画像より

把握される2辺を基に粗粒分の粒径を計測するため、このような個所での粒度分布の適正な把握に当たっては、課題がある。対処方法としては、予めある程度現地で実際に短中長径のサンプルデータを取得しておき、2径との相関関係を整理することで推定するなどの対処法が考えられる。

5. その他の活用例について

写真画像は、撮影後にPC上で繋ぎ合わせることが比較的容易に可能である。調査の目的や現地の条件などに併せて、写真の繋ぎ合わせにより解析範囲を適宜変更させた分布礫径の計測が可能である。

例えば、調査の目的などに応じて、河川の縦横断方向に連続的な写真画像を解析し、ここに分布する礫径の計測も可能である。加えて、河岸でトレンチを掘りこの掘削面を対象に解析することにより、鉛直方向の礫分分布状況を定量的に把握することが可能であると共に、画像と併せて堆積状況の遷移や河道の変動傾向把握にも活用が可能である。



写真-8 現場適用事例 (トレンチ掘削)

6. おわりに

画像粒度解析は、簡便に現地において河床面を乱すことなくその粒度構成を把握できる他、作業に要する労力と時間を縮減できることから、流路延長の長い河川では限られた時間と予算の中でより多くの調査が可能となる大きな利点がある。また、現地で調査した地点の情報が数値データのみならず、画像データとして残せるため、トレーサビリティが高く、測定毎の経年変化を視覚でも読みとることが出来る利点も大きい。

今回の調査では細粒分が卓越するような箇所においては限界があることがわかったが、たとえば河床変動計算において計算に用いる代表粒径に注目し、容積法と画像粒度解析によって得られた代表の粒径加積曲線において、その代表粒径の比率を算出し、その誤差が計算に影響を及ぼさない範囲内であれば、河床変動計算にあたるデータとして適用できると考えている。

今後、更なるサンプル数を蓄積し、河床変動計算における誤差許容範囲を明確にすることにより、河床変動計算においても貢献できる有効な調査手法であると考えられる。

参考文献

- 1) 地盤工学会編：第3編 第4章 粒度試験，地盤材料試験の方法と解説，pp115～136，2009.
- 2) 国土交通省 河川局編：河床材料調査ガイドライン（案），2009.
- 3) 谷上実，畠山正則：河床材料調査における写真画像粒度手法の適用について，第40回地盤工学研究発表会講演集，pp85～86，2005

被災時に迅速に復旧する省スペース・省電力・ 低コストの水位観測設備の開発について

栗 将倫¹・橘 智洋²

¹和歌山県 県土整備部 建築住宅課 (〒640-8585和歌山県和歌山市湊通丁北1丁目2-1)

²和歌山県 総務部 和歌山県税事務所 (〒640-8585和歌山県和歌山市湊通丁北1丁目2-1)

現在、水位情報は自らの水防活用に利用するだけでなく、色々な機関と共有し利用されている。また公表についてもインターネットを始め携帯電話、地上デジタル放送のデータ放送など、情報があるのが当たり前の状況となっている。
しかし、それを支える通信設備は無線が中心であり、設備費が高額で更新にも多額の費用が掛かる。また、一度障害が発生すると、復旧に時間が掛かる。
そこで低価格で安定・高機能の設備の開発を行うことにした。

キーワード 水位観測設備、通信設備、災害復旧、携帯通信

1. 開発の経緯について

和歌山県では平成 15 年から一部の水位観測設備を超短波無線通信から NTT ドコモの Dopa 回線 (mova と同じ周波数帯) を利用した通信に変更していた。その理由は、当時一部の地域で超短波無線の通信障害が発生した為です。その障害対策として候補に挙がったのが Dopa 通信でした。

Dopa 通信設備は、県南部を中心に 35 局 (水位観測所の約半数) ほどに導入され、通信の安定に貢献しました。

しかし 5 年後、Dopa サービスの終了に伴い、通信設備の改造が余儀なくされました。NTT ドコモは、FOMA サービスへの切替を勧めていましたが、元々 Dopa 用に基板を作り込んでいることに加え、FOMA と Dopa のエリアが微妙に違うことや、Dopa 利用を始めてわずか 5 年での終了連絡でもあり、NTT ドコモへの不信など FOMA サービスへの切替には慎重な意見が相次ぎました。しかし、超短波無線の設備が高額であることや Dopa 切替の発端となった通信障害の対策も考慮すると、県内を幅広くカバーしている FOMA サービスに変わる物を見つけるのも難しい状況でした。

そこで単なる Dopa 回線から FOMA 回線の切替ではなく、障害対策や通信対策、監視機能など全てを一から構想し直した新しい形での水位観測設備の構築に取り組むことにしました。

2. 仕様の検討について

仕様で最も注意したのは、何かあった時に迅速に復旧する仕組みを作ることでした。
その上で以下の点を特記することにしました。

(1) 基板の組み合わせ構造の導入

今まででよくあったのが、故障の大小に関わらず、「一部が故障したら基板ごと引き上げてしまうため、しばらく利用できない」事例です。

これは全てを一体の基板で作成するために起こります。また、基板が特化してしまうため、特定の業者しか保守できなくなります。

そこで、機能別に 3 層の構造にすることで、特定箇所だけの交換で復旧できます。また、他の設備との交換修理も容易に行えます。図-1、図-2



図-1 テレメータ装置外観

(2) 民間携帯キャリアの利用

超短波無線を利用するのか，民間携帯回線を利用するのかは議論になりました．しかし，超短波無線設備は高額で予備品を持つ余裕がなく，使用周波数も免許により割り当てられています．もし，中継設備などが故障したら，広範に欠測が起こるだけでなく，復旧に数ヶ月は掛かります．自治体の体力では維持が困難であるため，民間携帯回線を利用することにしました．

民間携帯回線であれば他の設備を代替機に利用するのに問題もありませんし，中継部分などは民間で復旧してくれます．また，衛星中継車など高度な応急復旧が可能となります．図-3

(3) 設定切替機能

超短波無線の場合，総合通信局から周波数が割り当てられているため，代替機を用意するのに時間が掛かる．通信データに箇所番号を入れておくのは普通に行われているが，その変更到手間の掛かることが多い．変更を容易に出来るようにすることで，迅速な代替設備の設置を行うことが出来ます．

(4) 汎用パーツ等の利用によるコスト削減

機器構成には出来るだけ汎用のパーツを利用するようにしました．メーカー保証切れで保守できない等の事例を減らしたかったのと，コストを押さえるためです．コストは超短波無線に比べ半分以下に削減することが出来ました．

(5) 省電力化

災害時は商用電力が復旧する見込みは低い上，観測設備の所まで復旧すると考えると，かなりの日数が掛かる可能性があります．最低限の備えとして，7日分のバッテリーと太陽電池の利用としました．

(6) 省スペース化による可搬性の向上

実際の被災はどのような規模になるかわかりません．設備が全て使えなくなる可能性もありますし，設置箇所が限定される可能性もあります．そこで，非常に省スペースで設置でき，ライトバンで運搬できるサイズにすることにしました．図-4

(7) カメラ機能の追加

水位の状況は数値でわかりますが，実際その周辺がどのような状況になっているかは目で見ないとわかりません．そこで，カメラ機能を追加することにしました．

上記の仕様を満たした上でのカメラ機能の追加の為，機能は最低限にすることにしました．

特に消費電力の問題が大きいため，旋回，ズームの機能を無くし，上下流に1個ずつ固定カメラを設置することで，消費電力を押さえることにしました．図-5



図-2 3層構造で構成



図-3 FOMAの通信ユニットを利用(左下)



図-4 非常に省スペースで設置可能



図-5 上下流撮影用のカメラ(ドームタイプ)

3. システムの開発について

実際の開発において、以下の点を採用しました。

1. OSはLinux
2. 拡張バスにPC104バス（ISAバス）を採用
3. テレメータ基板にはFPGAを実装し、各インターフェイスが変化してもFPGAのプログラム変更にて対応が可能
4. 太陽電池だけで動作可能なシステム構成
5. アナログ水位計のA/D変換器に16bitを採用
6. シンプルで高機能な水位計を採用

以下簡単に説明をします。図-6

(1) OSはLinux

まずOSを採用する事により、より汎用性を得られ、開発工数の削減に寄与しました。

OSはLinuxとしました。

TCP-IP, UDP, FTP, PPP, TELNET, mgetty, CFカード, FLASHメモリ等を使用します。

苦労したのはLinuxの再構築です。組み込みLinuxの場合、プログラムメモリの制約から最小限のLinuxを利用しますが、それには着信に使用するmgetty等がなく、意外にLinuxの再構築に手間が掛かりました。

(2) 拡張バス

機能毎に、プリント基板を縦に積み重ね、CPU基板、テレメータ基板、BCD基板の3枚構成にしました。

一番上がテレメータ基板です。FOMAモジュール、アナログ水位計用入力、液晶表示スイッチ入力等、電源制御を行う基板です。

次がCPU基板です。ARM7のリナックスボードです。下がBCD基板です。デジタル入出力基板ですが、今回は横河のBCD出力用のパラレルインターフェイス基板として使用しています。

1枚基板の構成では、変更や修理の場合、全てやり直しをする必要がありましたが、複数枚の構成では、変更の必要な基板のみ行えば良い事になります。

いずれもPC104のバスで接続されています。PC104規格は、従来のパソコンで使用されていたISAバスと同じ信号で上下にスタック可能な構成で組み込み機器用に規格化されたものです。さらに一番大きなメリットとして各社がPC104規格製品を多種販売されていて必要に応じて、それらを使用する事により代替が可能ですし、息の長い製品にすることができます。

(3) FPGAを実装

FPGAはField-Programmable Gate Arrayの略で回路をプログラムすることができます。拡張性と機能がメリットです。

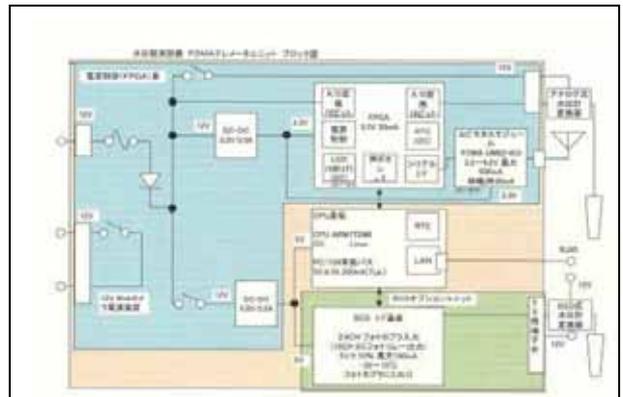


図-6 ブロック図

項目	消費電力	備考
CPU	1.5W	
FPGA	1.0W	
通信モジュール	0.5W	
電源制御	0.2W	
液晶表示	0.1W	
スイッチ	0.05W	
合計	3.35W	

表-1 消費電力計算表

PC104バス制御、液晶表示、SW入力、電源制御、通信モジュール制御を1個のFPGAにより制御します。省電力への貢献、異常時のリカバリ（例えばCPU暴走時でも通信モジュールから着呼があれば、CPUを再起動するウォッチドッグ機能）等、今までのハードウェアでは、回路設計時検討しておかなければいけない内容が、開発途中でも必要に応じ機能追加する事ができました。

また、現在はNTTドコモのFOMAユビキタスモジュールを使用していますが、他のキャリア例えばAU、ソフトバンクの通信モジュールも、コネクタの物理的な変更することにより、また信号処理はFPGAのプログラムを変更する事により簡単に対応ができます。

(4) 太陽電池だけで動作可能なシステム構成

テレメータ部は太陽電池1.3W、バッテリー12V 24Ahで天候不良で全く発電されなくても7日間以上動作するように設計しました。

しかし、より確実な動作を確保するため、太陽電池だけの動作を可能にするようにしました。これは、あらゆる設備の省電力化だけでなく、新しい動作プログラム、「動作時のみ電源が入り、次の観測まで電源が切れる」プログラムを作ることで、可能となりました。消費電力の削減を図るための電源回路やLANの停止機能などを盛り込む所が苦労しました。特にDC/DCの効率CPUも遅いクロックのARM7を採用、パーツひとつひとつ消費電力が少ないものをさがしました。表-1

(5) アナログ水位計のA/D変換器に16bitを採用
 水位計のアナログ入力は16ビットA/D変換器を使用して精度を高めました。A/D変換器はTIのもので、秒128サンプリングのゆっくりとしたサンプリングで16ビット精度あり、出力の直線性および精度が良いです。
 また、消費電力も0.72mWと少なくて済みます。

(6) シンプルで高機能な水位計を採用
 水位計についても以前から検討を重ねていました。今回採用した水位計の特徴は以下の通りです。
 変換部が不要。小型でケーブルも細く持ち運びがしやすい。コストが安い。こわれにくい。安価なわりに精度がいい(FS.0.1%)。

4. 紀伊半島大水害からの奇跡の復旧

(1) 水害の概要

台風第12号の大雨により、県内14河川で氾濫危険水位を超過し、うち熊野川をはじめとする5河川で氾濫し、浸水、土砂災害が多発しました。特に、熊野川では基本方針流量を超える(国交省速報値による)洪水により、多数の全半壊被害が発生しました。また、那智川においては土石流と洪水により、多数の死者と建物被害が発生しました。表-2

詳細については、他の文献を参考にして下さい。

(2) 設備の被害

県の水位観測局は、水位計の流出や通信設備の水没などで最大14箇所が欠測状態となりました。

多くが護岸に設置していた観測設備で、いずれも故障の原因は完全水没によるものでした。図-7、図-8

(3) 復旧方針・作業

通常の復旧作業では、機器の準備なども含めて早くて1.5ヶ月は掛かると言われていました。しかし、職員のほとんどが道路啓開や施設の応急復旧に出回っている状況の上、水位監視が機能しない状態では、人命に大きな影響が出るため、緊急の復旧を余儀なくされました。

そこで、既設の観測設備のうち、県北部にある補助観測用の設備や臨時観測用の設備など比較的優先度の低い設備を被災箇所に応急移設することにしました。

移設作業は保守業者を中心にあたりました。移設はBOXの取り外し後ポールごと外せばいいので、迅速に取り外すことが出来ました。また、設置は逆の手順で出来るのでスムーズに作業を行うことが出来ました。

この仕組みのおかげで1箇所当たり2日で移設を行うことが出来ました。複数の部隊で対応したため、2週間後の台風15号の襲来前に水位観測を復旧することが出来ました。図-9、図-10

農林水産業関係	農地、農業用施設被害	10,814 箇所
	林業関係被害 農産、畜産、水産、その他被害あり	2,645 箇所
公共土木施設	河川被害	1,041 箇所
	道路被害	659 箇所
	橋りょう	38 箇所
	海岸(その他)	1 箇所
	砂防設備	36 箇所
	港湾 その他公共土木施設被害あり	4 箇所
商業関係	商業、工業等	454 箇所
文教施設	小学校、中学校、高等学校等	41 施設
文化財	熊野那智大社、熊野参詣道等	26 箇所
ライフライン関係	停電	112,560 戸
	電話(NTT)	34,140 回線
	断水	34,000 戸

表-2 台風12号の主な施設被害



図-7 洪水により被災した水位観測所(那智川)



図-8 洪水により被災した水位観測所(日高川)



図-9 水位観測設備の応急復旧作業(那智川)

わずか2週間での観測復旧には、水防経験の長い人や業者ほど「とても信じられない。絶対出来ないと思って」と驚いていました。

(4) 衛星携帯電話の活用

しかし、復旧箇所で1箇所、肝心の衛星中継車が来ない地域がありました。それは元々周辺に住居が少なく、携帯電話の復旧優先度の低い箇所でした。こちらが要望しても、復旧優先度が低いと、対応できないとのことでした。

そこで、衛星携帯電話を使って通信を行うことにしました。幸い NTT ドコモの FOMA と衛星携帯電話のワイドスターは通信方式にほとんど違いがないことから、わずかなプログラムの変更で対応することが出来ました。設置には外部アンテナを使って接続を行いました。

その箇所は山間部にも関わらず安定した通信環境で、設置後1度も通信エラーが起こることなく観測データを送ることが出来ました。

5. 新たな取り組みと課題

開発したシステムは災害に間に合い、その機能を発揮することが出来た。しかし、課題もありシステムはこれで完成とは言えません。以下に列挙します。

(1) 防水対策

台風12号で局舎が水没した経験から、水没時でも出来るだけ設備が故障しない対策、バッテリーやテレメータ装置の防水、あるいは収容盤の完全防水仕様についても検討しています。

(2) 他通信キャリア対応

台風12号で欠測したもののうち約半分は、水没はしていないが FOMA 基地局がダウンしたために通信出来なくなったものでした。いずれも衛星中継車が到着すれば復旧しました。折角太陽電池で水位観測テレメータ装置が動作しても、基地局の停電や水没などが起こればダウンします。

これは超短波無線には無い欠点と言えます。

しかし、今回は通信メーカーの対応により数日で復旧しました。

今後は、他キャリア対応や VPN など使用した回線の冗長化が必要だと考えます。

既に他のキャリア対応を進めています。



図-10 応急復旧した水位観測設備（那智川）

(3) 衛星携帯電話の常備

台風12号の対応に利用した衛星携帯電話は、NTT ドコモの協力で用意して貰いました。おかげで非常に短期間でソフトウェアを開発して、準備後1日で緊急復旧することができました。

ランニングコストの問題もありますが、緊急時使用に限定した衛星通信端末テレメータ装置を各振興局に配備する等の必要性を感じました。

(4) 技術ノウハウの開示について

ハード担当者が苦労したのは、FOMA ユビキタスモジュール（通信装置）の技術開示が限定的で詳細を調べるのに時間がかかりました。通信モジュール等は大企業等数量のまとまったお客を対象にしているようで、技術資料がなかなか入手できませんでした。

細部の仕様の違い等は FPGA で吸収して対応しました。

6. おわりに

災害時の緊急復旧を目指して構築してきたシステムではあるが、今回の台風ではその構想が見事に功を奏したと言える。もし、このシステムでなかったら復旧が遅れ、台風15号の襲来時には、人を動員して量水標監視を行わせる必要があった。その様なことになれば人命を危険にさらすだけでなく、情報連絡の遅れからさらなる被害の拡大に繋がる可能性があります。

自治体は自分たちの体力や特性を考えて仕組みを考え選択していく必要があると思います。

今後取り組んでいく時の参考になれば幸いです。

この論文は、旧所属である河川課の河川監視設備に関するものです。

レーダ雨量データを用いた降雨の時空間分布解析と水災害危険度指標の検討

平尾 和彦¹

¹淀川ダム統合管理事務所 広域水管理・品質確保課 (〒573-0166大阪府枚方市山田池北町10-1)

本検討は、レーダ雨量計の観測データが蓄積されてきたことを踏まえ、そのデータを活用して、どのような強度の降雨が、どのような継続時間、どのような空間分布で降り得るのかという降雨の時空間分布解析(DAD解析)を行い、あわせて、分布型流出モデルで把握した各地点の集水面積や地表面勾配等の流域特性と豪雨災害の発生事例との関係から水災害の危険度評価指標を検討し、これまで局地的な豪雨が発生していない地域での被害発生の可能性を推定したものである。

キーワード DAD解析, レーダ雨量計, 分布型流出モデル

1. はじめに

近年、全国で局地的集中豪雨による浸水被害が増加しており、近畿圏内でも2008年6月、2009年6月、2011年7月に宇治市域で、2011年8月に大阪市域で局所的集中豪雨が発生し、市街地を中心に浸水被害が発生した。数km程度の狭い地域でおきる局所的集中豪雨は、その予測が難しく、また浸水実績地域以外でも発生する可能性があるなど、局所的集中豪雨により多くの人命や資産が脅威にさらされている状況にある。

一方、2003年以降、面的な降雨分布を把握するのに有効なレーダ雨量データが、全国合成レーダ雨量として整備され、2011年までに9年間のレーダ雨量データが蓄積されてきた。

このような背景のもと、近畿圏内の降雨の時空間分布特性を把握し、局地的な集中豪雨による既往の浸水被害を踏まえて、雨量、集水面積等を用いた汎用的・実用的な危険度評価指標を検討し、この指標を用いて浸水被害の危険性がある地域を把握することを目的とした。

本検討では、図-1のフローにもとづき、全国合成レーダ雨量を用いたDAD解析を行い、最大可能雨量や降雨発生頻度を算定した。この解析結果をもとに分布型流出モデルを用いて流出状況を検討するとともに、降雨に対する危険度評価指標の可能性について検討を行った。

本検討では、図-2に示す流域・地域を検討対象流域としてDAD解析を行った。検討対象流域のうち、既往業務で分布型流出モデルを構築し、モデル検証を別途行っている琵琶湖流域以外の流域を対象に、浸水危険度マップ案等を作成した。

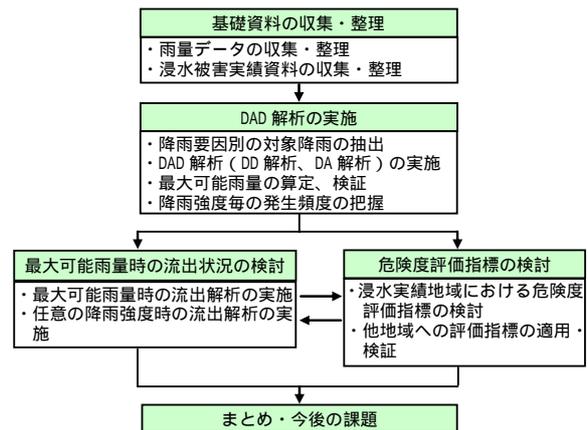


図-1 検討フロー

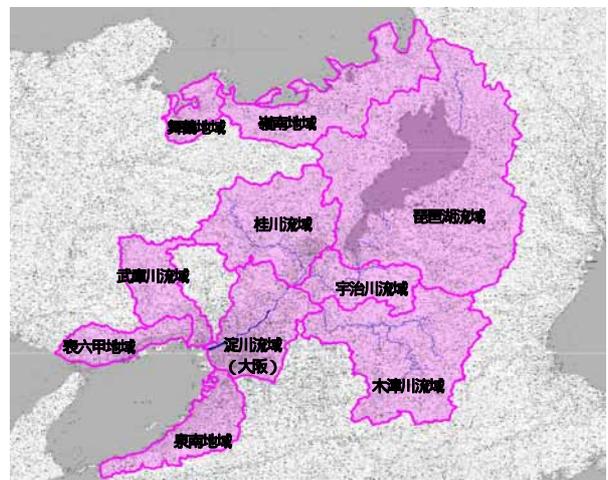


図-2 検討対象流域

2. 基礎資料の収集・整理

解析・検討を行うにあたって必要となるレーダ雨量計データ、地上観測雨量データ、浸水被害実績資料等の基礎資料の収集・整理を行った(表-1参照)。

表-1 収集資料一覧表

項目	資料名称	備考
レーダ雨量	深山レーダ雨量	収集期間: 1981年7月~2008年6月
	全国合成レーダ雨量(Cバンドレーダ雨量)	収集期間: 2008年7月~2011年11月
	XバンドMPレーダ・Cバンドレーダ雨量の合成雨量	収集期間: 2010年7月~2011年11月
地上観測雨量	地上観測雨量(気象庁、国土交通省)	収集期間: 2008年7月~2011年11月
浸水被害実績資料	宇治川分布型洪水予測システム構築業務報告書	2010年3月
	木津川桂川分布型洪水予測システム構築業務報告書	2010年3月
	分布型洪水予測システム検証業務報告書	2011年11月
	分布型洪水予測システム改良業務報告書	2012年2月

3. DAD解析の実施

レーダ雨量計データを用いて、対象流域のDAD解析を実施し、対象流域における降雨面積及び降雨継続時間に応じた最大可能雨量を推定するとともに、任意の降雨強度の降雨が発生する頻度を評価した。

(1) 解析方法

各流域・地域に対して、下記の方法で最大降雨量を算定した(図-3参照)。

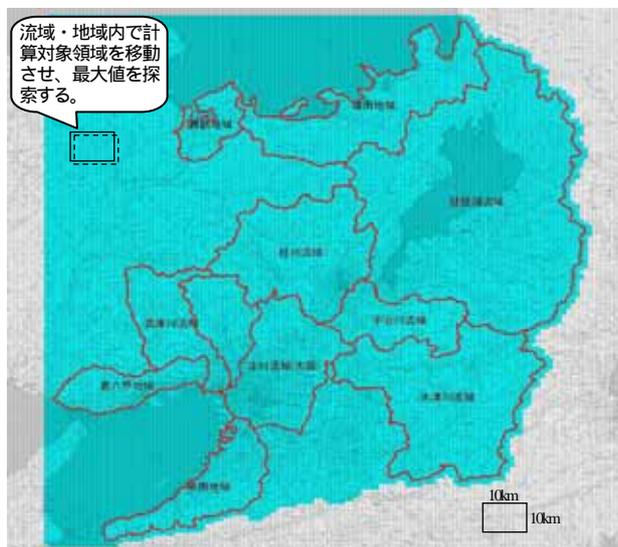


図-3 解析方法イメージ図

地域・流域内で計算対象領域を移動させながら、対象降雨継続時間雨量を算出した。

で算出された雨量の中で、最大となる雨量を対象時刻の最大降雨量とした。

~ の手順を繰り返して、対象期間内の時系列毎の最大降雨量を算出した。

で算出された結果に対して、台風に起因する降雨を除いた最大値を最大降雨量として抽出した降雨継続時間、計算対象面積を変えて ~ の計算を繰り返して、降雨継続時間、計算対象面積毎の最大降雨量を算出した。

(2) 検討条件の設定

a) 検討期間

2003年~2011年の9年間を計算対象期間とし、各年の出水期(5月~11月)を対象とした。

b) 検討ケース

全国合成レーダはデータ間隔が5分間隔、メッシュサイズは1km²であることを考慮して、検討ケースを表-2のとおり設定した。

今回対象とする集中豪雨の雨域は一般的には、円状から東西に長い楕円状であると考えられる。しかし、レーダ雨量が矩形メッシュであり、円形での解析が現実的に困難であるため、本検討では、矩形のモデル流域を仮定して最大降雨量を算出した。

表-2 検討ケース

	計算対象面積	降雨継続時間
内容	1km×1km=1km ²	10分
	2km×2km=4km ²	20分
	3km×3km=9km ²	30分
	5km×5km=25km ²	40分
	7km×7km=49km ²	50分
	10km×10km=100km ²	1時間
	15km×15km=225km ²	2時間
	20km×20km=400km ²	3時間
	50km×50km=2,500km ²	4時間
		5時間
		6時間
	12時間	
	24時間	
	48時間	
	のケースは琵琶湖のみ	

c) 一連降雨の設定

一連の降雨は最大値降雨が観測されてから0となるまでを一連降雨として定義する(図-4の赤丸が一連降雨の最大値の抽出値)。

この一連の降雨毎の最大値に対して、検討期間中の最大値(最大降雨量)を整理するとともに、閾値を超えた回数を抽出し、豪雨の発生頻度として整理する。

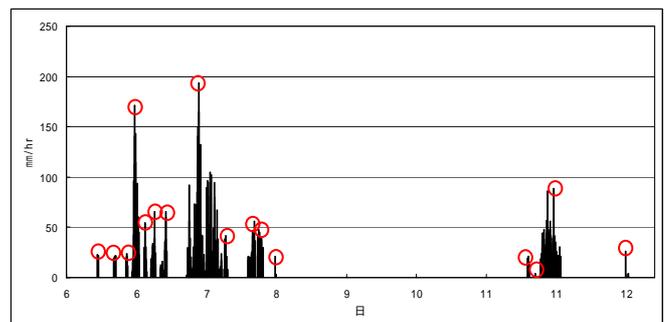


図-4 一連降雨の最大値の抽出イメージ

d) 台風による豪雨期間の設定

台風による豪雨期間は、2003年～2011年の間に日本に上陸および接近した台風を対象として設定した。

対象とする台風は緯度 $36^\circ \pm 10^\circ$ 、経度 $136^\circ \pm 10^\circ$ の範囲を通過したものとし、通過開始から消滅までを台風による豪雨期間として設定した。

(3) DAD解析の実施

a) 最大降雨量の計算結果

本検討では、中小河川における危険度評価を実施することを目的としている。集中豪雨による浸水被害実績地域の流域面積は、約 5km^2 以下と非常に小さい。そこで、検討対象流域で発生した $1\text{km} \times 1\text{km}$ と $2\text{km} \times 2\text{km}$ のケースの最大降雨量を図-5に示す。

同図から宇治川、桂川、琵琶湖流域の最大降雨量は、他の表六甲地域、舞鶴地域、武庫川流域と比較して大きいことがわかる。降雨継続時間が10分～30分では、 256mm/hr 以上の雨量が発生している可能性がある。

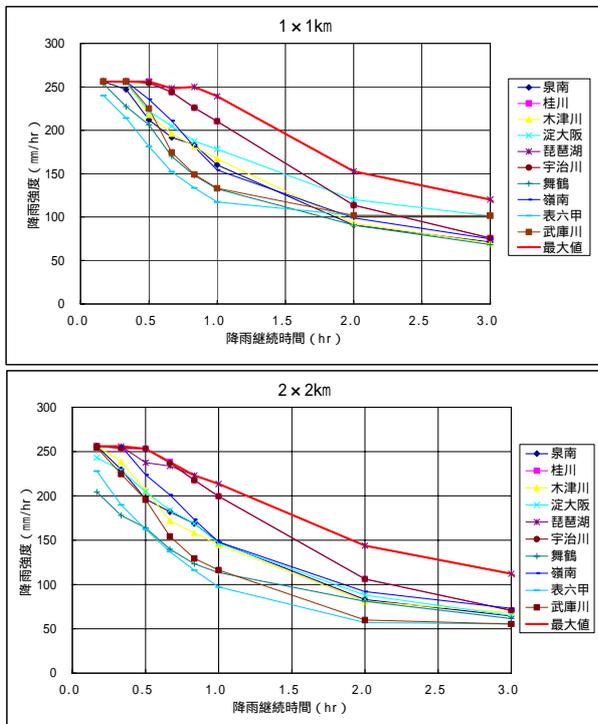


図-5 降雨継続時間と最大降雨量の関係（集中豪雨）

$2\text{km} \times 2\text{km}$ と $10\text{km} \times 10\text{km}$ のケースについて、集中豪雨と台風性豪雨の最大降雨量を比較した結果を図-6に示す。流域面積が小さい場合（ $2\text{km} \times 2\text{km}$ ）、舞鶴地域、嶺南地域、琵琶湖流域では、集中豪雨と台風性豪雨の雨量の差は小さい。一方、桂川流域、宇治川流域では、集中豪雨の最大降雨量の方が大きい。また、流域面積が大きい場合（ $10\text{km} \times 10\text{km}$ ）、舞鶴地域、嶺南地域では、降雨継続時間が1時間以下の範囲で、台風に起因する雨量と集中豪雨に起因する雨量の差が大きくなる。

他の地域では、流域面積と関係なく、降雨継続時間が短い場合（数時間）は集中豪雨に起因する雨量が大きくなる傾向となっている。

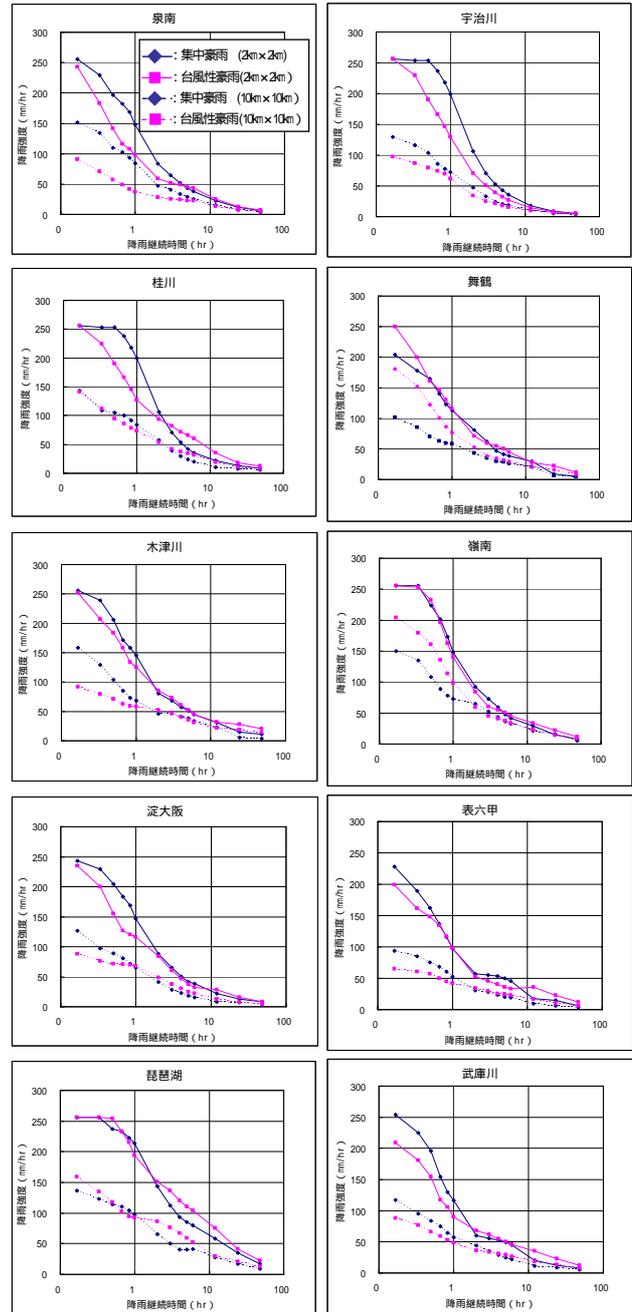


図-6 集中豪雨と台風性豪雨の最大降雨量の比較

b) 降雨発生頻度の検討

集中豪雨は1年のうちに複数回発生しており、発生頻度も重要となるため、整理した毎年値に対して、一連の降雨毎に最大値を抽出する。

検討の結果、閾値(20mm/hr)を超えた各流域の降雨の発生頻度は、琵琶湖流域で高く、舞鶴、表六甲地域で低い傾向となった。表-3に検討対象流域の面積を示すとおり、琵琶湖流域と舞鶴・表六甲地域では、流域面積に大きな差があるため、流域面積が大きい流域で発生頻度が高くなっている可能性も考えられる。

表-3 検討対象地域面積比較

地域名	泉南地域	桂川流域	木津川流域	淀川流域(大阪)	琵琶湖流域	宇治川流域	舞鶴地域	嶺南地域	表六甲地域	武庫川流域
面積 (km^2)	596	1,167	1,649	857	3,754	514	258	1,151	395	547

そこで、前述の発生頻度を同一流域面積(1,000km²)として比較検討を行った。降雨強度 20~100mm/hr の範囲の降雨発生頻度の関係を図-7-1 に、降雨強度 110mm/hr 以上の降雨発生頻度の関係を図-7-2 に示す。

泉南地域、桂川流域、淀川流域(大阪)、宇治川流域での、規準値を超過する発生頻度が高くなる傾向となっている。また、舞鶴地域では、20mm/hr 以上の発生頻度は高くなるものの、降雨強度が大きくなると発生頻度が小さくなっている。

このことから、舞鶴地域では、集中豪雨で降雨強度の非常に大きい降雨の発生頻度は低いと推察される。

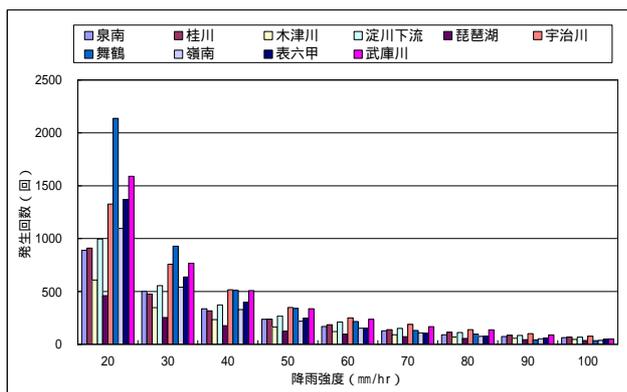


図-7-1 基準値以上の降雨発生頻度

(1×1km 30分雨量: 降雨強度 20mm/hr~100mm/hr: 1000km²あたり)

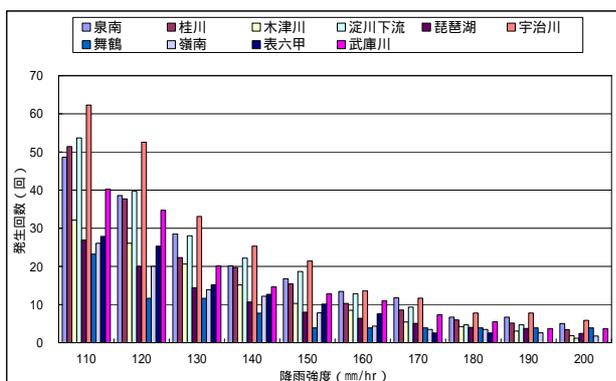


図-7-2 基準値以上の降雨発生頻度

(1×1km 30分雨量: 降雨強度110mm/hr~200mm/hr: 1000km²あたり)

c) 降雨発生確率の検討

プロットングポジションにより、統計量の非超過確率を算出する。1km×1kmのケースについて、集中豪雨における降雨継続時間10分、30分の降雨発生確率の解析結果を図-8に示す。

検討対象地域では、同一の降雨強度で比較すると舞鶴地域、表六甲地域、嶺南地域、武庫川流域の降雨発生確率(頻度)が小さくなる傾向にある。

現在のレーダ雨量データは256mm/hrが上限値となっているため、降雨継続時間10分のケースでは、同一の降雨強度で発生確率が異なる結果となっている。この降雨発生確率の検討結果からも256mm/hr以上の雨量が発生している可能性が考えられる。

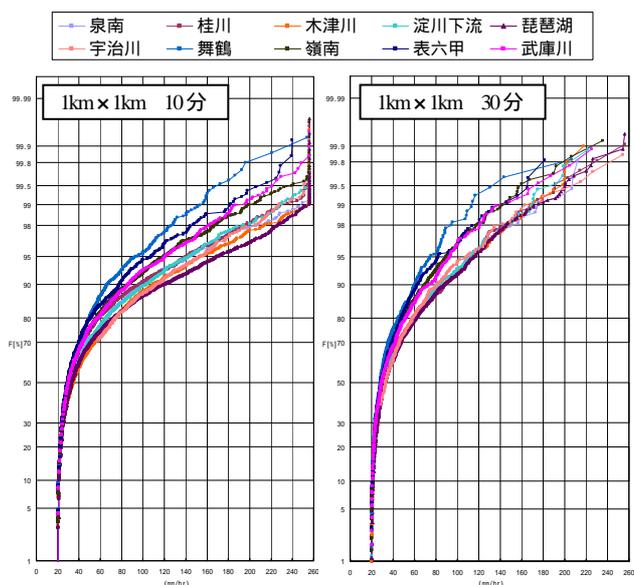


図-8 降雨発生確率の解析結果

4. 最大可能雨量時の流出状況の検討

「3.DAD解析の実施」で推定した降雨が発生した場合の流出状況を別途構築済みの分布型流出モデルを用いて検討した。

(1) 検討方法

最大可能流量を算定するにあたり、計算条件を表-4に示す。外力となる降雨条件については、「3.DAD 解析の実施」で推定した各地域の最大可能雨量(モデル降雨: 降雨強度一定)とする(表-5 参照)。琵琶湖流域以外については、既往業務で分布型流出モデルを構築し、モデル検証を別途行っている。

表-4 最大可能雨量の算定条件

項目	内容
対象地域	・淀川流域、表六甲地域、武庫川流域、泉南地域、宇治川流域、木津川流域、桂川流域、嶺南地域、舞鶴地域
降雨強度	・最大可能雨量(地域毎に設定)
降雨波形	・モデル降雨(一定)
流出モデル	・分布型流出モデル(土木研究所モデル、KWモデル) メッシュサイズ: 250m
モデル定数	・既往検討における設定値
計算時間間隔	・10分
洪水調節施設	・考慮しない
外水・内水氾濫	・考慮しない

表-5 各地域の最大可能雨量(集中豪雨)

面積	降雨継続時間	最大可能雨量(降雨強度)										最大値
		泉南	桂川	木津川	淀川	琵琶湖	宇治川	舞鶴	嶺南	表六甲	武庫川	
1km×1km	30分	212	256	218	222	256	254	206	236	181	225	256
2km×2km	30分	196	253	206	205	237	253	164	224	162	196	253
3km×3km	1時間	142	189	188	128	204	180	98	131	90	107	204
5km×5km	1時間	118	154	97	99	185	145	87	94	79	97	185
7km×7km	2時間	58	64	54	52	93	58	51	70	36	44	93
10km×10km	2時間	47	57	46	42	66	47	43	65	30	39	66

(2) 最大可能流量の評価

検討で得られた最大可能流量を既往研究成果の洪水比流量曲線と比較する。分布型流出モデルにより算定した全メッシュのピーク流量をもとに、集水面積と比流量の関係を作成し、図-9 に示す。各地域の最大可能雨量の大きさに応じて、桂川流域、宇治川流域、舞鶴流域の比流量が大きく、表六甲地域が小さい結果となった。

また、同図にダム設計洪水流量の算定に用いられるクリーガー曲線を重ねて表示した。クリーガー曲線の適用範囲である集水面積 20km²以上に着目すると、桂川流域、宇治川流域、舞鶴流域等の最大可能流量とクリーガー曲線は概ね近い値となっている。一方、表六甲地域は近畿地域に属するが、最大可能流量は小さいといったように地域毎に差異がみられた。

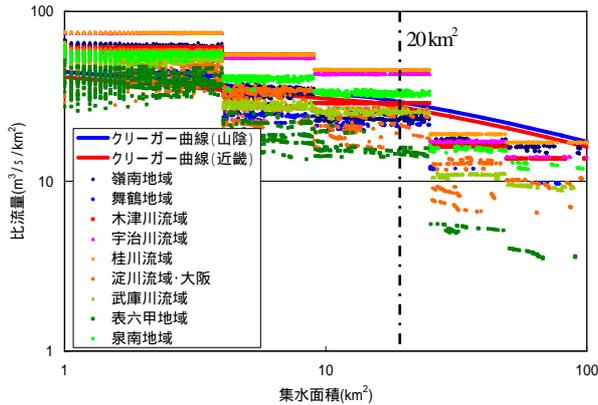


図-9 集水面積と比流量の関係

5. 危険度評価指標の検討

「4.最大可能雨量時の流出状況の検討」の結果及び浸水被害実績より、対象流域における地域・地勢条件の違いを踏まえて、降雨に対する危険度を評価することができる指標の可能性について検討を行った。また、危険度評価指標の検討結果及び浸水被害実績より、浸水危険度マップ案を作成した。

(1) 検討方針

図-10 のフロー図にもとづき、降雨に対する危険度評価指標の検討を行った。既往の浸水実績地域において降雨強度の頻度から危険度評価指標を検討し、既往の浸水実績地域以外の地域に評価指標を適用する。

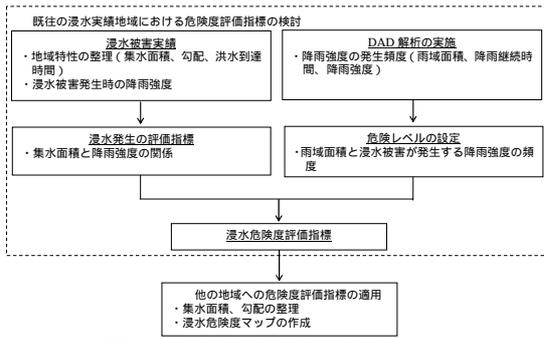


図-10 危険度評価指標の検討フロー

(2) 既往の浸水実績地域における危険度評価指標の検討

図-11に既往浸水実績地域において集水面積と浸水被害発生時の降雨強度の関係を整理し、同図に浸水被害発生時の降雨強度の下限值を包絡する曲線(赤線)を重ねた。浸水被害発生時の降雨強度の下限值包絡曲線(赤線)をもとに集水面積と浸水被害発生時の降雨強度の関係を整理し、表-6に示す。

対象地域全体の浸水被害が発生する降雨強度の発生頻度は、220(回/1,000km²)~1,010(回/1,000km²)となり、平均値は580(回/1,000km²)となる(表-7参照)。本検討では、表-8のとおり、最小~最大発生頻度を等分割し、発生頻度から危険度を3段階に設定した。危険度のレベル設定結果を表-9に示す。

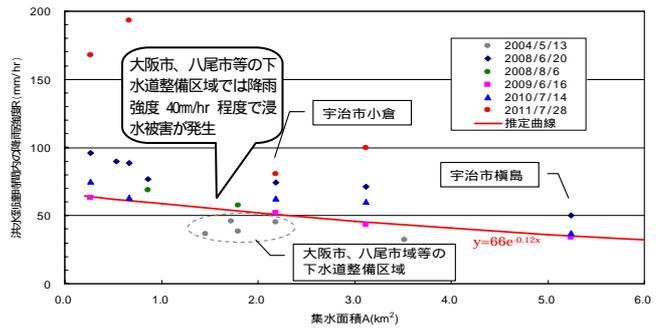


図-11 集水面積と降雨強度の関係(既往浸水実績地域)

表-6 集水面積と浸水被害発生時の降雨強度の関係

集水面積 (km ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
降雨強度 (mm/hr)	58.5	51.9	46.0	40.8	36.2	32.1	28.5	25.3	22.4	19.9

表-7 浸水被害が発生する降雨強度の発生頻度

集水面積	浸水被害が発生する降雨強度の頻度(回/1,000km ²)										備考
	泉南	桂川	木津川	淀大阪	琵琶湖	宇治川	舞鶴	嶺南	表六甲	武庫川	
1km ² 未満	724	784	515	826	409	1014	600	526	549	841	1km x 1km 継続時間30分 被害発生60mm/hr以上
1~2km ²	667	690	468	679	372	913	619	558	430	640	2km x 2km 継続時間30分 被害発生50mm/hr以上
2~5km ²	433	459	283	459	236	572	368	340	294	406	2km x 2km 継続時間30分 被害発生40mm/hr以上
5~10km ²	659	665	463	706	374	954	952	652	562	748	3km x 3km 継続時間60分 被害発生20mm/hr以上

表-8 危険度の設定

	浸水被害が発生する降雨強度の発生頻度(回/1,000km ²)	設定地域の説明イメージ
危険度小	230以上~490未満	1年間に約4回(100km ² 当たり)浸水被害が発生する可能性がある地域
危険度中	490以上~750未満	1年間に約7回(100km ² 当たり)浸水被害が発生する可能性がある地域
危険度大	750以上~1,010未満	1年間に約10回(100km ² 当たり)浸水被害が発生する可能性がある地域

表-9 危険度のレベル設定

集水面積	浸水危険度									
	泉南	桂川	木津川	淀大阪	琵琶湖	宇治川	舞鶴	嶺南	表六甲	武庫川
1km ² 未満	2	3	2	3	1	3	2	2	2	3
1~2km ²	2	2	1	2	1	3	2	2	1	2
2~5km ²	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
5~10km ²	2	2	1	2	1	3	3	2	2	2

: 危険度小(1)、 : 危険度中(2)、 : 危険度大(3)

(3) 他の地域への危険度評価指標の適用

地域毎に地域特性として、各メッシュの集水面積、地表面勾配を整理した。宇治川・木津川・桂川流域の集水面積の分布図、地表面勾配の分布図を一例として図-12に示す。

危険度評価指標の検討結果及び浸水被害実績より、「市街地を含むメッシュ」かつ「地表面勾配<0.03のメッシュ（既往の浸水実績地域の地表面勾配を目安に設定）」の条件を満たすメッシュのみ抽出し、表-9の危険度レベル設定をもとに浸水危険度マップ案を作成した。

浸水危険度マップ案の一例を図-13に示す。浸水危険度マップ案における浸水危険箇所と、浸水実績地域とは概ね合致しており、本検討で設定した危険度指標は妥当であると判断できた。京阪神地域では、主に淀川沿いに発生する高強度の線状降水帯（「淀川チャンネル型降水現象」）が度々発生することが気象研究分野において報告されている。淀川流域（大阪）、宇治川流域、桂川流域において単位面積当たりの高強度の降雨発生頻度が大きい検討結果とも合致している。

なお、集水面積（降雨継続時間）と浸水被害発生時の降雨強度の関係から、任意の降雨強度・降雨継続時間が発生した場合、浸水被害が発生する可能性のある箇所を表示した浸水危険箇所マップの作成も行っている。

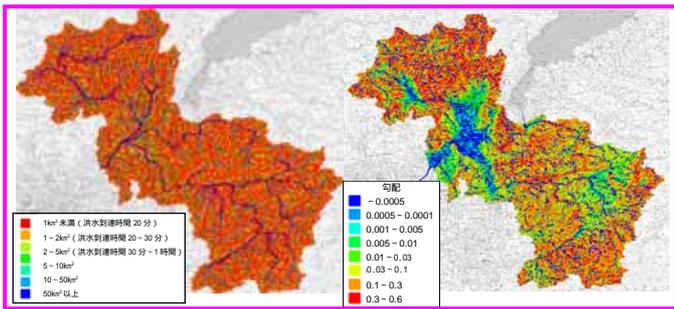


図-12 集水面積、地表面勾配の分布図例

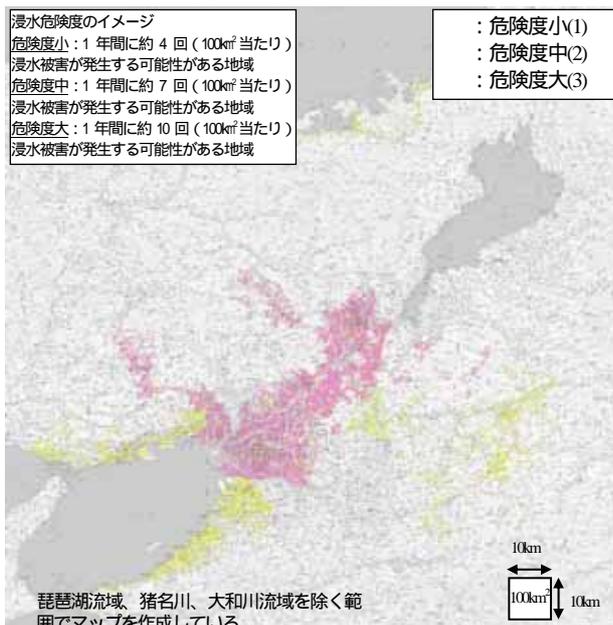


図-13 浸水危険度マップ案の一例

6. まとめ

- (1) DAD 解析の結果、検討対象地域の最大可能雨量は160~260mm/hr程度（集中豪雨時：降雨継続時間30分、流域面積2×2km）となった。最大可能雨量を地域毎にみると、宇治川流域、琵琶湖流域では大きく、表六甲地域、舞鶴地域では小さい結果となった。
- (2) 降雨継続時間毎に任意の降雨強度が発生する頻度を地域毎に整理した結果、例えば、浸水被害が発生する降雨強度40mm/hr（降雨継続時間30分）の頻度は淀川流域（大阪）、宇治川流域で多い結果となった。
- (3) 既往の浸水実績地域において浸水被害と降雨強度と降雨継続時間の関係を整理した結果、一定の関係が得られた。そこから地域毎の降雨強度を評価指標とする危険度を設定した。
- (4) 集水面積と被害発生時の降雨強度との関係式を作成・適用し、地域毎の危険度評価指標と集水面積から浸水危険度マップ案を作成した。結果、淀川流域（大阪）、宇治川流域、桂川流域で危険性が高く、危険性の高い箇所を把握できた。

7. 今後の課題

- (1) Cバンドレーダ雨量の降雨強度の最大値が256mm/hrで頭打ちとなっていることは、中小河川では実際の降雨状況を過小に評価している可能性がある。このため、深山レーダ雨量計データ（地上雨量とのキャリブレーション前）等の降雨強度の最大値を確認する。
- (2) 1kmメッシュ単位の降雨発生頻度から頻度等高線を作成することにより、「淀川チャンネル型降雨現象」を立証する。
- (3) 近畿圏内の最大可能雨量を評価するにあたり、今回の検討対象範囲外の猪名川、大和川流域等で、今回算出した最大雨量以上の強度の雨量が発生している可能性があるため、猪名川流域、大和川流域等を対象に降雨強度毎の発生頻度の特性等を検討する。
- (4) 今後、XバンドMPレーダ雨量データ及び局地的集中豪雨による水災害の事例を蓄積し、DAD解析を実施する。
- (5) 本検討では危険度評価指標を地域毎に設定しており、低平地部では明確な地形特性の区分がない。今後、メッシュ単位で降雨強度の発生頻度、発生場所を整理し、危険度の不連続の有無を確認する。
- (6) 今後、水災害の事例を蓄積するとともに、猪名川流域、大和川流域等の既往検討対象流域以外の流域における既往浸水地域を対象として、検討した危険度評価指標の妥当性を検証する。

複数の計測技術を用いた 高精細三次元地形図データ取得事例

山田 勝輝

近畿地方整備局 奈良国道事務所 調査課 (〒630-8115奈良県奈良市大宮町3-5-11)

事業化区間において詳細な設計を実施していくには、高精度且つ詳細な測量成果が必要となる。測量調査における成果は、事業進捗において重要な基礎資料であり、より正確なデータを得ることで作業の手戻りや現地との差異が減少することに繋がる。しかしながら、現地の様々な地理的要因により、高精度且つ詳細な地形・地物の取得が困難な事例も見受けられる。

本事例では、樹木が生い茂り視通確保が困難である地理的要因に対し、高精度且つ詳細な測量成果を得るために、複数の計測技術で取得したデータを融合することにより高精細な三次元地形図データを作成した事例を紹介する。

キーワード 調査, 設計, 情報技術

1. はじめに

本事例は2011年度より事業化された大阪府奈良県間に位置する香芝柏原改良事業において、道路予備設計を実施していくため地形図作成を行ったものである。



図1：香芝柏原改良事業概要図

香芝市は、大阪市から直線距離で約25kmといった地理的要因や大阪近郊のベッドタウンとして住宅地開発さ

れ、近年著しい人口増加の傾向を示している。また、同市における自動車保有台数は1989年からの20年間で約2倍に増加しており、香芝市周辺地域における自動車交通の潜在需要は年を追うごとに高まってきている。

このような中、大阪府柏原市から奈良県香芝市に位置する本事業は、府県間を繋ぐ国道165号を現状の2車線から4車線に改良することで、国道165号および大和高田バイパスそして奈良県を東西に横断する主要幹線である中和幹線との3路線から集中する交通を円滑に処理するとともに、西名阪自動車道へのアクセス性を高め、さらには地域間の交流促進を図るものとして2011年4月に香芝柏原改良事業として事業化されたものである。

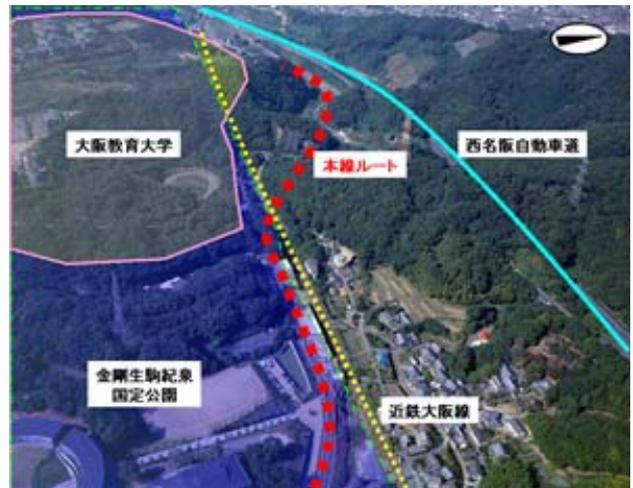


図2：計画ルート周辺状況

当該路線は、府県間における山地部を通過する道路で

あり、ルート周辺には住宅地・国定公園を含む未開発の森林を併せ持つ地域となっている。また、計画道路に近接・併走して鉄道施設・一級河川・西名阪自動車道の連結施設が存在しており、多岐にわたる各施設管理者との調整が生じる。

このような中、現況地形・地物を計測する上の課題として、計画道路の中心線とほぼ同位置に走る現道の国道165号は、その多くの部分が歩道未設置部分であり、見通しの悪い線形に加えて絶え間のない自動車の往来がある（写真1）。また、樹木が生い茂り、上空からでは地形・地物が判別できない箇所が点在していること、さらには鉄道・河川との重層的な構造も考慮する必要があり、正確な地形の反映と空間情報を把握するための標高データ取得が必要となったものである。



写真1：国道165号の交通状況写真

2. 留意点と課題

今回必要となる香芝柏原改良事業における地理・地形的条件で測量作業を実施していくための留意点と課題について下記に述べる。

（1）手戻りのない測量地形図成果の作成

予備設計時点にて今回取得する地形図は、設計から詳細設計・用地取得・工事用図面に至るまで利用される。

工事や用地取得にあたり、現地との不整合が発生すれば工程への影響や用地の追加買収など、事業進捗に少なからず悪影響をもたらすこともある。

このため、予備設計段階において詳細な地形データを入手することでその後工程への負担を軽減する必要がある。

また、近接して、交差・並走する各施設について、精度の高い構造検討を効率よく実施するために、計画道路の上下立体的空間における情報を把握し、鉄道と交差する橋梁や立体横断施設などとの近接構造について設計に

反映する必要がある。

（2）交通量が多い路線上での測量作業

香芝市域における府県間の主要な道路である国道165号は絶え間のない自動車交通があり、加えて見通しが悪く作業スペースが限られた現道であるため、現道上での地形・地物取得に関しては走行中の自動車との接触事故の危険性に関してリスクが高く、作業上の安全確保を行った上での情報取得が課題である。

3. 当該事例での対応方針

（1）地形図を取得するための測量技術について

地形図を作成するにあたり、代表的な技術としては、下記の技術が挙げられる。

1) 空中写真測量（図3）

空中写真測量は、航空機等から撮影された空中写真を用いて、写真上に写された土地の形状及び地物等を計測し、数値地形データファイルを作成する作業である。

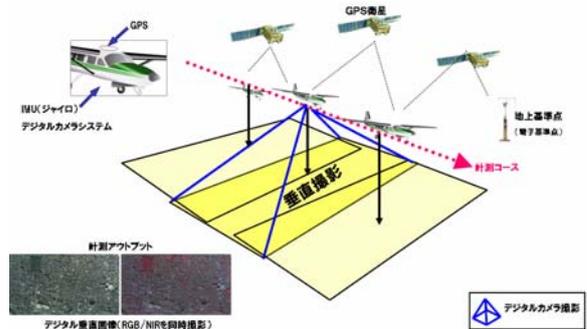


図3：空中写真測量イメージ

2) 航空レーザ測量（図4）

航空レーザ測量とは、航空機に搭載されたGPS、IMU、レーザ測距儀により、調査地点の標高を航空機から発するレーザ光によりスキャンし、航空機および地上に設置されるGPS基地局によってレーザ光反射位置の標高を解析するものである。

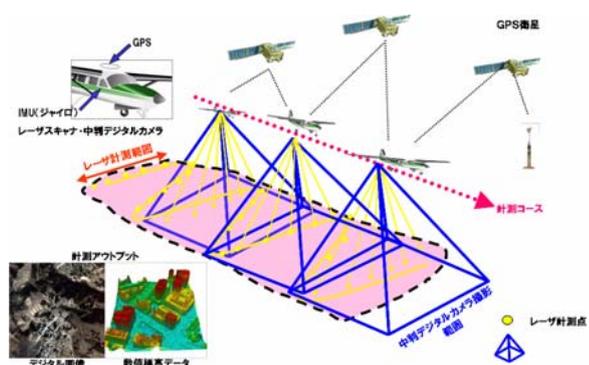


図4：航空レーザ測量イメージ

3) 移動体計測 (図5)

移動体計測とは、車載したレーザ測距儀により、車両周辺の標高データをスキャンしつつ、全方位画像カメラにより周辺地物状況を撮影することでGPSの位置情報と連携して地形標高・地物を計測するものである。

車両の通行が可能な箇所においては天候に大きく左右されないため、現道付近において小規模範囲でのデータ取得が容易である。

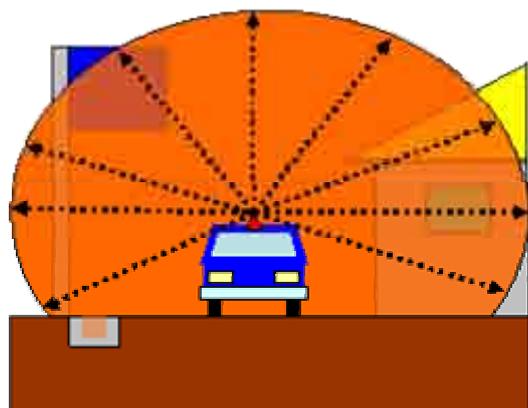


図5：移動体計測イメージ

4) 人手による現地実測

本手法は人手により現地を確認しつつ計測を行うことから、信頼性は最も高い。しかしながら、広い範囲では大きな労力・期間を必要とする。

今回では、精度管理において確認するために現地での測量を部分的に実施することとした。(写真2)



写真2：道路敷での測量作業状況写真

(2) 課題への対応方針

当該業務においては、これらの技術の特徴について整理し、それぞれの長所を考慮した複合的な測量手法により、地形図データを取得するものとした。

表1にそれぞれの測量手法についての特徴について整理する。

表1：今回採用を検討する測量手法の特徴

手法名	計測仕様(今回採用)	メリット	デメリット
航空写真測量	製品名:DMCカメラ 撮影縮尺:1/6000 撮影幅:縦996m×横550m 地上解像度:7.2cm/pixel	広範囲で面的な地物取得に向いている。 視覚情報に優れている。 均一な精度を担保。	陰影部(写って無い箇所)の地物取得は困難。
レーザ計測	製品名:ALS70 Phase II 取得パルス:150,000 取得密度:縦0.5m~2.0m	広範囲で面的な地形形状取得に向いている。 計測密度を上げることにより、山地部などの標高取得精度の向上が可能	エッジ部分の抽出が困難 精度が点密度に依存される
移動体計測	製品名:LMS291-S14 距離測定範囲:最大80m 取得密度:0.16m (60km走行時)	沿道部の視覚情報に優れている。 沿道部からの地物取得に向いている。	車両から離れている地物の精度担保が困難

広い範囲で上空からの遮蔽物(樹木等)の少ない、住宅地や平地には航空写真及び航空レーザ測量は有効な方策である。

しかし、上空からの遮蔽物が多い地域では、現道付近の地物や構造物を確実に反映するためには現道上から放射状に点群データを取得可能な三次元移動体計測による計測の方が有利となる。

また、地物の把握については、空中写真測量による読み取りが一般的だが、遮蔽物等が存在する箇所では適用不可である。

このことから、今回事例においては上空からの航空レーザ計測に加え、重要構造物などの地物が多く、事業による地形改變箇所が特に多いと予測される現道上においては移動体計測によるデータ取得を採用し、これらの複数の手法による計測結果にて互いの計測データを補完することとした(図6-1、図6-2)。

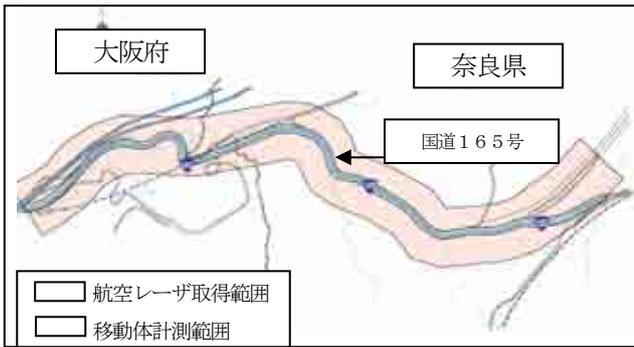


図6-1：各測量手法のデータ取得範囲

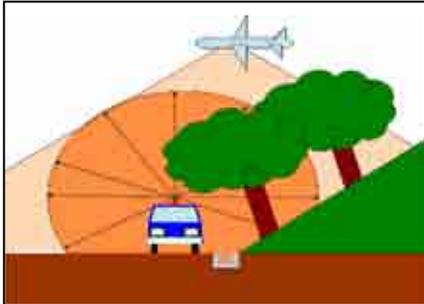


図6-2：計測イメージ

これらの計測により得られた情報は、路線周辺に設置された1級・3級基準点と航空レーザ計測時にあらかじめ設置した調整点などを利用して調整計算を実施して補正を行った。その後、樹木や構造物の高さを除去するため各データのフィルタリング作業を実施し、標高データの整合を行った。

4. 結果

これにより、上空・地上双方から複数の角度にてデータを取得することが可能となり双方の技術の長所を活用し、かつ短所を補完しあうことで高精度かつ高精細な標高データの取得が可能となった。

(1) 相互補完による点群データ取得

図7に示すような航空レーザの取得が困難な箇所においても路面側からのデータ取得が可能となり、地形データをより精細に取得するために必要な標高点群データが得られた。(図8)

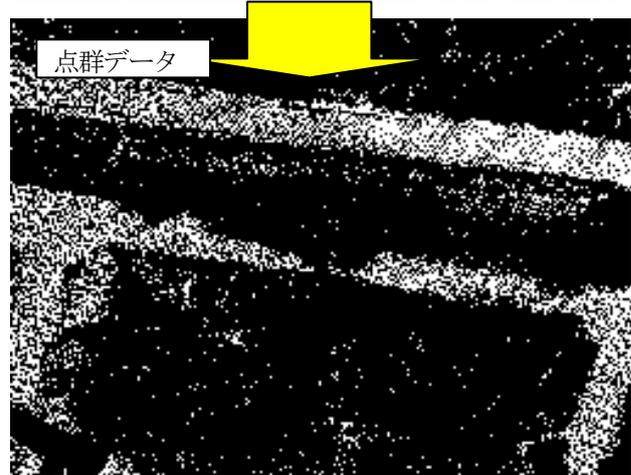


図7：レーザ計測の点密度が低下する箇所の事例

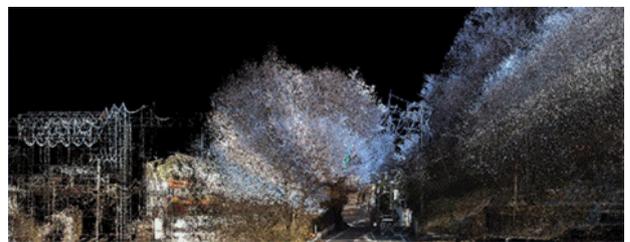


図8：地上からのデータ取得（点群データ）

(2) レーザーデータによる高精細地形図

レーザーデータで取得したデータは従来の空中写真測量の図面に比較して、細部まで等高線が表現されている(図9)。これにより、現地地形との設計図の差異による作業手戻りの減少を図ることが可能となった。

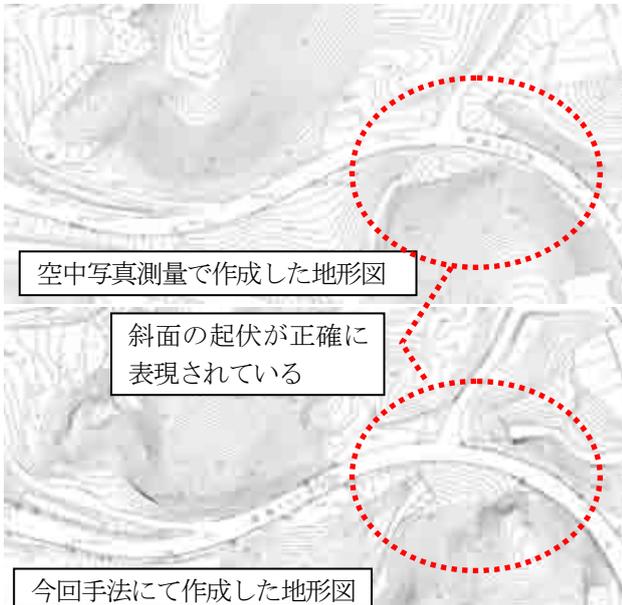


図9：空中写真測量図と今回作成図面との比較

(3) 全方位カメラによる地物情報の取得

移動体計測の全方位カメラ画像(写真3)の取得により、現道上の地物についても室内による画像データにより解析することが可能となり、安全で確実な情報を反映することができた。

また、実測による交通量の多い現道箇所において現地作業が軽減されたことにより、事故へのリスクを低減することが可能となった。



前方カメラ画像



写真3：全方位カメラ画像と前方カメラ画像

(4) 三次元空間情報データの取得

レーザー点群による座標データを取得したことにより三次元空間情報が取得できたことから必要な任意の視点から計画路線周辺の地形状況を把握することが可能(図10)となり、併走・交差する鉄道との協議や構造検討資料として有効活用が可能となる。

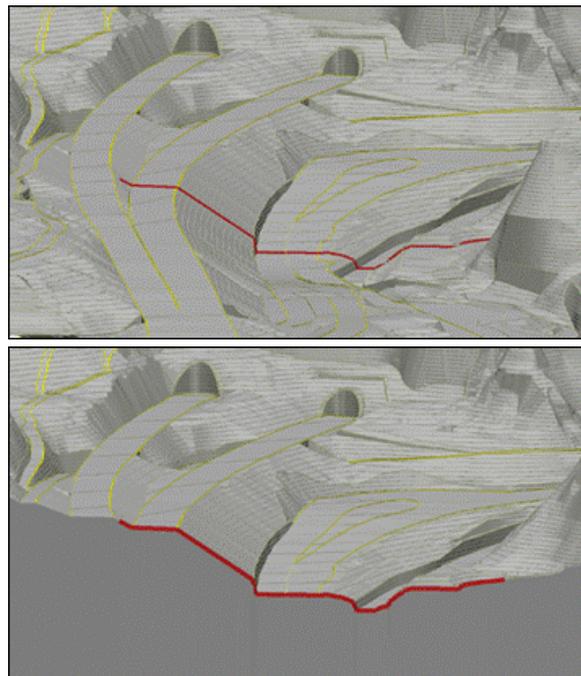


図10：任意断面にて横断面の取得が可能

(5) 点群データによる多様な表現が可能

これらのデータを用いることで多様な視点からの表示が可能(図11)となり、景観・既存構造物の形状についてもわかりやすく表示することができる。また、通常地形図では表現されない送電線等が、三次元空間内で表示できるため、設計検討の際には周辺状況の把握に有効

なデータとなる。

これらの取得した空間情報を用いれば関係者間において有益な情報共有が可能となる。



図1 1 : 点群データ (鳥瞰視点を着色加工したもの)

5. 標高データ精度の確認

上記作業において得られたデータについて標高精度の検証を行った。検証にあたり、真値となる検証用データを取得する必要があった。そこで、実測作業により横断測量を実施し横断データを作成した。取得した横断データは、公共測量作業規程に準じた精度管理（公共測量作業規程362条）を実施し、中心杭と末端見通杭の距離及び標高の測定値と点検測量値の較差が3~5cmであったため、検証用データとして十分に使用できると判断した。

横断データとの比較検証の結果、課題事項の一つである樹木が生い茂っている箇所の高データ取得について、三次元移動体計測を用いることにより、標高差1~10cmの精度確保が確認できた（図1 2）。

この精度は、公共測量作業規程に記載される地図情報レベル500の精度（表2）を十分に満たしたものであり、今回実施した測量手法の精度は詳細設計にも耐えるものである事が確認された。

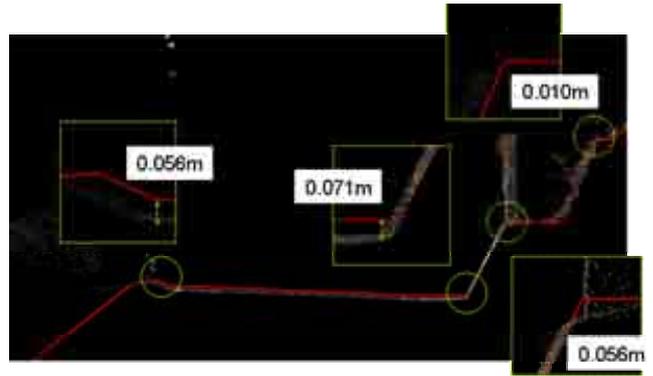


図1 2 : 実測横断による標高データ検証

表2 : 公共測量作業規程による地図精度要求

地図情報レベル	水平位置の許容誤差	標高の許容誤差
500	0.15m以内	0.2m以内
1000	0.3m以内	0.3m以内
2500	0.75m以内	0.5m以内
5000	1.5m以内	1.0m以内
10000	3.0m以内	1.5m以内

6. おわりに

本事例では、3つの計測技術を用いることにより高精細な三次元地形図データを取得する事ができた。

これらの三次元地形図データを用いることにより、道路設計を行う際には平面的ではなく空間的な検討が可能となる。

また、高精細な標高データが取得・反映されていることから、後続作業である詳細設計時の追加的な現地測量の低減が見込まれる。

さらに得られた標高点群データを利用すれば、鳥瞰表示など、任意の視点での完成予想図（パース）作成が容易に行えるなどの利点がある。（図1 3）

本技術の将来展望として、本作業で得られたデータはその利用方法によっては、「道路防災面の対策検討」や「排水システムのモデル化」「環境のシミュレーション（大気・騒音分布モデル）や走行シミュレーション」等の幅広い利用用途の可能性が考えられる。

このような可能性について、より一層この三次元地形図データの活用方法を模索して行く事が重要と考える。



図1 3：空間情報データへ写真情報を追加した例

しかし、今回採用した現道上からの移動体計測機器については、現在公共測量作業規程に無い新技術であるため、機器の仕様について統一されていない。普及に伴い標準的なマニュアルが整備されることで、標準仕様が確立されれば、さらなる普及・活用範囲の拡大が期待される。

また、近年では陰影部においても、従来の航空レーザ測量よりも高精度なデータ取得が可能な技術などが開発されてきており、我々発注者にとっては事業の後工程のためにも、良好な基礎資料を確保していくうえでさまざまな選択肢が生まれてきていると言える。

発注者側としても、より良好な品質成果を得るためには、日々技術革新されるこれらの技術情報について常に

情報収集が必要不可欠である。

本事例は測量技術における高精度な3次元空間情報取得への課題に対応した1事例であり、本事例が他事案への先進的な参考事例としてさらなる技術発展に寄与できれば幸いである。

謝辞：本論文の作成に際し、資料提供にご協力いただいた国際航業株式会社をはじめ、作業に協力していただいた関係者の皆様へ、ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1)国土交通省公共測量作業規程（社団法人日本測量協会）
- 2)香芝柏原改良測量業務報告書（近畿地方整備局奈良国道事務所）
- 3) モバイルマッピングシステムを用いた計測手法の精度検証 国際航業株式会社
平成22年度秋季学術講演会発表論文集、日本写真測量学会（2010.10）、p23～p26
- 4) 図解 航空レーザ計測（財団法人 日本測量調査技術協会）

スピードアップとコスト縮減を目指した楔式 割岩機械掘削装置及び工法特許について

神島 昭男¹

¹株式会社 神島組 代表取締役 (〒662-0832 兵庫県西宮市甲風園3-9-5)

従来より岩盤掘削工事においては、その施工箇所や掘削条件等により施工方法が選定され、主な岩盤掘削工法として発破工法と無発破工法に大別される。無発破工法の中には「割岩」「削岩」「岩溶」等様々な工法があるが、大型ブレーカ等による衝撃破砕が一般的に活用されている。しかし、大型ブレーカ等による衝撃破砕は、振動・騒音等 周辺環境に与える影響等多くの課題があった。その課題を克服する為、静的破砕工法として楔式機械掘削や薬液破砕等が開発されたが「コストと破砕量(m³/日)」に課題があった。そこで、その課題を克服する為に「楔式割岩機械掘削装置及び工法」を開発した。

キーワード：新工法・新技術， スピードアップ， コスト縮減， 周辺環境

1. はじめに

現在の岩盤掘削工事においては、岩盤掘削の施工箇所や掘削条件等により岩盤掘削の施工方法が選定される。岩盤破砕は発破と無発破工法に大別され、その中でも火薬による発破工法はコストが安価であるが使用範囲が限定されている上に周辺環境に与える影響が懸念される。無発破工法の中には「割岩」「削岩」「岩溶」等様々な工法があるが大型ブレーカ等による衝撃破砕が一般的に活用されている。しかし、大型ブレーカ等による衝撃破砕は、振動・騒音等 周辺環境に与える影響が大きく課題があった。その為、静的破砕工法として膨張剤や楔式機械掘削工法が開発されている。しかし両工法とも、大型ブレーカ掘削に比べコストが大幅に割高となり、特に薬液による膨張剤破砕は河川へ流出等の懸念も有し、岩盤掘削は、苦情処理や公害・コスト面で発注者にかかる負担が大きくなっていた。こうした背景を受け、楔式割岩機械掘削の研究開発を行い、周辺環境に配慮し且つ「コスト縮減と破砕量」に的を絞って、従来の岩盤掘削に対する課題を克服するために大型ブレーカを用いた楔式割岩機械掘削装置及び工法を開発した。

本工法は岩盤、転石の割岩を超低騒音仕様油圧ブレーカ(NETIS登録済)に弊社開発の特殊楔型チゼルを装着した0.45m³~1.9m³級(山積)バックホウを用いて、防音型クローラドリル(静マル君,NETIS登録済)により先行削孔(102~115)した孔に挿入し、大型ブレーカの油圧を作用し縦方向のブレーカの応力を横方向に転換し押し広げて岩盤を破砕する。その際に割岩する方向を定めることができる仕様となっている。(図-1)

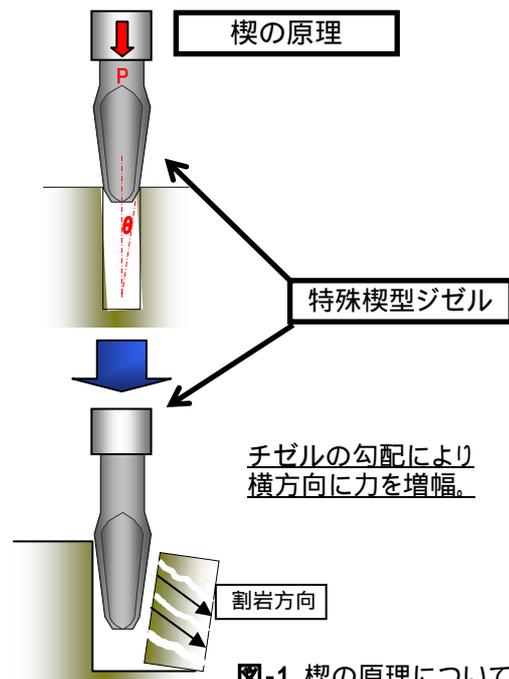
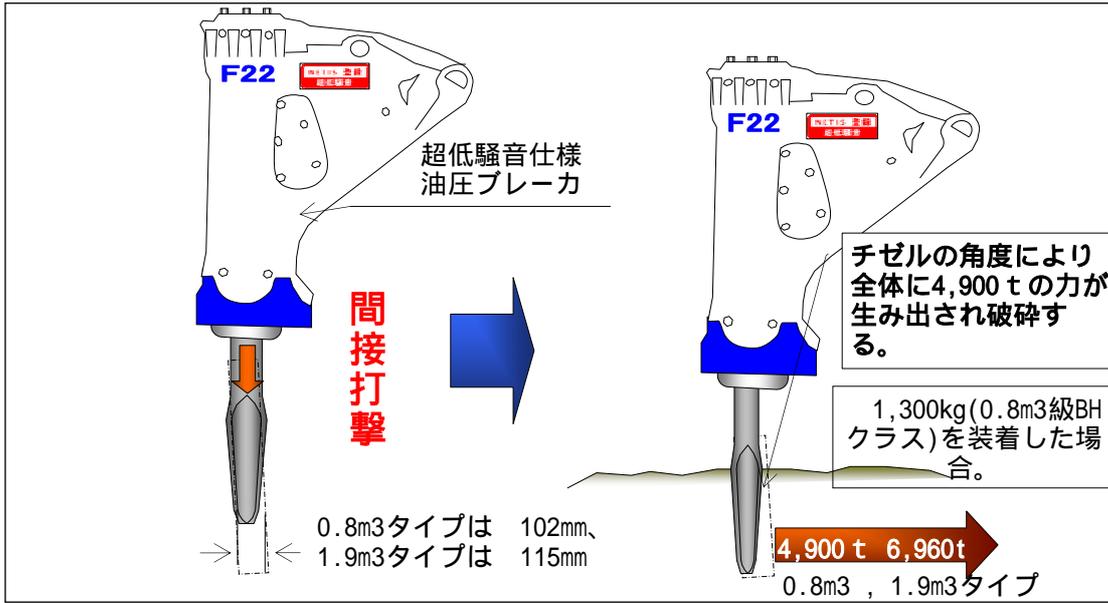
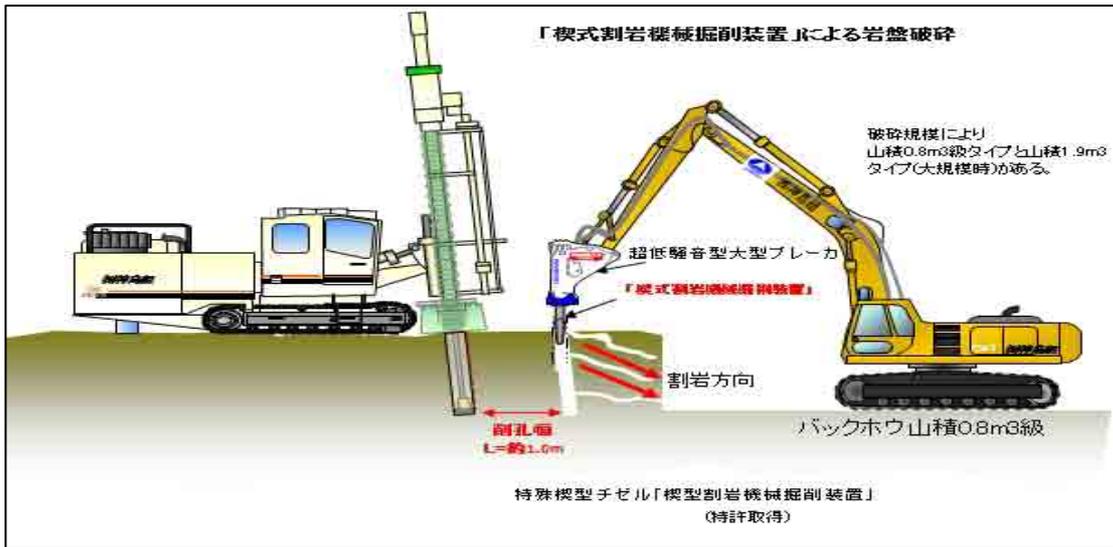


図-1 楔の原理について

2. 概要



(図-2 楔の原理及び破碎状況について)



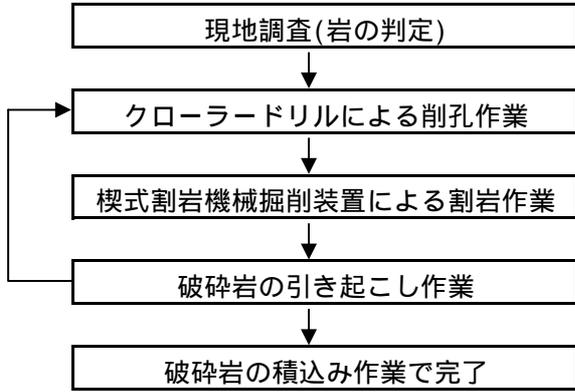
(図-3 楔式割岩機械掘削装置による岩盤掘削)

騒音測定結果							騒音規制85dB以下 振動規制75dB以下					
仕様	破砕時				削岩時		クレーンによる削孔					
	従来型ブレーカ		超低騒音ブレーカ SS-BOX NETIS(TH-090018-A)		から新り君装着SS-BOX NETIS番号KK-100078-A 特許番号4836294号		標準		静マル君 NETIS(KK-080021-A) 特許番号4181118号		スーパー静マル君 特許番号4505571号	
	騒音	振動	騒音	振動	騒音	振動	騒音	振動	騒音	振動	騒音	振動
距離												
10m	106.5	79.0	88.9	79.0	81.0	58.0	104.0	30.0	80.0	30.0	77.0	30.0
20m	100.0	74.0	82.0	74.0	73.0	44.0	94.0	29.0	77.0	29.0	72.0	29.0

(表-1 施工時における騒音振動測定結果)

(1)用途

- 破砕量の確保及び周辺環境に配慮を要する工事
- 道路の新設・拡幅工事に伴う岩盤掘削
- 河川工事に伴う岩盤掘削
- 宅地造成工事等に伴う岩盤掘削
- コンクリート(無筋,有筋共)構造物等の破砕
- 立坑掘削に伴う岩盤掘削



(図-4 施工フロー)

(2)特徴

楔式割岩機械装置で岩盤掘削を施工すると破砕後の岩の大きさは概ね50cm~80cm程度となりバックホウで引き起こし作業を行い掘削完了とする。楔式割岩工法で割岩力は4900ト発揮でき、間接的打撃工法である為、振動・騒音数値も機械から10mで規制値をクリアし公害を低減した。(写真-3 測定状況及び表-1に測定結果を示す。)

従来の大型ブレーカの破砕力は245トン(0.8m3級バックホウの場合)で岩盤に対し直接的圧縮力破壊で割岩する為、連続した金属音による公害が発生していた。しかし、反面大型ブレーカは直接打撃を行うために施工性には優れていた。そこでその施工性に着目し超低騒音仕様油圧ブレーカに開発した特殊楔型チゼルを装着して施工することで高効率な割岩を実現出来た。(表-2に日当たり施工量を示す。)

ベンチカット掘削による作業能力

岩質	破砕能力(m3/1日当り)
軟岩	250
中硬岩	181
硬岩	161

(現場条件により破砕能力は変動します。)

(表-2 日当たり施工量 m3/日)

(3)施工事例

a)岩の判定

ロックシュミットハンマー及び地山弾性波速度試験機を用いて岩の判定を行う(写真-1)

下記に写真をもとに施工事例を示します。



(写真-1 岩判定)

b)削孔作業

防音型クローラードリル(静マル君,NETIS登録済)で削孔する(102mm又は115mm)。削孔のピッチは岩判定の結果に基づき決定し削孔する。



(写真-2 施工時の削孔状況)



(写真-3 施工時の振動・騒音測定状況10m地点)

c) 割岩作業

楔式割岩機械掘削装置を用いて割岩作業を施工する。割岩作業は自由面側より順次施工する。



(写真-3 割岩状況)

d) 引き起こし作業

バックホウ及びリッパ付バックホウを使用し引き起こし作業を施工する。



(写真-5 引き起こし状況)



(写真-6 特殊楔式チゼルのユニット破碎工法)

3. 結論

本工法で施工の結果、本技術の特性が十分に発揮され、近隣からの振動・騒音等の苦情はなく効率よくスピーディな割岩が行えた。それは割岩工法の仕組みと工夫による成果である。岩盤破碎を超低騒音の大型ブレードに弊社開発の特殊楔型チゼルを装着し、先行削孔した孔に挿入、打撃の力を横方向に転換し押し広げて間接打撃破碎を行う楔式の割岩工法である。その為 大きな破碎力を発揮し、公害(振動・騒音等)の低減も実現し、更に大型ブレードの在来工法としての汎用性、施工性をそのまま活用することでスピーディな施工となり日当たり施工量を大幅に向上することができ、楔式割岩機械掘削工法のコスト縮減も実現した。結論として大型ブレードの使用制限のある施工箇所や周辺環境に配慮の必要がある現場または日当たり施工量を求められる現場、大型ブレードで割れない岩盤の割岩等において「コスト縮減・スピードアップ(施工性)・環境」の観点から有効的な工法である。

4. 今後の課題

静的岩盤掘削工法に特化し、楔式割岩機械掘削工法の研究に取り組んできたが、今回の大型ブレードを用いた楔式割岩機械掘削装置及び工法の特許開発は、岩盤掘削に対する様々な課題(コスト削減・スピードアップ(施工性)・環境)等を最大限解決できた。施工上の大きな研究の成果はクロードリルの削孔のサイズを(152)から(102-115)に小さくしたことで、削孔スピードの向上とクロードリル機械本体への負担の減少が大きな収穫であった。

今後は特殊楔型チゼルの径の縮小に対する割岩効果とのバランスを勘案しながら更なるコスト縮減とサイクルタイムの向上を目指したい。又、開発した特殊楔型チゼルを複数本用いた「ユニット破碎工法」の確立と特殊楔型チゼルを用いた法面整形工法を研究課題とする。

「県内建設業界の競争力強化事業」における 新技術開発支援

上山 孝誠¹

¹和歌山県 日高振興局建設部 切目川ダム建設事務所 (〒649-1522 和歌山県日高郡印南町古井 520-1)

和歌山県では、2010 年度(平成 22 年度)から「県内建設業界の競争力強化事業」を立ち上げ、「競争力強化」と「技術力向上」を目的とした取り組みを行っている。

「新技術開発支援」は、「競争力強化」における主な取り組みの1つである。これは、県内建設企業が取り組む新技術開発において必要とする支援を行うことで、NETIS 登録等を促進し、情報を全国発信することで、県内外問わず、事業展開を目指すものである。

キーワード 新技術, 開発支援, コスト縮減, 環境保全

1. はじめに

和歌山県における建設業は、地域の雇用や経済を支える基幹産業である。そのため、「県内企業で施工可能な工事は、県内企業へ発注すること」を原則としている。しかしながら、トンネル工事や下水道工事のシールド工などの特殊な工事については、下請けも含め、県外企業が施工しているのが実情である。一方、建設投資は全国的に減少傾向であり、今後、

建設業を取り巻く環境は、一層厳しくなることが予想され、県内建設業における競争力強化が急務である。

このため、県では、2010 年度(平成 22 年度)から「県内建設業界の競争力強化」事業を立ち上げ、「県内企業が県外企業と対等に競争できる施工能力・技術力の強化(競争力強化)」と「県内企業全体の底上げ(技術力向上)」を目的とした取り組みを行っている。(図-1)

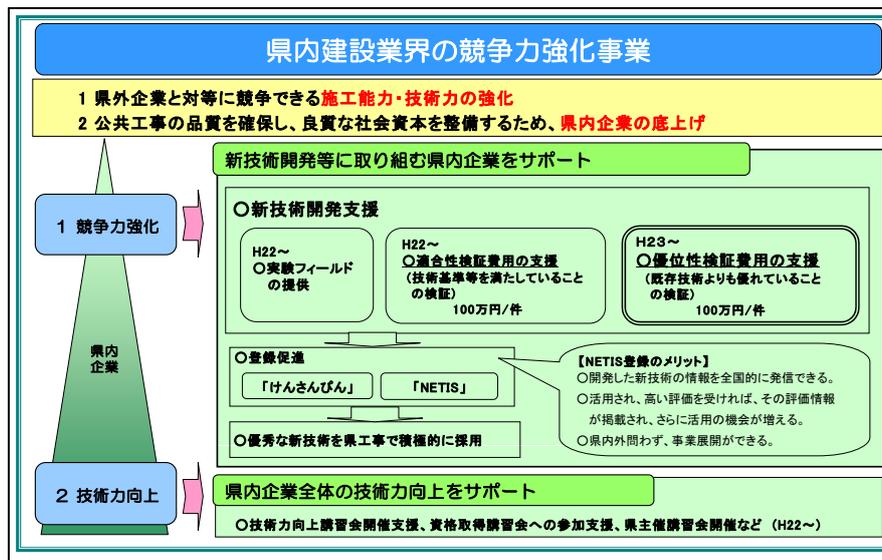


図-1 「県内建設業界の競争力強化事業」の概要

2. 和歌山県建設技術会議

事業実施にあたり、県と業界団体、学識経験者、国土交通省で構成する「和歌山県建設技術会議」を設置し、県内建設業界の現状と課題を踏まえた新たな事業展開や新技術開発の方向性について審議している。

なお、建設技術会議において出された、新技術開発に対する主な意見は、次のとおりである。

- ・「維持管理」「木材利用」「情報化施工」の方面からの取り組みが重要。
- ・大企業と違う技術を開発することが必要であり、「隙間」で戦わないとダメ。
- ・NETIS に登録し、活用され、優秀な評価を受ければ活用に効果あり。
- ・アイデア次第で需要とマッチングすれば、企業も元気になる。
- ・企業の技術開発の実現には、行政の支援も必要。



写真-1 競争力強化セミナーの状況

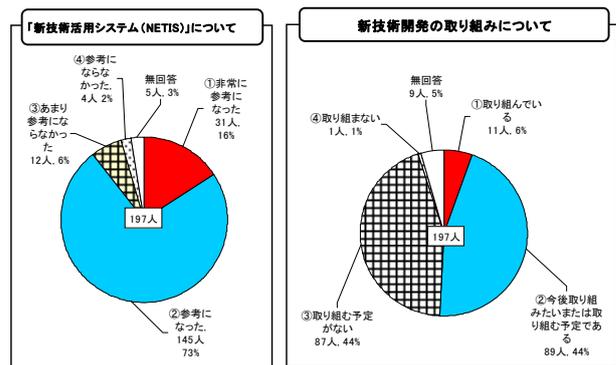


図-2 セミナーにおけるアンケート調査結果

3. 競争力強化セミナー

2010年8月時点において、県内建設企業が関連するNETIS登録件数は27件であり、これは、全登録件数3,768件の0.7%である。更に、県外の建設企業等と共同開発でない県内建設企業独自の技術となると11件(0.3%)となり、NETIS登録が進んでいない状況である。

一方、事前に行った、新技術開発に取り組む意欲のある県内建設企業に対するヒアリングでは、技術開発の成功事例などについての情報提供を求める意見が出た。

このため、「新技術情報活用システム(NETIS)」や「国土交通省における建設業支援策」、「新たな事業展開事例」等をテーマとした競争力強化セミナーを開催し、新技術開発に関する情報提供を行っている。(写真-1)

なお、2010年度に開催したセミナー後のアンケート調査では、参加者の約89%がNETISに関する講演内容について「非常に参考になった」「参考になった」と回答している。また、新技術開発への取り組みについては、約50%が「取り組んでいる」「取り組みたいまたは取り組み予定」と回答しており、半数が新技術開発に積極的な考えである。(図-2)

4. 新技術開発支援

(1) 支援の内容

支援希望の募集後、支援候補とする新技術開発の選定については、学識者経験者等の第三者で組織する「新技術開発選定委員会」において行っており、選定委員会の審査を経て、支援候補となった新技術開発に対しては、その開発段階に応じi)～iii)の支援を実施することとしている。

i) アイデア段階

課題や問題点に対し、専門家の紹介や必要とする情報提供を行う。

ii) 試験施工段階

[実験フィールド提供支援]

試験施工を必要とする新技術開発について、県の施設等で適した場所がある場合、必要最小限の範囲内で試験的に工事を実施するフィールドを提供する。

なお、実施費用については開発者負担とし、事前に第三者機関による部材強度試験や安定計算等、安全性を証明する資料を十分確認したうえで実施する。

iii) 評価段階

【効果検証費用支援】

技術基準等への適合性やその活用効果の検証を行うため、第三者の試験機関等へ委託する試験、調査、分析等の費用の一部を補助する。

なお、検証の区分として、技術基準等を満たしていることを検証する「適合性検証」と、既存技術との比較により優位性を検証する「優位性検証」を設けている。

特に、「優位性検証」については、開発された新技術が活用されるためには「適合性」はもとより、「優位性(既存技術と比べて優れていること)」を証明し、PRすることが重要であることから、2011年度(平成23年度)から新たに追加したものである。(図-3)

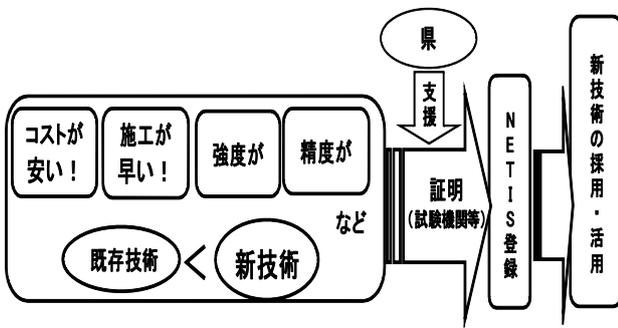


図-3 優位性検証費用支援

(2) 支援候補

現在、次の6つの新技術開発を支援候補として選定している。(図-4)

① 法面勾配指示器

機械法面仕上工において運転者が常に勾配を目視できる技術

② 間伐材二重井桁枠工

間伐材を定型部材の組み合わせによりユニット化し、土留や低水護岸などに活用する技術
二重に組み合わせることで、現地の曲線区間にも対応が可能

③ 「紀州産間伐材」を利用した建築物の基礎地盤補強工

「紀州産間伐材」を地中に打設し地盤補強を行う技術

④ コケ吹付け緑化工法

既存のモルタル吹付法面などにコケを定着させ、緑化する技術

⑤ 間伐エコウォール

間伐材を活用し、補強土壁を構築する技術

⑥ ウッド筋+鉄筋挿入工法(強化版)

斜面の表層崩壊を抑える鉄筋挿入工の頭部をワイヤーロープでネット状に連結し、斜面安定効果を高める技術



図-4 支援候補の概要

(3) 支援の実施状況

2012年3月末時点において、3つの新技術開発に対し、実験フィールド提供支援や効果検証費用支援を実施しており、技術的課題(検証項目)の抽出や、適合性、活用効果(優位性)の検証を進めている状況である。

i) 実験フィールド提供支援の実施例

県内の二級河川において「間伐材二重井桁枠工」を護床工として設置した。(写真-2)

今回提供した箇所は水中部であることから、間伐材の使用において懸念される耐久性(腐食)に対しては問題無いと考えている。また、事前に中詰材の粒径計算を実施したうえでフィールド提供を行っている。

なお、設置後においては、開発者が出水毎に損傷等の有無について状況調査を実施し、間伐材の組み合わせ等、課題の抽出に役立っている。

また、当技術については、今後、土留工への適用を希望しており、現在、適合性検証・優位性検証に向けた試験項目等の調査・検討を進めている。



写真-2 実験フィールド提供支援の状況 (2011.6)

ii) 効果検証費用支援の実施例

国土交通省発注の道路工事箇所において、「法面勾配指示器」による法面工(切土法面仕上げ)の効果検証を実施した。(写真-3)

適合性としては、法面勾配器使用による出来型を計測し、規定の精度を満足するかを検証している。また、優位性として、通常施工と法面勾配器使用の各々において作業時間を計測し、施工効率の向上について検証している。

今回の検証結果に限れば、規定の出来型精度を満足するとともに、通常施工に比べて、勾配確認のための補助作業員を必要とせず、作業時間については約40%短縮できることが確認された。(表-1)

なお、引き続き、より多くのデータを取得し、NETIS登録を進めていく予定である。

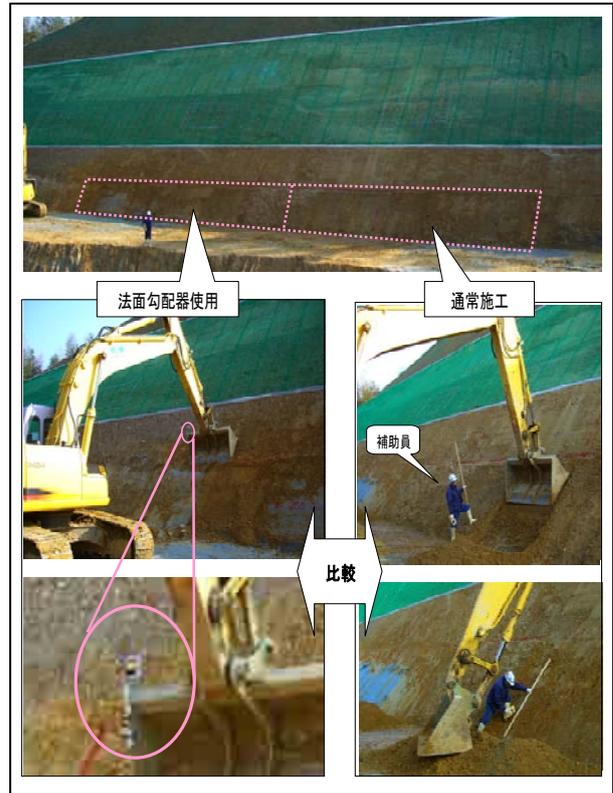


写真-3 効果検証費用支援の状況 (2011.11)

歩掛対比項目	通常施工	勾配器使用	差
世話役	0.6人	0.6人	±0
普通作業員	1.4人	0.0人	-1.4
バックホウ運転	4.0時間	2.4時間	-1.6

表-1 切土法面整形(100m²当たり)における通常施工との比較結果

(4) 支援の効果

先に紹介した効果検証支援実施後、独立行政法人土木研究所から「法面勾配指示器」開発企業あてに問い合わせが来ている。

その後、2012年4月に土木研究所において、また5月には奈良県の国土交通省発注の工事箇所において「法面勾配指示器」のデモンストレーションが行われている。その際、土木研究所から頂いた意見は、次のとおりである。

- ・情報化施工の一環として検討の余地はあると思います。
- ・施工時の補助者が不要なら重機の作業半径内での重機災害のリスクも軽減されるのではないのでしょうか。
- ・丁張り（継ぎ足し）不要なら、法面での転落災害のリスクも回避されるのではないのでしょうか。

「法面勾配指示器」は、未だNETIS登録されていない。しかしながら、県が実施した新技術開発支援そのものがPR効果を持ち、徐々にではあるが、その効果が発現されつつあると考えている。

5. 今後の課題

県内企業が開発した新技術がNETISに登録され、国の工事で活用され、高い評価を受ければ、その評

価情報が掲載され、さらに活用の機会が増えることで、県外への事業展開が可能となる。

しかしながら、現在、6つの新技術開発を支援候補として選定しているが、当初、私が想像していた以上に新技術開発には期間を要するということを実感している。

また、NETISには約4,000件もの技術がすでに登録されている。開発された新技術がNETIS登録後、それら技術の中でいかに実際の国等の工事での活用につなげることができるか、そのために、いかに有用な情報を掲載していくことができるかが今後の課題と考えている。

6. おわりに

和歌山県が実施している、建設企業に対する新技術開発支援は、全国的にも数少ない施策であり、特に、適合性や優位性検証にかかる費用支援は唯一である。

今後、1社でも多くの県内建設企業がこの支援を有効に活用し、県内外問わず、一層活躍されることを期待している。

なお、この内容は、私が2012年3月まで所属していた和歌山県県土整備部県土整備政策局技術調査課において所掌していたものである。

薄層改質アスファルト混合物の性能確認

三田村 文寛¹・小宮 正俊²

¹福井県雪対策・建設技術研究所 (〒918-8108福井県福井市春日3丁目303番)

²日本道路株式会社 関西支店 大阪試験所 (〒569-0045 大阪府高槻市西大樋町2-1)

表層の構造的な破損状態の回復を目的とした薄層舗装の開発に取り組んだ。7号碎石を最大粒径とし、Fullerの最大密度曲線を中心に骨材の2.36mmふるい目通過量を変化させ、4種類の骨材配合を定め、マーシャル安定度試験による配合設計で最適アスファルト量を求めた。アスファルト改質剤は架橋ポリエチレンの廃材から得られる再生パラフィンを用いた。4種類の骨材配合に改質剤の添加量を変化させ、数通りの配合で疲労破壊抵抗性及び塑性変形抵抗性を室内試験等で検討した。その結果、骨材配合C,Dと再生パラフィン添加率7%の配合で前述の性能を満足した。現道での施工で、平坦性及びすべり抵抗性を検討した結果、性能を満足した。

キーワード 舗装補修費縮減, 薄層改質アスファルト混合物, 性能確認, 配合設計方法

1. はじめに

道路管理延長の増加と公共事業費削減の中、アスファルト舗装の維持補修費についてもコスト縮減が求められている。表層が構造的な破損状態で、かつ路盤以下が健全な場合、オーバーレイ工による補修が多い。福井県管理の道路では、40～50mm厚のオーバーレイ工を行っている。しかし、舗装後の隣接地との出入りの関係上、既設舗装の切削工が必要な場合が多く、工事費の増加を招いている。そこで上述の半分(20～25mm)の舗装(以下では薄層舗装と称する)厚のオーバーレイ工を実現すれば、既設舗装の切削は不要になり、大幅なコスト縮減が実現すると考えられる。従前の薄層舗装はあくまでも表面処理の一種であり、舗装のひび割れ等の修繕や、すべり抵抗性の回復等に用いられている。著者らは構造的な破損状態にある表層を、従前の舗装材と同等に構造的に回復させる薄層舗装(以下では薄層改質アスファルト混合物と称する)の開発に取り組んだ。従前の骨材粒度の見直しと改質アスファルトによる薄層改質アスファルト混合物で、従前の舗装材と同等の性能を実現することが目的である。

本論では、1)粒度の検討、2)最適アスファルト量の決定、3)性能確認の手順で検討を進め、薄層改質アスファルト混合物の開発を行う。

2. 骨材粒度

薄層改質アスファルト混合物の厚さは、20～25mmであるので、最大粒径は7号碎石の4.75～5.0mmを採る。薄層

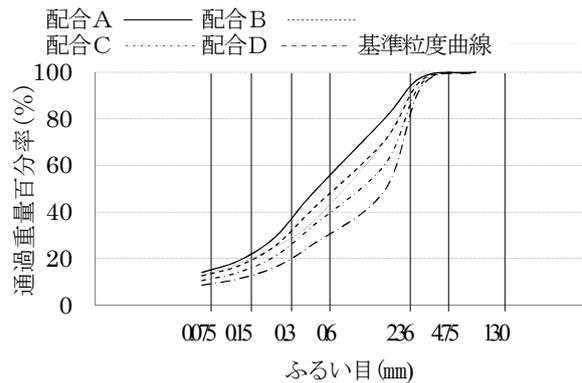


図-1 最大密度曲線と各骨材配合の粒度

表-1 骨材の配合比と合成粒度

骨材配合		配合 A	配合 B	配合 C	配合 D
骨材種別	7号碎石	20.0	32.0	45.0	59.0
	砕砂	54.0	45.5	36.0	26.0
	細砂	11.0	9.0	7.5	5.5
	石粉	15.0	13.5	11.5	9.5
合成粒度	13.0mm	100.0	100.0	100.0	100.0
	4.75mm	98.0	96.8	95.5	94.1
	2.36mm	80.3	70.8	60.5	49.4
	0.60mm	47.8	41.0	33.8	25.9
	0.30mm	29.3	25.5	21.1	16.4
	0.15mm	19.0	16.8	14.1	11.3
	0.075mm	14.0	12.5	10.5	8.6

改質アスファルト混合物で従前の舗装材と同等の疲労破壊抵抗性を発現するために、曲げ強度が最大になる骨材粒度を求める。密度が最大になる時に曲げ強度

が最大になると考えて、Fullerの最大密度説により、(1)式のFullerの最大密度曲線から基準粒度曲線を求めた(図-1参照)。

$$P=100\cdot(d/D)^{0.5}=100\cdot(d/4.75)^{0.5} \quad (1)$$

ここで、 P ：骨材の通過重量百分率(%), d ：ふるい目(mm), D ：最大粒径(mm)である。

アスファルト混合物は骨材をアスファルトで結合するので、骨材の密度が最大になってもアスファルト混合物の密度が最大になるとは限らないこと、及び疲労破壊抵抗性以外の性能も考慮しなければならないことから、性状に大きな影響を及ぼす2.36mm通過量を10%程度、基準粒度曲線を変化させて、骨材配合を検討し、表-1の通り4種類の骨材配合を選定した。各合成粒度を表-1、図-1に示す。

3. 最適アスファルト量

アスファルト混合物の最適アスファルト量は、一般的にマーシャル安定度試験の各物性値の基準を全て満足するアスファルト量の範囲の中央値を最適アスファルト量にする。しかし薄層改質アスファルト混合物におけるマーシャル安定度試験の各物性値の基準はないので、薄層改質アスファルト混合物の最適アスファルト量の求め方を検討し配合設計方法を確立する。従前と同じくマーシャル安定度試験の物性値を用いることとするが、最適アスファルト量の決定方法を以下で検討する。

Fullerの最大密度説より、薄層改質アスファルト混合物の曲げ強度が最大になるのは、アスファルト量は、密度が最大になる点(最大密度点)であると考えられる。また、骨材はアスファルトより比重が大きいので、最大密度点は骨材間隙率が最小になる点(最小骨材間隙率点)と一致すると考えられるが、現実には一致しない。原因は、骨材はアスファルトを吸収すること及び骨材形状が不均

表-2 各骨材配合の最適アスファルト量

骨材配合	配合A	配合B	配合C	配合D
最大密度点のAs量(%)	7.5	6.8	6.7	6.5
密度(g/cm ³)	2.357	2.386	2.401	2.398
骨材間隙率(%)	20.2	18.8	18.7	18.4
安定度(kN)	11.3	11.7	11.6	10.8
フロー値(F)(1/100cm)	46	46	48	43
S/F(kN/m)	2,457	2,543	2,417	2,512
最小骨材間隙率点のAs量(%)	6.5	6.1	6.0	5.9
密度(g/cm ³)	2.346	2.378	2.383	2.382
骨材間隙率(%)	19.7	18.4	18.4	18.3
安定度(S)(kN)	10.6	12.5	11.3	10.6
フロー値(F)(1/100cm)	37	39	39	42
S/F(kN/m)	2,864	3,205	2,897	2,523
最適アスファルト量	7.0	6.5	6.4	6.2

(注)As=アスファルト

一であるため、骨材のかみ合わせによって、アスファルト膜厚が不均一なことである。アスファルト量が最大密度点と最小骨材間隙点の間では、膜厚は最大密度点で最大となり、最小骨材間隙点で最小となる。膜厚が小さいと曲げに対しては不利になり、膜厚が大きいと塑性変形に不利になると考えられる。

よって、両方の性能を満足するために、最適アスファルト量は、最大密度点のアスファルト量と最小骨材間隙率点のアスファルト量の平均値を採ることとし、配合設計方法とする。以下、性能確認により実証を行う。マーシャル物性値及び最適アスファルト量は表-2に示す。

4. 性能確認

(1) 方法

性能確認は、舗装の構造に関する技術基準(平成13年6月29日付け国土交通省局長通達)(以下では「技術基準」と称する)の必須の性能指標である塑性変形輪数、疲労破壊輪数及び平坦性と車両の走行の安全性に関わるすべり抵抗性について、従前の舗装材を対照に性能確認を行う。塑性変形抵抗性の指標である塑性変形輪数は、従前の舗装材の半分の厚さであるので、薄層改質アスファルト混合物が2倍の数値が発現できるか否かを確認する。従前の舗装材で性能の良いものは1,000回/mm程度を発現するので、目標値は2,000回/mmとした。疲労破壊抵抗性の指標である疲労破壊輪数は、舗装全体に関することなので、舗装全体で同等であるか確認する。平坦性とすべり抵抗性は路面性能の表面に関することなので、舗装面で性能が同等であるか確認する。施工条件によって数値がばらつくので、基準値を満足すれば同等であると考えられる。

(2) 塑性変形輪数

表-1の骨材配合で、薄層改質アスファルト混合物を製作する。アスファルト改質剤は電線被覆管の廃材である架橋ポリエチレンを熱分解して得たパラフィン系炭化水素(以下では再生パラフィンと称する)を用いる。再生パラフィンのアスファルト(再生パラフィンを含む)に対する添加率は0.3,5,7%と変化させる。塑性変形輪数は、「B003ホイールトラック試験方法¹⁾」で求める動的安定度で評価する。試験結果は図-2に示す。塑性変形輪数と動的安定度は同じ単位なので、上述の通り動的安定度の目標値は2,000回/mmとする。

骨材配合Aと骨材配合Bは、再生パラフィンの添加率に関わらず目標値を満足できない。骨材配合Cは再生パラフィンの添加率7%の配合で目標値を満足する。配合Dは再生パラフィン添加率1%以上で目標値を満足するが、相対的に動的安定度が大きいので、耐流動性用舗装材として用いることとし、目標値は6,000回/mm以上とした。再生パラフィンの添加率5%以上の配合で目標値

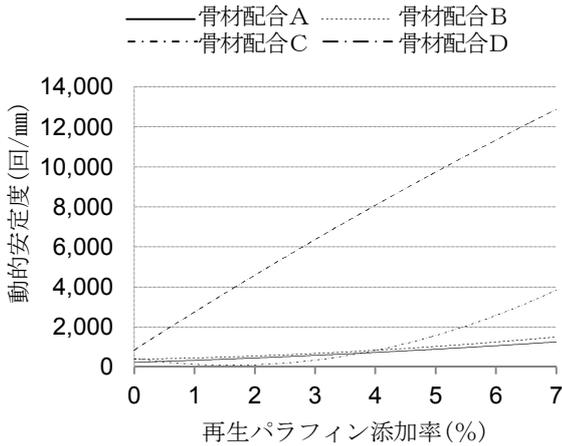


図-2 各骨材配合の動的安定度

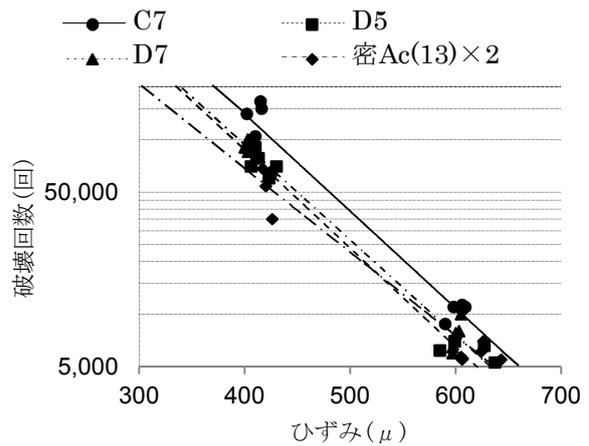


図-3 曲げ疲労試験の破壊回数

表-3 曲げ疲労試験の混合物の配合

粒 度	設計アスファルト量(%)	再生パラフィン添加率(%)
骨材配合 C(表-1 参照,C7)	64	7
骨材配合 D(" ,D5)	62	5
骨材配合 D(" ,D7)	62	7
密粒度(13)	5.9	0

表-4 曲げ疲労試験の混合物の配合

項 目	試験条件
载荷方法	両端固定2点载荷
供試体寸法	幅4×厚さ4×長さ40cm
スパン	30cm
試験方法	ひずみ制御
試験温度	5°C
载荷周波数	5Hz
载荷波形	サイン波
ひずみ	400, 600 μ

を満足した。

以上、塑性変形輪数は、骨材配合Cで再生パラフィンの添加率7%、骨材配合Dで再生パラフィンの添加率5%,7%の配合において目標の性能を満足した。

(3) 疲労破壊輪数

a) 確認の手順

疲労破壊輪数は次の手順で確認する。1)曲げ疲労試験で2倍以上の破壊回数を確認する。2)仮想断面を用いて、従前の舗装材を用いた切削オーバーレイ工と薄層改質アスファルト混合物を用いたオーバーレイ工とで、シミュレーションを行い、薄層で疲労破壊輪数が同等以上であることを確認する。

b) 曲げ疲労試験による破壊回数

試験方法は、「018T アスファルトの曲げ疲労試験方法¹⁾」である。薄層改質アスファルト混合物の配合は、

表-5 舗装構造条件

	例1	例2
交通量区分	N ₆	N ₄
信頼度	90%	75%
設計期間	10年	10年
設計CBR	8	4

表-6 弾性係数とポアソン比

舗装材	弾性係数	ポアソン比
薄層改質As混合物	7,500	0.35
密粒度As混合物(13)	6,600	0.35
粗粒度As混合物	6,000	0.35
既設密粒度As混合物	964	0.35
粒度調整碎石	300	0.35
クラッシャーラン	200	0.35
路床材	60	0.4

塑性変形輪数の目標値を満足した配合を用い、対照は、密粒度アスファルト混合物の最大粒度 13 mm(以後密粒度アスファルト混合物(13)と称する)とする(表-3 参照)。試験条件は表-4 である。試験結果を図-3 に示す。密粒度アスファルト混合物(13)の破壊回数は2倍値を示す。骨材配合CとDの再生パラフィン添加率7%の配合で従前の舗装材の2倍以上の数値を確認した。

c) 仮想断面による疲労破壊輪数の比較

舗装構造設計条件を表-5 の通り定め、仮想断面を設定した。表層の舗装材の弾性係数は曲げ疲労試験で求めた値を用いた。薄層改質アスファルト混合物については、配合 C7, D5, D7 の各弾性係数 7,618MPa, 7,377MPa, 7,640MPa の平均値をまとめて 7,500 MPa とした。基層以下の舗装材の弾性係数とポアソン比は設計便覧²⁾を参考にした。既設の表層の残存等値換算係数³⁾は 0.5 と仮定し、弾性係数は図-4 に示す関係⁴⁾から求めた。計算に用いる各層の弾性係数とポアソン比は表-6 に示す。仮想の舗装断面を図-5 に2例示す。網かけは新設部分を示す。

疲労破壊輪数はアスファルト混合物層と路床の疲労破壊輪数の小さい方の値をとる。疲労破壊輪数の算定に必要なひずみの計算は GAMES⁵⁾を用いる。

アスファルト混合物層の疲労破壊輪数は舗装設計便覧の暫定破壊基準式(2式参照)により求めた。図-5 に設定した仮定の舗装断面に図-6 に示す交通荷重を载荷して疲労破壊輪数を算定する。

$$N_{fi} = \beta_{ai} \cdot (C) \cdot (6.167 \times 10^{-5}) \cdot \epsilon t^{3.2918 \times 2} \cdot E^{-0.8548 \times 3} \quad (2)$$

$$C = 10^M \quad (3)$$

$$M = 4.84 \cdot [VFA/100 + 0.69] \quad (4)$$

$$\beta_{a1} = Ka \cdot \beta_{a1}' \quad (5)$$

$$\beta_{a1}' = 5.229 \times 10^4 \quad (6)$$

$$\beta_{a2} = 1.314 \quad (7)$$

$$\beta_{a3} = 3.018 \quad (8)$$

ここで N_{fi} : 疲労破壊輪数, C : アスファルト混合物層の最下層に使用する混合物の容積特性に関するパラメータ, VFA : 飽和度(%), ϵt : アスファルト混合物層下面に引張りひずみ(μ), E : アスファルト混合物層の弾性係数(MPa), Ka : アスファルト混合物層の厚さによるひび割れ伝搬速度に対する補正係数 β_{a1} , β_{a2} , β_{a3} : 我が国の経験による AI 破壊基準に対する補正係数である。疲労破壊輪数の計算結果を表-7 に示す。例 1.2 と薄層オーバーレイ工の疲労破壊輪数が大きくなった。

薄層改質アスファルト混合物配合C7, D7は、曲げ疲労試験で従前舗装材の2倍以上の破壊回数を確認した。仮想断面でのシミュレーションでは、薄層改質アスファルト混合物を用いたオーバーレイ工と従前の舗装材を用いた切削オーバーレイ工とで疲労破壊輪数を比較した。従前の舗装材と同等以上の疲労破壊輪数を確認した。

よって、薄層改質アスファルト混合物は薄層で同等以上の疲労破壊輪数を確認した。

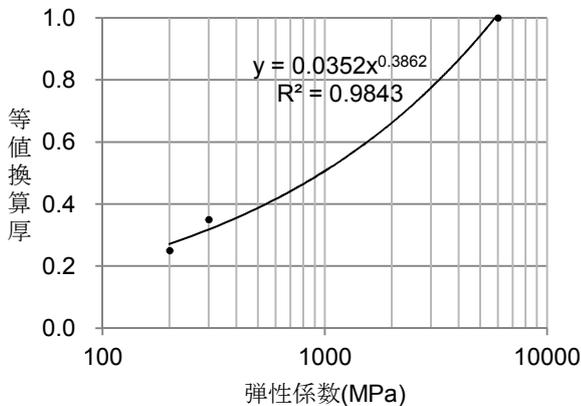


図-4 等値換算厚と弾性係数

切削オーバーレイ工

(単位: MPa,cm)

密粒度 As 混合物(13)	≒5
粗粒度 As 混合物	≒5
粒度調整砕石	≒15
クラッシュラン	≒20
路床材	

薄層オーバーレイ工

(単位: MPa,cm)

薄層改質 As 混合物	≒25
既設密粒度 As 混合物	≒5
粗粒度 As 混合物	≒5
粒度調整砕石	≒15
クラッシュラン	≒20
路床材	

(a)例1

打換え工

(単位: MPa,cm)

密粒度 As 混合物(13)	≒5
粒度調整砕石	≒16
クラッシュラン	≒22
路床材	

薄層オーバーレイ工

(単位: MPa,cm)

薄層改質 As 混合物	≒25
既設密粒度 As 混合物	≒5
粒度調整砕石	≒16
クラッシュラン	≒22
路床材	

(b)例2

図-5 仮定の舗装断面

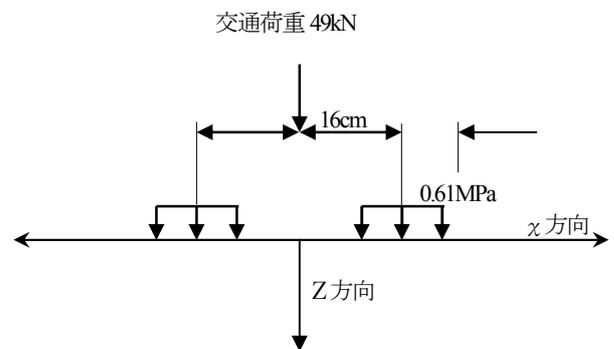


図-6 交通荷重

表-7 疲労破壊輪数の計算結果

(a)例1

工 法	切削オーバーレイ工	薄層オーバーレイ工
As混合物層の厚さ(cm)	10.0	12.5
Ka	0.38	0.51
VFA(%)	76.3	76.5
M	0.35	0.36
C	2.24	2.31
H (MPa)	964	964
ϵX : As混合物のX方向ひずみ(μ)	1.9335E-04	1.7448E-04
ϵZ : As混合物のZ方向ひずみ(μ)	5.2966E-04	4.7925E-04
As混合物層の疲労破壊輪数(輪)	647,910,255	2,632,772,801
路床の疲労破壊輪数(輪)	2,994,508	4,321,028
疲労破壊輪数(輪)	2,994,508	4,321,028

(b)例2

工 法	表層打換え工	薄層オーバーレイ工
As混合物層の厚さ(cm)	5.0	7.5
Ka	0.22	0.29
VFA(%)	77.5	77.5
M	0.41	0.41
C	2.58	2.58
H (MPa)	6,600	964
ϵX : As混合物のX方向ひずみ(μ)	2.2145E-04	3.3635E-04
ϵZ : As混合物のZ方向ひずみ(μ)	6.9907E-04	6.1994E-04
As混合物層の疲労破壊輪数(輪)	1,678,812	632,772,801
路床の疲労破壊輪数(輪)	1,082,446	1,681,512
疲労破壊輪数(輪)	1,082,446	1,681,512

(4) 平坦ん性

薄層改質アスファルト混合物を製造し、現道で施工を行い、平坦ん性を測定した(図-7参照)。平坦ん性は多少の粒度の差及び改質剤の添加量は影響はないと考えられるので配合D7で代表した。測定方法は「S028舗装路面の平坦ん性測定方法¹⁾」による。結果を表-8に示す。従前の舗装材と同等の平坦ん性を確認した。

(5) すべり抵抗性

平坦ん性と同じく、現道で施工を行い、すべり抵抗性を測定した(図-5参照)。すべり抵抗性についても多少の粒度の差及び改質剤の添加量は影響はないと考えられるので、配合D7で代表できる。測定方法は、「S021-1振り子式スキッドレジスタンステストによるすべり抵抗測定方法¹⁾」による。結果を表-9に示す。従前の舗装材と同等のすべり抵抗性を確認した。「技術基準」には基準値が示されていないので旧日本道路公団の出来高基準を用いた⁶⁾。従前の舗装材と同等の平坦ん性を確認した。

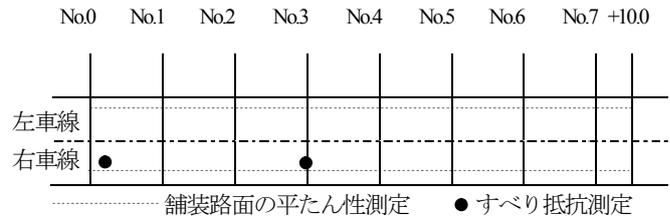


図-7 測定位置図

表-8 平坦ん性

測線	計算値(mm)	基準値(mm)
左車線	1.67	2.4以下
右車線	1.84	

表-9 すべり抵抗性

測点	計算値(BPN)	基準値(BPN)
No0	73	60以上
No3	72	

5. まとめ

半分の厚さで従前の舗装材と同等に構造的に回復させる薄層改質アスファルト混合物の開発に取り組んだ。骨材粒度の検討を行い、4種類の骨材配合を定めた。各骨材配合の最適アスファルト量を求めて、「技術基準」の必須の性能である疲労破壊輪数、塑性変形輪数及び平坦ん性と走行の安全性に関わるすべり抵抗性の確認を行った。

その結果、骨材配合CとDで改質剤である再生パラフィンがアスファルト(改質剤を含む)の7%の添加量による配合で、従前の舗装材と同等以上の性能を確認した。

コストは、従前の4cm厚の切削オーバーレイ工において、直接工事費で約2割削減の約1,100円/m²、製造から施工までの二酸化炭素排出量は、約5割削減の約550kg-CO₂/100 m²となる。

これまでの研究で得た知見は次のとおりである。

- 1) 本論の薄層改質アスファルト混合物においては、フィラーの最大密度曲線に近い骨材配合が疲労破壊抵抗性は大きくなった。
- 2) マーシャル安定度試験の最大密度点と最小骨材間隙率点のアスファルト量を最適アスファルト量にする方法で配合設計が可能になった。
- 3) 骨材配合Cでは、アスファルト(改質剤を含む)に対してアスファルト改質剤である再生パラフィン添加率7%の配合で従前の舗装材の2倍以上の塑性変形輪数を確認した。骨材配合Dでは再生パラフィン添加率5%以上の配合で塑性変形輪数6,000回/mm以上を確認した。
- 4) 骨材配合CとDで再生パラフィン7%の配合で曲げ疲労試験における破壊回数は従前の舗装材の2倍以上を確認

した。

5)骨材配合Dで再生パラフィン7%の配合で従前の舗装材と同等以上の平坦性及びすべり抵抗性を確認した。

謝辞：本研究を進めるに当たり，多大な御指導と御協力をいただいた日本道路株式会社の 青木部長，古川所長，日広開発株式会社，米村課長他関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1)舗装調査・試験法便覧(平成 19年 6月，(社)日本道路協会)[第1分冊]pp92-97，pp147-156，[第3分冊]pp39-56，pp166-175
- 2)舗装設計便覧(平成 18年 2月，(社)日本道路協会)p132，p138
- 3)舗装設計施工指針(平成 18年版，(社)日本道路協会)p83
- 4)活用しよう！FWD(財)道路保全技術センター)pp.24-26
- 5)舗装工学ライブラリー3 多層弾性理論による舗装構造解析入門—GAMESを利用して—(土木学会)
- 6)舗装性能評価法(平成 18年 1月，(社)日本道路協会)p62-64

御堂筋における自転車・歩行者シミュレーションを用いた歩行者空間再編の検討について

森口 一輝

近畿地方整備局 大阪国道事務所 地域調整課 (〒536-0004 大阪府大阪市城東区今福西2-12-35) .

今後の道路政策の検討にあたっての基本的な視点として、「クルマ」主役から「多様な道路利用者の共存」への転換が提起されているなか、自転車利用の増加に伴う安全性向上のため、歩行者自転車交通の分離必要性や、歩行者空間のサービス水準に関する検討が着目されている。

本検討では、大阪のシンボルロードである御堂筋における歩行者・自転車について、現況を含む3パターンの整備ケースについてマイクロシミュレーションによる安全性評価を行った。シミュレーション結果の評価指標として、歩行者密度による評価に加え、交錯回数による評価を行い各整備ケースの安全性について検討した。

キーワード ミクロシミュレーション, 歩行者, 自転車

1. はじめに

近年、自転車利用の増加に伴い安全性向上のため、歩行者自転車交通の分離必要性や、サービス水準に関する検討が着目されている。これらを定量的に評価・分析する手法として、道路交通条件を自由に変更した試行が可能であるマイクロシミュレーションは実務上有効なツールとして期待されている。今回は、大阪のシンボルロードである御堂筋の歩行者空間再編を対象とし、シミュレーションソフトは「VISSIM」を用いた。

2. 御堂筋について

御堂筋は、梅田～難波間を南北に結ぶ約4 km の幹線道路である。国道 25 号・ 26 号・ 165 号の 3 路線が一部重複しており、大正から昭和初期にかけて大阪の発展の礎を築いた関一市長により、当時は空前の規模であった幅員 44 m の道路として計画され、1937 年に完成した。又、建設当時は対面通行であったが、増加する自動車交通と渋滞問題に対応するため、1970 年の大阪万博開催にあわせて、本線 4 車線、緩速車線が両側に各 1 車線の計 6 車線の南向き一方通行となった(図-1)。

なお、本稿で対象としている御堂筋は 1958 年より指定区間として直轄管理していたが、2012 年 3 月 22 日に公布された「一般国道の指定区間を指定する政令の一部を改正する政令」により、同年 4 月 1 日より指定区間から除外され、大阪市により管理されている。



図-1 現況の御堂筋

3. 御堂筋における歩道空間の現状

歩道空間の課題として、歩行者と自転車との錯綜、放置自転車による空間占有という問題がある。写-1 が示すように歩行者と自転車の錯綜により、事故の危険性が高まっている。

歩道上での自転車との接触について、アンケート調査では約 7 %の方が「ぶつかられたことがある」と回答され、約 60 %の方が「ぶつかられそうになったことがある」と回答された。

また、写-1 が示すように放置自転車は、歩行者・自転車の円滑な移動を阻害し、歩道空間の圧迫や景観の悪化などの原因となっている。



写-1 御堂筋歩道部の現状

4. シミュレーション対象範囲と日時

2011 年 9 月に平日と休日の平常日の各 1 日、歩行者・自転車の交通量調査を実施した。この結果、9 月 11 日(日)の休日の方が 9 月 13 日(火)の平日よりも交通量が多く、その中でも、歩行者・自転車の合計交通量は御堂筋清水町～御堂筋周防町間(図-2)の東側街区が最も多くなっており、この区間の時間帯別の交通量

を見ると、17時台がピークとなっていた。このため、交通量が最も多い9月11日(日)17時の御堂筋清水町～御堂筋周防町間の東側街区を今回のシミュレーションの対象とする(歩行者:2,233人/h, 自転車:243台/h)。



図-2 シミュレーション対象区間

表-1 シミュレーション実施ケース

ケース	道路状況と通行区分	歩行者・自転車交通量	放置自転車
現況ケース (Bケース)	現況(現在の歩道を歩行者と自転車と通行)・自転車専用歩行者専用	歩道: 現況の歩行者、自転車交通量	あり [0.8m閉塞]
将来ケース1 (Aケース)	・緑道車線を歩行者、自転車の空間に再編 ・現況の歩道+緑道車線を歩行者と自転車と通行 →自転車、歩行者専用	・緑道車線+歩道: 現況の歩行者交通量	あり [0.8m閉塞]
将来ケース2 (Cケース)	・緑道車線を歩行者、自転車の空間に再編 ・自転車は緑道車線の一部を、歩行者は現況の歩道と緑道車線の一部を通行 →自転車、歩行者専用	・緑道車線のうち、3m程度(自転車レーン): 現況の歩道の自転車交通量 ・残りの緑道車線+歩道: 現況の歩行者交通量	あり [0.8m閉塞]

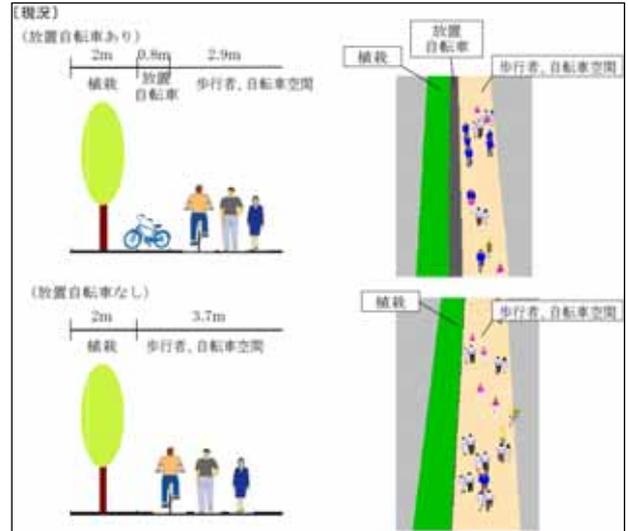


図-3 現況ケース

5. シミュレーションにおける道路占用の考え方

対象区間は現況では歩道約5.7mのうち車道寄りの2mはイチョウと植栽の空間となっており、植栽に沿うように放置自転車が約0.8m占用し、残り約2.9mを歩行者・自転車が混在して通行する状況となっている。

今後の御堂筋の道路空間利用のあり方について検討するため、2009年より国土交通省と大阪市が共同で、学識経験者、沿道地域の連合自治会、まちづくり団体、利用者団体等で構成される「御堂筋空間利用検討会」を設立している。このなかで、御堂筋の空間再編にあたっては、イチョウは変更しないことが前提となっており、シミュレーション実施上も変更せずにイチョウの空間を幅約2mと設定して反映した。また、放置自転車有りのケースは放置自転車が概ね0.8m程度閉塞していることから、シミュレーション上も0.8m閉塞する設定とした。

将来ケースについては、イチョウは変更しないことが前提となっている一方、植栽については方向性が確定していない。今回の空間再編は歩行者・自転車の安全性の確保と空間の拡大が重要と考えられることから、植栽は設定せず、歩行者が自由に通行できる空間とした。

また、放置自転車は歩行者の通行の妨げにならない空間から順に置かれることが想定される。想定される場所として、歩道の店舗側、車道側、中央の植栽の間があるが、現況で植栽の隣に放置自転車が存在している状況があることから、今回は中央の植栽の間に設定した。

6. シミュレーションの実施ケース

シミュレーションは、現況2ケース、将来ケース4ケース(歩道拡幅+自転車空間有無別)の計6ケースとし(表-1)、右記の断面構成で実施した(図-3,4,5)。

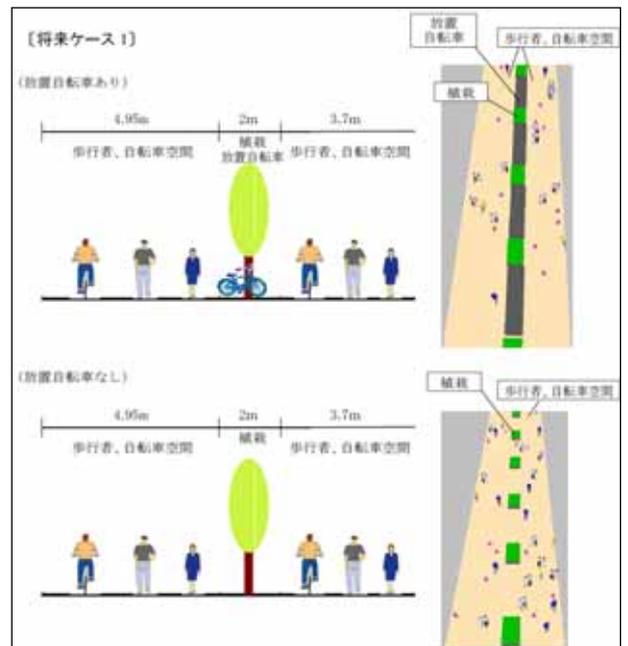


図-4 将来ケース 1

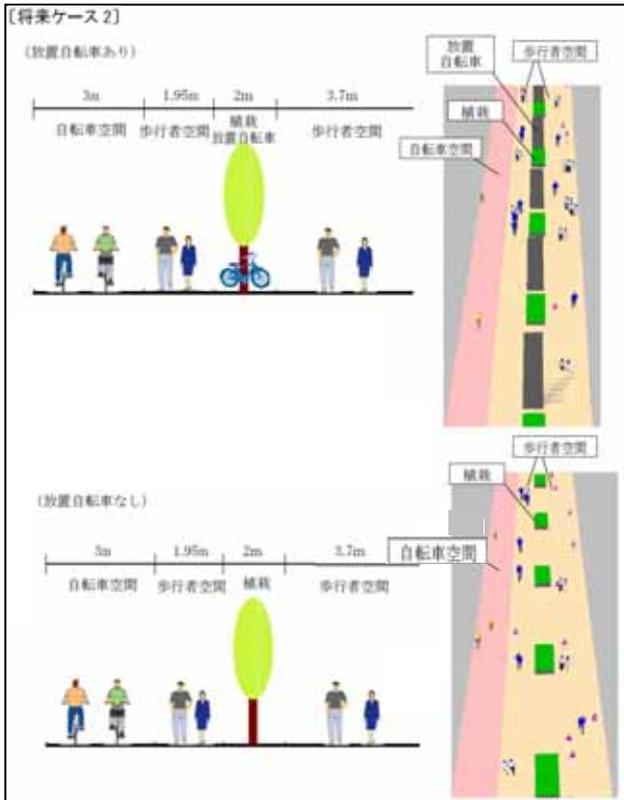


図-5 将来ケース 2

表-2 歩行路のサービス水準

サービス水準	歩行者密度	状況
A	0.308 人/㎡未満	遅い人を追い抜いたり、好きな歩行速度を自由に選択できる十分な面積がある。
B	0.308~0.431 人/㎡	対向流や交差点のあるところでは、衝突の可能性がわずかにある。
C	0.431~0.718 人/㎡	追い抜きや速度選択の自由は制限される。
D	0.71~1.076 人/㎡	追い抜きや衝突回避は困難で、大部分の歩行者の速度は低下する。
E	1.076~2.153 人/㎡	全ての歩行者が通常の歩行速度では歩けず、足取りも傾斜に変えなければならない。
F	2.153 人/㎡以上	もはや、コントロールを逸した交通麻痺であるといえる。

出典: PEDESTRIAN Planning and design; JOHN J. FRUIN

自由が制限される密度

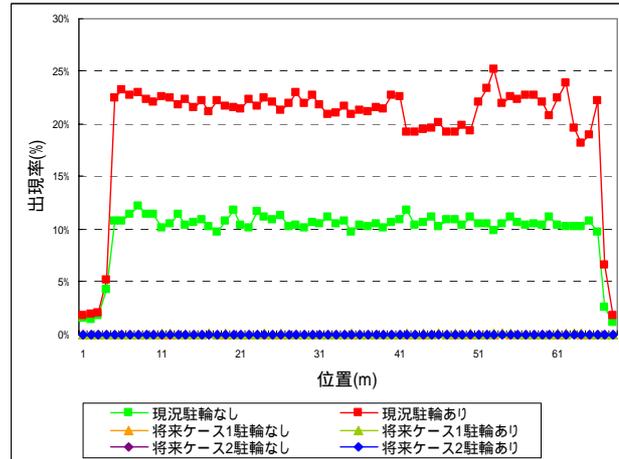


図-6 ケース別のサービス水準 C ~ F の出現率

7. シミュレーション結果の評価

本研究では、シミュレーション結果の評価指標として、従来の密度による評価に加え、新たに交錯回数による評価を行い各整備ケースの安全性について検討した。

(1) 密度による評価

歩行者の密度は対象街区のうち、交差点部（約10m）は人が滞留するため、交差点部を除いた約 70 m を集計対象とする。この集計対象区間を縦断方向に1 m 幅に区切り、その空間の密度を計測する。

御堂筋は通勤、業務、買い物等の自由目的等、老若男女様々な人が様々な速度で通行している。これらの様々な通行者が一定の密度以上になると、それぞれが希望する速度で通行できず、周囲の速度に合わせて通行せざるを得なくなり、自由が制限され快適性が損なわれる。

このため、自由が制限される密度を「サービス水準として問題がある密度」と捉えることとした。歩行者密度のサービス水準は「PEDESTRIAN Planning and design」（JOHN J. FRUIN）（表-2）において定義されている。この水準を踏まえ、本検討では自由が制限されるサービス水準 C 以下を「サービス水準として問題がある密度」と捉え、1 時間のうちに何回サービス水準 C 以下が出現するかを1秒単位で算出し、出現率として表現した結果を図-6 に示す。

図-6 より、ケース別のサービス水準 C ~ F の出現率は、現況放置自転車ありのケースが最も高く、各エリアとも 1 時間のうち 20 ~ 25 % で推移している。現況放置自転車なしケースは放置自転車ありケースの半分程度になっており、わずか 80 cm の幅員の違いでも密度は大きく変わることがわかった。さらに、将来ケース 1, 2 ではほぼ 0 % となっており、幅員を広げることによって歩行者の密度は低下し、サービス水準は向上することがわかった。

(2) 交錯回数による評価

歩行者と自転車が交錯する際、危険を感じる交錯は自転車と自転車、歩行者と自転車と考えられる。そこで、これらの交錯が 1 街区約 80 m を通行する間に何回生じたかを、現況と将来ケースで比較する

交錯回数は、歩行者・自転車が一定の距離以内ですれ違い及び追い越した回数として算出する。「一定の距離」については、既往の研究から自転車と歩行者の場合は対向で 1.25 m、追い越して 1.5 m、自転車相互の場合は対向で 1.25 m、追い越して 1 m とした。

歩行者・自転車の交錯回数を集計し、1 時間当たりの値を自転車・歩行者交通量で除して 1 人当たりの交錯回数を算出した結果を表-3 に示す。

表-3 評価対象区間における属性別交錯回数

属性	交錯パターン	現況		将来ケース1		将来ケース2	
		放置自	放置自	放置自	放置自	放置自	放置自
		転車あり	転車なし	転車あり	転車なし	転車あり	転車なし
自転車 vs 自転車	すれ違い	1.0	0.7	0.2	0.2	0.0	0.0
	追い越し	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
自転車 vs 歩行者	すれ違い	2.4	1.7	0.7	0.6	0.0	0.0
	追い越し	1.0	0.8	0.5	0.4	0.0	0.0

80mを通行する間の1人当たり平均交錯回数
(単位:回/人)

1街区約80mを通行する間の自転車と自転車の一人当たりのすれ違い回数は現況の放置自転車ありでは1.0回に対して、放置自転車なしで0.7回、将来ケース1は0.2回、将来ケース2は0回となっている。また、自転車と歩行者では、現況の放置自転車ありでは2.4回に対して、放置自転車なしで1.7回、将来ケース1は0.7回、将来ケース2は0回となっている。すれ違いと追い越しともに現況の放置自転車ありよりも放置自転車なしが少なく、将来ケース1、将来ケース2と順に減少していく結果となっている。

将来ケース1と将来ケース2を比較すると、幅員は同じではあるが、通行空間を分離していない将来ケース1では自転車と自転車、自転車と歩行者とも交錯回数が0になっておらず、単に幅員を広げただけでは少ないながらも交錯が生じることがわかった。

8. 結論

本研究では、御堂筋における歩行者空間の再編を対象に、マイクロシミュレーションを用いたケース別評価を行った。

結論として、密度による評価では自転車空間の有無によるサービス水準の差は見られなかったが、交錯回数による評価では、歩行者、自転車空間が拡大するとサービス水準が高くなり、自転車専用空間がある方がさらにサービス水準が高くなることが明確に示された。

マイクロシミュレーションの評価指標として、歩行者密度という指標に加え、交錯回数という指標を用いることによって、より詳細な検討を行うことができることが明確になった。今回は残念ながら本研究結果による事業効果の説明等はなかったが、マイクロシミュレーションソフトで出力される3Dアニメーション表現は、事業効果を説明するためのツールとしても優れており、検討結果が詳細になることで今後の利用が期待される。

今後、自転車の車道走行等新たな交通課題の検討に対しても今回用いたマイクロシミュレーションによる検討を行っていきたいと考えている。

謝辞: 論文作成に際して、ご指導、ご協力いただきました関係者の皆様に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1)多機能な道路交通空間を創出する再構築設計の試み (国総研:交通工学2011,Vol46)

鳥取豊岡宮津自動車道野田川大宮道路 野田川橋梁下部工 鋼管ソイルセメント杭工の施工について

石橋 利宏¹

¹京都府道路公社建設事務所 建設第二課 (〒626-0003京都府宮津市宇漁師1775-26)

鳥取豊岡宮津自動車道野田川大宮道路における野田川橋梁（仮称）について、基礎工法として鋼管ソイルセメント杭工を採用し工事を進めているところであるが、本工事中における鋼管ソイルセメント杭工の施工時のトラブルと解決策についての報告を行う。

キーワード 鋼管ソイルセメント杭, 施工, トラブル, 地中障害物

1. はじめに

鳥取豊岡宮津自動車道は、鳥取市から豊岡市を経て宮津市に至る延長約120kmの地域高規格道路であり、「京都縦貫自動車道」、「北近畿豊岡自動車道」及び「中国横断自動車道姫路鳥取線」の各地域高規格道路と接続し、広域的なネットワークを形成する路線です。そのうち、野田川大宮道路（国道312号）は、2011年3月に供用開始した宮津与謝道路とともに京都府北部地域の重要な道路で、宮津市須津から京丹後市大宮町森本を結ぶ延長4.3kmを京都府道路公社が京都府より受託し、2016年度までの供用を目標に整備を進めています。

野田川橋梁（仮称）は野田川大宮道路の起点部に位置し、その下部工で採用した鋼管ソイルセメント杭についての施工概要および工中に発生した課題について報告します。



図-1 鳥取豊岡宮津自動車道の整備状況

2. 野田川橋梁（仮称）の概要

野田川橋梁（仮称）は、2級河川野田川や国道176号、北近畿タンゴ鉄道宮津線等を横過する延長589.0mの橋梁で、上部構造は6径間連続少数桁+5径間連続開断面箱桁、下部工は逆T式橋台(基礎形式：深礎杭)、張出式橋脚(基礎形式：鋼管ソイルセメント杭6基)、壁式橋脚(基礎形式：鋼管ソイルセメント杭2基、直接基礎2基)としています。

3. 架橋位置の地質状況

架橋位置は野田川の河口より約2kmの位置で、山間部を貫く細長い埋没谷地形の沖積平野であり、調査ボーリングの結果、支持層となる風化花崗岩の起伏が激しい地質状況で、沖積層の層厚は5m未満から最大35mであった。

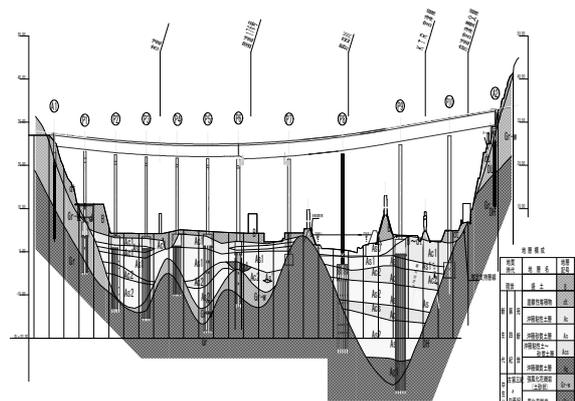


図-2 野田川橋梁（仮称）の地質縦断面図

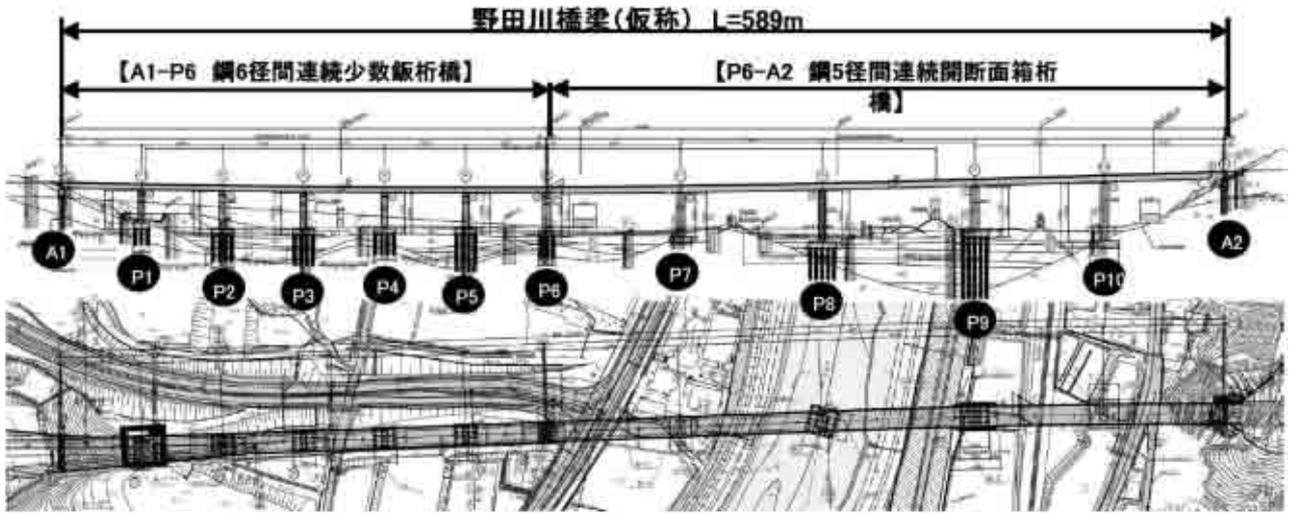


図-3 野田川橋梁一般図

表-1 橋梁諸元

項目	諸元
道路規格	第3種第2級
設計速度	v=60km/h
幅員構成	1.5(路肩)+2@3.5(車道)+1.5(路肩)=10.0m
上部構造形式	鋼6径間連続少数钣桁橋 + 鋼5径間連続開断面箱桁橋
橋長	L=589m
支間割	40.15+4@41.0+40.2+66.9+71.6+77.2+65.5+60.15m
斜角	90° 0' 0" (ただし、P8は73° 19' 08")
下部工形式	逆T式橋台、張出式橋脚、壁式橋脚
基礎形式	深礎杭、鋼管ソイルセメント杭、直接基礎
設計活荷重	B活荷重
支持層	風化花崗岩(N>50)

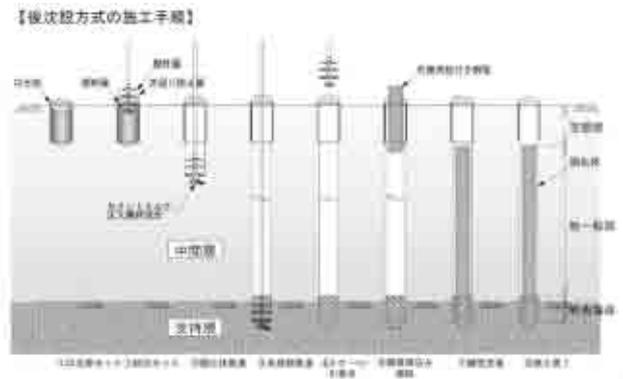


図-5 鋼管ソイルセメント杭の施工手順



図-4 鋼管ソイルセメント杭の施工状況

4. 鋼管ソイルセメント杭について

鋼管ソイルセメント杭工法は、地盤を掘削攪拌ヘッドで掘削しながらセメントミルクを注入し、攪拌混合して

構築されたソイルセメント柱のなかに外面突起（リップ）付鋼管を沈設し、両者を一体化させる合成杭工法であり、平成14年道路橋示方書に規定された。

通常の場所打ち杭工法や中掘鋼管杭工法に比べ、掘削に伴う振動・騒音を低減することができるとともに、鋼管とソイルセメント柱を一体化させることで高い支持力を実現し、杭本数を減らしフーチングを小さくすることが可能となり、経済性に優れた工法である。また、現地盤の土砂を材料としてソイルセメント柱を構築するため、建設発生土を抑制できるメリットもある。

本坑法の適用できる地盤条件としては、支持層が風化岩・軟岩でN値が150程度以下、中間層に玉石が存在する場合でもφ200mm以下なら施工可能である。また、補助工法として先行掘削を行うことによりN値が150を超えるような地盤でも施工可能である。

本橋梁ではボーリングの結果からφ100~200mmの玉石の存在は把握していたが、適用範囲内であり、施工可能と判断し、また、他工法との比較からも経済制に優れていたため鋼管ソイルセメント杭工法を採用した。

4. 現場で生じた問題点

(1) 地中障害物の存在

事前に橋脚毎にボーリングを行い、支持層・中間層を把握し、施工可能で経済な杭工法として鋼管ソイルセメント杭を採用したが、ボーリングのφ66mmの口径では中間層に存在する地中障害物を正確に把握することができなかつたため、鋼管ソイルセメント杭の通常の施工では対応できず、全旋回掘削機等の補助工法を行わざるを得なかつた。

① 中間層に存在した玉石層及び転石混り層

鋼管ソイルセメント杭の適用条件は、一般的に最大径がφ100mm以内及びφ100~200は層厚、混入率により対応可能であり、φ200mmを超える場合は補助工法が必要とされている。事前のボーリング結果では、2級河川野田川に近いP6橋脚においてφ100~200mmの礫が存在することまでは確認できたが、事前に施工した仮締切の仮設鋼矢板の打設において困難を極めたことから、試掘を

行い確認したところ、大きいもので1m程度の玉石が存在することが判明した。これに対応するため、ケーシングオーガ（設計杭径以下）にて先行削孔を行った後に鋼管ソイルセメント杭の施工を実施することとした。

② 中間層に存在した大きな木材及び根

事前のボーリング結果では、P3~P5橋脚の中間層に少量の有機物が存在することが確認されていたが、上記と同様に仮締切の親杭の打設において困難を極めたことから掘削可能な範囲まで試掘を行ったところ、木の根が多く存在し、大きなもので約2mもあった。しかし、試掘して地中の障害物を取り除くには限界があり、本杭部分までの障害物の除去を行うことが出来ず、ソイルセメント柱の造成中にオーガが踊るような状態になり、掘削を進めようとしても跳ね返される状態が続いた。幾度かヘッドを上下させるターニングを行い掘削を試みていたところ、突然負荷がなくなり引き上げるとオーガヘッド部が折れていることが判明した。

地中に存在する障害物（深度11.0m）が確認できないことから、補助工法として確実性のある全旋回掘削機（オールケーシング：設計杭径以下）での施工を行い、



図-6 玉石の除去作業状況



図-8 試掘による障害物除去



図-7 中間層の玉石（1mを超えるものもあった）



図-9 除去した木の根（約2m）



図-10 上：通常のオーガーヘッド
下左・下右：破損したオーガーヘッド

障害物及び地中内に残っているオーガヘッド部を除去した後、鋼管ソイルセメント杭の施工を実施した。

(2) 支持層変化への対応

鋼管ソイルセメント杭工法は外面突起付鋼管を使用するため、その製作に時間を要するので、杭長の変更に伴う工程への影響が非常に大きくなる。

P8橋脚は、5列×5本の25本の鋼管ソイルセメント杭（ $\phi 1200\text{mm}$, $L=16.0\text{m}$ ）を有する橋脚で、河川内に設置することから施工期間が非出水期に制限される。河川内に杭施工ヤード盛土を実施し、杭施工前に確認のためボーリングを1本行ったところ、想定していた深度より低い位置に支持層を確認した。杭を支持層に確実に根入れさせるためには、一番深い支持層深度にて杭長を決定す

る必要があるため、フーチング端部の追加ボーリングを実施した。結果として推定地盤線に大幅なずれが生じ、図-11の地質断面図に示すとおり右側の2列の杭長を3m延長する必要があるが生じた。しかし、延長分の鋼管杭の製作には約3ヶ月の期間を要するため、25本の杭の内15本は施工することが出来たが、杭長を変更する残り10本については非出水期に施工を完了することが不可能となり、次の非出水期に施工せざるを得なくなった。これにより、工程の大幅な変更が生じた。

6. まとめ

鋼管ソイルセメント杭工法は、経済的で低振動・低騒音な特長を持つ工法で、本橋梁でも経済性等検討した結果採用した工法であるが、前述したような困難事例が発生したことを考えると、工法選定は慎重に行う必要があると思量します。特に本橋梁のような起伏の激しい地質状況では地質縦断面図の作成だけでなく、各橋脚のフーチング端部のジャストボーリングを行い支持地盤を確実に把握し、玉石や有機物などの地下障害物になり得るものの有無についても考慮し、適用条件に合致しているかどうかを充分検討した上で決定する必要があると痛感しました。

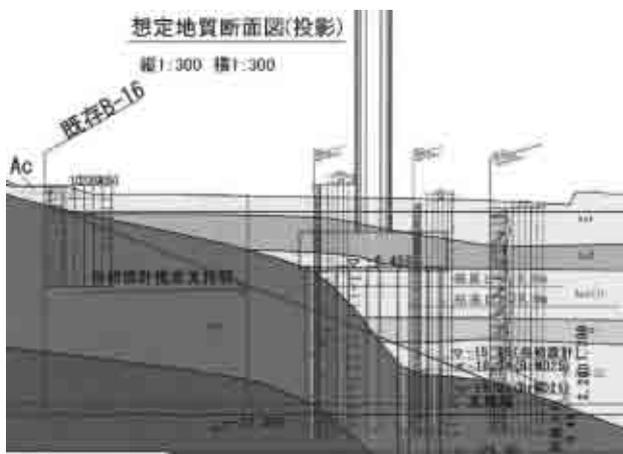


図-11 追加ボーリング実施後の地質断面図

宮津港海岸『天橋立』における 侵食対策事業について

森 宣和¹・山口 睦雅²

^{1,2}京都府 建設交通部 港湾課 (〒602-8570京都府京都市上京区下立売通新町西入藪ノ内町)

天橋立海岸では、これまでに、侵食対策として突堤や潜堤の設置、サンドバイパス・サンドリサイクルの実施などを行ってきた。本論文では、それら対策の現状・課題や効果について整理するとともに、今後の海岸整備の方針について検討を行った。結果として、まず、サンドバイパス開始以降、汀線は前進傾向にあるが、近年では変化量が小さく平衡状態にあること、潜堤により設置箇所付近で土砂が捕捉され汀線形状が滑らかとなる効果があることを確認した。また、これらを踏まえて、汀線変化モデルによる再現・予測検討を実施し、今後汀線を維持していくのに適切なサンドバイパス・リサイクル量や海岸保全施設の整備方針を明らかにした。

キーワード 天橋立, 侵食対策, サンドバイパス, サンドリサイクル, 潜堤

1. はじめに

天橋立海岸は、京都府北部の宮津湾内に位置し、宮津湾と阿蘇海を区分して江尻から南西方向に約3,600m延びた典型的な砂嘴地形海岸である。砂嘴には数千本におよぶ松が成育し、その松並木と白砂の海の景観は松島、宮島と並び日本三景の1つに挙げられ、1922年には名勝地、1952年には特別名勝地に指定されている。また、我が国で最初にサンドバイパス工法が施工されたことでも知られている¹⁾。

本海岸は、一方向の卓越した沿岸漂砂の堆積作用により形成されたものであるが^{2) 3) 4)}、河川からの流出土砂量の減少や防波堤などの構造物設置に伴い、全国の他の海岸と同様、昭和20年(1945年)代頃から砂浜の侵食が顕著になり、一時はその存在そのものが危ぶまれる状態であった。

このため、1951年頃から調査を開始し、これまでに突堤、養浜、サンドバイパス・サンドリサイクル、潜堤による侵食対策を実施してきた。当初、京都府では大小の突堤群を設置してきたが、漂砂供給が不足していることから抜本的な解決には至らなかった。そこで、1979年に旧運輸省と京都府が共同で学識者を含めた研究会を設立し、より詳細な調査・試験施工を重ね、緊急養浜事業やサンドバイパス工法の事業化を進めてきた。その結果、汀線は平均して約20m前進し、突堤の上手ではその先端まで砂が堆積するなど一応の漂砂の連続性が確保されるようになった⁵⁾ (図-1)。一方、突堤の下手側では砂が堆積せず突堤群によって形成された汀線形状はノコギリ状



図-1 天橋立海岸の現状(2011年12月撮影)

となり、景観面や砂浜の利用制限などの新たな課題が生じるようになった。このため、模型実験・試験施工^{6) 7)}を経て、突堤先端の下手側に潜堤を設置し漂砂を捕捉することで汀線を滑らかにする工法を採用し、1992年以降順次対策を行ってきた。また、2006年の研究会では、潜堤の効果検証や海岸整備方針の検討を行い、効果的・効率的な潜堤形状とその配置計画および施設配置を踏まえたサンドバイパス(リサイクル)の運用方針を決定した⁸⁾。この方針に基づき、今日までに改良を含む全11基の潜堤施工を完了するとともに、サンドバイパス(リサイクル)事業を継続している。

本論文では、これまでに実施したサンドバイパス(リサイクル)および潜堤による侵食対策の現状と課題についてとりまとめるとともに、天橋立の景観保全や利用促進を今後も引き続き行うために必要な今後の整備方針についての考察を報告する。

2. 天橋立海岸の地形的変遷

典型的な砂嘴地形海岸である天橋立は、日本海から侵入する波浪およびこれに伴う沿岸流による漂砂の輸送と堆積によって形成されたものであるが^{2) 3) 4)}、海岸整備を考える上では、その形成過程を含むこれまでの地形的変遷を把握することが重要である。

本節では、検討の基礎的な条件となる天橋立海岸の地形的変遷の概要について、既往文献や空中写真に基づく整理を行った。

(1) 形成過程

天橋立は細長い宮津湾の湾奥付近西側に位置しており、漂砂源となる流入河川は、湾の東岸にはないが、西岸には北から波見川(同10.4km²)、世屋川(同16.3km²)、畑川(流域面積6.2km²)がある(図-2)。

天橋立の成因は、これらの河川からの流出土砂が沿岸流によって南へ運ばれ、縄文海進時に堆積が進行し、約4000年前に海面が現在の海水面と同程度まで下降したときに姿を現したものと推定されている^{2) 3) 4)}。その後も沿岸漂砂によって成長を続け、江戸時代中期頃に現在の原型ともいべき姿となり、明治期における埋立や内海への航路開設、さらには大正後期の架橋が行われ、今日の姿が形成された⁹⁾。

一方、昭和期に入ると、世屋川および畑川の砂防・河川改修工事による河川からの流出土砂の減少や日置港および江尻港の防波堤建設などによる漂砂の連続性の遮断により、昭和20年(1945年)代頃から砂浜の侵食が顕著となった⁹⁾。最も侵食が進行した時期では部分的に松林の基部あたりまで砂浜が減少し存在の危機に晒されたが、その後、サンドバイパス(リサイクル)による侵食防止対策や潜堤による汀線改良(景観改善)対策が継続的に行われ現在に至っている。



図-2 天橋立海岸の位置図

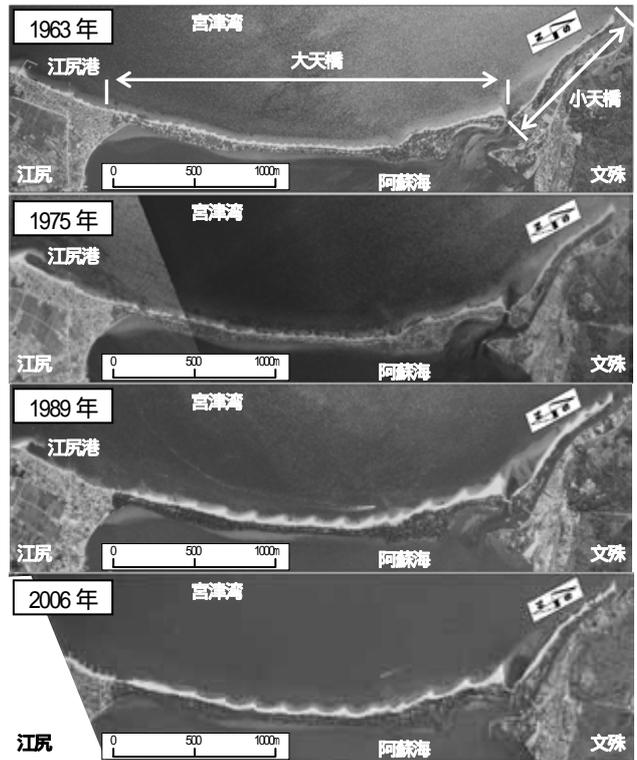


図-3 天橋立海岸を撮影した空中写真

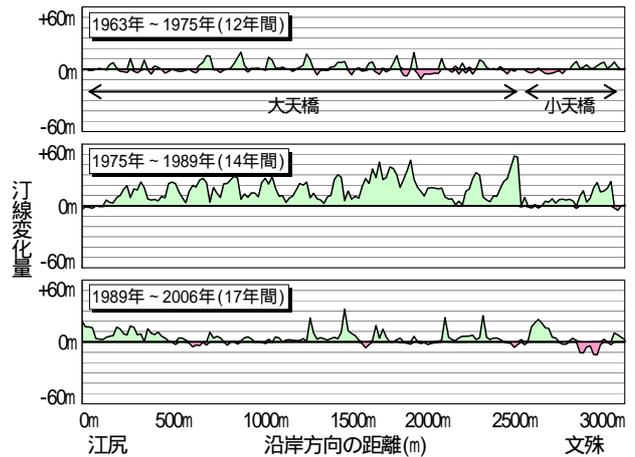


図-4 汀線変化量図(各撮影年間の変化量)

(2) 空中写真による汀線の変化傾向

図-3は天橋立付近の海岸地形を各年代毎に撮影した空中写真を示している。1963年および1975年の空中写真では、砂嘴の幅が狭く砂浜が侵食されている状況が確認できる。また、江尻港防波堤の上手側(北側)には砂が堆積している状況も確認できる。この時期には侵食対策として大小の突堤群を設置しているが、汀線はほとんど変化しておらず、上手側の構造物により漂砂移動が遮断され抜本的な侵食防止に至っていないことが分かる。次に、1989年の空中写真では、1963年および1975年に比べ、突堤の上手側で砂が堆積しており、全体的に砂嘴の幅は広くなり、汀線は前進している状況が確認できる。先に述べたとおり、1979年には研究会を設立しその後サンドバイパス事業を開始しており、開始10年後の1989年には天

橋立全体で砂浜が回復したことが分かる。また、2006年の空中写真では、1989年と比較して、全体に汀線の大きな変化はなく、比較的安定した砂浜が形成されていることが分かる。

図-4は図-3に示す空中写真より汀線位置を判読し数値化した上で各撮影年間(1963-1975,1975-1989,1989-2006)における汀線の変化量を示したものである。図より、1963年から1975年および1989年から2006年にかけては、局所的な変化は生じているものの、汀線が大きく変化している傾向は見られない。一方、1975年から1989年にかけては、期間中にサンドバイパスを開始していることから、全体的に汀線は前進しており、その前進量は最大で50m程度となっている。

3. 侵食対策の現状と課題

天橋立では、これまでに突堤、養浜、サンドバイパス(リサイクル)、潜堤による侵食対策を実施してきた。

本節では、これら対策の中から、1971年以降の研究会を踏まえ実施してきた、わが国で初めて本格的に事業を開始したサンドバイパス(リサイクル)と景観改善を目的として新たに設置してきた潜堤について、その実施状況や効果などの現状と今後の海岸整備に向けて抱える課題について整理を行った。

(1) サンドバイパス(リサイクル)による対策

サンドバイパス工法とは養浜工の一種であり、天橋立では、漂砂の上手側にあたる日置港および尻尻港において砂を浚渫し(バイパス砂)、下手側に位置する天橋立の砂州部分の最上手に砂の供給を行っている⁵⁾。さらに、漂砂移動により、天橋立の先端部(小天橋)において堆砂が生じることから、これを上手側へ輸送し再度供給する(リサイクル砂)手法を実施している⁷⁾。1971年の開始から現在まで約40年間継続しており、近年は、2006年の研究会における方針を踏まえ、年間4,500m³程度を目安とした土砂投入(養浜)を年1回行っている。

図-5は空中写真(1963-2006)および汀線測量結果(2004-2011)から算出した天橋立大天橋における汀線変化量(1963年の汀線を基準とした変化量)の平均値と土砂投入量(各年値および累積値)の経年変化を示している。図より、平均的な汀線は、1979年以降のサンドバイパス(リサイクル)によって開始から5年後の1984年時点で15m程度前進し、その後も緩やかに前進(約30年で10m程度)しており、汀線変化は累積土砂投入量の変化に呼応していることが分かる。図-6には図-5に示す汀線変化量と累積土砂投入量の関係を示しているが、両者の相関性は高い(相関係数=0.92)。また、図-7は各年間の汀線変化量と累積土砂投入量の関係を示しているが、累積土砂投入量が大きくなると汀線変化量は徐々に小さくなり、近年では平衡状態にあるといえる。

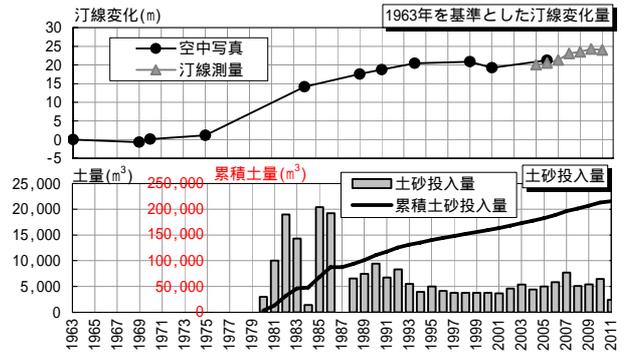


図-5 汀線変化量と土砂投入量の経年変化

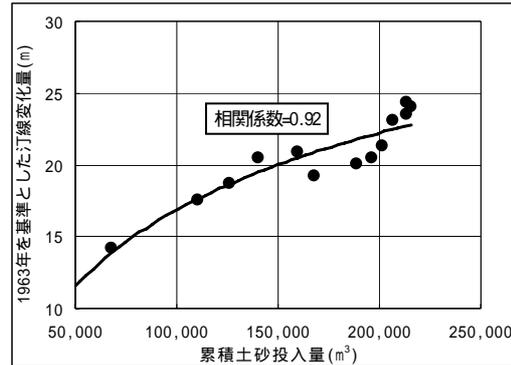


図-6 1963年を基準とした汀線変化量と累積土砂投入量の関係

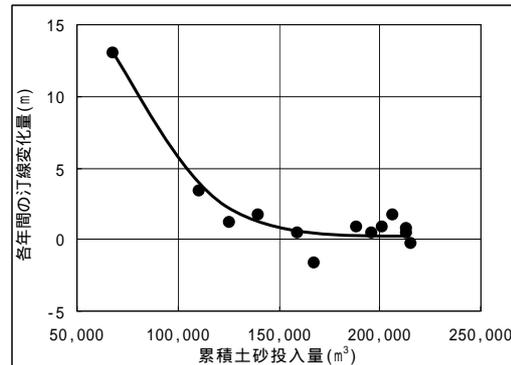


図-7 各年間の汀線変化量と累積土砂投入量の関係

以上の整理から、天橋立の侵食対策におけるサンドバイパス(リサイクル)の効果は顕著であり、今後も砂浜を維持していくためには基本的な考え方を踏襲する必要があるといえる。一方、近年では効果が平衡状態にあることが確認できたため、今後の海岸整備を考える上では、後述する潜堤の整備効果も踏まえ、適切なサンドバイパス(リサイクル)量の設定が重要になると考えられる。

(2) 潜堤による対策

突堤群によってノコギリ状となった汀線形状を改良し、景観上優れた滑らかな汀線とすることを目的として(図-8)、突堤先端の下手側に潜堤を設置する工法を実施している。この工法は、潜堤設置箇所において、入射する波の波高を減衰させるとともに、入射波を屈折させ汀線に直角に入射するようにして沿岸方向の漂砂移動を抑え



図-8 ノコギリ状汀線の改良イメージ

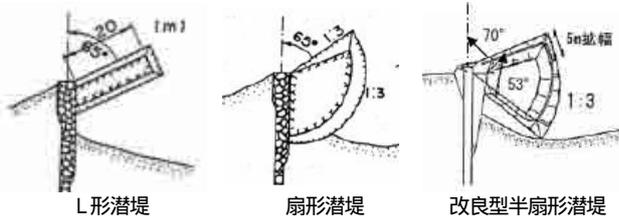


図-9 潜堤の構造イメージ

ることで、砂を堆積させるものである。この事業は、1991年から試験施工を開始しており、図-9に示すような形状の異なる潜堤を現地施工した結果、扇形状の潜堤の機能がより高いことが分かった⁶⁾⁷⁾。その後も試験施工を重ね、2006年の研究会において効果的・効率的な潜堤形状として「改良型半扇形潜堤」を採用し、以降これまでに改良を含む全11基の潜堤を設置している。

図-10は2010年に設置した改良型半扇形潜堤周辺における汀線の経年変化を、図-11は図-10に示す測線NO毎の汀線位置を2005年を基準とした変化量でそれぞれ示したものである。これらより、潜堤設置前後の2009年と2010年および2011年とを比較すると、潜堤下手側の汀線は最大で20m程度前進しており、潜堤背後には漂砂が捕捉され設置前に比べ滑らかな連続的な汀線形状が形成されていることが分かる。また、図-12は潜堤から下手側への距離と潜堤設置前後における汀線の変化量を示している。図より、潜堤下手側では設置箇所に近いほど汀線の変化(前進)量は大きく、潜堤による汀線改良効果は、潜堤から約40m程度まで確認できる。

以上の整理から、潜堤による汀線改良効果を確認することができたが、設置後の経過年数が短いものも多いため、今後もモニタリングを継続しながら、その経過を観察していく必要がある。

4. 今後の海岸整備について

天橋立の景観保全や利用促進を今後も引き続き行うためには、概ね安定した砂浜形状と滑らかな汀線形状を実現させたこれまでの侵食対策を踏襲しつつも、維持管理費用の縮減に配慮した持続可能な整備を考えていく必要があるといえる。

本節では、その一環として、現状を踏まえた適切なサンドバイパス(リサイクル)量について検討を実施し、今後の海岸整備の方針について考察を行った。

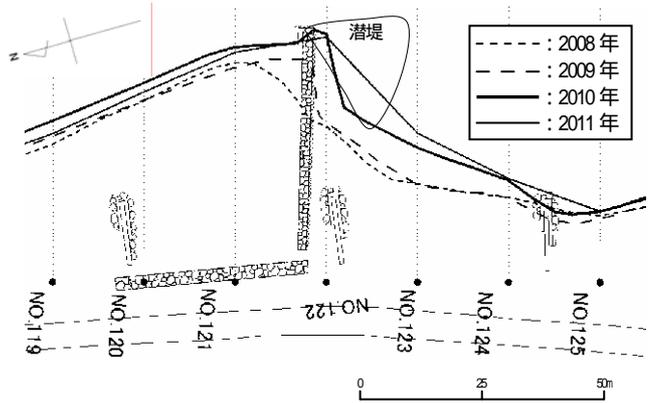


図-10 潜堤周辺における汀線の経年変化

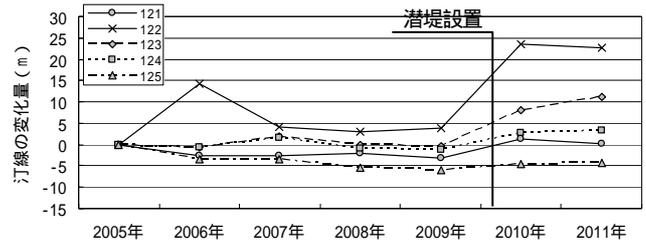


図-11 2005年を基準とした汀線の変化量

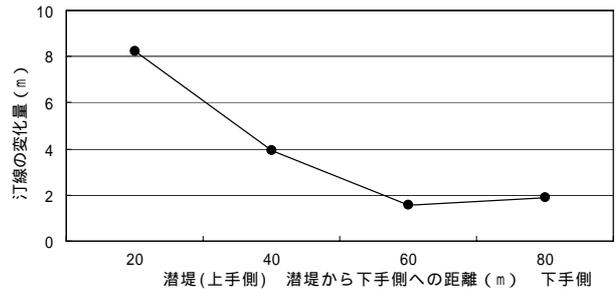


図-12 潜堤からの距離と潜堤設置前後における汀線変化量

(1) 汀線変化モデルを用いたサンドバイパス(リサイクル)量の検討

潜堤設置完了後の現状汀線が安定する適切なサンドバイパス(リサイクル)量について、汀線変化モデル(1-Lineモデル)を用いて検討を実施した。

汀線変化モデルは、波浪と海岸線形状のデータにより、沿岸方向の各点において沿岸漂砂量を算定し、汀線変化を一本の線の変化(前進、後退)で評価するもので、長期的な海浜変形予測の手法として現地適用性が高いモデルである。また、汀線変化計算に与える入射波は、多方向不規則波の屈折および浅水変形を同時に解くことができるエネルギー平衡方程式による方法を採用し、沖波(柴山波浪観測所の実績データから季節毎のエネルギー平均波を設定)から算出した。

サンドバイパス(リサイクル)量の検討では、潜堤設置完了後の現状汀線(2011年11月)を初期地形でもあり目標地形(すなわち、現状と大きく変わらないことを目標)とし、同じ外力条件の下、年間土砂投入量が異なるケース(2,000m³, 3,000m³, 4,000m³, 5,500m³)を設定し、予測計算

を実施した。図-13は各ケースにおける現状から5年後の汀線変化量について比較したものを示している。いずれのケースでも、江尻港下手の土砂投入箇所付近(潜堤未整備区間)および大天橋下手の突堤間距離が長い区間では、汀線は現状よりも後退すると予測される。また、土砂投入量が少なくなるほど江尻港下手側の汀線後退範囲がより下手側へ広がる傾向となり、特に、土砂投入量が4,000m³よりも少ない場合は、汀線の後退範囲が現状の潜堤設置区間にまで広がると予測される。一方、土砂投入量が4,000m³よりも多い場合は、現状の潜堤設置区間上手側に土砂が堆積すると予測される。

以上の予測計算結果から、特に、江尻港下手の潜堤整備区間上手側に着目すると、この区間の現状汀線が安定するためには、4,000m³以上のサンドバイパス(リサイクル)量が必要であり、効率的な土砂投入量は4,000m³程度であると考えられる。

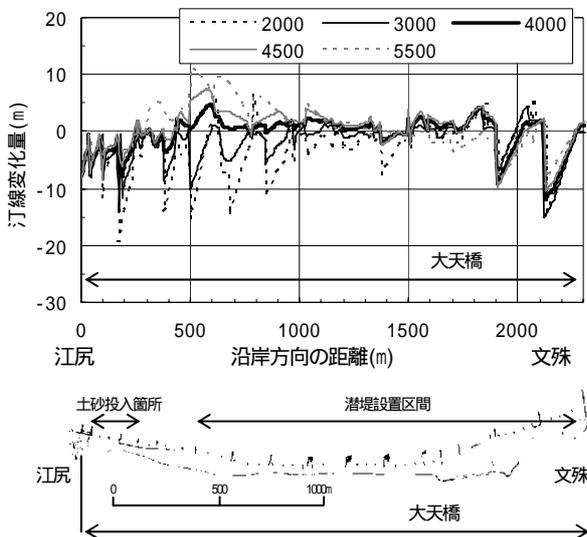


図-13 汀線変化の予測計算結果

(2) 今後の海岸整備方針について

これまでに実施してきた侵食対策や景観改善対策によって、現在では全体的に概ね安定した砂浜形状が維持されている。このため、今後の海岸整備では、モニタリングによる経過観察を行いながら、より効率的なサンドバイパス(リサイクル)を実施していく必要があるとともに、海水浴などの利用が活発な箇所への局所的な対策を合わせて行っていく必要があると考える。

実績データに基づく現状の汀線変化状況の整理や汀線

変化予測計算の結果を踏まえると、効率的なサンドバイパス(リサイクル)の実施については、先に述べたとおり年間4,000m³程度を目安とした運用を実施していく必要があると考えられる。また、海水浴などの利用がある江尻港下手の土砂投入箇所付近(潜堤未整備区間)では、局所的な侵食を防止するため、潜堤を新たに設置するなどの対策が必要と考えられる。さらに、海岸利用が活発な大天橋下手の突堤間距離が長い区間では、夏季の海水浴利用前に養浜するなど局所的な対策を行っていく必要があると考えられる。

5. おわりに

本論文では、天橋立海岸においてこれまでに実施したサンドバイパス(リサイクル)および潜堤による侵食対策の現状と課題についてとりまとめるとともに、適切なサンドバイパス(リサイクル)量の検討を行うなど、今後の整備方針について考察を行った。

今後は、これまでの侵食対策により海岸侵食は防止され現在では概ね安定した砂浜形状が形成されていることに加え、潜堤による汀線改良(景観改善)効果が発現している現状を踏まえ、モニタリングによる経過観察を行いながら、維持管理費用の縮減にも配慮した効率的な整備を実施していく必要がある。

参考文献

- 1) 矢島道夫・上園晃・矢内常夫・山田文雄：天橋立におけるサンドバイパス工法の適用，海岸工学論文集，第 29 巻，pp.304-308，1982.
- 2) 岩垣雄一・陳活雄：天橋立海岸の生成過程に関する研究，第 44 回土木学会年次学術講演会，1989.
- 3) 岩垣雄一・陳活雄：日本三景天橋立の生成とその発達過程の研究，第 46 回土木学会年次学術講演会，1991.
- 4) 陳活雄・岩垣雄一：砂嘴の形成と侵食に関する研究 - 天橋立海岸について - ，海岸工学論文集，第 39 巻，pp.371-375，1992.
- 5) 京都府：宮津港天橋立海岸侵食対策調査報告書，pp.1-70，1987.
- 6) 鈴木康正・平石哲也・富樫宏次・高羽泰久・南将人・岩垣雄一：潜堤を用いた海浜安定工法に関する現地観測と模型実験，海岸工学論文集，第 42 巻，pp.696-700，1995.
- 7) 平石哲也：小型潜堤を用いた海浜安定工法に関する模型実験，港湾空港技術研究所資料 0896，1998.
- 8) 京都府：第 9 回天橋立海岸整備技術研究会資料，2006.
- 9) 京都府：宮津港天橋立～日置海岸環境整備技術研究調査報告書，1999.

縦流式トンネル換気設備におけるインバータ式 ジェットファンの適用について

二村 尚人¹・中嶋 康之¹

¹近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 道路管理課 (〒668-0025 兵庫県豊岡市幸町10-3)

これまでの縦流式トンネル換気設備は、ジェットファンの運転台数により換気風量を制御する、台数制御方式により制御するのが一般的であった。しかしながら、現在施工中である、和田山八鹿道路八鹿トンネルにおいては、維持管理コスト削減の観点から、ジェットファンの回転数を制御することにより、換気風量をコントロールするインバータ制御方式を採用した。

本論文では、インバータ制御方式のジェットファンの採用プロセスを報告する。

キーワード トンネル換気設備、ジェットファン、コスト削減、制御方式

1. はじめに

和田山八鹿道路は、兵庫県豊岡市から丹波市までを結ぶ延長約70kmの高規格道路の北近畿豊岡自動車道の一部として、朝来市和田山町から養父市八鹿町を結ぶ延長13.7kmの自動車専用道路である。(図-1)



図-1 北近畿豊岡自動車道位置図

本報告での対象トンネルである、八鹿トンネルは、兵庫県養父市十二所～養父市米里に位置する全長2,990m

の対面通行トンネルである。(図-2)

トンネル等級はA等級で、縦流換気方式にて計画がされているトンネルである。

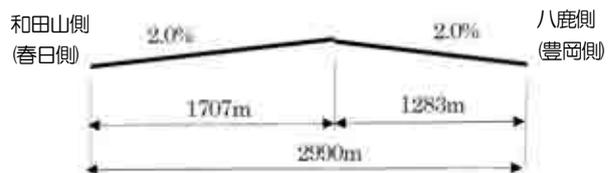


図-2 トンネル縦断面図

一般的に縦流式トンネル換気設備(図-3)は、複数台のジェットファンをトンネル内に設置し、トンネル内の煤煙濃度(VI)や一酸化炭素濃度(CO)が上昇した際に、道路交通の安全と坑内環境の保全を図るためジェットファンを運転し、坑内の換気を行う設備である。(図-4)

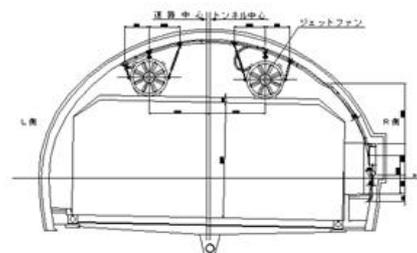


図-3 トンネル断面図



図-4 縦流換気イメージ図

2. ジェットファンの運転制御方式の検討

(1) ジェットファンの運転制御方法について

一般的に、トンネル内の換気風量を制御する場合には、ジェットファンの運転台数を制御することにより風量の調整を行っている。

ジェットファンの内部には羽根車と、それを回転させる電動機が配置され推力（風量）を生み出す構造となっている。

(2) インバータ制御方式について

ジェットファンの風速、推力（風量）、電力は、回転数の1乗、2乗、3乗に比例する(図-5)ことから、羽根車の回転数をインバータにより制御する場合の推力（風量）、風速、電力の関係は表-1の関係となる。

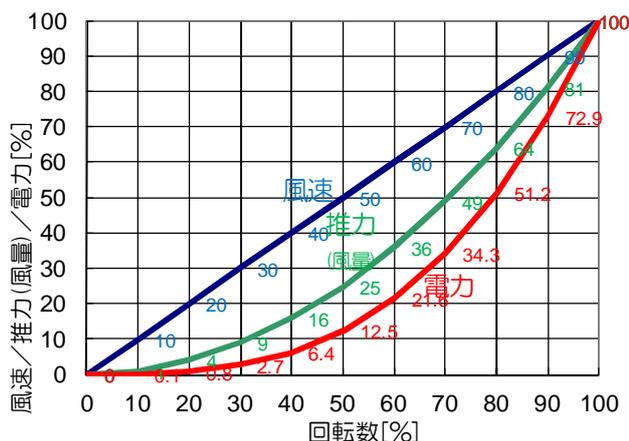


図-5 ジェットファンの回転数と風速、推力、電力の関係図

(3) 台数制御とインバータ制御の比較について

通常のトンネルにおいては、ジェットファン1台毎に運転・停止を制御し換気風量を確保する台数運転制御が用いられている。そのため、必要な換気風量を満足させるために、余剰な風量を生じさせてしまっており、効率的な運転とはなっていない。

そこで、ジェットファンの羽根車の回転数を制御することにより、必要な換気風量に対し、差異なく風量を制御することが出来るため、効率的な運転を行うことが可能となる。(図-6)

この関係を6台のジェットファンが設置されているトンネルにおける、台数運転制御とインバータ制御について、必要推力（風量）を基準として電力比較を実施した結果を表-1に示す。

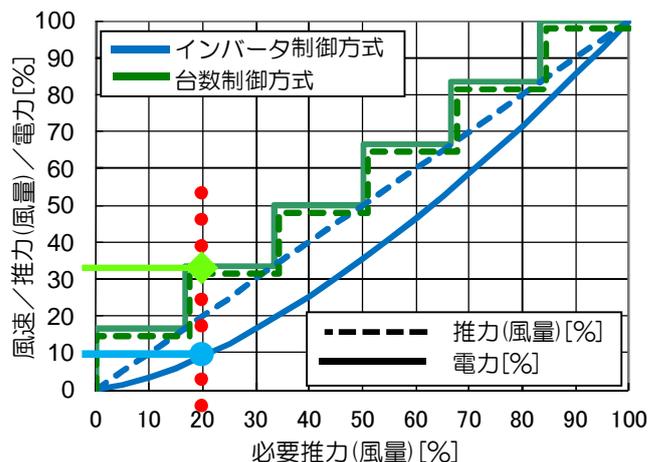


図-6 制御方式による電力量イメージ

表-1 台数運転制御とインバータ制御の比較表

推力 (風量)	台数運転制御			インバータ制御			省エネ効果 (電力縮減率)
	運転 台数	風速 (1台当り)	電力	運転 台数	風速 (1台当り)	電力	
0~17%	1台	100%	17%	6台	0~41%	0~7%	59% 推力17%の場合
17~33%	2台	100%	33%	6台	41~58%	7~19%	42% 推力33%の場合
33~50%	3台	100%	50%	6台	58~71%	19~35%	29% 推力50%の場合
50~67%	4台	100%	67%	6台	71~82%	35~54%	18% 推力67%の場合
67~83%	5台	100%	83%	6台	82~91%	54~76%	9% 推力83%の場合
83~100%	6台	100%	100%	6台	91~100%	76~100%	0% 推力100%の場合

以上のことから、必要風量が少ない場合においては、6台で分散して運転をした方が、電力量の縮減効果が大きくなる。逆に、必要風量が多い状態では、各々の風速が大きくなり、電力量が多くなるため、縮減効果が少なくなる。

例として、図-6より、20%の風量を確保するためには、台数運転制御では、2台のジェットファンが運転することにより33%の電力が必要となるが、インバータ制御では6台のジェットファンを低負荷で運転させることにより10%の電力でまかなうことが出来る。

(4) インバータ制御の特徴について

電力量の縮減以外に、ジェットファンをインバータ制御した際のメリットとして以下の点が上げられる。

- ① 台数運転制御では、起動時に突入電流（起動時に、電動機に定格電流よりも大きな電流が流れること）が生じるため、電動機の保護を目的に起動間隔を一定時間設けるが、インバータ制御では、突入電流が生じないため、起動間隔を考慮する必要がない。そのため、必要風量に応じてきめ細やかな換気制御を行うことが出来る。
- ② 突入電流がないため、複数台の同時起動を行うことが出来るため、急激な換気風量の変化に対して、速応性が高い換気制御を行うことが出来る。

3. インバータ制御の導入検討

(1) 導入検討にあたって

一般的にジェットファンの規格及び台数については、技術基準により、トンネルの諸条件や交通量等から算出される所要換気量を元に、コストメリットが最も得られる規格、台数としている。

八鹿トンネルにおいては、口径1250（高風速型）ジェットファンが6台配置することとなった。（図-7）

ジェットファンの配置については、火災時の影響等を考慮して、設置場所を電気室側坑口付近とトンネル中央付近に分けて設置を行っている。

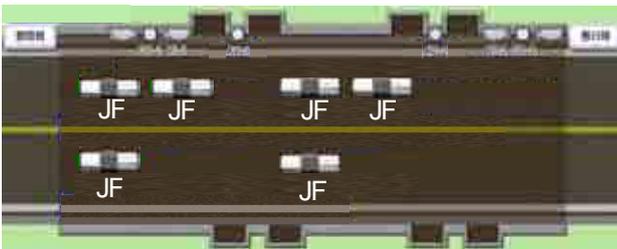


図-7 ジェットファン配置図

ジェットファンは、トンネル内を通行する自動車の排出ガスによって、坑内のCO値若しくはVI値が悪化した際に運転を行う。そのため、インバータ制御の導入効果を検討するためには、通過交通に伴うトンネル坑内の環境（VI値、CO値）を予測し、ジェットファンの運転等を考慮した坑内環境のシミュレーションが必要となる。そのため、通過する交通量の交通パターンが重要

となり、供用後の実交通パターンに近ければ、より正確なシミュレーションを実施することが出来るため、的確な導入検討を行うことが可能となる。

(2) 交通パターンについて

八鹿トンネルについては、供用前のトンネルであることから、実交通量からの交通パターンを得ることは不可能である。そこで、並行している国道9号南但馬トンネル（図-8）の実測交通パターンを元に八鹿トンネルでの交通パターンを想定した。



図-8 八鹿トンネル-南但馬トンネル位置図

南但馬トンネルにおいて、平均的な交通量となっている日の交通量パターンを下図に示す。（図-9）

上り、下りが概ね同じような交通パターンとなっていることがわかる。

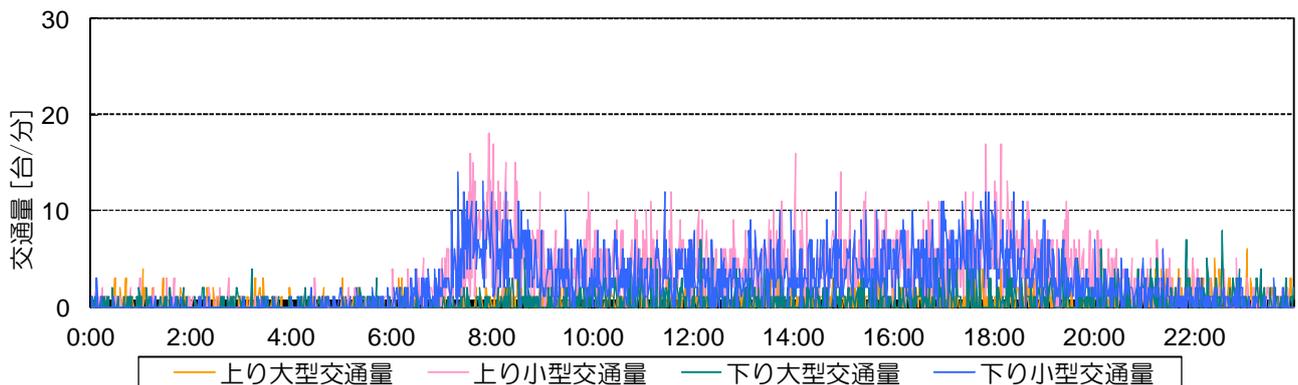


図-9 交通量パターン図

(3) シミュレーションの実施結果について

シミュレーションの条件として、坑内環境のVI管理目標値：60%、許容濃度：42%、CO管理目標値：80%として、坑内環境のシミュレーションを実施した。

ジェットファンの運転状況及びVI・COのシミュレーション結果を次に示す。（図-10～13）

VI1及びCO1については和田山側の値、VI2・CO2については八鹿側の値を示す。

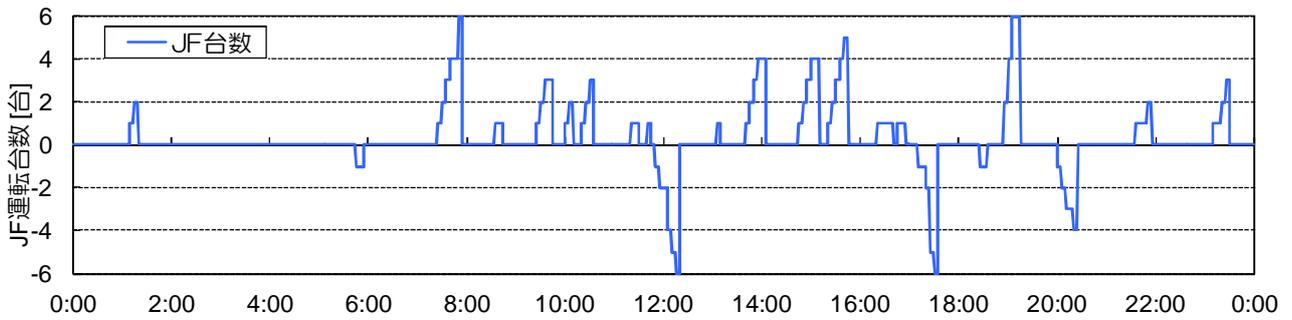


図-10 ジェットファン運転台数図 (台数運転制御)

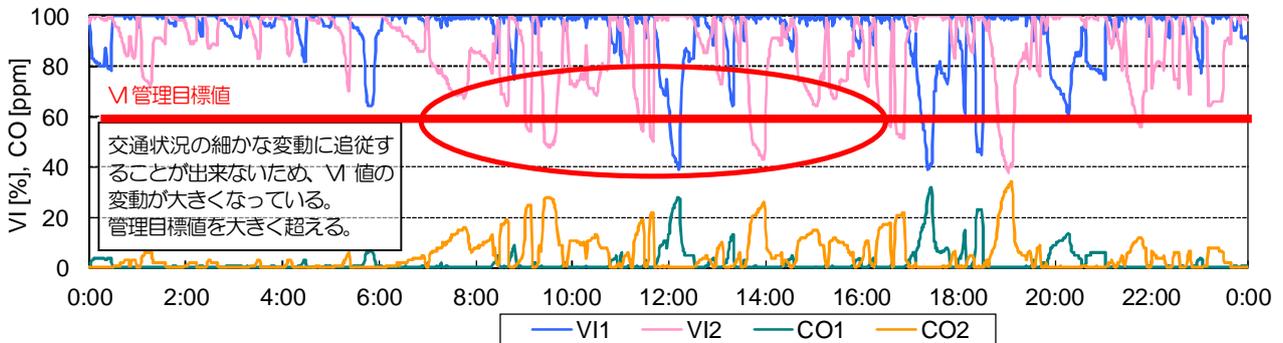


図-11 VI及びCO図 (台数運転制御)

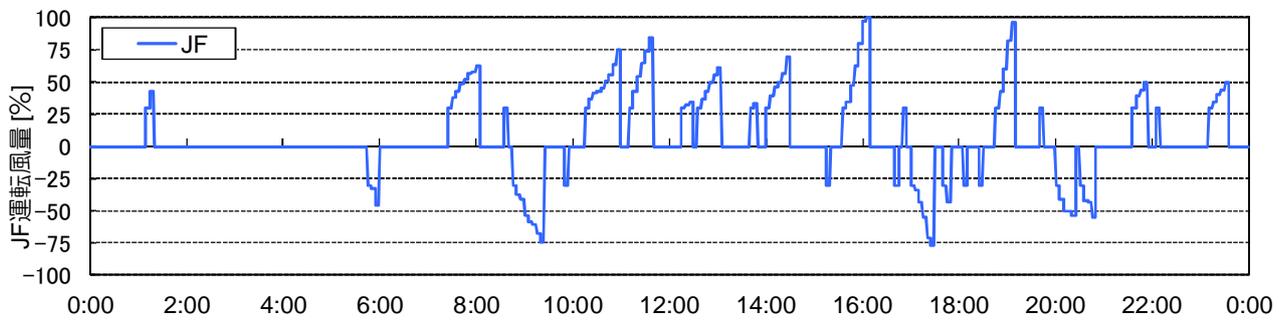


図-12 ジェットファン運転風量図 (インバータ制御)

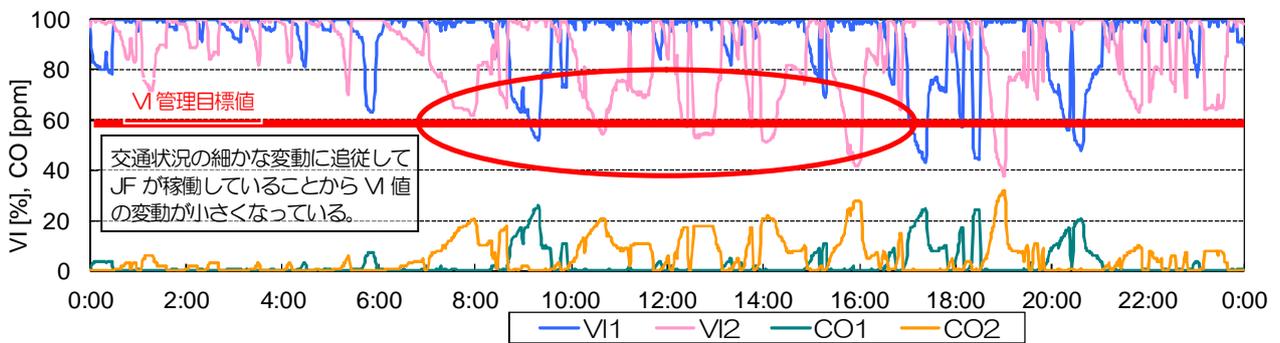


図-13 VI及びCO図 (インバータ制御)

シミュレーション結果より、インバータ制御の特徴である、速応性が良くなることにより、交通量の細かな変動に対して対応するため、ジェットファンの運転・停止が細かく制御されている。そのため、坑内環境を悪化さ

せることなく、VI 管理目標値近傍で運用することが可能となるため良好な坑内環境を保持することが可能となり、道路利用者に対するサービスレベルが向上するものと考えられる。また、きめ細やかな風量調整が出来る

という特徴を生かして、低風量で運転する時間を多くすることにより、運転時間は増加するが、全体の電力量を縮減する制御を行っている結果となった。

(4) 比較検討結果について

シミュレーション結果から、1日当たりの使用電力量を算出し、これを元に年間使用電力量及び年間電気代を算出した。(表-2)

表-2 年間使用電力量・電気代一覧表

制御方式	年間使用電力量	年間電気代	比率
	(kWh)	(千円)	
台数運転制御	330,000	3,300	100%
インバータ制御	186,000	1,860	56%

インバータ制御を導入することにより、年間の電気代のコストを1,440千円縮減することが出来る結果となった。

しかしながら、インバータ制御を導入するためには、ジェットファンへ電力を供給する動力盤をインバータ制御用に対応した物にしなければならないため、イニシャルコストとして15,000千円程度の増額となる。

したがって、減価償却するまでに10年程度を要することとなるが、豊岡管内の他トンネルの動力盤は15年以上を経過しているが修繕等を必要とする不具合が生じていないことから、ライフサイクルコストのメリットが得られるものと判断した。

4. 課題点とその対策

(1) ノイズ対策について

インバータ制御を行う際には、電気ノイズ等が発生し他の設備等への影響等が生じる場合がある。

その対策として、八鹿トンネルにおいては、ノイズフィルタを動力盤にもうけると共に、動力ケーブルについてもノイズの漏洩を防止するケーブル等を採用し対策に努めた。

(2) 点検コストの増加について

動力盤内へインバータ制御を行うための機器が設置されることによる点検項目については、測定項目は絶縁抵抗のみで、その他は目視確認のみであることから、これまでの点検項目から増加することはないと考えられる。

そのため、インバータ制御に伴い、点検コストが増加することはないと考えている。

(3) 電動機等への影響について

インバータ制御による電動機等への影響については、他分野の産業等ではインバータ制御は広く普及しており、ジェットファンの駆動に使用される電動機についても、広く使用されている汎用品である。そのため、インバータ制御に伴い、電動機等の機器に不具合が生じることはないと考えている。

5. まとめ

ジェットファンにインバータ制御を導入することにより、維持管理コストを縮減すると共に、導入に掛かる費用についても考慮したライフサイクルコストを縮減する可能性が高いことがわかった。

今後、長期的な運用を図っていく中では、ジェットファン始動の際の突入電流が生じないことから、電気機器の使用環境が向上し、ジェットファンのオーバーホールや電気機器の改修間隔を広げることによる維持管理コストの縮減が行える可能性がある。

また、受電施設の容量低減を図ることが出来るため、トンネル施設全体でのコスト縮減を行うことが出来るものと考えられる。

6. 今後の課題

北近畿豊岡自動車道和田山八鹿道路については現在施工中であり、平成24年11月に供用予定である。

工事完成時には、インバータジェットファンの速応性、風量と電気力量の関係等について測定を行い、今後の設計への基礎データとして整理を行っていきたい。

また、供用後においては、換気設備の稼働状況等について交通量を元にしたコスト縮減効果について整理を行い、コスト縮減に寄与しているか評価を行うと共に、長期的な機器への影響・維持管理手法についても運用を図りながら確認をして行く予定である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路トンネル技術基準（換気編）・同解説

ナノセンサデバイスを活用した 道路管理手法について

田中 雄三¹・西山 哲²

¹近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 (〒646-0003 和歌山県田辺市中万呂142)

²京都大学大学院 工学研究科 都市社会工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

本論文は岩盤斜面の挙動を高精度に計測し、さらに当計測データをリアルタイムに無線で配信するセンサデバイスを活用することで、効率的かつ効果的な管理手法の構築を実現した成果をまとめたものである。岩盤斜面に設置したセンサデバイスは、植生の影響を受けることなく対象物の傾斜挙動を遠隔に配信する機能を有しており、事務所管内の岩盤崩落・崩壊現場において当センサデバイスによるモニタリングの有用性を実証した事例を紹介する。

キーワード MEMSセンサ, センサネットワーク, リアルタイム計測, 道路斜面

1. はじめに

紀南河川国道事務所管内の道路斜面の多くが、複雑かつ脆弱な地盤で構成されており、また台風や地震といった天災も多く発生する地域でもあるため、道路防災に要する人的・経済的な負担が多大なものになっている。その一方で、高度成長期に建設した対策工の老朽化も懸念されており、本事務所においても限られた財源と管理体制をより一層効率的かつ効果的に運用する道路の管理手法が求められている。また道路沿いの斜面の大半は地形上あるいは経済的な問題によって、抜本的な対策工を早期に実施することが困難な状況でもある。このような背景から、危険箇所の抽出と現状を把握するためのモニタリング網を普及させることは、災害を未然に防ぐだけでなく、合理的な対策の優先順位あるいはその時期を決定するために必要な要素である。しかしながら、特に岩盤斜面を対象としたモニタリング技術には次のような課題が伴うため、有効な計測システムの構築がこれまで築けない状態である。

- ・危険な箇所が広範囲にわたっており計測機器を多数設置する必要があるが、計測機器が高価である。
- ・計測機器が設置できたとしても、広範囲を計測の対象にしているため、その維持管理に要するコストが多大なものになる。
- ・各地区ごとに崩壊形態が異なっているが、どのような崩壊形態であっても対応できる高精度の計測を実現する機器がない。
- ・前兆となる現象が現れてから崩壊に至るまでの時間が短いために、変位あるいは変状に関するデータをリア

ルタイムに出力する技術が要求される。

- ・計測システム自体が風雨や雷などの災害に対して頑強でなければならない。

これまで実施された道路防災総点検を見直した事例においても、岩盤崩壊・崩落に関しては、点検で判断された内容と異なる形態および規模での災害が発生していること、あるいは対策工が施されていた箇所でも新たに災害が発生していることが報告されており、岩盤斜面のモニタリング手法の困難さを物語っている。

本研究はこれらの背景を鑑み、安全かつ安心な道路を提供できるマネジメントの基本的な要素技術であるモニタリング手法、特に落石を含めた岩盤斜面の崩壊・崩落の危険性を定量的に把握するモニタリング手法の開発に取り組み、本事務所管内の広範囲にわたる岩盤崩壊・崩落危険箇所にも普及させる試みを続けてきた。その中でもMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) と称される各種センサと計測データを無線で配信する機能を一体化したセンサデバイスを活用した管理手法を完成させたので、ここにその成果の一部を報告する。本研究の特徴は、電子産業またはIT関連産業の最先端の技術を導入することにより、前記のモニタリング手法がもつ課題を克服する新たな技術を構築したことである。この土木分野から見て異分野である電子・通信分野の技術と、官学がこれまで培ってきた管理技術のノウハウを融合させる開発体制を発足させ、そこから効率的かつ効果的な道路管理技術を産み出すことができた¹⁾。ここで報告する紀南河川国道事務所管内における新しい道路防災(減災・避災)技術の事例が、同様の課題をかかえる他の地域において、今後の道路管理手法への参考になれば幸いである。

2. ナノセンサデバイスの開発

本研究のモニタリングシステムは、計測対象物上の挙動を高精度に捉えるナノセンサデバイスと、そのセンサデバイスで計測した対象物の挙動をリアルタイムに事務所に伝送する無線ネットワークにより構成される。

図-1に本研究で用いるナノセンサデバイスを示す。約65×50mm、高さ約35mmのパッケージにMEMSと称される0.1度の分解能をもつ傾斜センサと温度センサおよび湿度センサが組み込まれた基板、データを配信する無線モジュールと無線アンテナ、さらには電源であるリチウム乾電池2本が内蔵されている。このセンサデバイスによって計測された傾斜データは、温度および湿度の値とともに無線によって遠隔に設置した基地局に伝送され、さらに当基地局から電子メールにて事務所に計測データが配信される。

図-2は、このナノセンサデバイスを用いたモニタリングシステムの実用例を示す。岩盤斜面にセンサデバイスを設置すると、そのセンサが斜面の挙動を検知し、さらに無線によって斜面の状態を事務所に配信する。センサは小型で有線部分がないことから、任意の箇所に多数設置でき、また台風や地震時の断線によって計測が不能になる事態や落雷および誘雷による機器の損傷の心配も無い。このセンサデバイスからの計測データを収集して事務所に転送するのが基地局の役割であり、設置したセンサデバイスの計測データを1台の基地局にて収集して事務所に配信する。事務所では岩盤の挙動がすぐに分かるように、図-3に示すような岩盤が動いた方向と大きさを表す画面をパソコンに表示させている。基地局の電源は太陽電池であり、モニタリングシステム全体としても有線の部分がなく、またナノセンサデバイスを含め機器のコストも安価であることから設置機器の設計が自由にできる。紀南河川国道事務所では、事務所管内の橋杭岩と称される岩盤の挙動監視に本モニタリングシステムを適用した。この現場は崩壊の危険性があるために対策工の実施も検討されていたが、当対策工が完成するまでの約1年間にわたって監視を行う必要がある一方で、天然記念物に指定されている地区でもあり、景勝を維持するために伸縮計や従来の傾斜計などの計測機器の設置が困難な箇所であった。そこで、景観を損なわない小型で有線が無いナノセンサデバイスを活用した結果、次のような利点のある計測システムであることが実証された²⁾。

- ・15分間隔で計測しても、ナノセンサデバイスの電池を約3年間交換する必要が無く、受信機も太陽電池で駆動するので計測システム全体のメンテナンスが不要であった。
- ・0.1度の分解能で3方向の傾斜角を計測できるので、微小な岩盤の挙動を3次元的に捉えることが可能であり、崩壊危険性をリアルタイムで把握することができた。

・基地局をナノセンサデバイスから100mの遠隔に設置することができ、機器の配置の設計が容易であった。

このように岩盤斜面を対象とした従来の計測手法の課題であった「高精度の計測機器を多数設置することが出来ない」あるいは「機器の設置後のメンテナンスの労力が多大である」などの欠点を克服するモニタリング手法を実現させることが可能となった。



図-1 ナノセンサデバイスの概念



図-2 無線センサデバイスの活用例



図-3 橋杭岩モニタリングシステムの実用例

3. 計測システムの高度化技術

前章において岩盤斜面モニタリングにおける本研究の適用例を示したが、さらに広範囲の管理対象区域へ展開することを狙い、次の特性をもつシステムへと高度化することを試みた³⁾。

- ・センサデバイスと計測データを収集する基地局間の距離は100mが限度であった。これを300m以上遠隔にまで計測データを無線で送受信できる性能に高度化することで、システムの設計の自由度をさらに向上させる。
- ・無線を利用して計測データを伝送する計測システムは他にも実用化されているが、いずれも植生が繁茂する現場に設置した場合は、電波が伝送されず使用できなくなる。これを改善し、植生の影響を受けることなく計測データを無線で配信できるセンサデバイスにする。
- ・傾斜角を計測するセンサは高精度であるために、MEMSにおける各部品が持っている温度や湿度に対する特性の影響を受けてしまう。すなわち、温度の変化に伴う各種部品の熱膨張の影響をセンサが捉えてしまい、対象物は動いていないのに微小な動きを示したように見えるデータを配信してしまうことがあり、真の岩盤の動きだけを管理者に配信させる必要がある。

以上の技術は、本事務所における計測対象の多くが植生の多い区域あるいは小型とは言ってもセンサデバイスからのデータを無線で受信する基地局の設置が困難な箇所も多いため、本手法を普及させるために必要となる。しかしながら、これまでの無線技術では次の問題があるため、既に他の現場などで実用化されている技術を導入することでは対処できないことも明らかであった。

- ・市販されている無線機器に使用されている無線の周波数は2.4GHz帯を使用したものである。この周波数は、無線電波の直進性が大きく現れるため、センサデバイスの周囲に植生が茂っていると、無線は遮断される。
- ・上記の課題を克服するために、無線電波の中継器を設置することで100mより遠い基地局に計測データを伝送する技術も試みられているが、この場合は中継器を含めて常に各機器が動作している状態にしておく必要があり、電池の消耗が激しくなるためメンテナンスフリーの状態を長期間保持することができない。
- ・高精度で対象物の挙動を計測するためには、センサの感度を向上させれば良いが、これは同時に各種のノイズに対する感度も向上させることになる。したがって、温度や湿度の影響を抑えるには、感度の低いセンサを用いるのが良いという矛盾が発生する。

これらの課題に対して、本研究では新たなセンサデバイスの開発に取り組み、本管理区域内のあらゆる個所に適用できる新しいモニタリングシステムを完成させた。

- ・図-4のように無線電波は波の性質をもち、周波数の低い電波は物体の背後に回り込む特性が大きい。無線電



図-4 植生繁茂箇所でも使用できる技術の説明
波の周波数を2.4GHz 帯からMHzの周波数帯のものに変更する。

図-4 植生繁茂箇所でも使用できる技術の説明

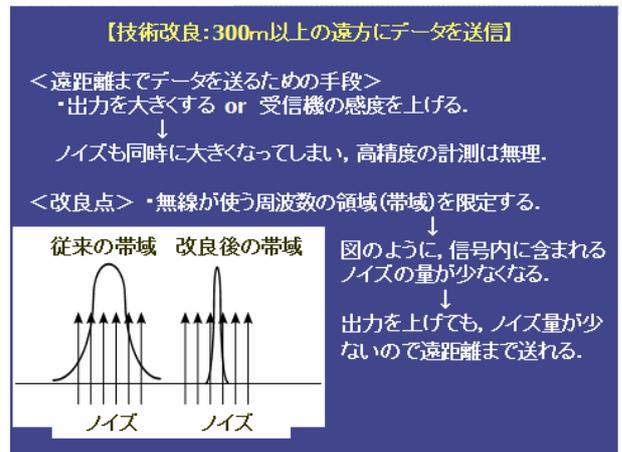


図-5 より遠方にデータ配信するナローバンド技術の説明

波のこの性質を利用して、植生が茂っていても、その背後に電波が回り込むことで無線の伝送が妨害されない工夫をする。具体的には無線の周波数帯をGHz帯よりも低い周波数のMHz帯とした。

- ・ナローバンドという無線技術を導入することにより、より遠方までノイズの少ない無線電波を送信させることを可能にする。このナローバンドは、図-5に示すように無線電波がもつ広がり(帯域幅)を狭くする技術であり、電波が拾ってしまうノイズを少なくする効果がある。したがって、従来は無線電波の出力を大きくするとノイズの大きさも同時に大きくなってしまいう欠点があったが、この手法では、より遠方まで無線電波が届くような大きな出力で発信しても、ノイズを拾う心配がない。これにより300m以上の遠方にまで無線電波を配信させることを可能にする。また中継器を設置することなく、各機器の省電化を改善した結果、10分間隔の計測でも5年間は電池交換が不要なメンテナ

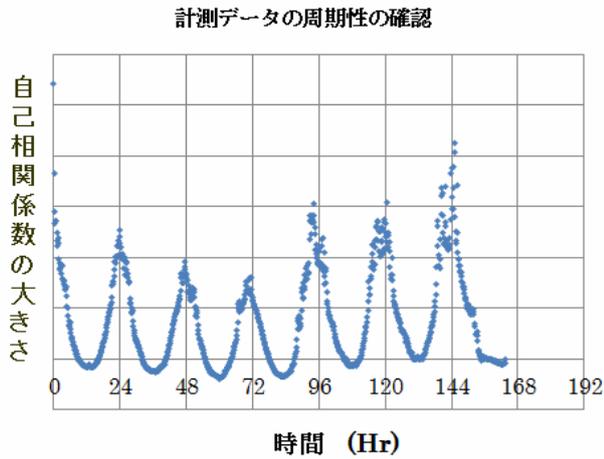


図-6 計測データの周期性を示す解析結果



図-7 開発した無線センサデバイスの特性

ンスフリーの特性を發揮することができる仕様とした。
 ・図-6は前章で示した現場における計測データを詳細に分析した結果であり、計測データの周期性を自己相関係数の大きさという指標で整理したものである。自己相関係数は、何時間ごとに計測データが大きくなるのかを表しており、明瞭に24時間ごとに計測データが大きくなったり小さくなったりする傾向があることを示している。これは気温の1日の変化と同じであり、温度変化による各種部品の熱膨張の影響が出現した結果である。そこでセンサデバイスの熱膨張係数等を室内実験にて評価し、計測データの変化から温度変化の影響を取り除くフィルターを開発し、対象物の変状に基づく実際の挙動だけを計測データとして取り出すことに成功した。

これら一連の技術開発によって、本事務所管内の広範囲の個所に本モニタリングシステムを適用することを可能にした。図-7に、本事務所管内での普及を目的に開発したセンサデバイスの特性をまとめて示す。さらに本システムの特徴を活かす現場として、国道42号沿いの急崖斜面における高角度の割れ目が発達した岩塊挙動のモニ



図-8 センサデバイス設置例

タリングに適用した事例を次章にて報告する。

4. 岩盤崩落モニタリング実施例

(1) 設置状況の概要

図-8に、岩塊に設置したセンサデバイスの状況を示す。計測対象は流れ盤である急崖斜面であり、国道42号が真下に走っており、また周辺は波浪による侵食が進行しているために凹地が形成されており、自重によって岩塊が崩落しやすく、その際には通行車両への多大な影響も懸念される現場である。このような背景を基にして、地質調査から転石や浮石から成るために崩落の危険性が高いと判断された10個の岩塊に開発したセンサデバイスを設置して、3方向の傾斜角の変化から当該岩塊の挙動をリアルタイムで監視することを試みた。またセンサデバイスによって、温度(分解能0.01℃)、湿度(0.03%RH)の状況も同時にモニタリングし、前述のセンサ信号から気温および湿度の影響を除去するフィルターをプログラミング化し、真の岩塊の挙動を把握する工夫も導入した。

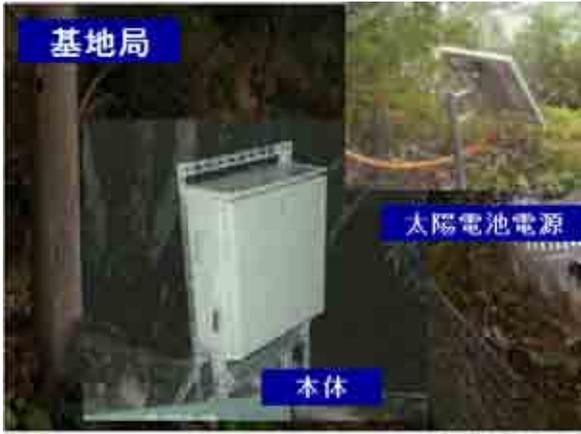


図-9 基地局の設置例

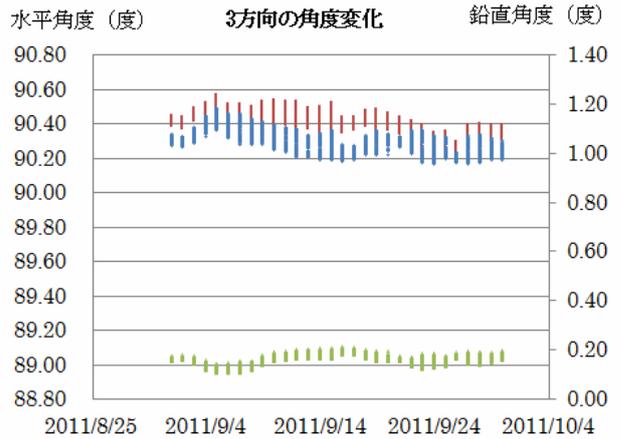


図-11 岩塊の挙動観測結果



図-10 パソコン上での監視画面例

また、図-8の赤枠で示したようにセンサデバイスを設置したが、モニタリング終了後に回収できるように治具を介して固定している。

モニタリングは10分間隔で行い、各センサデバイスから300m以内に設置された基地局に傾斜角の計測結果を送信する。図-9のように基地局本体と電源の太陽電池部は切り離され、電源だけを見通しの良い箇所に設置することで植生があっても電源の供給は可能である。基地局から計測値をFOMA網を利用して事務所のパソコンのWeb上に計測データを表示する。Web画面は1時間間隔で更新され、いつでも、どこでも手持ちのパソコン画面上で設置箇所の岩塊の状態を監視することができる。図-10は現場の状態を監視する画面の例である。

(2) モニタリング結果

図-11は、図-8に示す岩塊の挙動を計測したデータの経時変化である⁴⁾。横軸は計測日時を示しており、2011年9月から10月の期間中のセンサデバイスの計測データについて、水平2方向を赤および緑色で、鉛直方向を青色で示したものである。なお図では、期間中の1日の

挙動を各日ごとにまとめて示している。温度の影響を取り除くフィルターをプログラム化して導入しているものの1日の中の計測データには変動がみられ、また期間中全体でも若干周期的な変動がみられる。これはセンサデバイスを固定する治具が金属であるため、その温度変化の影響が完全には取り除かれていないことに因る。その影響を考慮しても、3軸方向の傾斜角は0.2度以内の変動であり、岩塊には危険な傾動が発生していないことが分かる。この期間中においては、9月1日から6日において台風12号が当地区に上陸したので、その影響を詳細に見たものが図-12である。図は図-11において緑色で示されている水平の1方向と青色の鉛直方向の変化である。治具の温度変化の影響による角度の変化がみられるものの、変化の大きさはいずれも0.2度以下であり、台風12号上陸の期間中でも岩塊は安定であったことを示す。

なお角度の変化と岩塊の安定の関係については、図-13に示す室内実験によりあらかじめ把握しておいた。これは原位置の岩塊の模型を傾斜台の上に乗せて当傾斜台の傾きを変化させ、岩塊模型の挙動を計測したもので、図-14はその結果である。横軸は傾斜台の角度を増加させた際の岩塊挙動の状況を示したものであり、縦軸は岩塊模型に添付した傾斜センサの値を示す。この傾斜センサは現場で用いたセンサデバイスと同じ特性をもつもので、岩塊模型は傾斜台の角度がある大きさを超えた際に回転することを示している。その際岩塊が不安定になって回転するまでは、ある大きさの角度になる必要があるが、現場で観測されたような1度以下の傾斜の変化ではない。これより本現場計測においても、数度の傾動の変化が発生した際に岩体は不安定な状態になると判断し、現場で実際に観測された0.2度以下の角度の変化では岩塊は安定な状態であると判定した。他の岩塊についても、観測期間中は同様の結果を示しており、室内実験の結果を管理基準値とした反映させることによって合理的かつ

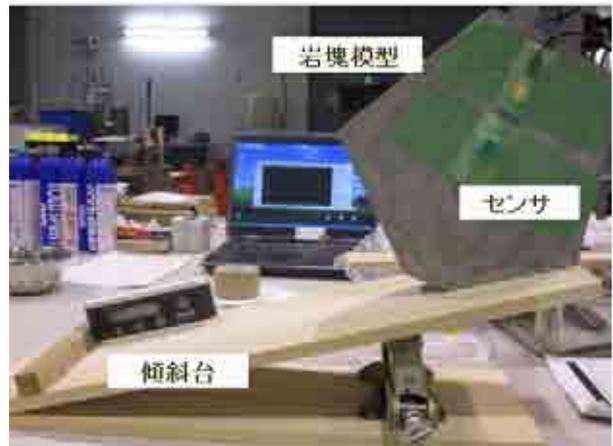
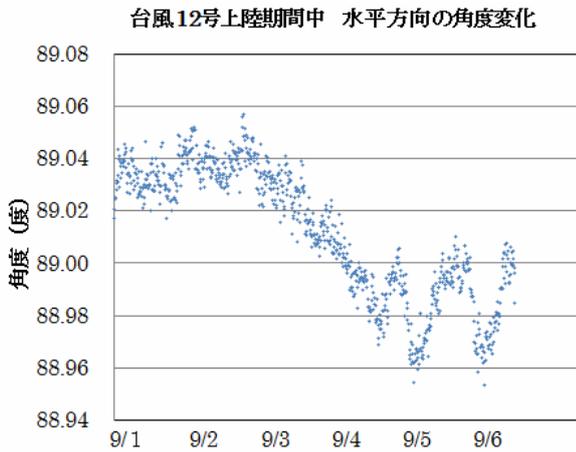


図-13 岩塊挙動の把握のための室内実験

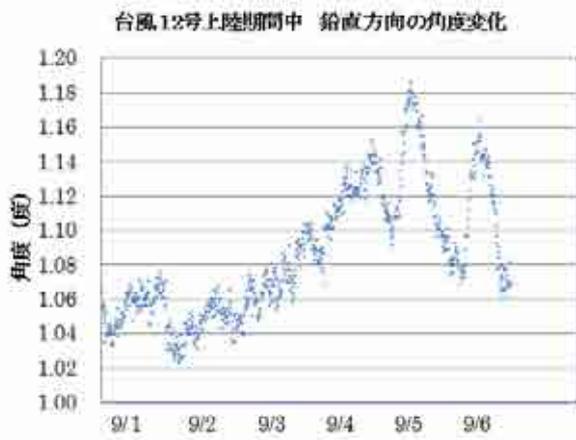


図-12 岩塊挙動の詳細な観測結果

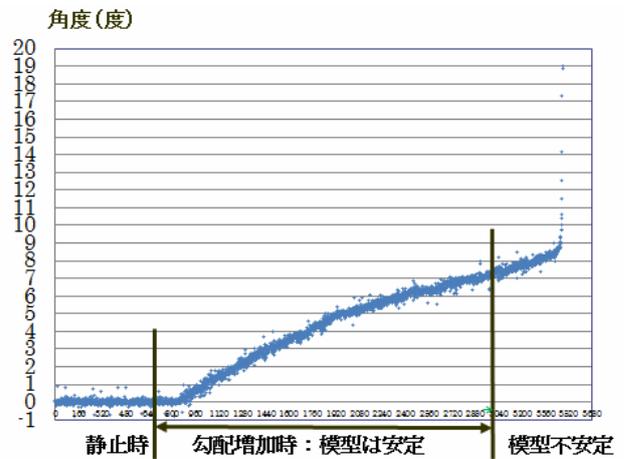


図-14 室内実験における岩塊挙動計測例

効率的な管理手法が構築できたと考える。

5. 結論

本研究において、次の特徴をもつ計測システムを開発し、その実用性を実現現場にて検証した。

- ・計測システムは設置の設計度の自由度が高く、植生の影響を受けないメンテナンスフリーにて計測ができる。
- ・計測データはどこでもパソコン画面上にリアルタイムで観測することができる。
- ・岩塊の挙動を3次元で高精度にとらえることが可能であり、計測システムは低コストの機器で構成されるため、高密度の計測網を構築することができる。

さらに岩塊を模擬した模型を用いた室内実験によって、計測データの管理基準値を把握することを試み、本計測システムによる計測データを合理的に活用する管理を実現させた。センサデバイスを設置した治具の気温の影響などを計測データから除去する手法の開発がまだ残されているが、本事務所管内の現場に広範囲に適用できる計

測システムを完成させることができたと考える。また本研究の開発が成功した背景の一つとして、官学産の連携によって課題の解決に取り組んだことも挙げられる。この連携により、官学のもつノウハウと産の知識を融合させることで短期間でのシステムの完成を実現させた。今後もこの開発体制を活用して、事務所管内の管理手法の効率化に結び付く技術開発を進める予定である。

参考文献

- 1) <http://www.kkr.mlit.go.jp/road/shintoshikenkyukai/01.html> 国土交通省近畿地方整備局 新都市社会技術融合創造研究会ホームページ
- 2) 木村直樹：道路防災モニタリングネットワークシステムの構築に関する研究，平成 21 年度近畿地方整備局研究発表会，防災・保全部門 No.7, 2009.
- 3) 西山哲，安藤佑治，山本剛：道路防災用センサネットワークの構築に関する研究，第 28 回日本道路会議論文集, 2009.
- 4) 小野武，西山哲：無線センサデバイスを活用した道路管理手法について，平成 23 年度近畿地方整備局研究発表会 論文集，新技術・新工法部門 No.05, 2011.

新たな曝気装置の開発 「水没式複合型曝気装置」の実現報告

佐藤 友宣¹・岩松 裕二²

¹独立行政法人水資源機構 日吉ダム管理所 (〒629-0335 京都府南丹市日吉町中神子ヶ谷68)

²独立行政法人水資源機構 旧吉野川河口堰管理所 (〒771-0144 徳島県徳島市川内町榎瀬841)

ダム貯水池深層部における貧酸素水塊を改善するために設置している深層曝気装置の余剰空気を浅層循環に有効利用することを目的として、2005年度から「水没式複合型曝気装置」の開発を行い、これまでの室内および現地実験により、新たな水質保全設備として実用化が実現した。

本稿は、新たな曝気装置「水没式複合型曝気装置」の実用化までの各種実験結果について報告するものである。

キーワード 水没式複合型曝気装置, 室内・現地実験, 連行効率, 実用化

1. はじめに

深層曝気装置の余剰空気を浅層循環に有効利用することを目的として、2005年度から「水没式複合型曝気装置」の開発を、水資源機構と㈱丸島アクアシステムの共同により行った。

曝気装置の改造比較図を図-1に示す。

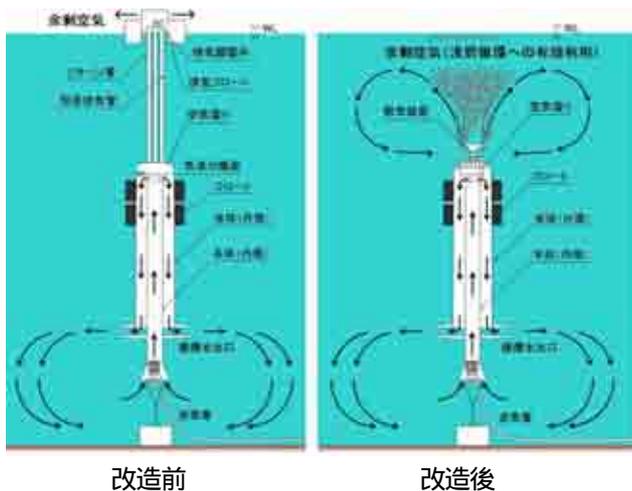


図-1 改造前後比較図

今回開発した新たな曝気装置「水没式複合型曝気装置」(以下「複合型曝気装置」)とは、従来の深層曝気装置のように装置内部で水中に溶解しない空気を余剰空気として装置頭頂部よりホースを介して気中に開放する

のではなく、水中に排出し、浅層循環に利用するものである。

本実用化実験に先駆け、2005年度より2ヶ年、室内および現場実験を行い、良好な結果が得られたことから、水資源機構の取り組みである技術力の維持・向上、技術の研究・開発を目的とした「水資源技術五箇年計画」により、2008年度から「浅層曝気が併用できる深層曝気装置の実用化」として、日吉ダム(水資源機構)に設置している深層曝気装置を複合型曝気装置に改造し、装置の耐久性確認、装置能力の評価検証など、実用化に向けた各種実験、計測等を行った。

2. 複合型曝気装置の構造および仕組み

(1) 余剰空気の排出機構

複合型曝気装置の装置構造を、図-2に示す。

装置頭頂部では、水中に溶け込まず浮上する空気(余剰空気)を一時的に蓄積するため、装置内部では空気と装置内の水による気液分離面が発生する。

気液分離面は、ダム貯水位および供給空気量により余剰空気とともに変動するため、深層曝気装置の能力低下を防ぐ目的から安定させる必要がある。

そのため、余剰空気を効率よく排出し、気液分離面を安定させるための「自動排出装置」を、複合型曝気装置頭頂部内に取り付けている。

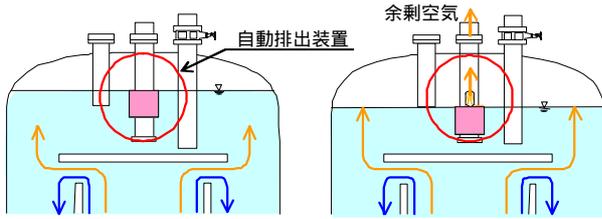


図-2 複合型曝気装置構造図

(2) 自動排出装置

自動排出装置は、装置内の気液分離面の変動（水面の上昇および下降）に合わせ、装置に取り付けられたフロートが追従し、空気孔を開放・閉塞することで余剰空気を水中に排出する重要な装置である（図-3、写真-1参照）。

このフロートは、気液分離面の変動に確実に追従させるために、表面をスパイラル状に加工している。

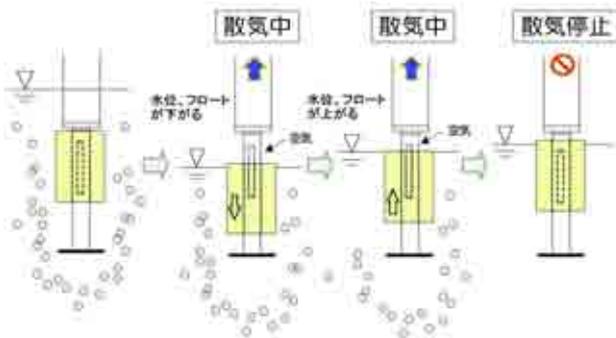


図-3 自動排出装置機構

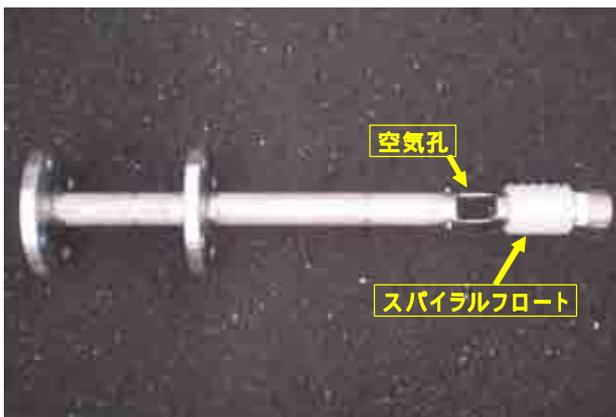


写真-1 自動排出装置

3. 実用化に向けた取り組み

装置実用化に向け、実施した実験等内容は次のとおりである。

- 自動排出装置耐久性確認
- 深層曝気装置機能確認
- 装置適用範囲の検証（散気可能深度）
- 効率のよい散気形状の選定（室内実験）
- 装置能力の検証
- 効率のよい散気形状の選定（現地検証）
- 浅層循環機能の任意停止（ON-OFF）機能の追加

(1) 自動排出装置耐久性確認

自動排出装置に取り付けられているスパイラルフロートは気液分離面の変動に追従し稼働することから、高耐久性が求められる。

スパイラルフロートに求められる性能から、耐摩耗性に優れ、加水分解および吸水膨張などが無い材質として「ポリプロピレン」を採用し、実機で試験運用を行った。

装置を一定の期間稼働させ、計測を行った結果、表-1に示すとおり、摩耗・膨張・変形もなく良好な結果であった。

表-1 スパイラルフロート計測結果

日付	測定時期	測定箇所	寸法(mm)	測定箇所	製品仕様
10月28日	稼働前	A	80	[Diagram showing dimensions A, B, C]	<材質> ポリプロピレン
		B	43		
		C	65		
11月26日	稼働29日後	A	80	[Diagram showing dimensions A, B, C]	<比重> 0.91
		B	43		
		C	65		
12月10日	稼働43日後	A	79.9	[Diagram showing dimensions A, B, C]	<吸水率> 0.01以下
		B	43.3		
		C	64.9		
2月24日	稼働119日後	A	79.9	[Diagram showing dimensions A, B, C]	<強度> 強い
		B	43.3		
		C	64.9		

(2) 深層曝気装置機能確認

深層曝気装置は、深層部の貧酸素水塊の改善を行う装置であり、複合型曝気装置においても当然、深層曝気の機能・能力を確保していることが求められる。

機能の確認方法としては、深層部のDO（溶存酸素濃度）改善効果による能力比較がわかりやすいが、外的要因に左右されやすいことから、DO変化によって深層曝気装置の能力判定はしづらい。

そこで、深層曝気的能力判定は、循環水の流速により行うこととした。

実験においては、複合型曝気装置の循環水吐出口周辺に取り付けた流速計によって循環水流速を測定して、深層曝気装置改造前後の循環水流速データの比較を行った。

吐出空気量に対する循環水流速測定結果（図-4）に示すとおり、改造後の装置運転においても深層曝気循環水流速の低下はなく、深層曝気装置の本来機能を損っていないことが確認できた。

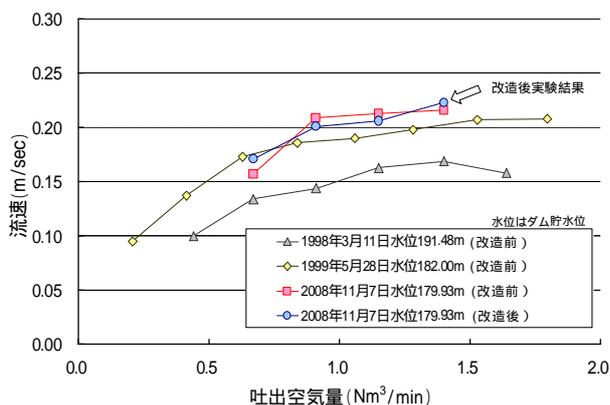


図-4 吐出空気量に対する循環水流速の結果

(3) 装置適用範囲の検証 (散気可能深度)

一般的に同一空気量で散気した場合、曝気水深と循環水量は比例する。複合型曝気装置においても、余剰空気吐出位置 (曝気水深) を深くすることで循環水量は増加すると考えられる。

余剰空気の吐出位置は、他のダム貯水池において本装置を採用できるか否かの判断条件となることから、実験により吐出可能な下限位置の確認を行った。

深層曝気装置には何らかのトラブルがあった場合、装置内に空気が溜まり過ぎ、装置本体が浮き上がることを防止するための緊急排気管が設置されている。

実験は、余剰空気吐出口 (通常吐き出し位置) に取り付けたホースの先端を徐々に下降させていき、緊急排気管から余剰空気が排出された位置を運用の下限として確認を行うものとした (図-5 参照)。

結果、ホース先端を約1.5m下降させた位置で緊急排気管からの空気排出を確認したため、安全を考慮して1.0m程度までは通常吐出位置を下降させた運用が可能であるものと判断した。

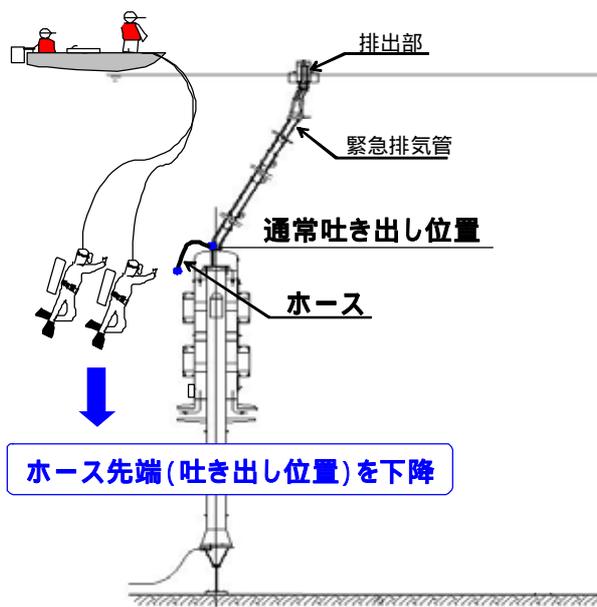


図-5 散気可能深度検証実験

(4) 効率のよい散気形状の選定 (室内実験)

余剰空気の水中排出にあたっては、その気泡の形状や大きさにより循環流量が変化するため、余剰空気を細かくせん断し、かつ広範囲に分散させることが可能な散気装置の形状検討を、室内模型実験により行った。

a) 実験方法

実験に使用した散気装置の模型6種類を写真-2に示す。これらの模型を水を張った立方体ガラス水槽の中央部に設置し、水槽底面のエアチューブにより空気を供給し、模型周辺の流体挙動を計測した。

計測は、粒子画像速度計測法 (PIV) を用い、水槽に混入したトレーサーをパルス照明により可視化し、画像よりトレーサーの移動量を解析し、流速分布を得るものとした。

実験装置レイアウトを図-6に示す。

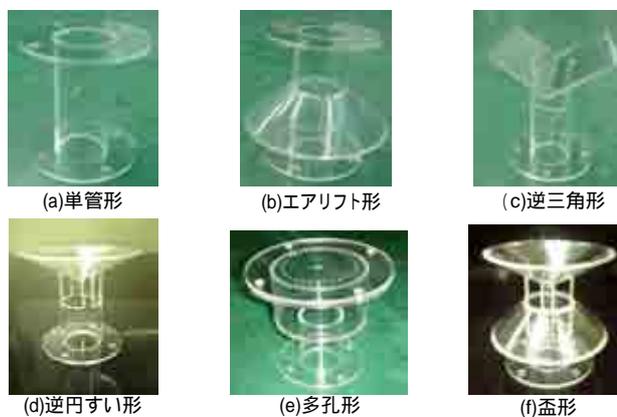


写真-2 実験用散気装置 (模型)

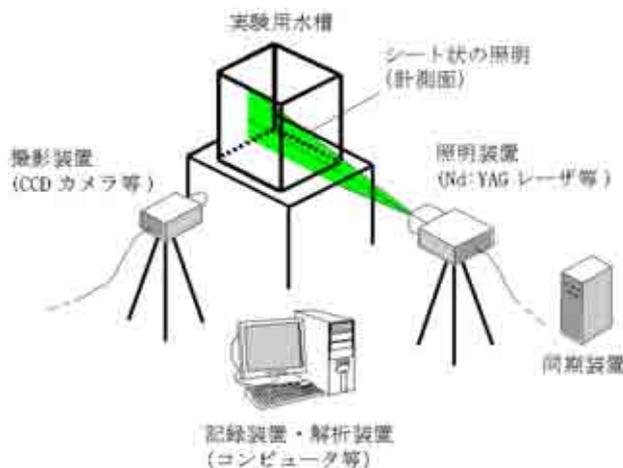


図-6 実験装置レイアウト

b) 実験結果

気塊を放出して十分な時間が経過した状態で撮影された画像の一例を図-7に示す。水中で排出され、せん断された気塊は、周辺の水を連行して上昇し、連行された水は水面付近で同心円状に広がって循環流となる。

これらのデータを、流動層の水面から深さ方向に積分し、それに模型中央から計測軸までを半径とする円周長さを掛けて水連行流量 Q_w を算出した。

空気流量 Q_a で標準化して水連行効率 $C_e(=Q_w/Q_a)$ を求めた結果を図-8に示す。

この結果より、複合型曝気装置に取り付ける散気装置形状は、水連行効率が一番優位であった「盃形」とした。

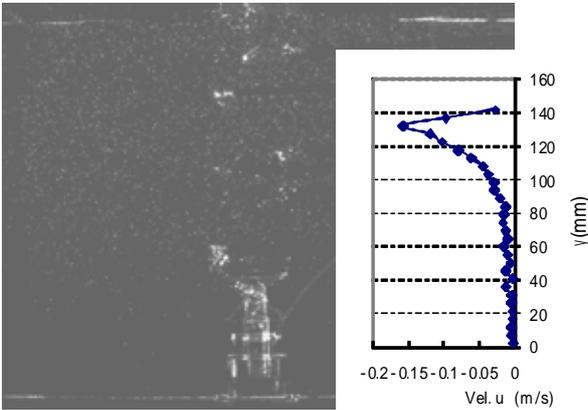


図-7 実験結果一例(盃形の場合)

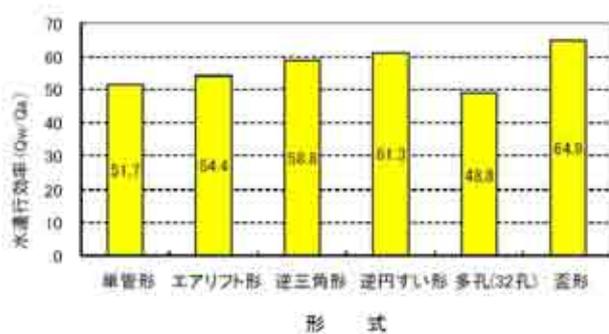


図-8 水連行効率

(5) 装置能力の検証

複合型曝気装置の浅層循環能力は、装置運転に伴う貯水池水温鉛直分布の変化により検証を行うものとした。

a) 効果検証方法

検証は複合型曝気装置運転による貯水池水温変化と、既設の浅層曝気装置の運転による水温変化との比較を行うものとした。

なお、検証比較データは複合型曝気装置の運転による水温計測時と、貯水状況・流況・水温躍層形成状況が最も似た、過去の浅層曝気装置運転時データとした。

b) 検証結果

日吉ダムにおいて冷水放流対策として定める放流水温の下限値15℃を確保することを指標として、2009年度に実施した検証の結果は次のとおりであった。

2009(H21)：運転開始35日後に15℃以上を確保

2002(H14)：運転開始30日後に15℃以上を確保

水温計測データを図-9に示す。

複合型曝気装置の運転による貯水池鉛直方向における水温躍層の変化は、気象条件等による差異はあるものの既設浅層曝気装置と比較しても、同等の効果を1基でも発揮することが確認できた。

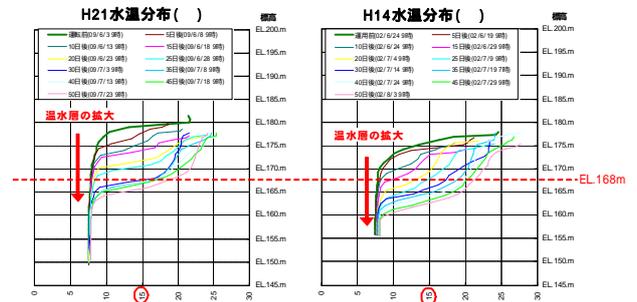


図-9 水温躍層変化グラフ

(6) 効率のよい散気形状の選定(現地検証)

室内実験により選定した盃形散気装置の効果を確認するため、複合型曝気装置に盃形の寸法を変化させた各散気装置を取り付け、現地実験を実施した。

a) 実験方法

盃形の直径を200・600・800・1,000mmと段階的に変化させた散気装置を順次取り付けて、吐出口上方の流動層における流速の分布を測定した。

なお、盃形の最大寸法は、曝気装置本体の構造および強度上の制約により1,000mmとしている。

測定深さは、水面から水深1mまでは0.1m毎、それより深い領域では約5mまで0.5m毎とし、範囲は曝気装置中心より3.5mおよび10m離れた位置とした。

測定ポイントの概略を図-10に示す。

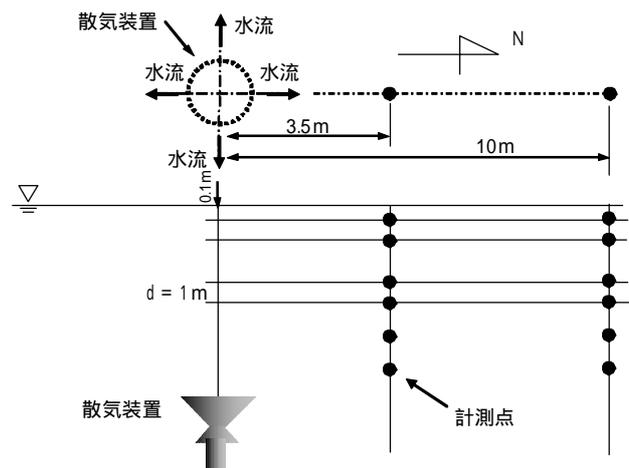


図-10 測定ポイント概略図

b) 測定結果

計測された流速データを図-11に示す。

4種類の直径の盃形散気装置と、参考に単管形の結果を併せて示している。

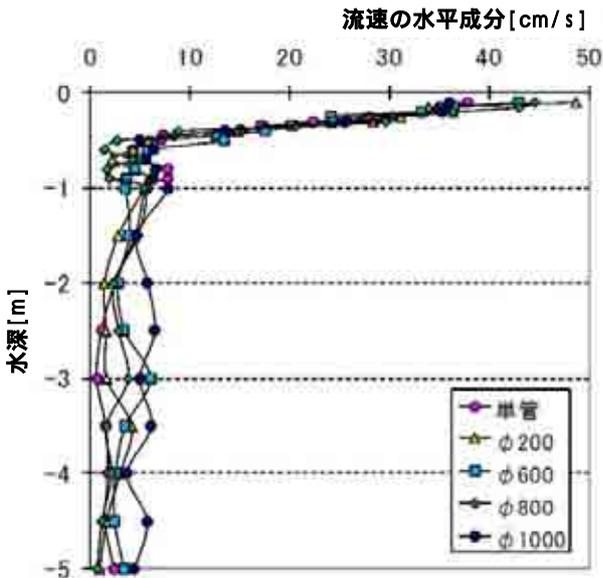


図-11(a) 水平距離3.5mでの流速

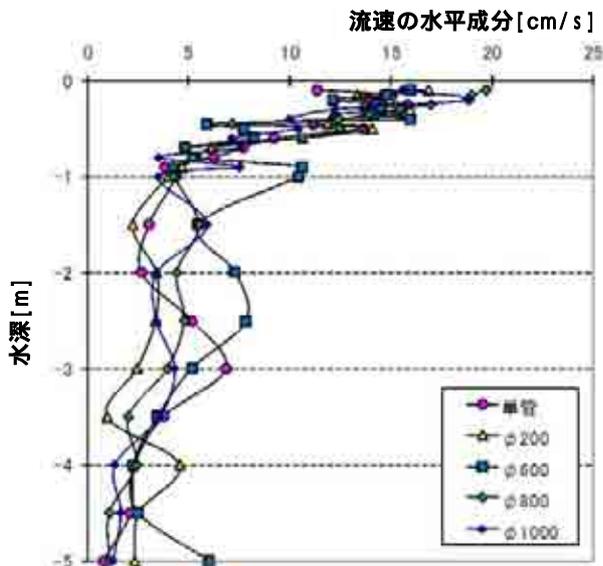


図-11(b) 水平距離10mでの流速

c) 水連行流量と効率

浅層における攪拌効果を定量的に評価するために、図-11で得られた流速分布のデータから、室内実験と同手法により、水の連行流量 Q_w から連行効率 $C_e(=Q_w/Q_a)$ を算出した。

最終的に得られた連行効率を図-12に示す。

現地検証においても室内実験同様に、単管形に比べて盃形の方がいずれも大きな連行効率値となっている。

また、盃形の直径の増加に対して、概ね増大する傾向が明らかとなった。

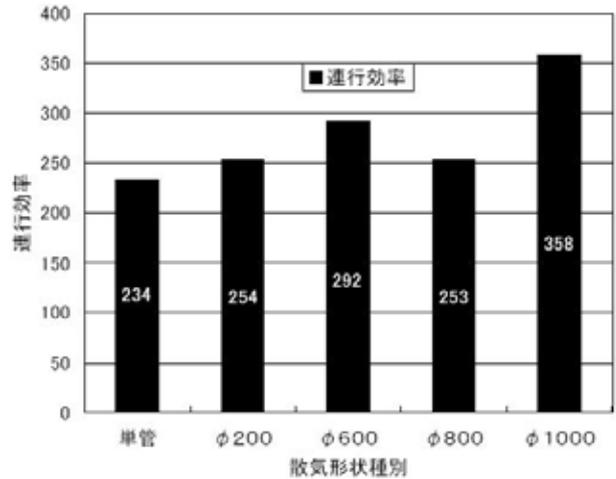


図-12 水連行効率の比較

(7) 浅層循環機能の任意停止機能の追加

複合型曝気装置は、深層曝気装置の余剰空気を浅層循環に利用した装置であるため、運転の主目的はあくまでも深層曝気によるDO改善である。

現地実験を実施するなか、降雨による出水でダム貯水池に濁水が流入した際、浅層循環運転により中層に流れ込む濁水が巻き上がり、景観障害を引き起こす事態が発生した。

装置を停止させれば景観障害は収まるが、装置本来の目的である深層曝気機能も停止させることとなるため、複合型曝気装置には浅層循環機能の停止装置が必要であると判断し、追加の取り組みを実施した。

a) 浅層循環停止装置の概要

複合型曝気装置において深層曝気機能の運転を継続し、浅層循環機能(余剰空気の水中排出)のみを停止(ON-OFF)させるため、図-13に示す機能を考案し、実機の改良を行った。

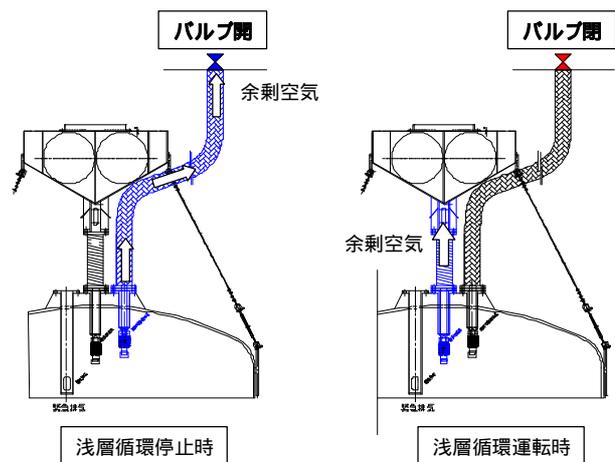


図-13 浅層循環停止装置図

b) 改良結果

装置改良を行い、実際に濁水が流入した際に、浅層循環停止装置の機能確認を行った。

結果は、写真-3に示すとおり、複合型曝気装置の運転を継続したまま、水面上に設置したバルブを開放させ、余剰空気を大気中に排出することにより浅層循環機能のみを停止させることができた。

停止直後、貯水池表層部においては、濁水の巻き上げりが消滅し、深層曝気機能のみとすることが可能となった。



複合型曝気装置運転（浅層循環機能あり）



複合型曝気装置運転（浅層循環機能のみ停止）

写真-3 浅層循環停止装置実験風景

4. 実験総括

複合型曝気装置実用化に向けて様々な実験や検証を行った結果は、次のとおりである。

自動排出装置の安定した余剰空気の排出、フロートの耐久性を各種検証により確認した結果、安定した挙動と高耐久性を有した装置であることが確認できた。

既存の深層曝気装置への影響を実機で確認した結果、複合化に伴う本来機能の低下および有害な事象は確認されなかった。

また、散気可能深度の検証により、採用可能な深度の範囲を確認し、他ダム貯水池への採用枠を拡大することができた。

曝気装置複合化に合わせ、考案した効率的な散気装置形状は、室内および現場実験から盃形の水連行効率が一番優位な結果となり、本装置に採用した。

実験過程において確認した濁水による景観障害に対しては、浅層循環機能のみを任意で停止することが出来る装置を考案し、任意停止が可能となった。

以上のとおり、各機能確認等において良好な結果を得ることができた。

5. まとめ

これまで行ってきた複合型曝気装置の各種確認作業、実験・検証、貯水池運用データの結果を総合的に判断し、新たな水質保全設備として実用化が可能となった。

この成果により、実用化の第1弾として2011年度に機構内の2ダムにおいて、既設の深層曝気装置を複合型曝気装置に改造を行った。

日吉ダムにおいては、今後、複合型曝気装置2基および既設の浅層曝気装置1基を用いた、水質保全のための最適運転パターンの検討を予定している。

複合型曝気装置は、深層・浅層曝気装置の複合化によりライフサイクルコストの低減が可能であることから、今後、新規の設置を含めて同様の深層曝気装置が設置されているダム貯水池等において採用され、水質改善およびコスト低減に大いに寄与することを期待している。

なお、本装置に関連する技術は、水資源機構が保有する技術として現在まで実験の成果ごとに、自動排出装置、散気装置に係る4つの特許を出願し、既に2つの特許を取得している。

謝辞：本実証実験を遂行するにあたり、大阪電気通信大学中田亮生准教授、(株)丸島アクアシステム各位に種々のご指導、ご協力を頂いたことに対し、記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 深層曝気の有効活用について
平成18年度水資源機構技術研究発表会
平成19年度近畿地方整備局研究発表会
- 2) 水没式複合型曝気装置の実用化（中間報告）
平成21年度水資源機構技術研究発表会
- 3) 水没式複合型曝気装置における実地調査研究
大阪電気通信大学工学部環境技術学科 中田亮生(2011)

新技術情報提供システム「NETIS」の活用状況について

濱本 敬治¹ 井筒 由幸¹

¹近畿地方整備局 近畿技術事務所 (〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町11-1)

国土交通省では、新技術の積極的な活用を通じた民間事業者などによる技術開発の促進、優れた技術の創出により、公共工事等の品質の確保、良質な社会資本の整備に寄与することを目的として、「公共工事等における新技術活用システム」^{1) 2)}の活用を促進している。この新技術活用システムにおける活用状況、推奨技術及び準推奨技術(以下「推奨技術等」という。)の選定方法について報告するとともに、平成24年度に新技術活用システム検討会議において選定された準推奨技術について紹介する。その上で、活用促進に向けた問題点、課題を抽出し、今後の対策案を示す。

キーワード 新技術，NETIS，活用状況，推奨技術

1. はじめに

「公共工事等における新技術活用システム」(以下「新技術活用システム」)は、公共工事に役立つ新技術に関する情報をインターネット上で一元化する「新技術情報提供システム」(NETIS: New Technology Information System 以下「NETIS」)を中核とし、公共工事を巡る技術開発者、設計者、施工者及び発注者が、技術の紹介、現場での利用、利用状況を踏まえた評価等の一連の取り組みを通じて、有用な新技術の積極的な活用を促進するための仕組みである。(図 - 1)

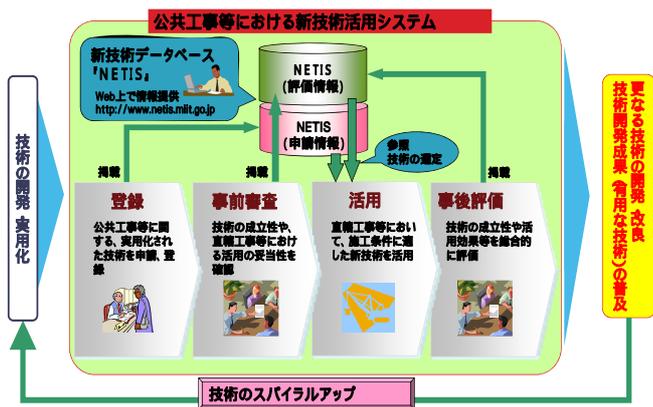


図 - 1 新技術活用システムの概要図

新技術活用システムは、平成10年度より行政内部での新技術の情報共有から始まり、平成13年度よりインターネット上での一般公開を開始し、平成18年度には評価を重視したシステムへと見直し、その後の運用状況を受け、平成22年度より更なる評価の充実を図る等の改善を進めている。

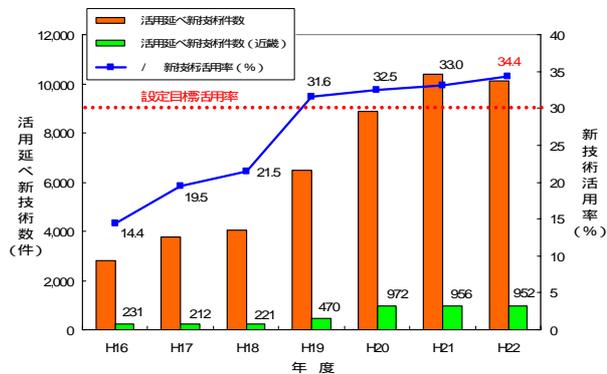
2. 新技術活用システムの活用状況

(1) 新技術の登録件数

新技術の登録を開始した平成10年度は約900件であった登録件数は、平成18年度の見直しを除いては、毎年増加傾向にあり、平成23年9月現在の登録件数は約4,100件となっている。

(2) 平成22年度の新技術の活用状況

新技術を活用した国土交通省直轄工事の件数割合は毎年増え続けており、平成22年度発注工事総数(12,227件)に占める新技術が活用された工事の割合は34.4%(4,202件)となり、平成21年度の33%から1.4ポイント増加している。また、新技術活用件数も毎年増加傾向にあり、平成22年度は、前年度と比較してやや減少したものの10,000件を突破している。(図 - 2)



新技術活用状況	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22
総工事件数	14,764	13,748	12,648	13,453	14,435	15,051	12,227
新技術活用工事件数(1)	2,120	2,677	2,720	4,255	4,687	4,972	4,202
活用延べ新技術件数	2,827	3,763	4,063	6,501	8,879	10,381	10,124
活用延べ新技術件数(近畿)	231	212	221	470	972	956	952
/ 新技術活用率(%)	14.4	19.5	21.5	31.6	32.5	33.0	34.4
1工事あたりの活用新技術数(/)	0.19	0.27	0.32	0.48	0.62	0.69	0.83

¹ 新技術活用工事件数とは、新技術を1件以上活用した工事の件数

図 - 2 新技術の活用状況(全国)

(3) 施工者による活用の増加

新技術の活用方法としては、発注者が新技術の活用を指定する方法「発注者指定型」、施工者が新技術の活用を申請し採用する方法「施工者希望型」、新技術の登録者からの申請に応じて適した現場で試行する方法「試行申請型」、現場ニーズよりフィールドを提供し新技術の募集を行う方法「フィールド提供型」の4つである。

この4つの型式のうち、「施工者希望型」による活用の割合が、平成22年度は78.2%となり、平成21年度の67.4%より増加している。また、平成19年度以降4年連続で増加傾向にある。これは、地方整備局毎に実施している総合評価方式において施工者が新技術に関する有用な技術提案を行った場合の加点、また、全整備局共通の取組みとして工事成績評定における新技術活用への加点の2つの取組みによる効果とあいまって、施工者からの新技術の活用に関する提案が増えたことが要因と考えられる。(図-3)

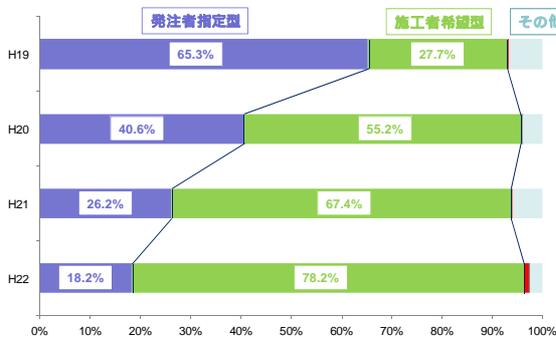


図-3 新技術の活用型式別内訳

3. 新技術活用システムの主な改善点

それまでの運用状況を踏まえた改善の取組みとして、有用な新技術のさらなる活用促進及びシステム効率化等を目的として、「公共工事等における新技術活用システム」実施要領について平成22年2月5日に改正を行い、3月31日から施行している。

(1) 事後評価される技術数の増加

事後評価の促進を図るため、事後評価の実施要件である活用件数を10件から5件に緩和している。

(2) 試行申請型の運用改正

試行申請型の現場照会期間を2年間から5年間に延長し、発注者だけでなく施工者にも照会を行っている。

(3) システムの効率化

新技術を活用した場合に作成する活用効果調査表(材料・製品版)の簡素化及び活用システムに係る用語をわかりやすく修正している。

(4) 評価結果の見える化

数値やグラフ等を用いた事後評価の見える化を実施している。

4. 有用な新技術

新技術の中でも、現場での活用を踏まえた事後評価の結果が優れた技術については、有用な新技術として位置づけ、前述の総合評価方式や工事成績評定上の加点措置を行うなど活用促進を図っている。(図-4)

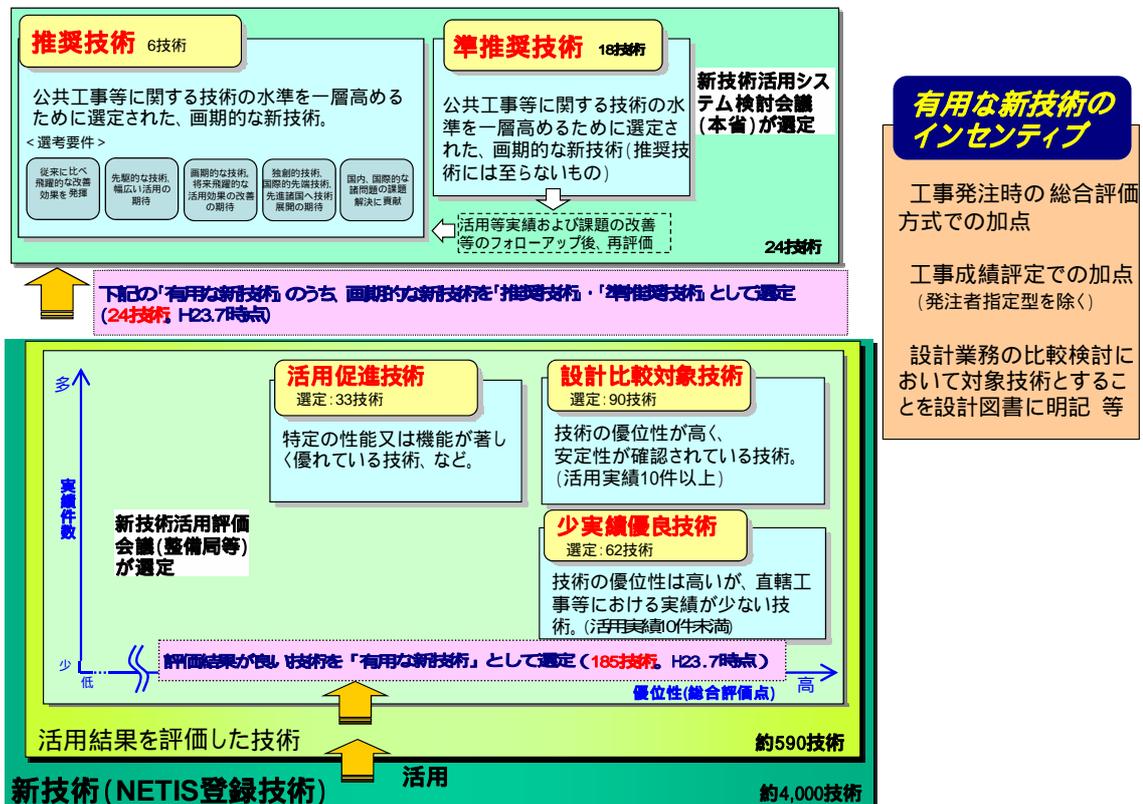


図-4 有用な新技術(H23.7時点)

平成23年度は、有用な新技術として、設計比較対象技術を39件、少実績優良技術を21件、活用促進技術を10件選定している。更に、これら有用な新技術のうち公共工事等に関する技術水準を一層高めるために選定された画期的な新技術について、各地方整備局及び北海道開発局等から推薦された有用な新技術から、推奨技術を4件、準推奨技術を4件選定している。これにより、各技術の合計数は、推奨技術6件、準推奨技術18件、設計比較対象技術90件、少実績優良技術62件、活用促進技術33件となった。

5. 「推奨技術」等の定義

「推奨技術」とは、公共工事等に関する技術の水準を一層高めるために選定された画期的な新技術である。「準推奨技術」とは、推奨技術と位置づけるためには更なる発展を期待する部分がある新技術である。

6. 「推奨技術」等の選定方法

推奨技術等は、選考要件（次節 8）に照らして推薦された選考対象技術（次節 7）について、新技術活用システム検討会議（国土交通 本省 図 - 5）による審議に基づき年 1回選定される（該当なしの場合もある）。

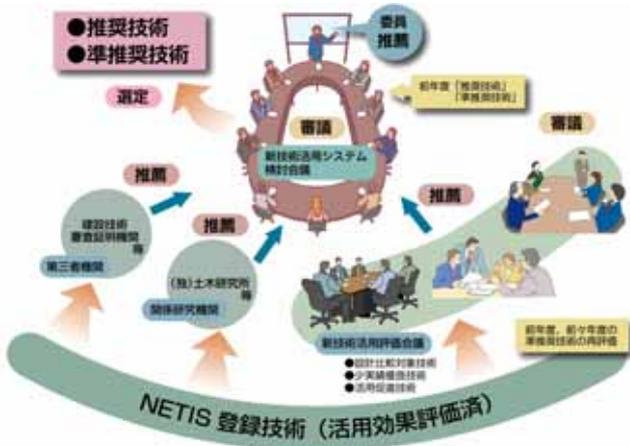


図 - 5 新技術活用システム検討会議

7. 「推奨技術」等の選考対象技術

選考対象技術は、活用効果評価が実施されたNETISの登録技術のうち、次節 8に示す「選考要件」のいずれかに合致する画期的な技術として、以下の者の推薦のある技術である。

- (1) 各地方整備局等が産学官の構成員で主催する「評価会議」において選定する「設計比較対象技術」「少実績優良技術」「活用促進技術」のうち、主として現場における改善効果、将来性等の観点から推薦する技術。
- (2) 関係研究機関または第三者機関等が、主として技術

の画期性等の観点から推薦する技術。

- (3) その他、新技術活用システム検討会議の委員が推薦する技術。

さらに、前年度に選定された「推奨技術」、「準推奨技術」についても、推奨技術の選考対象としてシステム検討会議において審議される。

8. 「推奨技術」等の選考要件

推奨技術等の選定候補となる新技術は、以下のいずれかの条件を満たすことが必要である。

- (1) 当該技術の活用により、従来に比べ飛躍的な改善効果が発揮される。
- (2) 従来にはない先駆的な取組みであり、将来、公共工事等における幅広い活用が期待される。
- (3) 技術内容が画期的であり、将来的に飛躍的な活用効果の改善が期待できる。（現状では、当該技術の適用範囲において活用の効果が従来技術と同程度以上であることを最低要件とする。）
- (4) 技術内容が独創的である等、国際的に先端を行く技術または先進諸国への技術展開が期待される技術である。
- (5) 技術内容の応用性、適用性、普遍性等が高く、国内の諸課題の解決への貢献に加えて、国際的な課題の解決など国際貢献に大きく資する。

9. 過去に選定された推奨技術等

推奨技術等の選考は、平成18年度から運用が開始されている。

過去5年間に選定された新技術は、NETIS登録数約4,100技術に対して推奨技術が6件、準推奨技術が22件（現有効数18件）となっており、いずれに選ばれるにしても、大変栄誉のあるものといえる（図 - 6）。

NETISのホームページより推奨技術に選定された6技術の評価結果をみると、いずれも従来の技術に比べて優位であるだけでなく、活用結果を通して、技術的な成立性、技術の安定性においても優れた点が評価されている共通点が見えてくる。³⁾

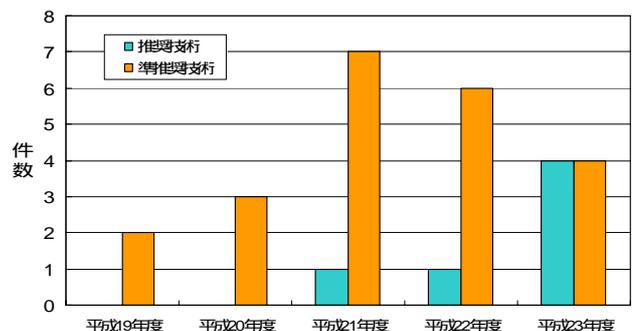


図 - 6 選定された推奨技術等

10. 「推奨技術」等の活用促進に向けた措置

- (1) 総合評価方式の技術提案において、対象となる技術が提案された場合は、その審査において積極的に評価される。
- (2) 「施工者希望型」において、発注者が適切と判断する場合は工事成績評定の加点の対象となる。
- (3) NETIS申請者は「年度 推奨技術(新技術活用システム検討会議(国土交通省))」又は「年度 準推奨技術(新技術活用システム検討会議(国土交通省))」という名称を使用できる。
- (4) 準推奨技術となった技術については、活用等の実績等のフォローアップを行い、翌々年度まで推奨技術選考の対象となる。

11. 近畿地方整備局での有用な新技術

近畿地方整備局が行っている新技術活用評価会議での有用な新技術として推薦した Kui Taishin - SSP工法、CATS、鋼橋仮組立代替工法 pbfantom、高分子系浸透性防水材 アイゾールEX については、平成24年度のシステム検討会議において、それぞれ準推奨技術として選定されている。申請に基づく概要を以下に示す。

(1) Kui Taishin - SSP工法

1) 技術の概要

図 - 7 に示すとおり、補強鋼板を既設杭に巻立て、圧入装置により圧入し、既設杭と補強鋼板の隙間に水中不分離型無収縮モルタルを充填し、補強鋼板を既設杭と一体化することによってその耐震性能の向上を図る工法である。 SSP : 「Super Strengthening Pile Bents」

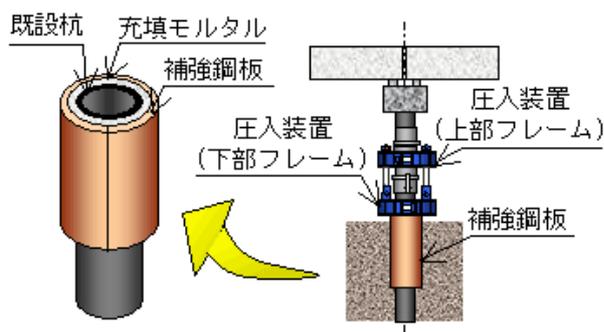


図 - 7 工法概要図

2) 期待される効果

- ・大規模な仮締切りが不要であり、経済性に優れる。
- ・狭い梁下空間での施工性に優れる。
- ・河積阻害率を大きく変えない。
- ・既設橋を供用しながら耐震補強工事を実施できる。
- ・フーチングを構築する必要がない。
- ・低騒音・低振動で環境にやさしい。

- ・景観を大きく変えない。

3) 評価会議における所見

- ・同一作業の繰り返しであることから施工性がよい。
- ・重機の作業が無いことから、第三者に対する安全確保が容易であり、騒音、振動もなく周辺環境に与える影響は少ない。

4) 留意事項

- ・最小梁下空間が2.5m以上必要である。確保出来ない場合は地盤を掘り下げる等の検討が必要である。
- ・補強鋼板について塗装、電気防食等の防食対策が必要である。
- ・土質により既設杭の補強範囲が異なるため、事前ボーリング調査にて現地盤詳細を把握する必要がある。
- ・適用土質が砂質土、シルト、粘性土、有機質土である。ただし、最大レキ径が既設杭と補強鋼板のクリアランスより小さければレキ質土にも適用可能。硬岩・玉石層については適用が出来ない。
- ・鋼板を圧入時、圧入反力を既設杭に負担させるため、既設杭引き抜き耐力の検討が必要である。

(2) CATS

1) 技術の概要

部材計測システムとコンピュータによる仮組立シミュレーションにより、鋼橋の実仮組立と同等の検査を行うことができるシステムである。(図 - 8)

これにより工期の短縮、品質の確保、高所作業の削減、仮組立ヤードが不要になるなど省力化に対する効果がある。 CATS : 「Computed Assembling Test System」



図 - 8 工法概要図

2) 期待される効果

- ・コンピュータ画面でのシミュレーションにより、仮組立ての手間を省略できる。
- ・仮組立て作業が不要になることにより、安全性が向上する。
- ・シミュレーションの結果を、実際の組み立てに有効な情報として提供できる。
- ・工期の短縮、品質の確保、高所作業の削減、仮組立ヤードが不要になるなど省力化に対する効果が大きい。

3) 評価会議における所見 (図 - 9)

- ・コンピュータを用いて仮組立作業や部材計測を行うことにより、実仮組立を省略出来るため、工程の短縮が可能となり経済性が向上する。
- ・計測結果により添接板を加工するため、出来形精度が向上する。
- ・仮組立作業がデスクワーク中心となるため、事故の危険性が減少する。
- ・実仮組立のように重機の使用やドリフトピンの打込み、ドリルによるボルトの締め付けなどの作業がないため、省エネルギーでかつ騒音が発生しない。

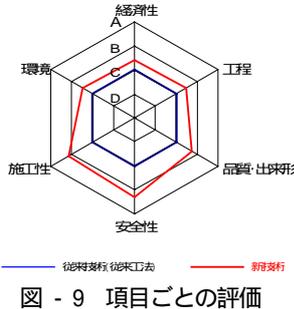


図 - 9 項目ごとの評価

4) 留意事項

部材計測では、強固な地盤で直射日光・風雨の影響を受けない専用のスペースで計測する必要がある。

(3) 鋼橋仮組立代替工法 pbfantom

1) 技術の概要

CCDカメラ搭載のトータルステーションによって鋼橋部材の3次元形状の自動計測を行い、その形状データに基づいてコンピュータ上で3次元的に組立シミュレーションを行って部材の後加工データおよび出来形帳票を提供する。(図 - 10) Pbfantom : 「probridge full automatic navigator offset measuring」

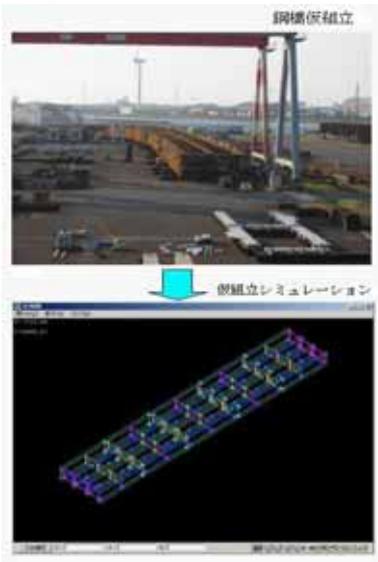


図 - 10 仮組立の代替

2) 期待される効果

- ・鋼橋製作工事における仮組立作業の省力化により工事費の削減となる。
- ・大規模仮組立ヤードが不要となり小規模工場でも大型橋梁の製造が可能となる。
- ・仮組立の省略と計測作業における安全性が向上する。

・工場立会検査回数の削減となる。

3) 評価会議における所見 (図 - 11)

- ・実仮組立が不要となり仮組立及びその解体に要する時間を短縮することによりコスト削減が期待できる。
- ・シミュレーションにより全体形状を最適に調整した後に、添接板の孔明けを実施できるので、出来形精度の向上が期待できる。
- ・仮組立に伴うクレーン等重機の使用、高所作業等による墜落・転落災害、飛来落下物の危険性がなくなり安全性の向上が期待できる。
- ・計測は屋内で実施され風雨の影響を受けないことや、熟練を必要としないことなど施工性の向上が期待できる。

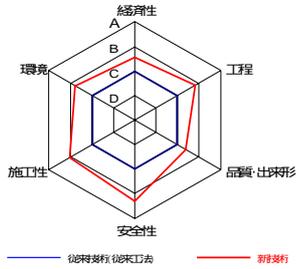


図 - 11 項目ごとの評価

4) 留意事項

- ・コスト比較においては、部材計測費用、仮組立ソフトのリース費、計測機器のリース費及び、PC机上作業の工数を考慮する必要がある。
- ・本システムが対応している自動原寸システムまたは付属のモデリングシステム (EasyModeler) で3次元のシミュレーションモデルを作成する必要がある。
- ・部材の測点上にオフセット計測用のマーク入りターゲットを設置する必要がある。

(4) 高分子系浸透性防水材 アイゾールEX

1) 技術の概要

撥水効果・コンクリートの表面改良効果を併せ持つ表面被覆材 (透湿性を有する水性一液型塗料) である。コンクリート構造物に塗布 (通常 2回塗布) することでコンクリートの劣化 (中性化、塩害、アルカリ骨材反応など) を抑制する。(図 - 12) EX : 「EXTRA」

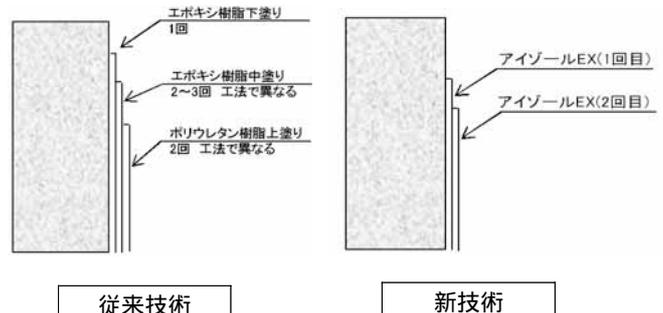


図 - 12 従来技術との比較

2) 期待される効果

- ・通常 2 回塗布で完了するため、工程数および工期が従来技術の 1/3~1/2 以下と短縮できる。
- ・工程数および工期が短縮されるため、施工コストが従来技術の 1/3~1/2 以下と縮減できる。
- ・高品質の水性アクリルウレタン樹脂に加え、フッ素

化合物を加えることで、表面被覆部分の耐候性が向上する。

- ・表面改質成分の超微粒子型コロイダルシリカがコンクリート面の空隙を充填し、水密性を向上させる。
 - ・表面被覆部分に撥水成分の変成ポリシロキサンが混在しているため、従来の吸水防止材以上に撥水効果を維持できる。
 - ・防汚成分のフッ素化合物により、汚れに強く長期にわたり塗布直後の風合いを保ち続ける。
- 3) 評価会議における所見 (図 - 13)
- ・下地が完全に乾燥していなくても施工が可能であり、ローラーで2回塗布するだけなので、工程の短縮及びコストの縮減が期待できる。
 - ・一液型塗料のため配合や攪拌のミスが発生しないため、品質管理が容易である。
 - ・人体や生態への危険性が極めて少なく安全であり、消防法にも抵触しない。
 - ・現場配合等がないこと、粘性が低く塗りやすいこと、熟練した作業員が不要であること等施工性の向上が期待できる。

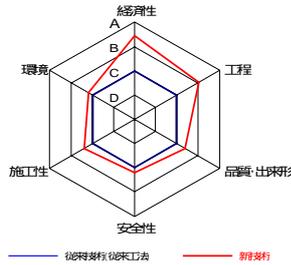


図 - 13 項目ごとの評価

4) 留意事項

- ・施工完了後、塗膜が完全に形成されるまでは傷がつかないように注意する必要がある。
- ・1回塗布、2回塗布の出来形管理はキャリブレーションを実施し、塗布量で管理する。
- ・降雨時は、材料の流出があるので施工してはならない。
- ・塗布面にジャンカ(豆板)や欠けなどがある場合、ポリマーセメント系断面修復材により、必ず断面修復工を行うこと。
- ・0.1~0.2mm程度までのひび割れに対してはアイゾールEXの塗布のみで充填されるが、それ以上の幅のクラックに対しては、所定のひび割れ注入工を実施した後に、アイゾールEXを塗布すること。
- ・1回目の塗布後塗膜が完全に乾燥したのを確認してから、2回目の工程に進むこと。乾燥時間は夏季で約1時間、冬季で約2時間程度(昼間施工、湿度・夏季60%冬季40%程度までの場合)。また、日陰や隅角部の乾燥が遅い部分はブローア、送風機、ジェットヒーターなどを用いて乾燥を促すこと。

12. 活用促進に向けた課題及び対応策

新技術の活用促進に向けた更なる改善としては、技術特性に応じた評価が挙げられる。現在の評価としては、「経済性、工程、品質・出来形、安全性、施工性、環境」の6項目について、どのような技術も同様に評価

しており、個々の技術的特性が反映されにくいとの指摘がある。一部の地方整備局においては、地方整備局独自に決める「活用促進技術」として、ある特定の項目の評価が高い技術を選定しているところもあり、今後も、このような取組みも含め、より良い評価方法へと改善を図っていく。

施工後一定の時間が経過した適切な時期に確認が必要な技術については、位置づけがあいまいであり、追跡調査の実施が進んでいないため、効果発現に一定期間を要する技術や耐久性の確認が必要な技術について、追跡調査を実施する。今年度一部の技術について追跡調査を実施する予定である。

申請技術によっては、従来技術と比べて、初期コストが高い技術があるが、評価をする際に、初期コストでの比較だけではなく、ライフサイクルコストを含めた長期的な比較を行うシステムにする検討を進める。申請情報では、従来技術と比較する表現になっているが、定性的表現になっている場合があり、実際に活用するに当たって、どれぐらいの効果があるのかが分かりづらくなっているため、出来る限り定量的表現に変えていく。

事後評価を増加させるためには、事後評価の実施に必要な活用効果調査表の回収率の向上が必要である。このために、新技術を活用した際の活用効果調査表作成の周知・徹底に取り組む。

13. おわりに

一般の東日本大震災からの復旧・復興に対する取組みの一環として、新技術活用システム(NETIS)に登録された技術を対象として、震災復旧・復興に資する技術を募り、国土交通省ホームページで公表し、広く情報提供することで、震災復旧・復興の現場における活用の支援を行っている。

今後とも、震災からの復旧・復興をはじめ、災害に強い国土づくり、より良い国土づくりに資する技術研究開発の促進及び現場への適用に尽力して参りたい。

謝辞

近畿地方整備局新技術活用評価会議において審議して頂いた、足立紀尚座長(京都大学名誉教授)をはじめ委員の方々に紙面を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：公共工事等における新技術活用促進について，2010
- 2) 国土交通省：「公共工事等における新技術活用システム」実施要領について，2010
- 3) 財団法人 先端建設技術センター：NETIS プラス，第3号，2011

情報化施工に関する取組について (京都第二外環状道路小塩灰方地区改良工事 マシンガイダンス技術による施工)

石原 寛也¹

¹近畿地方整備局 京都国道事務所 工務課 (〒600-8534京都府京都市下京区西洞院通塩小路下る南不動堂町808)

情報化施工とは現場の施工管理について新たな施工管理技術による施工を行うことであり国土交通省では一般化に向けた様々な取組が行われている。現場施工については既に一部工事において情報化施工の各技術を用いた施工が試行されているところであるが、その中でまだ施工事例が少ないマシンガイダンス技術について京都第二外環状道路小塩灰方地区改良工事で実施している。ついては本工事でのマシンガイダンス技術実施に向けての発注者・受注者間のやりとり、現場での施工状況及び課題となったこと等について報告を行うものである。

キーワード 情報化施工, マシンガイダンス, バックホウ, 京都第二外環状道路

1. マシンガイダンス技術について

マシンガイダンス技術は施工機械の位置、方位などをリアルタイムに計測し機械オペレーターに対し明示することで施工機械操作の誘導を行うなど、熟練度に依存しない操作が可能となるとともに、その都度施工機械から下車して施工状況を目視していたものが不要となるなど、施工を容易にするものである。本工事ではバックホウによる施工について適用を行った。従来の丁張りや目視による機械操作が不要となることから施工誤差の縮小や施工時間の短縮などの効果が想定される。

工事量：施工延長約460m(道路改良一式)
掘削約48,000m³、盛土約82,000m³等



2. マシンガイダンス技術実施工事について

本技術のみならず情報化施工全般について一般化・実用化に向けての試行を全面的に展開しているところであることから京都国道事務所においても適用可能な工事の選定を行った。その結果、まとまった盛土量が有り、約1年間の継続的な土工事の施工を予定していた以下の工事を適用することとした。

工事名：京都第二外環状道路小塩灰方地区改良工事
地 先：京都府京都市西京区大原野小塩町～大原野灰方町地先
工 期：2011年3月19日～平成2013年2月28日
受注者：西武建設(株)

図-1 工事位置図

3. マシンガイダンス実施フローについて

マシンガイダンス技術を用いた施工を行うためには従来の施工では使用しなかった設計データの作成、施工機械及び計測装置の配置などが必要となる。ここでは実施に向けての作業フローを説明する。

(1) 3次元設計データの作成

施工においてマシンガイダンスを実施するためには施工機械の測位を行うための計測装置が必要なのもちろんであるが詳細設計成果の3次元化を行い、機械操作を誘導する目標線を導き出す必要がある。

a) 基準点の設置

現場状況を3次元データ化するために必要な測位を行う上での基準点を設ける。施工エリアを取り囲むように配置を行う。(図-2)

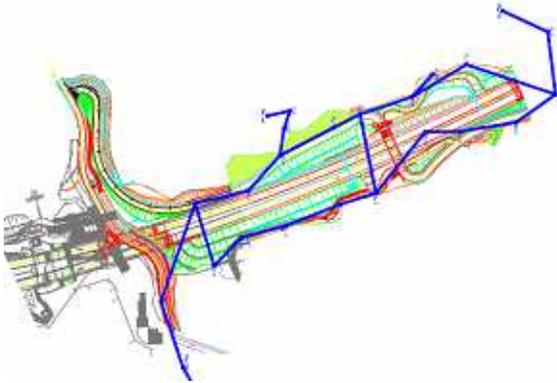


図-2 基準点配置図(工事平面図)

b) 3次元現況データ作成

現況地盤線の3次元化(ポリゴン)を行う。ノンプリズムタイプの3次元レーザースキャナにより計測を行い現況地盤線点群の3次元座標データを取得しデータ処理及び合成を行う。(図-3)



図-3 現況データ作成図

c) 3次元設計データ作成

当初発注段階の設計成果を基に2次元の設計成果を3次元に変換を行った。(図-4)本工事では作成作業を施工業者に指示した。慣れない作業であることから当初設計成果照査、3次元化作業及び3次元化後のデータチェックなどが難航した。また作業期間は当工区の延長約460mの変換作業で約1ヶ月程度掛かることとなった。既に作成済みの現況データと合成を行うことで法面の正

確な切り出しラインを算出することが出来る。本工事です実際に施工する3次元設計完成データの抽出を行った。

(図-5)

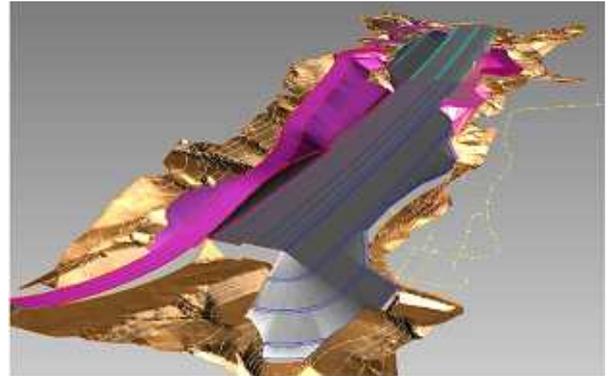


図-4 3次元設計データ

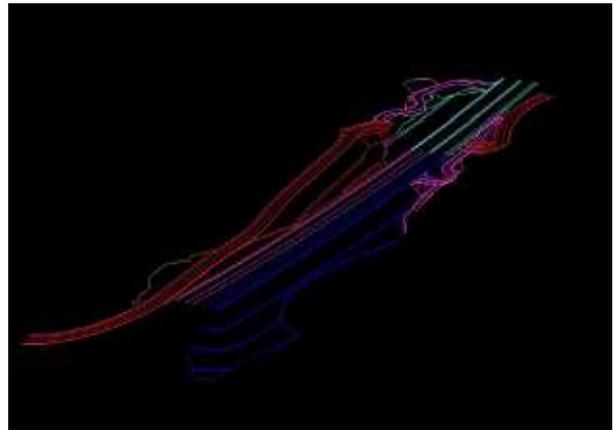


図-5 3次元完成データ

(2) ICTバックホウ導入準備

本技術の根幹となるバックホウの位置方位等計測が可能となる機器の配置、機械調整を行い現場施工に備える工程である。測位にはGNSS(Global Navigation Satellite System)を用いる。GNSSにより人工衛星からの情報を用いて1個の基地局及び各施工機械の位置を特定させる。本工事ではバックホウに交信機械を登載して位置を特定する。(ICTバックホウ)こうして得られた施工機械位置及び方位の情報を基に基地局と施工機械との位置関係からマシンガイダンスにより施工機械の操作を誘導する。

a) GNSS受信環境確認・基地局設置

GNSSからの位置情報受信が可能となる基地局設置箇所を選定する。位置の特定を行うために基地局及び施工機械それぞれで同じ衛星を5個以上観測可能な箇所を基地局の位置とした。また、施工範囲に機械が移動した際に基地局との無線交信が出来る状況かどうか併せて確認を行い基地局を設置した。(図-6,7)なお、基地局と移動局(ICTバックホウ)との無線交信は概ね50

0 mまでは通信可能である。

また、GNSS座標系を現場座標系（工事基準点に基づいたもの）に変換するローカライゼーションを併せて実施した。



図-6 基地局設置図



図-7 基地局設置状況

b) バックホウへの通信機器類等の取付

マシンガイダンスに対応するために必要となる機器類の取付を行う。バックホウの位置情報を取得するためのGNSS受信機（移動局）、基地局と交信を行うための無線機、ブーム・アーム及びバケットの詳細な位置を把握するためのチルトセンサー、バックホウオペレーターが機械の位置方位を確認するためのコントロールボックス、施工機械の傾斜具合を測定するためのピッチセンサーなどが挙げられる。（図-8）



図-8 バックホウに取り付ける機器類

前出の機器を取り付けた上でトータルのなキャリブレーションを実施し、マシンガイダンスによるオペレーションと機械の挙動との整合性について高精度な管理を目指す。

(3)現場施工

a) 日々の精度確認について

ICTバックホウの準備が整えばいよいよ現場施工に着手となるが準備段階で行った現場納入時の性能確認以外にも日々の施工前始業点検（表-1）により機器の不具合が無いかどうか確認を行う。また、基地局の位置等のズレなどが無いかどうか座標確認を既知点に基づき実施する。（図-9）これらの情報はより正確な情報化施工を行う上で重要な確認であり結果についてはデータベース化し、後々に確認できるようにしておく。

検査項目	検査内容	チェック実施日		検査結果	
		実施日	実施者	確認	異常
①GNSS	精度確認	2024/05/10	田中	OK	
②GNSS	位置情報取得	2024/05/10	田中	OK	
③チルトセンサー	角度測定	2024/05/10	田中	OK	
④ライトバー	位置確認	2024/05/10	田中	OK	
⑤ピッチセンサー	傾斜測定	2024/05/10	田中	OK	

表-1 日々点検チェック表



図-9 基地局座標点検状況



図-12 運転席からの施工確認状況

b) 施工状況について

マシンガイダンス対応バックホウにより道路土工の施工を行う。通常必要となる丁張りが無く、また、熟練のオペレーターによる目視操作ではなく、コントロールボックスからの誘導を画面上で確認してのバケット操作となる。(図-10)



図-10 丁張りが無い中でのバックホウによる道路土工施工
オペレーターは運転席で平面データ、断面データ、バケットの位置(座標)及び仕上がり高さまでの差分が表示されることからリアルタイムにそれらの情報を確認しながら機械操作を行う。(図-11,12)



図-11 コントロールボックスからのガイダンス状況

4. 情報化施工を実施して見えたこと

マシンガイダンス技術を用いた施工については工事途上のため引き続き実施していくところであるが現段階における上記技術を適用した場合の効果及び課題として見えてきたことが有ることから技術の一般化・実用化に向けての参考としていただきたく報告を行うものとする。

(1)効果の見られた事

丁張りが無いことが設置手間及び施工時間の大幅縮減へと繋がったことである。オペレーターに聞き取り調査を行ったところ、初めてのため最初は戸惑うがすぐに慣れ、機械操作がしやすかったとのことである。上記縮減が施工コスト削減に繋がることが期待される。また、丁張りや検収作業が省力化ができることで作業待ち時間の縮減による施工効率向上、効率向上による施工機械排出ガス低減効果の発現及び補助作業員が重機へ接近しての作業が少なくなるため事故発生率軽減への寄与などが想定される。

(2)課題となった事

まず、施工に欠かせないマシンガイダンス対応の施工機械(機器)を調達するのに難航したことである。全国的に見て普及が進んでいないことから、施工を行うとなった場合に機器の調達がスムーズに行えない懸念がある。また、供給が進んでいないことから調達単価が高止まりであるため施工効率の向上によるコストアップ効果を相殺してしまう状況となっている。また、人材育成等の観点から言うと、情報化施工についての知識及び技術の普及が浸透していないため、いざ施工を行うにしても情報化施工対応を模索しながらの対応になってしまう状況となっている。技術を習得するためのフィールドとなる現場の数についても極めて少数であることから技術を習得する機会が少ない。更には情報化施工に必要な設計成果の3次元化についてはノウハウがまだ浸透していない

め時間及び費用を要する状況である。本工事では着手から製作完了まで1ヶ月を要している。本作業については詳細設計段階で実施できるものではなく施工着手段階での対応となってしまうため、上記作業に手間取れば工期への影響が出る場合もそういされる。また、GNSSの測位精度について現場条件により左右される場合があり、誤差が大きくなってしまう場合の対応について等が不明であることなどの課題が出てきている。

しかし、上記課題などについて議論を重ね、解決していくことで情報化施工の一般化・実用化が更に進展する

と共に施工効率化へと繋がっていくものであると推察れる。

謝辞：本工事受注者である西武建設（株）及び工事担当者各位におかれましては情報化施工実施に向けて多大なご協力を頂いたとともに、本論文作成のための情報取りまとめ及び提供を頂きましたことからこの場を借りて謝意を表します。

情報化施工システムを導入した トンネル掘削について

藤内 昭¹・佐治 嘉朗²

¹三井住友建設(株)大阪支店西山トンネル作業所 (〒618-0081 京都府乙訓郡大山崎町)

²近畿地方整備局 道路部道路計画第二課 (〒540-8586 大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

地質が軟質で破碎された地山でのトンネル工事は、事前に切羽前方の地質を把握し最適な対策を実施しながらトンネル掘削を行うことが、安全かつ効率的な施工方法である。また、トンネル湧水の先行予測は、突発湧水による切羽崩壊を未然に防ぐことが可能となる。しかし、現状は地表面からの弾性波速度値や局所的なボーリングコアの状態、地表踏査などの事前調査のみの資料でトンネル掘削を開始し、掘削中の断層破碎帯に遭遇してから対策工を検討する。西山トンネル奥海印寺工区工事では、破碎帯の連続するメランジェ（付加体）区間をトンネル情報化施工システムを導入してトンネル掘削を行っている。

キーワード 断層破碎帯、突発湧水、切羽前方、トンネル情報化施工システム

1. はじめに

京都第二外環状道路は、大枝IC～久御山ICをつなぐ自動車専用道路である。西山トンネル奥海印寺工区工事は長岡京市と京都市境を貫く延長約2,270mの2車線、上り下り2本のトンネルの内、長岡京市側約1,500mのトンネル掘削を平成23年2月より開始している。

トンネル坑口～No.96付近までの約350m区間のトンネル掘削は、天端や切羽の崩落等が懸念されたため補助工法として注入式長尺先受工法（φ76mm L=12.5m@450）が計画されている。

本稿では、軟質で破碎された地山でのトンネル情報化施工システムとして、急速コアサンプリング水抜きシステム（ワイヤーライン工法）による切羽前方水抜き対策とコアによる地質確認、切羽前方三次元削孔検層システムによる切羽前方地山の地質性状把握、地下水情報化システム（SWING法）によるトンネル掘削時の湧水の先行予測を実施したのでここに報告するものである。

2. 地形・地質

工事位置付近は、西側の北撰山地と東側の京都盆地との境界部にあたり、北北西・南南東方向と北北東・南南西方向の活断層である西山断層・灰方断層・円明寺断層などによってブロック化されている。このうち西山トンネルは標高200～240mの野山山塊をほぼ南北に貫く。坑口より240m付近には見舞谷の下方を通過する低土被り区間がある。

地質は、丹波帯および岩脈類からなる基盤岩類と、これらを覆う新期の未固結堆積物からなる。基盤の丹波帯は三疊紀～ジュラ紀に形成された付加複合体であり。泥岩、砂岩、チャート等の堆積岩類や緑色岩などから構成される。これらの地質体は形成時とその後、幾度も変形を蒙っており、地質体間や地質体内部に多くの破碎帯・剪断面を伴っている。トンネルは幅数m～10数mの破碎帯を多数有する泥質混在岩を通過する。破碎帯はトンネル方向の走向を有しており、長い区間連続する可能性が高かった（図-1）。

地質体	地質体名	地質体記号	地質体説明
基盤岩類	丹波帯	丹	三疊紀～ジュラ紀付加複合体
	岩脈類	岩	花崗岩類
	砂岩	砂	中～粗粒砂岩
	泥岩	泥	中～粗粒泥岩
堆積岩類	チャート	チャ	中～粗粒チャート
	砂岩	砂	中～粗粒砂岩
	泥岩	泥	中～粗粒泥岩
	粘板岩	粘	中～粗粒粘板岩

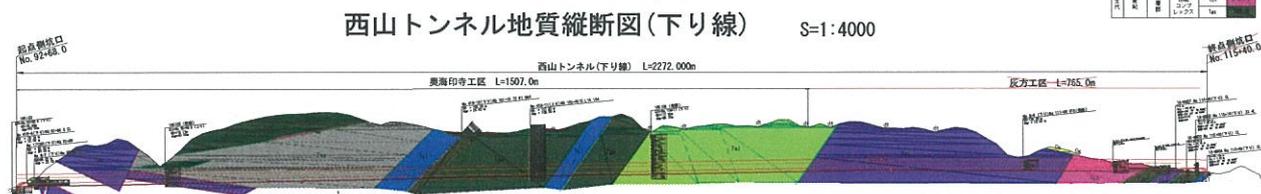


図-1 地質縦断図

3. トンネル情報化施工システムの概要

(1) 急速コアサンプリング水抜きシステム（ワイヤーライン工法）

トンネル掘削は昼夜2方施工を標準として施工するため、掘削休止中の土、日曜日に専用機械を使ってボーリングを行った。1回の穿孔深度を80mとし、2週間毎の週末に実施した。先行ボーリングは全油圧式ロータリーパーカッションドリルで行い、コア採取方法はワイヤーライン（PS-WL）工法とした。

コアチューブの先端に回転打撃に対応できるコアバレルを装着し穿孔時にコアを採取する。コアの回収はロッド内にワイヤーで接続した回収器（オーバーショット）を水圧で送り込み、ロッド内のインナーチューブアッセンブリを回収する。この工法により、礫層や破碎質地山のコアを効率よく短時間で採取できた（写真-1）。



写真-1 急速コアサンプリング水抜きシステム

(2) 切羽前方三次元削孔検層システム

トンネル掘削に使用するドリルジャンボによる削孔時のトルクや打撃圧などの機械量データからトンネル切羽前方の地質構造やトンネル周辺地山の健全度を推定する

写真-1 急速コアサンプリング水抜きシステム
写真-2 切羽前方三次元削孔検層システム
システムである。1回の削孔深度を30mとし、トンネル掘削進行に合わせ適時実施した。削孔は4mロッドを継ぎ足しながら所定の深度まで連続して長孔削孔を行う。

得られた機械量データは全自動で取得しパソコンにダウンロードする、処理・解析に要する時間は1時間以内で、岩盤の硬軟を削孔エネルギー（MJ/m³）で表示する。当現場における地質では、強破碎帯を介在する泥質混在岩を粘性土層0～50MJ/m³、軟弱層100～200MJ/m³、硬質層300MJ/m³以上に区分することで切羽前方の地山状況を定量的に可視化することができた（写真-2）。

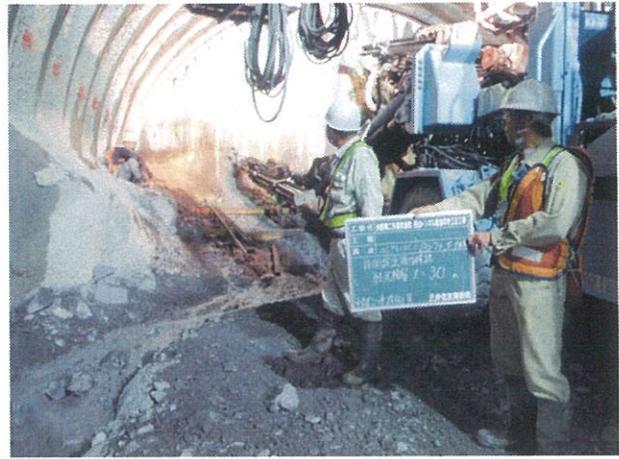


写真-2 切羽前方三次元削孔検層システム

(3) 地下水情報化施工システム（SWING法）

西山トンネル奥海印寺工区は、事前地表踏査やボーリングデータより地下水位が比較的高いと想定されていた。また、見舞谷の下方を通過する低土盛り区間では突発湧水が懸念されていた。トンネル掘削開始後の下り線切羽前方削孔検層において坑口から63m地点で大量湧水に遭遇したため、トンネル掘削を安全で効率的に進める目的でSWING法による湧水予測を導入した。

事前準備として設計段階での地質縦断面図を基にスライスモデルを作成する。当トンネルのスライス間隔は、水抜きボーリング実績を反映できる5m間隔を採用した。これに先行水抜きボーリングの実績（削孔長、湧水量）をその都度反映することで、降雨の影響も含めたトンネル前方の水利地質状況（透水係数、帯水層幅、地下水位）を把握できる。また、先行水抜きボーリングの実績から本坑掘削時の湧水予測（切羽集中湧水、湧水量低減特性）や本坑掘削のための水抜きボーリングの過不足評価（水抜き期間、ボーリング延長・必要本数）を実施した（図-2）。

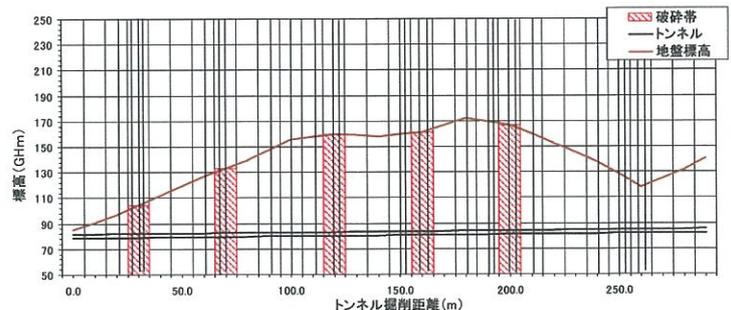


図-2 坑口から300m間でのスライスモデル

4. 下り線No. 93+60付近の大量湧水

(1) 大量湧水の発生経過

下り線坑口より63mのNo. 93+40上半断面より3回目切

羽前方三次元削孔検層を実施した。削孔深度 $L=21m$ の位置で毎分 $1,000l/min$ の大量湧水に遭遇した。その後、下半断面より水抜き削孔を行った結果、切羽からの総湧水量は $2,300l/min$ まで増加した。大量湧水は6時間継続した後、24時間で $1300l/min$ まで減少した(図-3, 写真-3)。

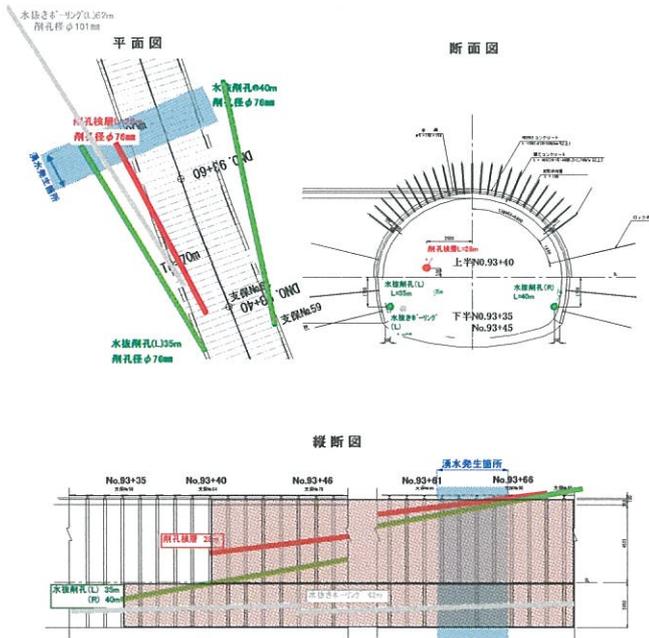


図-3 削孔検層, 水抜きボーリング施工位置

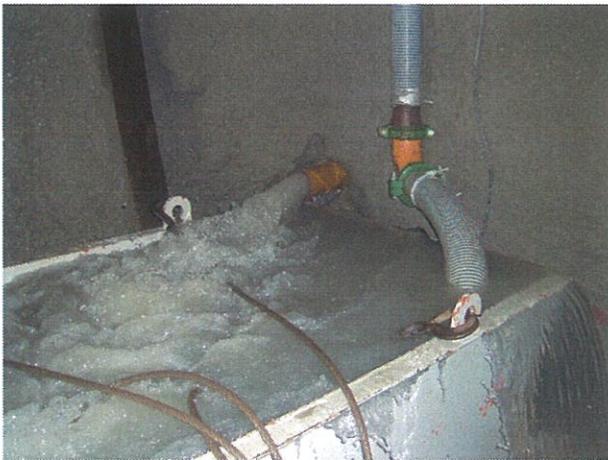


写真-3 大量湧水状況

(2) 大量湧水区間の地質性状

当検層区間は強破碎帯を介する泥質混在岩中に位置し、No. 93+40~No. 93+50: 硬質層 ($\geq 300MJ/m^3$), No. 93+50~No. 93+60: 軟弱層 ($100 \sim 200MJ/m^3$), No. 93+60~No. 93+70: 硬質層 ($\geq 300MJ/m^3$)と大別され、 $100MJ/m^3$ 以下の脆弱部が不規則に分布している状態である。深度 $21m$ (No. 93+62)付近より大量湧水を捉えており、削孔完了時の湧水量は $1,000l/min$ であった。直前の検層結果では $0 \sim 50MJ/m^3$ の値を示していることから当該地質は粘

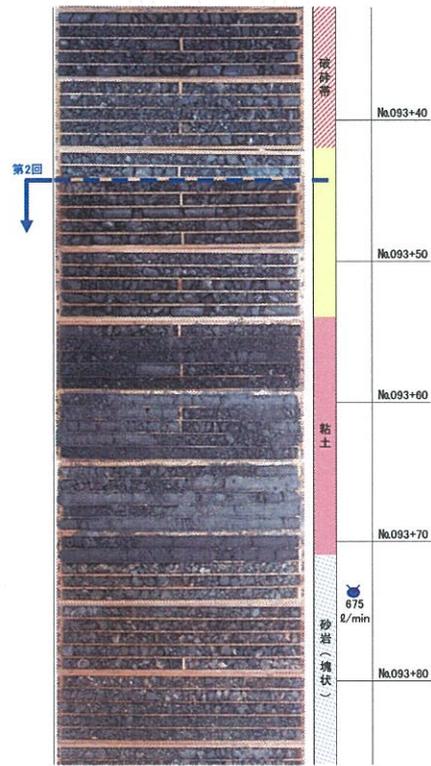
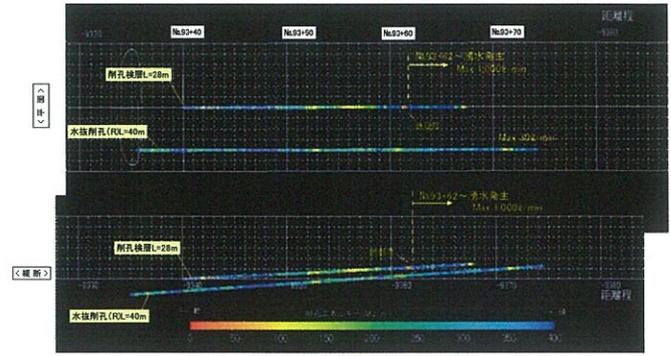


図-4 切羽前方三次元削孔検層とボーリングコア

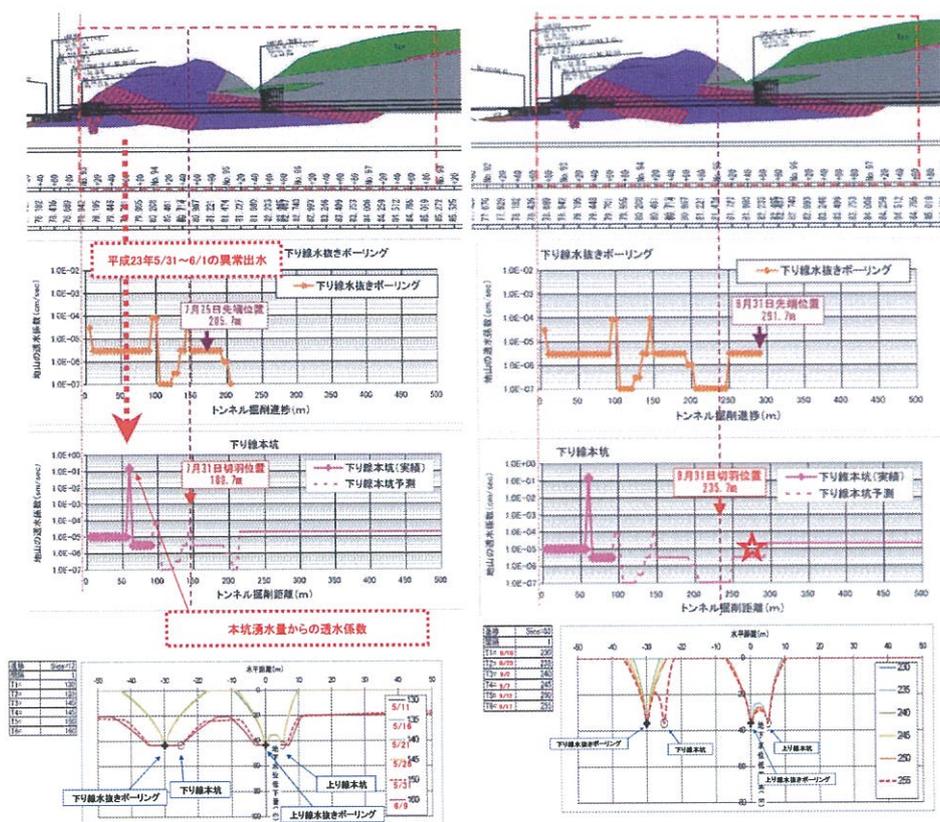
性土と推定され、粘性土に奥に帯水層があるものと考えられた。また、その後のコアボーリング試料からも粘性土とそれ以深の硬質層が確認された(図-4)。

5. SWING法の適用

(1) 下り線No. 93+60付近の透水係数と地下水位低下

既施工区間の先進水抜きボーリング情報と坑口湧水量、削孔検層データ、切羽観察を入力データとしてSWING法により透水係数と地下水位低下量を予測すると、大量湧水の発生した $5m$ 区間は $1.8 \times 10^{-1}cm/sec$ に相当し、極めて高透水性区間であると推察された。また、この区間では本坑両側から上り線までの広範囲に $15 \sim 20m$ 程度の地下水位低下量が予測された。しかし、前後の断面位置で

は地山の透水係数も $5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}cm/sec$ 程度のため、先進水抜きボーリングの水抜き効果は比較的狭い範囲であると想定される(図-5)。



大量湧水箇所

見舞谷低土被り区間

図5 透水係数と地下水位低下量の予測

(2) 低土被り区間 (見舞谷直下) の先行予測と結果

先行水抜きボーリングデータより、同区間の地山の透水係数は 3×10^{-6} cm/sec であり、地下水位低下量は極めて狭い範囲に限定されると予測された。それにより、本坑掘削前の水抜きボーリングの追加は必要ないものと判断できた。また、見舞谷直下の通過に際して表流水への影響は顕著に現れないものと予測された (図-5)。

先行水抜きボーリングの実績を基に SWING 法による地山の透水係数を推定し、本坑掘削時の切羽湧水量の先行予測の結果、追加対策の必要性はないと判断した。実施工でもこの区間の切羽湧水はわずかで、安全かつ効率的にトンネル掘削を進めることができた。

(3) 周辺水環境への影響評価

トンネル施工実績を基に既施工区間の地山透水係数を推定し、これに未施工区間の通常岩盤と破碎帯の透水係数を設定して本坑掘削時のトンネル坑口湧水量の先行予測を行った。その結果、500m掘削時点での湧水量は上り線6000 l/min程度、下り線5000 l/min程度が予測された。

また、トンネル周辺の水文調査結果と SWING 法を統合することでトンネル施工時の掘削に伴う地下水位低下範囲の推移や水位低下量を予測することができる。これによりトンネルルート上の沢水、井戸、およびため池等の

水環境に対する影響も評価できる。

6. その後の施工状況

急速コアサンプリング水抜きシステムで切羽前方の地質をボーリングで直接確認しながらトンネル掘削を進めた結果、断層破碎帯は当初想定した350m区間より広範囲に多数分布していることを掘削前に把握することができた。上り線のボーリング総延長は720mまで達したが、通常のトンネル掘削を休止することなく、9回に分けて休日を利用してのボーリング作業を行うことができた。

先行水抜きボーリング穿孔中の湧水量は1,000 l/minに達する時もあった。ボーリングからの

湧水量が多い所では、トンネル掘削に先立って切羽前面の3箇所にて切羽前方三次元削孔検層システムによる長孔削孔を実施し、粘性土層の位置と走向傾斜、以奥の帯水層厚を確認した。これにより、トンネル切羽が粘性土層に到達する前に地下水位を低下させ、切羽からの突発湧水もなく安全にトンネル掘削ができた。

坑口から63mの断層破碎帯で大量湧水を経験し、これから想定される突発湧水を SWING 法で予測し対応した。SWING 法は施工中のトンネル情報を繰り返し入力することでより精度の高い湧水量予測が可能であり、トンネル掘削に迅速にフィードバックできた。また、地山と地下水の量的評価を基にしたトンネル掘削の安全性評価も可能であった。

7. おわりに

地質が軟質で破碎された地山で、天端崩落や切羽崩壊の危険性を排除してトンネル掘削を行うためには、切羽前方地山の地質情報を早期に収集して現場施工にフィードバックすることが大切です。それぞれのシステム情報をネットワーク化することでより精度の高い情報として利用できると考える。

トンネル情報化システムを使い、トンネルの前方の地山を掘る前に直接見ることができるということは、想定内でトンネル掘削ができるということである。

次世代型照明器具導入による効果の検証

高山 和裕¹・黒肱 裕也²

¹独立行政法人水資源機構琵琶湖開発総合管理所 管理課（〒520-0243 滋賀県大津市堅田2-1-10）

²独立行政法人水資源機構関西支社 事業部 建築課（〒540-0005 大阪府大阪市中央区上町セイビル内）

琵琶湖開発総合管理所の管理棟は、平成4年3月の完成から築20年を迎えた建物であるが、各部位において経年劣化により支障が生じてきている。このうち照明設備では、経年劣化による照明効率の低下がみられ、ランプの取替頻度も目に見えて高くなってきた。

今回、長時間使用する執務室を対象に、低消費電力・長寿命をうたう次世代型の照明器具を導入しコスト削減を図るとともに、その効果の検証を行った。

キーワード：照明器具、経年劣化、コスト削減、省エネルギー、環境 CO2 削減

1. はじめに

地球温暖化対策として2005年に京都議定書が発効され、日本は2008年から2012年の間にCO2などの温室効果ガス排出量を1990年比で6%削減することとなった。更に2009年9月には国連気候変動会議において2020年までに1990年比で温室効果ガスを25%削減する目標を表明している。その中、平成23年3月11日の東日本大震災の発生でクリーンエネルギーとして位置づけられていた原子力発電の施設が大きな被害を受け、電力の供給が不安定なものになった。

全国的に節電が叫ばれるなか、日本政府や民間企業はあらゆる方策を総動員して節電に取り組んでいるが、地球と日本の環境を未来へ引き継ぐため、新技術の開発、導入は喫緊の課題となっている。

琵琶湖開発総合管理所(写真-1)は、1992年(平成4年3月)に建築され、2012年(平成24年)には築20年を迎えた建物である。

建築設備の耐用年数は機器の運転状況により劣化の度合いは違うものの、耐用年数は建物躯体より遙かに短い15~20年であり、総合管理所の照明設備で経年劣化による照明効率の低下が見られるようになった。

今回、長時間使用する執務室を対象に、低消費電力・長寿命の照明器具に改修を行い、前年の同時期と比べ、消費電力、照度などの効果について検証を行ったので、ここに報告する。



写真-1 琵琶湖開発総合管理所全景

2. 建物概要

表-1 に琵琶湖開発総合管理所の概要を示す。

表-1 琵琶湖開発総合管理所概要

所在地	滋賀県大津市堅田2-1-10
規模・構造	地上3階+PH階 鉄筋コンクリート造 ラーメン構造
面積・主用途	延べ床面積2,127m ² 1階床面積870m ² (会議室、受変電機械室等) 2階床面積832m ² (執務室、情報処理室等) 3階床面積352m ² (資料倉庫、仮泊室等) PH階床面積73m ² (高架水槽機械室)
建築年月	1992年3月(平成4年3月)
勾配屋根	フッ素鋼板横葺き
外壁	磁器質二丁掛けタイル横張り

2. 照明方式の検討

従来から使用されている蛍光灯と次世代型と呼ばれる照明の特徴について以下に示す。

(1) 照明器具の種類と特徴

a) 40W型蛍光灯（従来型：HCFL：Hot Cathode Fluorescent Lamp）

これまでの事務所建物で多く使用されているラピッドスタート型の蛍光灯である。ラピッドは「速い」という意味で点灯速度は1～2秒であるが、両側の極（フィラメント）を加熱し放電させるため、1回のON/OFFで1時間程度、寿命が低下する欠点がある。また20年前の安定器を使用している灯具の消費電力は、近年の同型と比較しても10～20%程度多い。点灯の仕組みを図-1に示す。



封入したガスと電子が衝突することにより光を発する
図-1 40W型蛍光ランプの点灯の仕組み

b) Hf（高効率）型蛍光灯（従来型）

省電力のため40W型蛍光ランプの代替品として1998年頃から普及してきた蛍光灯である。高周波の交流電力を用い点灯させる方式で、ちらつきも少なく発光効率が良いため40W型蛍光ランプ同等でも32Wの消費電力でよく、より省エネ化された製品である。

点灯の仕組み、欠点は前述のラピッドスタート型と同じである。

c) LED（Light Emitting Diode）

全国的な節電要請から次世代の照明として注目される照明方式である。

「発光ダイオード（写真-2）」と呼ばれる半導体素子を指し、電極を埋め込んだ樹脂に電圧を加え発光させるものである。近年の技術開発により発光効率が向上しており、いろいろな分野の照明として採用されてきている。



写真-2 発光ダイオードと電球型LED器具

LEDの特徴は、その光源の指向性にある。LEDは光に指向性があり正面から見ると非常にまぶしいが、側面から見るとそれほどでもない。これを直進性光源という。そのためLEDは懐中電灯やスポットライト的な用途に向いている。

LEDは紫外線を含まない光が得られるため、虫の寄りつきや美術品への悪影響がほとんどない光源である。

構造が非常に簡単であるため、大量に生産することができ安く調達が可能であるが、その分品質に“ばらつき”があり発光色の微妙な違いにその影響がでるようである。

現在、40W型蛍光ランプに替わるものとしてLED電球を直列に並べ直管型の蛍光灯として使用できる製品が生産されるようになってきた。（写真-3）



写真-3 LED蛍光灯イメージ

d) 有機EL（Organic Electro Luminescence）

有機ELについては、照明器具としての利用は開発途上の技術である。既に20年も前から研究が続けられており携帯電話などの小さな画面での採用が主だったが、近年大型化が図られてきている。

将来的には極薄の大型ディスプレイへの採用や、天井自体が発光するような照明も考えられる技術である。（写真-4）



写真-4 有機ELイメージ

e) CCFL（Cold Cathode Fluorescent Lamp）

「冷陰極蛍光ランプ」と訳され、液晶画面のバックライトやスキャナー・コピー機の光源として30年程の実績がある。近年テレビやパソコンの液晶のバックライトは点滅性能（反応速度）の良さからLEDが採用されてきており、CCFLが使われる製品は少なくなっている。

CCFLは長年利用されてきた技術で品質も安定しており、発光効率が良く省エネであるため従来の蛍光灯の代替品として開発された。点灯の仕組みを図-2に示す。



図-2 CCFLの点灯の仕組み

従来型の蛍光灯とは点灯方式が異なり、従来型の蛍光灯では両側の極（フィラメント）を加熱し放電させ点灯させるのに対し、CCFLでは両側の電極カップに高電圧をかけ放電させることによって点灯させる。電極加熱がないだけ温度の上昇が小さいので従来型の蛍光灯の「熱陰極」に対し「冷陰極」と呼ばれる。(写真-5)



写真-5 CCFL 蛍光灯イメージ

(2) 演色性

照明の性能として演色性があるが、これは自然光(太陽光)下での色の見え方を 100 とし、それぞれの光源を評価した指数のことで平均演色評価数 Ra の単位を用いる。

光は電磁波の一種で周波数 400nm (ナノメートル) 以下の紫外線から 400nm~800nm の可視光線、800nm 以上の赤外線で構成されている。太陽光をプリズムガラスに通すと虹のように照射され、複数の色(周波数)の集合体であることがよくわかる。

従来型の蛍光灯と CCFL では、その点灯の仕組みからランプ内で発生した紫外線を管の内側に塗布された蛍光体で可視光に変換するため微量の紫外線と可視光線、赤外線として放出されることで光の三原色である R(赤)、G(緑)、B(青)がバランスよく含まれ図-3 のように自然な W(白)が生み出されていた。

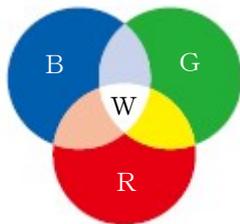
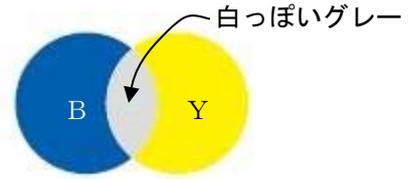


図-3 光の三原色構成による白色

しかし、LED に至っては半導体樹脂の組み合わせにより、必要な色の周波数をもつ光が作り出せるが、光の三原色である RGB を発光できる LED は出力が弱く実用的ではないため、光としては強い周波数を持つ青色の LED に黄色蛍光体を組み合わせ擬似的に白い光源を作り出している。このため図-4 のように不自然な白により、演色性が蛍光灯に比べ低くなってしまふ要因となっている。近年、白色の光源を作るにはいくつかの方法が開発されているが、照明として多く使用されているのは前述の方法である。



青色LED+黄色蛍光体

図-4 白色LEDの1例

それぞれの照明方式の演色性を含めた特徴を表-2 にまとめる。

表-2 特徴比較

方式	40w型	Hf型	LED	CCFL
設定寿命	10,000 h	15,000 h ~ 20,000 h	40,000 h	40,000 h
消費電力	約4年	6年 ~ 8年	約15年	約15年
ランプ価格	1,000	2,700	12,000	7,500
演色性	Ra85	Ra85	Ra70~84	Ra85

※LED は口金がL型のもの

3. 改修方法の決定

改修方法を選定するにあたり、経済比較を行った。比較条件は以下のとおり

- ①40w 型蛍光灯（既存照明）継続使用
 - ・設置後 20 年経過のため安定器の取替を行う
- ②H f 型蛍光灯に改修
 - ・既存の照明位置にそのまま 2 灯用を設置すると過剰照度となるため、32w2 灯を 63w 1 灯型の器具とし台数の変更はしない。（天井改修回避）
- ③直管型LEDに改修
 - ・器具新設。
 - ・台数は変更しない。
 - ・日本電球工業界規格(L型口金)の直管型LED
- ④CCFL 蛍光灯に改修
 - ・安定器を経由しないバイパス配線を行うことで既存器具を再利用する。
- ⑤製品価格は公表価格とする。
- ⑥施工費は公共建築工事積算基準による。

表-3 LCC 試算条件

方式	40w型	Hf型	LED	CCFL
点灯時間	12h/日x220日/年=2,640 h			
使用台数	50台			
入力電力	100V			
消費電力	85w/台	65w/台	62w/台	54w/台
電気料金	16円/kwh			

表-4 LCC10年計算表

※継続使用(安定器交換11,770+ランプ2本2,000)×50台×1.25(経費)= 860,000

40w型蛍光灯	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年
ランプ代(初年度安定器)	860,000	0	0	0	50,000	0	0	0	50,000	0
電気代	179,520	179,520	179,520	179,520	179,520	179,520	179,520	179,520	179,520	179,520
合計	1,039,520	179,520	179,520	179,520	229,520	179,520	179,520	179,520	229,520	179,520
累計	1,039,520	1,219,040	1,398,560	1,578,080	1,807,600	1,987,120	2,166,640	2,346,160	2,525,680	2,705,200

Hf改修費(既存器具撤去処分2,700円、新設32,800円)×50台×1.25(経費)= 2,220,000

高効率型蛍光灯	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年
器具取替費、ランプ代	2,220,000	0	0	0	0	0	0	135,000	0	0
電気代	137,280	137,280	137,280	137,280	137,280	137,280	137,280	137,280	137,280	137,280
合計	2,357,280	137,280	137,280	137,280	137,280	137,280	137,280	272,280	137,280	137,280
累計	2,357,280	2,494,560	2,631,840	2,769,120	2,906,400	3,043,680	3,180,960	3,453,240	3,590,520	3,727,800
LCC合計差額	1,317,760	1,275,520	1,233,280	1,191,040	1,098,800	1,056,560	1,014,320	1,107,080	1,014,840	972,600

LED改修費(既存器具撤去処分2,700円+新設52,100円)×50台×1.25(経費)= 3,430,000

LED蛍光灯	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年
ランプ代	3,430,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
電気代	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048
合計	3,544,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048
累計	3,544,048	3,658,096	3,772,144	3,886,192	4,000,240	4,114,288	4,228,336	4,342,384	4,456,432	4,570,480
LCC合計差額	2,504,528	2,439,056	2,373,584	2,308,112	2,192,640	2,127,168	2,061,696	1,996,224	1,880,752	1,815,280

CCFL改造費(安定器切り離し1,930円+ランプ代7,500円×2本)×50台×1.25(経費)= 1,060,000

CCFL蛍光灯	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年
ランプ代	1,060,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
電気代	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048
合計	1,174,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048	114,048
累計	1,174,048	1,288,096	1,402,144	1,516,192	1,630,240	1,744,288	1,858,336	1,972,384	2,086,432	2,200,480
LCC合計差額	134,528	69,056	3,584	-61,888	-177,360	-242,832	-308,304	-373,776	-489,248	-554,720

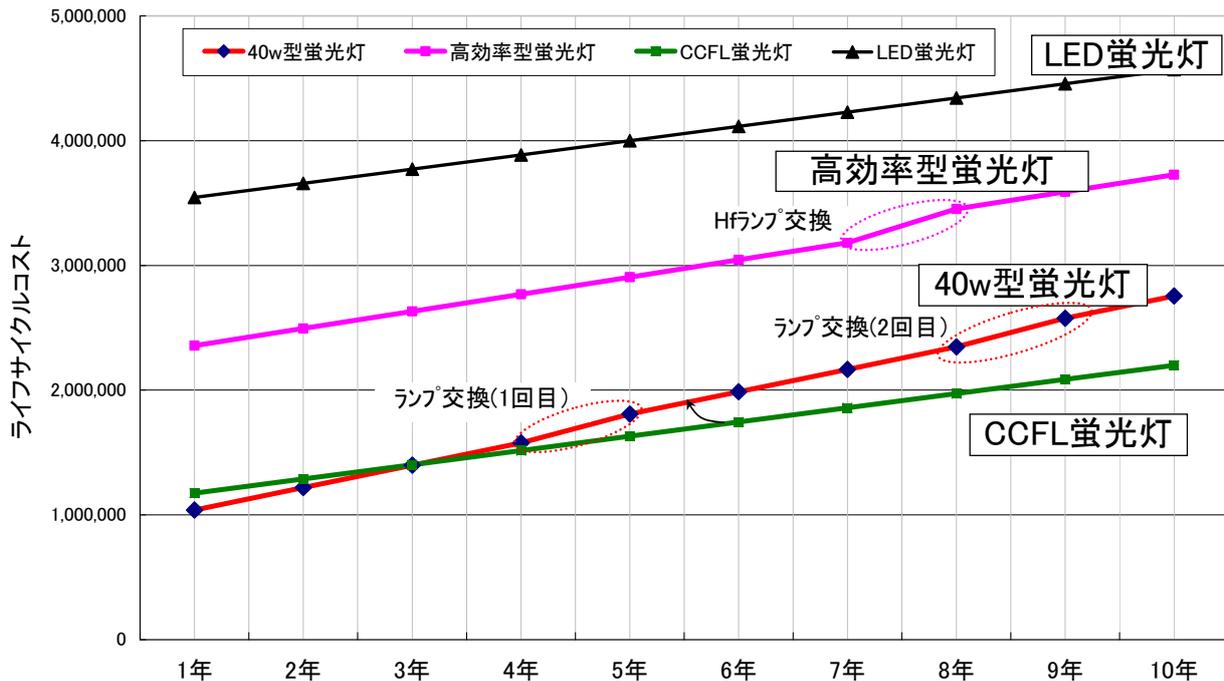


図-5 LCC10年比較グラフ

表-3の照明器具消費電力を比較すると、40w型蛍光灯の安定器を取り替えて継続使用する場合に比べ、Hf型蛍光灯では消費電力が20%、LED、CCFLに至っては42.4%の削減が可能であり、ランプの価格、施工費を考慮した10年間のLCC(ライフサイクルコスト)では表-4、図-5のとおりとなった。

結果、LCC10年計算ではCCFLは、40W蛍光灯を継続して使用するより、わずか3年で費用対効果が得られる試算結果となった。以上のことから、改修で使用する照明器具はCCFLを採用することとした。

4. 導入による効果の検証

4.1 見た目

改修後については**写真-6**のとおり、シャープなラインとなり見た目にもすっきりした外観となった。



写真-6 改修前(上)、改修後(下)

4.2 照度比較

写真-7のように改修前 793Lx、改修後 919Lx と計測位置による差はあるが、概ね 100Lx~200Lx 程度照度が上がった。改修前の蛍光灯の殆どが「設計寿命を迎えた状態（新設時の70%の照度）」と考えると当然の結果ではあるが、かなり明るくなっている。なお、照明器具直下の机上で計測しているため通常必要とされる照度(750Lx)よりも大きく出ている。



写真-7 改修前(左)と改修後(右)

4.3 効果

感覚的には個人差はあるものの、従来型の蛍光ランプにあった「ちらつき」がないこと、また演色性（物が自然に見える度合い）も従来型の蛍光ランプと変わらず良いため、職員の評判も良く照明による眼の疲れに関しては格段に改善されたように思われる。

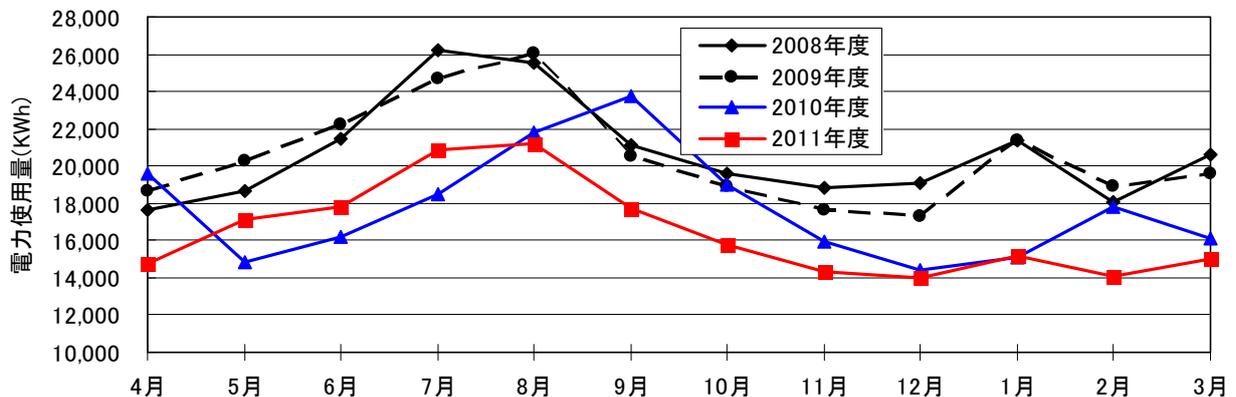
表面温度が従来型の蛍光ランプ表面より低いため室温に与える影響が少ないものとなっており、空調負荷の低減にもつながっている。

他の効果としては、地震などで落下した場合でも破損しないため安全性が確保できること、安定器が不要なことから安定器の加熱膨張発火の心配がないこと、更には長期に渡りランプ交換が不要なため、職員のランプ交換時における脚立事故の軽減にもなっていることが挙げられる。

4.4 電気料金の検証

2011年3月(平成23年3月)に改修を行ったため2011年度の電気料金を2010年度と比較した。

表-5 電力使用量比較



導入後の4月では電力使用量は大幅に減っており、中間期のため空調等の他の電力使用の影響を受けない月としては照明器具の省エネ化が図られた結果といえるだろう。

しかし翌々月からの3ヶ月間は逆に増えている。これは2011年の5月から7月にかけて前線・台風の影響により防災態勢に入り、執務室の使用時間が伸びているためではないかと思われる。8月からは前年度に比べ使用電力量は減っていることが確認できるため照明改修の効果があったものと思われる。

なお、2009年度の電力使用量が2010年度で大きく減少しているのは、ISO14001におけるCO2削減への取り組みによる効果であると思われる。

5. おわりに

省エネルギー化が図れる次世代型の照明器具に改修することは、コスト縮減や安全面においても大きな効果があることが分かった。東日本大震災の影響により原子力による発電の見通しが立たないことや限りある資源の有効活用等を鑑みると、省エネ製品の開発は一段と加速していくことは間違いない。

水力・風力発電や太陽光発電によるクリーンエネルギーの供給能力を考えると、需要側の機器類において電力消費量削減は当然行わなければならない課題の一つである。

積極的な省エネ製品の導入、改修が更なる省エネを促しコスト縮減のみならずCO₂排出削減にもつながり地球温暖化防止へ大きく貢献できるであろう。

参考文献

- 1) 財団法人省エネルギーセンター. オフィスビルの省エネルギー
- 2) パナソニック電工(株)照明技術資料
- 3) 東芝ライテック(株)LED-T.LEDS技術資料
- 4) コニカミノルタ-有機EL照明技術資料
- 5) (株)豊光社CCFL照明-SOLANA技術資料
- 6) (株)オプトロムCCFL照明-E-COOL技術資料

情報化施工普及推進における取り組みについて

能登 眞澄¹

¹近畿地方整備局 近畿技術事務所 施工調査課 (〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町11-1)。

情報化施工は建設施工において情報通信技術（ICT）の活用により高効率・高精度を実現するものである。国土交通省では建設施工の品質向上、コスト縮減等を目的として、情報化施工の普及推進に取り組んでいる。取り組みの一環として平成25年度から実用段階技術の一般化、早期実用化に向けて試験施工を通して課題等を検証している。本報告は情報化施工推進普及を目的とし、各施工現場にて情報化施工技術を導入するための手引きとなる事例集作成の報告である。

キーワード 情報化施工，ICT，品質向上，コスト縮減

1. はじめに

情報化施工は、技術的に既に実用段階にあり、道路土工・河川土工を中心とした試行により、施工の品質向上・省力化が確認されている。国土交通省では、トータルステーションによる出来形管理技術(以下、「TS出来形管理」という。)及びマシンコントロール(モータグレーダ)技術(以下、「MC(モータグレーダ)」という。)を平成25年度に一般化する情報化施工技術、TS/GNSSによる締固め管理技術(以下、「締固め管理」という。)、マシンコントロール/マシンガイダンス(ブルドーザ)技術(以下、「MC/MG(ブルドーザ)」という。)、マシンガイダンス(バックホウ)技術(以下、「MG(バックホウ)」という。)を早期実用化に向けて検討を進める情報化施工技術として位置づけ¹⁾(図-1、図-2)、公共事業において積極的に一般化・実用化を推進していくものとしている。

本報告は情報化施工技術の普及推進、施工現場への導入支援を目的に、現状の課題把握を行い、発注者や施工者の情報化施工の手引きとなる事例集作成の報告である。



図-2 情報化施工技術概要

情報化施工技術		H20年度～	H25年度	H26年度以降
マシンコントロール技術	モータグレーダ	試験施工	一般化	
	ブルドーザ	試験施工	早期実用化	
マシンガイダンス技術	ブルドーザ・バックホウ	試験施工	早期実用化	
	TSによる出来形管理技術	試験施工	一般化	
TS・GNSSによる締固め管理技術		試験施工	早期実用化	

図-1 情報化施工推進計画

2. 概要

(1) 情報化施工普及推進に向けての課題把握及びとりまとめ
発注者、施工者が情報化施工を導入する際の課題の把

握及びとりまとめを行った。課題の把握及びとりまとめは、施工者の企業規模や機器等の調達状況等を勘案してとりまとめることとした。特に平成25年度からの一般化に伴い、導入が多く見込まれるTS出来形管理に関する課題を中心に把握することとした。

(2) 情報化施工普及推進の事例集の作成

(1) にてとりまとめた課題を踏まえ、発注者・施工者が情報化施工を円滑に導入するための手引きとなる事例集を作成した。作成した事例集は以下のとおりである。

事例集 : TS出来形管理

事例集 : 締固め管理

事例集 : MC/MG

作業フローを図-3に示す。

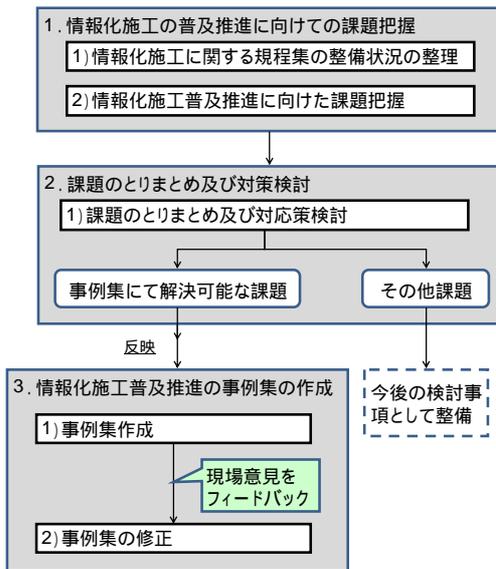


図-3 作業フロー

3. 情報化施工普及推進に向けての課題把握

(1) 課題・問題点の把握及び検討の背景、検討の流れ

国土交通省では情報化施工の普及に取り組むべく、平成20年2月に産学官による「情報化施工推進会議」を設置し、その検討結果に基づき、同年7月に「情報化施工推進戦略」²⁾を策定した。具体的には、情報化施工を標準的な施工・施工管理方法とするため、全国的に実施している試験施工を通して、効果検証・課題検討等による「施工管理要領・監督検査要領等の規程集の新規策定・見直し」や研修会等による「発注者・施工者の人材育成」を実施している。平成23年1月には、効果が期待できる情報化施工技術の一般化・実用化の方針を決定し、平成25年に一般化する技術として「TS出来形管理」及び「MC（モータグレーダ）」、早期実用化に向けて検討を進める技術として「締固め管理」、「MC/MG（ブルドーザ）」、「MG（バックホウ）」を指定、重点的に普及推進に取り組んでいる。

近畿地方整備局では、平成22年3月に設置した情報化

施工推進WGにより発注者・施工者向けのセミナーを実施し、情報化施工の普及に積極的に取り組んでいる。

平成25年から一般化、早期実用化を円滑に進めていくためには、主に情報化施工を初めて実施することになる施工者や発注者における具体的な課題・対応策を検討する必要がある。本報告では、既存資料整理や情報化施工を実施した現場担当者及び機器レンタル業者を対象とした調査を通して、施工者・発注者が情報化施工を導入するにあたっての実務者レベルの課題・問題の把握及びとりまとめを行い、対応策を検討することとした。検討の流れを図-4に示す。

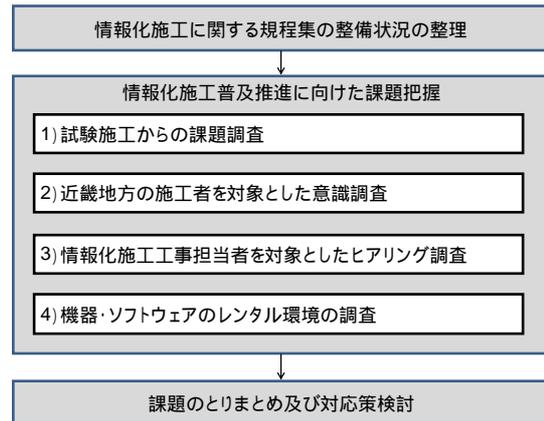


図-4 検討の流れ

(2) 情報化施工に関する規程集の整備状況の整理

情報化施工技術が適用された工事では、従来の施工方法や品質管理基準等を規定している既存の「河川土木マニュアル」、「道路土工指針」、「土木工事施工管理基準及び規格値」に代わり、情報化施工技術の特徴を踏まえて新たに策定された施工管理要領や監督・検査要領等の規程集に基づき実施されている。

現状では各技術の規程集の整備状況にばらつきがある。TS出来形管理は施工管理要領など関連規定集が整備されている。締固め管理では施工管理要領、監督・検査要領は整備されているが、監督職員に提出義務のある施工データに関するデータ交換標準は整備されていない。また、MC/MGでは規程集はなく、従来工事と同様の規程集に基づき実施されている状況である。

各情報化施工技術の規程集の策定状況を以下に示す。

規定集	TSによる出来形管理	締固め管理	MC/MG
施工管理要領			×
監督・検査要領			-
データ交換標準		×	-
機器・ソフトウェア等の機能要件		×	-

表 1 各情報化施工技術の規程集の策定状況

(3) 情報化施工普及推進に向けた課題把握

1) 試験施工からの課題調査

情報化施工の普及推進に向けた課題を把握するため、「情報化施工推進会議」で示された平成22年度に実施された試験施工の状況・課題等に関するアンケート結果を整理した。

整理した主な課題を以下に示す。

- ・MC（モータグレーダ）では32社中29社が「アスファルトA」等級、TS出来形管理では河川土工で52社中43社、道路土工で87社中75社が「一般土木C」等級であり、各技術で実施している施工者の規模が偏る。

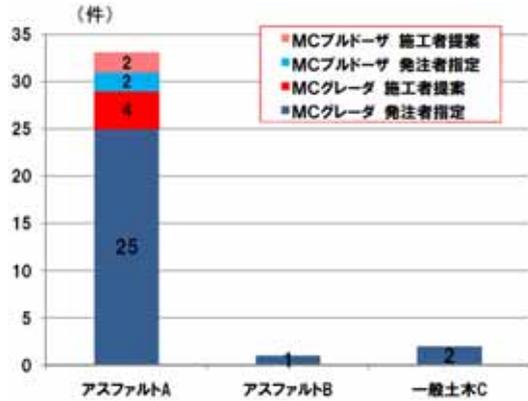


図-5 競争参加視覚等級別のMC (モータグレーダ) 実施件数³⁾

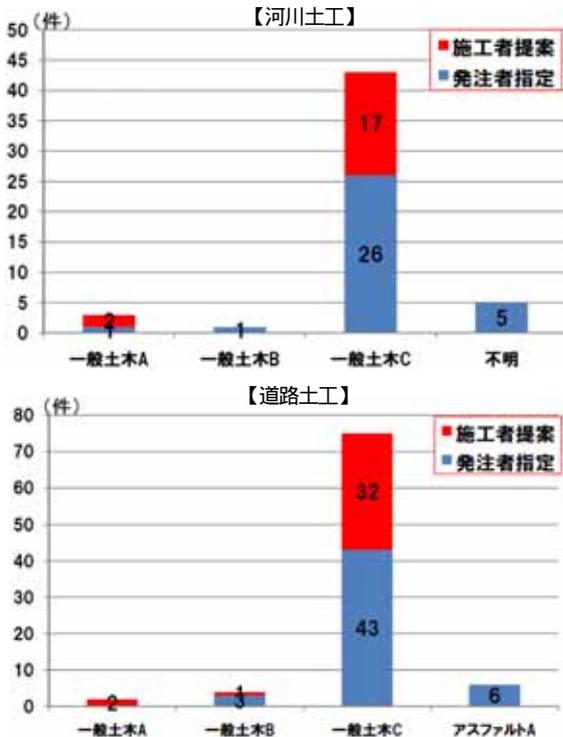


図-6 競争参加資格等級別のTS出来形管理の実施件数 (河川土工、道路土工)³⁾

- ・施工者の情報化施工機器の調達方法は、TS出来型管理機器は購入、リースと同数、TSソフトウェアは比較的購入が多い。その他の機器のほとんどソフトウ

エアはレンタル/リースに依存している。

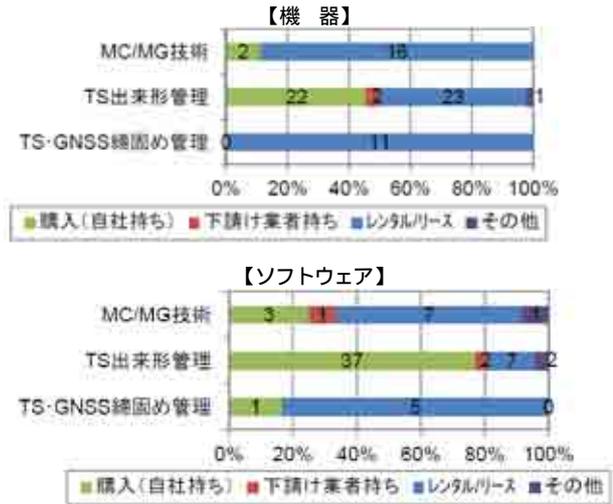


図-7 施工者の機器・ソフトウェアの調達方法⁴⁾

- ・アンケートにおける施工者・発注者の要望をまとめると、MC/MG、TS出来型管理、締めめ管理共に「機器類の容易な調達環境（台数、価格）」、「現場の適用条件や判断基準の明確化」、「技術者の育成、教材の充実」が多い。

2) 近畿地方の施工者を対象とした意識調査

情報化施工推進WGでは、平成23年度に情報化施工普及水推進の一環として近畿地方の施工者を対象とした情報化施工セミナーを開催した。

セミナー参加者の9割程度が情報化施工未経験者であったことから、情報化施工の未経験者施工者において情報化施工に対する不安についてアンケート調査を行い課題を整理した。

整理した主な課題を以下に示す。

- ・施工者は、情報化施工の導入に際して「施工管理要領、監督検査方法の要領理解」、「導入費用」、「機器・ソフトウェアの操作習得、技術者育成」の不安があり、調達、機器操作、施工管理と情報化施工の全般に不安を感じていることがわかった。

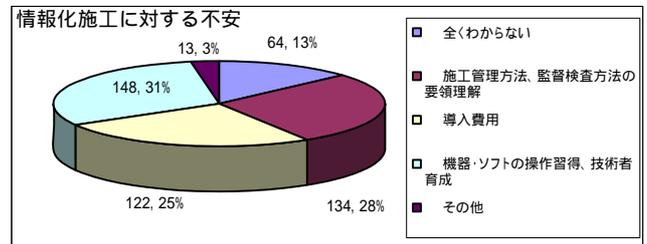


図-8 情報化施工技術の導入に際しての不安事項

3) 情報化施工工事担当者を対象としたヒアリング調査

試験施工からの課題及び近畿地方の施工者からの課題を集約すると、発注者・施工者双方の技術者を育成、要領等の理解を促進するための「教材・セミナー等の充

実」、 施工者側での機器等の調達を容易にするための「機器・ソフトウェアの調達環境（台数、価格）の改善」が必要であることがわかる。

上記 の課題を解決に向けて重点的に教材での解説やセミナー等の実施が必要な具体的な事項を把握するため、情報化施工工事担当者を対象に情報化施工を実施していく中で課題と感じた事項について、施工段階ごとにヒアリングを行った。上記 の課題に関しては「4）機器・ソフトウェアのレンタル環境の調査」にて後述する。

情報化施工工事担当者を対象としたヒアリングは、平成25年度一般化により導入が多く見込まれるTS出来形管理技術を中心に調査を行った。

ヒアリング調査の概要及び結果を以下に示す。

【ヒアリング調査概要】

ヒアリング調査現場

- （実施時期）平成23年10月
- （現場）道路土工（盛土施工中心）
- （管内）和歌山河川国道事務所管内
- （技術）TS出来形管理

ヒアリング調査現場

- （実施時期）平成23年10月
- （現場）道路土工（切土施工中心）
- （管内）和歌山河川国道管内
- （技術）TS出来形管理

表-2 各施工段階の課題に対する施工者・発注者の意見

施工段階	工事担当者	意見
機器調達	施工者	機器が少ない。 機器が高価である。
	発注者	-
準備	施工者	情報化施工技術への不慣れにより、3次元設計データの作成に時間を要する。 現場条件によって3次元設計データの作業負担が大きく変わる。
	発注者	詳細設計段階で3次元設計データが納品されないため、施工者にデータを提供することができない。
品質・出来形管理	施工者	施工時や品質・出来形管理時の機器操作の習得は容易であることから、3次元設計データ作成ほどの手間は生じない。
	発注者	-
監督・検査	施工者	-
	発注者	情報化施工技術への不慣れにより、情報化施工の各監督・検査事項の実施に時間を要する。

4) 機器・ソフトウェアのレンタル環境の調査

「機器・ソフトウェアの調達環境の改善」が情報化施工を普及推進するための主要な課題となっている中、「1）試験施工からの課題調査」にて整理したとおり、施工者が機器・ソフトウェアをレンタル調達していることが多いことから、発注工事件数に対応するレンタル可能台数の確保が調達環境の改善のために必要となる。

レンタル環境を把握するため、近畿地方の機器・ソフトウェアメーカーやレンタル会社を対象としたレンタル環

境の調査を実施した。また、機器・ソフトウェアの調達環境改善のためのメーカーやレンタル会社側からの課題も合わせて把握した。近畿地方のレンタル環境及びレンタル会社側からの課題を以下に示す。

- ・近畿地方でのMC/MG及び締固め管理の機器・ソフトウェアのレンタル可能台数は少ない。ただし、TS出来形管理ではハード・ソフト共に購入調達(自社持ち)が他の機器と比べて多いこと、また通常使用しているTSで機能を満たしているTSであれば利用可能なため調達可能台数は多い。
- ・レンタル会社では発注工事件数が不明のため、現在のところ保有数量、初期設定等に対応する技術者を増加する予定はない。
- ・レンタル会社では発注工事件数が増加すれば、TSの台数を新規購入し対応することは可能であるが、技術者は養成期間が必要である。
- ・施工者より3次元設計データの作成を依頼される場合が多く、データ修正にも対応しなければならないため技術者不足の不安がある。

4. 課題に対する対応策の検討

「（2）情報化施工に関する規程集の整備状況の整理」及び「（3）情報化施工の普及推進に向けた課題把握」にて把握した各技術の要領等の整備状況からの課題、発注者・施工者の実務上の課題をとりまとめ、各課題の対応策(案)を検討した。課題のとりまとめ及び対応策検討では「情報化施工の全体的な課題・対応策（案）」表-3と「工事における運用上の課題・対応策（案）」表-4に分類して整理した。

また、「工事における運用上の課題・対応策（案）」では、施工段階・工事担当者ごとに示している。

表-3 情報化施工の全体的な課題・対応策（案）

課題	対応策(案)
締固め管理の品質管理データ交換標準が未策定であるため、施工の確認、維持管理利用等の発注者側でのデータの効率的な利活用が困難である。	品質管理データのデータフォーマットの統一、品質管理データを発注者が施工管理、維持管理に利活用を可能にする。
情報化施工機器が少なく調達が困難である。	情報化施工の工事の発注スケジュールを公表することで、施工者の機器調達に時間的余裕を確保し、間接的には機器レンタル業者の保有数量の増加に寄与する。
情報化施工機器の調達が高価であり、情報化施工に取り組めない。	(今後の新規参入企業の増加による価格の適正化や各技術の高度化による省コスト化に期待する。)
現場条件によって3次元設計データの作業負担が大きく変わる。	試験施工時の課題等から現場条件ごとの課題と対応をまとめたマニュアル等を作成する。
現在、詳細設計段階で3次元設計データが納品されないため、施工者にデータを提供することができない。	詳細設計段階で3次元設計データを納品する場合は課題や詳細設計段階で納品されたデータを施工段階で使用する場合の課題を検証し、対応を検討する。

表-4 工事における運用上の課題・対応策(案)

施工段階	担当者	課題	対応策(案)
準備	施工者	情報化施工技術への不慣れにより、3次元設計データの作成に時間を要する。	・事例集により3次元設計データの作成方法を周知する ・データ作成に関するセミナーを充実させ、施工者にて作成が可能となるようにする。
	発注者	-	-
品質・出来形管理	施工者	-	-
	発注者	-	-
監督・検査	施工者	-	-
	発注者	情報化施工技術への不慣れにより、情報化施工の各監督・検査事項の実施に時間を要する。	・事例集により監督・検査内容を周知する。 ・監督・検査に関するセミナーを充実させ、発注者の理解を促進する。

上記の表3、表4の対応策の中から近畿技術事務所ですらに実行が可能と考えられる対応策として、事例集により発注者、施工者への情報化施工の理解を促進することとした。表-5で「5情報化施工普及推進の事例集の作成」にて後述する事例集での対応事項を整理した。

表-5 事例集での対応

対応策(案)	事例集での対応
情報化施工技術への不慣れにより、情報化施工の各監督・検査事項の実施に時間を要する。	・情報化施工全体の流れに沿って、要領に掲載されている事項や実務レベルの監督・検査内容を図や写真等を用いて解説し、理解を促進する。
情報化施工技術への不慣れにより、3次元設計データの作成に時間を要する。	・3次元設計データの作成方法を図等により詳細に解説し、技術習得を促進する。
情報化施工機器の調達が高価であり、情報化施工に取り組みにくい。	・情報化施工技術の購入に際しての税制や融資制度について記載することで、機器の調達を支援する。 ・情報化施工を導入した場合のメリットを記載し、効果を理解することで、情報化施工活用拡大を図る。

5. 情報化施工普及推進の事例集の作成

(1) 事例集の作成

1) 事例集の作成方針

「3 情報化施工普及推進に向けて課題の把握」及び「4 課題に対する対応策の検討」を踏まえ、発注者、施工者が情報化施工を円滑に導入するための手引きとなる「TS出来形管理」・「締め管理」・「MC/MG」の事例集を作成した。

事例集の作成方針を以下に示す。

- ・平成25年度から一般化により導入が多く見込まれることから、TS出来形管理の事例集を普及の中心と位置づける。
- ・発注者・施工者の実務内容のみではなく、情報化施

工導入のメリットや施工者のインセンティブを記載することで、情報化施工機器への投資や理解を促進する。(図-9)

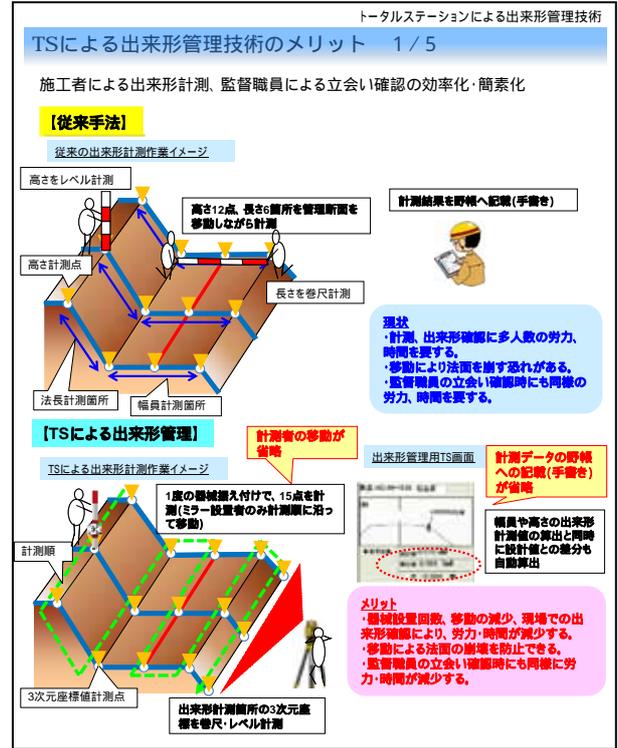


図-9 導入メリットの解説(例)

- ・作業フローの項目と施工要領等との関連性を示すことで施工の過程で施工要領等の解説が容易に参照できるものとし(図-10)、各作業項目では実務レベルの作業内容を図や写真等を用いてわかりやすく解説(図-11)する。



図-10 作業フローと要領の関連を容易に参照(例)

ダム湖内における地すべり対策工事の施工実績

森田 真幸¹・芦田 徹也²

¹鹿島建設株式会社 関西支店 赤谷工事事務所 (〒637-0405奈良県五條市大塔町宇井99)

²鹿島建設株式会社 関西支店 土木部 (〒540-0001大阪府大阪市中央区城見2-2-22)

大滝地区地すべり対策工事は抑制工と抑止工に分類され、抑制工ではダム湖内を浚渫し、既設水中構造物を撤去後、水中不分離性コンクリート(24,550m³)で置換え、さらに鋼管矢板による仮締切、水替後、締切内部にCSG (Cemented Sand and Gravel) 盛土(224,800m³)を行い、抑止工では、鋼管杭 (φ800、64本) をCSG盛土上部の斜面に打設し、斜面の安定化を図る。

今回、抑制工のうち、仮締切・水中コンクリート型枠のユニット化による水中作業の効率化及び高低差70mの斜面に設置したCSG搬送設備を利用したCSG盛土の急速施工について報告する。

キーワード ダム湖, 地すべり, 水中不分離性コンクリート, CSG

1. はじめに

大滝ダムは奈良県吉野郡川上村(図-1参照)に位置し、1959年の伊勢湾台風により紀の川流域に発生した被害を契機に事業が開始している。

2002年にダム本体が完成し、2003年に試験湛水を開始したところ、ダム湖貯水池内の白屋地区にて家屋の壁や道路、地面などに亀裂の発生が確認された。この白屋地区の地すべり対策工事は2005年に施工を開始し、2009年に施工は完了している。

また、白屋地区の亀裂現象を踏まえ、2005年に設置された「大滝ダム貯水池斜面再評価検討委員会」では、貯水池内において、亀裂が発生した白屋地区以外の大滝地区及び迫地区においても地すべり対策が必要であるとの結論に至っている。

そのため、大滝地区地すべり対策工事(図-2参照)では、ダム湖貯水池内での工事であるが、大滝ダムの早期供用に向けて、出水期を通した施工により、工期を遵守する必要がある。

さらに水中既設構造物の撤去数量の増加やダムの運用見直しによるCSG盛土量の増加により、約6ヵ月の工程遅延が懸念されたため、仮締切・水中コンクリート型枠のユニット化により水中作業の効率化を図るとともに、高低差70mの斜面に設置したCSG直接搬送設備を開発、適用することで、CSG盛土を急速施工したので、その結果を報告する。



図-1 位置図

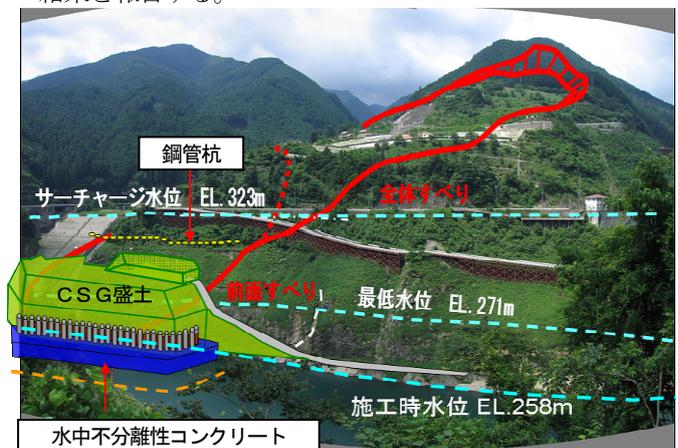


図-2 対策イメージ

2. 工事概要

(1) 全体工事概要

工 事 名：大滝地区地すべり対策工事
 発 注 者：国土交通省近畿地方整備局
 施 工 者：鹿島建設株式会社
 工事場所：奈良県吉野郡川上村大滝地先
 工 期：2008年9月5日～2011年12月28日
 表-1に主要工事数量を示す。

表-1 主要工事数量

工種	種別・細別	仕様	数量
抑制工	置換工(浚渫)		25,300m ³
	置換工(水中コンクリート)	24-50-20BB	24,550m ³
	CSG盛土工	配合強度 2.6～5.1N/mm ²	224,800m ³
抑止工	鋼管杭工	φ800t=47.23 L=33.5～55.5m	64本
構造物撤去工	無筋構造物撤去	水中	1,100 m ³
	鉄筋構造物撤去	水中	160 m ³
	鋼製布団かご撤去	水中	2,600 m ³



写真-1 地すべり全景

(2) 地すべりの概要

写真-1 に大滝地区の地すべり斜面の全景を示す。地すべりは、全体すべり（土塊体積約 500 万 m³、幅約 250 m、奥行 700m、層厚 50～60m）と前面すべり（土塊体積約 100 万 m³、幅約 150m、奥行 250m、層厚 40～60 m）が想定されている。

今回の対策工事は前面すべりを対象に施工を行い、前面すべりに対する斜面の安全率を確保することで、全体すべりに対する安全率も確保する。

なお、地すべりブロックの地質は、泥質岩及び緑色岩の互層となっており、チャートや石灰岩がブロック状に混在している。また、深度 50～60mの新鮮岩に達するまで亀裂が発達し、部分的に角礫化、細粒化、粘土化等が見られ、風化が進行しており、特に粘土化が進行した強風化岩の層に沿って、地すべり面が形成されていると推定される（図-3参照）。

(3) 地すべり地対策工事の概要

図-4・5に対策工の平面図及び断面図を示す。対策工は抑制工と抑止工に分類され、対策工の計画安全率は、抑制工で 1.05 以上を確保し、全体で 1.15 となっている。

本工事は、ダム湖貯水池内での施工となり、施工時のダム湖の貯水位は EL258 となっているが、年に3回は施工時水位より 1 m程度、年2回は 6 m程度、ダム湖の貯水位が増加するため、増水に対するリスク管理が非常に重要な工事となる。

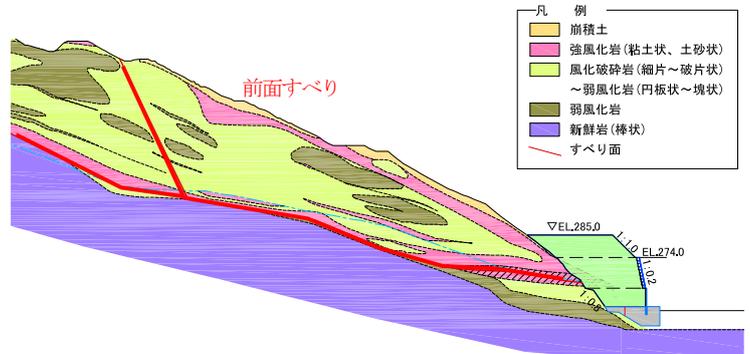


図-3 風化区分断面図



図-4 対策工平面図



図-5 対策工断面図

3. 仮締切・水中不分離性コンクリート

(1) 水中不分離性コンクリートの配合・製造方法

表-2にコンクリートの仕様、図-6に水中不分離性コンクリートの製造フローを示す。

ベースコンクリートを市中プラントで製造し、現場に設置した移し替え設備にて場内運搬車両へ移し替えを行う。移し替えた車両に水中不分離性混和剤及び流動化剤を添加・攪拌し水中不分離性コンクリートを製造した。

現場添加の方法については現場添加用の設備を設置し、設備上部のグラウトミキサにて水中不分離性混和剤と水を20秒攪拌し、計量した流動化剤とともに設備下部のトラックミキサに添加後150秒攪拌し、水中不分離性コンクリートの製造を行った。

本工事では、施工時期が2月から8月と気温が著しく異なるため、室内試験(コンクリート温度5~33℃)より温度に応じた配合を決定した。表-3・4に水中不分離性コンクリートに使用した混和剤及び配合を示す。

27℃以上では運搬中のベースコンクリートのスランプロスを軽減する目的でプラントでの単位水量を5kg/m³

増加し、現場添加での単位水量を5kg/m³減少した。また、30℃以上では同様の目的で遅延形のAE減水剤を追加した。さらに、高温時では、空気量が増加する傾向が見られたため、室内試験により、消泡剤の添加量を決定した。コンクリートの打込時間については実機試験を行い表-2の仕様を満足する打込時間を決定した。

(2) リフトスケジュール

打設リフトスケジュールは二次元FEM温度応力解析の結果よりひび割れ指数1.45を満足するよう、1ブロックを延長15m×高さ0.5・1.0mとした。

(3) 型枠工

浚渫完了の深浅測量より、岩盤面の凹凸が大きく、精度よく前面型枠が設置することが困難であったため、均し型枠を設置し、均しコンクリートを打設した。形状については幅3m×長さ5m×高さ0.5mとし、四隅に溝形鋼を設置し、高さが調整できる構造とし、溝形鋼と岩盤部との間にコンクリート流出防止のため、金網を取付けた。

表-2 水中不分離性コンクリート仕様

設計基準強度 (N/mm ²)	水セメント比 (%)	スランプフロー (cm)	粗骨材寸法 (mm)	空気量 (%)	セメント種別
24	55	50±3	20・25	4.5以下	高炉B種

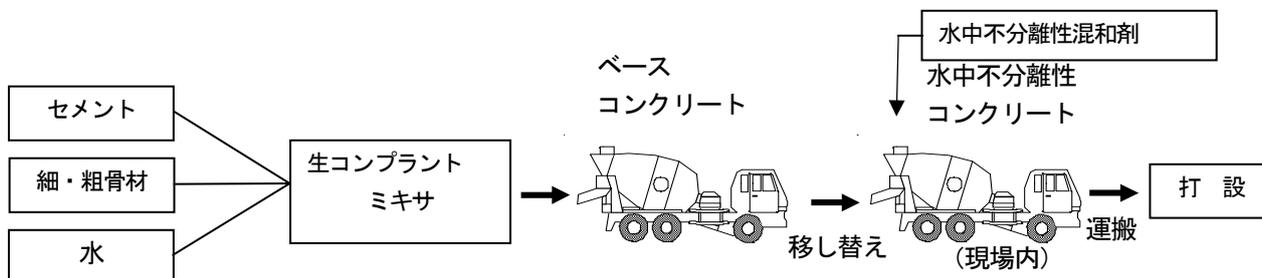


図-6 水中不分離性コンクリート製造フロー図

表-3 使用混和剤

使用材料	成分	銘柄名	名称	目的・効果	使用箇所
水中不分離性剤	水溶性セルローズ系	UWB	UWB	水中不分離性付与	現場添加設備
流動化剤	メラミンスルホン酸系	NSW	UWB-M	流動性の改善	現場添加設備
AE剤	オキシカルボン酸系	RG	AE	ベースコンクリート性状保持	プラント
消泡剤	トリブチルホスフェート系	TBP	AD	空気量の増加抑制	現場添加設備

表-4 水中不分離性コンクリート配合

コンクリート温度	種別	S/a (%)	単位量(kg/m ³)					UWB-M (L/m ³)	AE C×%	AD UWB×%
			W	C	S	G1	UWB			
—	示方配合	39.0	232	437	611	947	2.16	8		
5~27℃	ベースコンクリート	39.0	192	437	611	947	-	-	-	
	現場添加		30	-	-	-	2.16	8	-	
27~30℃	ベースコンクリート	39.0	197	437	611	947	-	-	-	
	現場添加		25	-	-	-	2.16	8	-	3
30~33℃	ベースコンクリート	39.0	197	437	611	947	-	-	0.8	
	現場添加		25	-	-	-	2.16	8	-	5

前面型枠については、当初は、幅2m×高さ3mのプレキャストL型擁壁にて計画したが、端部が勾配のある形状でありコンクリート製のプレキャスト擁壁では設置することが困難なため、鋼製型枠を使用した。これにより、端部の凹凸に合わせた形状の加工が容易となった。また、型枠を幅6m×高さ3mに大型化することで型枠の設置回数が減少し、工程を短縮することが出来た。ブロック間の打止めについては金網で製作した幅3m×高さ0.5~1mの型枠を設置した。

写真-2に使用した型枠の写真を示す。



写真-2 使用型枠

(4) コンクリート打設

写真-3にコンクリート打設状況を示す。



写真-3 打設状況(2台同時施工時)

圧送には定置式圧送ポンプ(最大前面圧 22MPa)を使用し、配管(φ125mm、最大水平換算距離約 200m)は地上部では鋼管を使用し、水上部ではフロート上に固定したフレキシブルホース(一部鋼管)を使用した。また、水中部はクレーンにて揚重して打設を行うため、フランジ配管を使用して圧送した。

打設には台船上に設置したクレーンにてホースを移動しながら、潜水士により筒先を誘導して打設した。管口からの落下高さを 0.3m以下に抑えるために管口に 0.3mの鉄筋を溶接し、落下高さの管理を行った。

時間平均打設量は、32m³/h(ポンプ 1 台使用時)、日最大打設量 684m³(ポンプ 2 台使用時)となった。なお、圧力損失は吐出量を 40m³/h として、単位長さ当たりの圧力損失は 0.046MPa/mとなり、スランプ 12cmの普通コンクリートの単位長さ当たりの圧力損失 0.012MPa/mの約 4倍となっていた。

(5) 仮締切

仮締切の構造概要図を図-7に示す。仮締切の施工順序は、基準杭用さや管をコンクリート上に固定し、さや管内部に基準杭を設置する。さや管と基準杭の隙間を水中不分離性モルタル(水中不分離性コンクリートから粗骨材を抜いた配合)で充填し、鋼管ユニット下部までのコンクリート打設完了後、基準杭をガイドとし、鋼管ユニットを一括で架設する。ダム湖上での揚重作業は、組立式フロート台船上に100tクローラクレーンを搭載し、施工を行った。今回、仮締切継手部を工場製作ユニット化したことで、継手部の止水性の向上が図れた。写真-4に水替え完了状況を示す。

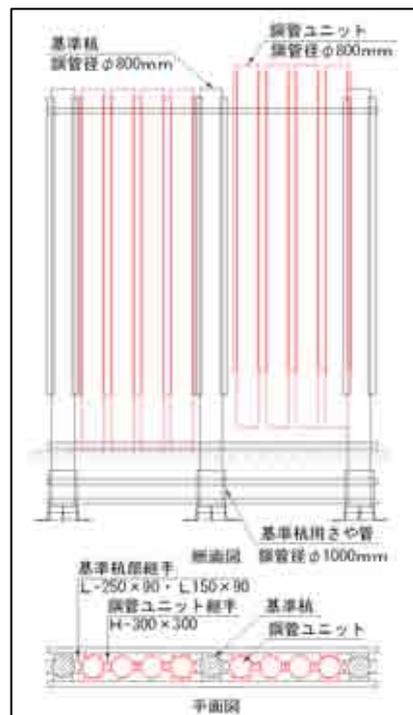


図-7 仮締切構造概要図



写真-4 水替え完了

4. CSG盛土

(1) CSGの概要

CSGとは「コンクリート」と同様に材料を示す用語であり、Cemented Sand and Gravel の略称で、工事地点近傍で得られる土石にセメントと水を加えて混合し、これを振動ローラにより締固めた材料である。CSGの物性は、コンクリートが弾性体、フィルダム材料が塑性体に対し、CSGは弾塑性体であり、強度、弾性係数ともにコンクリートより桁が1桁小さい材料である。

CSG材の粒度は、母材の状態からほとんど手を加えられていないため、ある幅をもって分布する。また、CSGの単位水量についても、一連のCSG工程（製造～現場での締固め）において、主として施工性や締固め特性から決まる単位水量の幅が存在する。CSG材粒度の幅及びCSG単位水量の幅から、CSGの強度は図-8の模式図に示すような範囲で分布するものと考えられ、この考え方は、強度の分布範囲がひし形を示すことから、『ひし形理論』と呼ばれており、「ひし形」を形成する強度範囲の最低値を「CSG強度」と定義している。

CSG材粒度の幅については、母材採取範囲から任意に試料採取を行って、調査・試験後に設定し、単位水量の幅及び単位セメント量についても試験練りや試験施工を通して決定した。

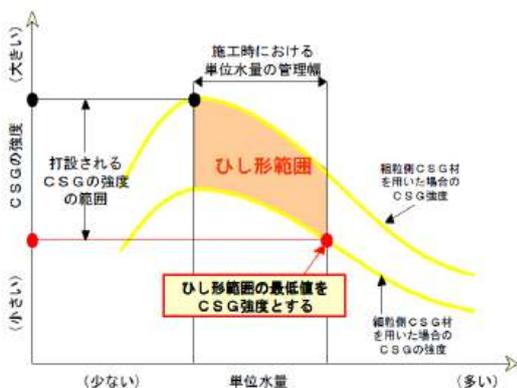


図-8 CSG強度の模式図

(2) CSG製造・搬送設備（写真-5・6参照）

CSGはCSG混合設備（SPミキサ）で、CSG材（土砂）・セメント・水を攪拌混合し、製造（製造能力250m³/h）した。製造したCSGは、ベルトコンベアとCSG搬送設備（SP-TOM）を経由することで、高低差70mの斜面に対し、材料分離を起すことなく施工箇所まで直接搬送した。その結果、品質の低下を防ぎ、かつ運搬時間を短縮し、大量輸送（ダンプ運搬の約2倍）することで、CSG盛土の高速施工が可能となった。

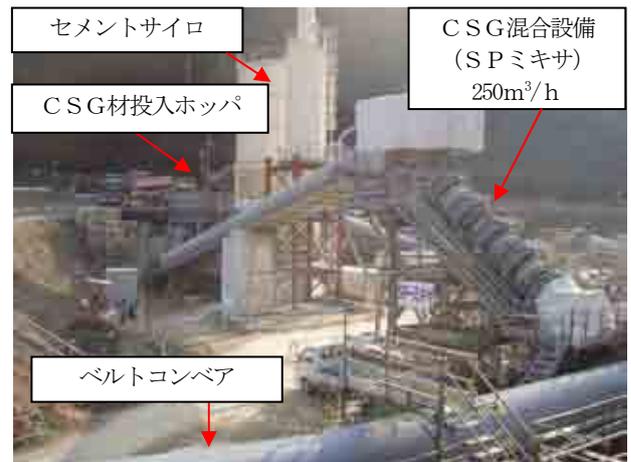


写真-5 CSG製造設備



写真-6 CSG搬送設備

(3) 施工方法

CSGの施工フローを図-9に示す。CSGの敷均し・転圧は、CSG搬送設備で運搬したCSGを0.8m³級バックホウで11t積キャリアダンプに積み込み、盛土箇所まで運搬し、16t級ブルドーザにより1層25cmで3層敷均し、11t級振動ローラ(両輪振動タイプ)で転圧した(写真-7~9参照)。転圧回数は、試験施工の結果から、無振動2回+有振動6回とし、振動ローラにGPSを設置し、リアルタイムに転圧状況の管理を行った。

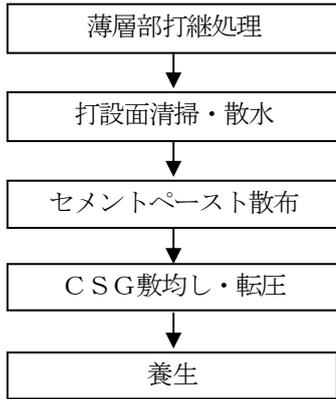


図-9 CSG施工フロー

(4) 施工実績

CSGをダンプで搬送した場合、狭隘な工事用道路の制約から、CSGの施工量は520m³/日となる。

今回採用したCSG直接搬送設備により、平均日打設量850m³/日(日最大打設量1,600m³)を確保することで、当初計画を6ヵ月短縮し、CSG全施工量224,800m³を約14ヵ月で完了した。

5. おわりに

本工事はダム湖貯水池内での工事であり、出水に対するリスクが非常に高い施工条件であった。さらに、水中既設構造物が想定より約4倍も多く、また、2011年9月の台風12号では、約1ヵ月、施工箇所が水没し、工程面でも非常に厳しい工事であった。

これらの施工条件に対して、出水リスクを考慮した施工方法及び仮締切・水中コンクリート型枠の構造さらにはCSG直接搬送設備の採用によるCSGの急速施工により、3度の出水期を含む通年施工で工事を完了した(写真-10参照)。

近年、既設ダムのリニューアルが増加する中、これらの施工方法及び施工実績が今後、同種工事の参考になれば幸いである。



写真-7 CSG積込状況



写真-8 CSG敷均し状況



写真-9 振動ローラ転圧管理



写真-10 完成写真

クラウド型データベースシステムを用いた公物管理

恵谷 真

一般社団法人 日本公園緑地協会 大阪分室 (〒540-0012大阪府大阪市中央区谷町2-2-22)

近年の公物管理においては、利用者ニーズや管理形態の多様化、予算制度の大きな変化などがある中で、現場では施設の安全管理や長寿命化対策などへの対応が求められ、経年管理履歴等を踏まえてきめ細かな管理を実施する必要性が生じている。そのためには対象公物の位置、内容、履歴など様々な管理情報を一元管理し、わかりやすく確認できるGISデータベースが必要と考えられるが、各々の管理者において自前のサーバーを確保し、独自システムを開発・継続運用することは予算面・技術面で難しい。本項はこれらの課題に対応するためのクラウド型データベースを用いた公物管理の方向についての新技術事例（POSAシステム）を紹介するものである。

キーワード 公物管理, クラウド, データベース

1. はじめに

公物管理の対象物件が増加する一方で高度成長期に整備された多くの施設の老朽化が進んでいることから、適切な点検・管理をおこない、施設の延命化やライフサイクルコストの縮減を図ることが求められている。

しかしながら都市公園を例に取ってみると、指定管理者制度の導入、市民参加の普及などによって行政が管理運営に直接的に携わらないことが増えており、本来管理者である自治体職員が実際の公園の状況を把握しにくくなっている。さらに単純な維持管理から、これまで整備・維持管理に努めてきた既存の公園資産をより積極的に活用して高品質なサービスを提供する「公園マネジメント（公園経営）」への転換が進んでおり、このためにも具体的な管理運営状況などを整理し分析する必要性が生じている。

こうした際に重要となるのは、施設の属性などが記された「台帳・図面類」と、日々の「管理運営情報（記録等）」を一体の電子情報として整理し、さらにそれぞれの情報の位置を地図上で確認し、集計・分析できるようにすることである。これは高価な商用GISであれば可能ではあるが、公園などほとんどの公物管理者にとっては費用面や操作性の面から導入が難しいことが多い。

本項では、こうした公物管理に共通した環境を改善し、より良いマネジメントに向けた情報活用を進めるため、クラウド型でWebGISとデータベースとを統合させた廉価なシステムの開発経過等について述べるとともに、完成したシステムの特徴について紹介する。

2. 開発の背景・ねらい

(1) 開発の背景

事例として紹介する「POSAシステム」は、都市公園、公園施設、樹木、占用施設などの台帳・図面類と、管理者が任意に持つ記録等（日報、作業記録、巡視・点検記録、苦情要望記録、事故報告など）を統合し、管理運営に活用することを目的とするシステムである。

従来、こうした台帳・図面類と記録等とは別々に管理されていることが多かったため、ある施設データを更新するには台帳・図面類と記録等をそれぞれ編集しなければならず、最新データの保持に労力がかかる上に、データ間の齟齬も生じやすかった。この傾向は、業務が区役所や出先事務所、指定管理者などに分掌されることで、より強まっている。

また記録等は位置情報を持たないために、どの場所の、どの施設について、どのような管理をおこなったのかという情報を関係者全員が共有することが難しい面がある。

また公園管理では、植物など不整形で変化しやすいものが対象に含まれるほか、簡易な施設補修は日常の保守点検の中で実施されることも多いなど、台帳の付記事項レベルのデータを頻繁に更新しなければならない。

そして、指定管理者や担当者が替われば経験則や属人知で補われてきた「記録から情報を読み取る技術」や「情報管理のネットワーク」が失われ、継続的な管理運営に支障が出るという状況もあった。

(2) 開発のねらい

上述の背景の下、次のようなねらいを持ってPOSAシステムの開発に取り組んだ。

a) 情報の一元化・共有化

- ・公園に関わる情報を一元管理できるようにする。
- ・本庁舎、出先事務所、現場など、どこからでも同じ情報を閲覧・編集可能とする
- ・複数の人による同時使用を可能とする

b) 記録作業を台帳情報の更新と直結させ更新を簡素化

- ・日々の管理業務の記録（日報など）を入力するだけで、台帳情報に付帯する管理情報を更新させる

c) 容易なカスタマイズ性、セミオーダーでの提供

- ・入力項目やアクセス権限を容易にカスタマイズ可能とし、管理組織や管理内容の変化に対応する
- ・導入前にそれぞれの公園管理者のニーズをコンサルティングし、実態に合わせた初期カスタマイズを実施して提供する

3. システム構成

2. で述べたねらいを満たすものとして、次のようなシステムとした。

(1) WebGISとデータベースの統合プラットフォーム

GISのもっとも基本的な機能である「情報に位置データを持たせ地図上に表示する」ことにより、公園台帳を始めとする各種台帳データを空間情報と結びつけることとした。

さらに日常の作業記録等と各種台帳データとを結びつけてデータベース化することで、「誰が、いつ、どこで、どの施設について、どのような管理作業をおこなった」かを簡単に記録できる「使える公園台帳」の実現を目指した。

(2) ASPによるサービスとセキュリティ

公園管理に携わる組織や人が分散する傾向にあることから、単体のパソコンや社内サーバーだけで動くソフトウェアではなく、インターネットを介してシステムの使用権を提供するASP(Application Service Provider)とした。実際のシステム利用者は Web ブラウザを介して何人でも同時に、同一情報にアクセスできるため、業務の一元化や情報共有に役立つものとなる。

また、これに伴うデータの安全性・機密性を確保するため、日本国内に構築された web サーバーを使用することでデータの安全性を高めるとともに、ブラウザとサーバーとの間の通信は、クレジットカード情報などの送受信にも使われる SSL(Secure Socket Layer) 暗号化通信を採用することとした。

(3) クラウドによるSaaS型サービス提供

管理対象とする公園の規模や管理内容等によって公園管理者が必要とする情報の種類や内容は異なるため、システムに求める水準も異なる。このため、多機能なシステムの中からユーザーが必要な機能のみを提供する SaaS 型(Software as a Service)でのサービス提供とした。

(4) カスタマイズ性を備えたシステム

システムプログラムの変更なしに、ユーザー自身が入出力項目やアクセス権限をカスタマイズできるようにした。これにより、管理者がこれまで使ってきた書式や作業報告、決裁等のプロセスに合わせた入出力を可能とし、新しいシステムの導入がユーザーの負担となることが無いようにした。また、将来的な業務や組織の変化にも柔軟に対応できるものとなった。

(5) オープンソースソフトウェアによる開発

導入にかかるライセンス費用等のコストを削減するとともに、ソースコードを確認してプログラムのバグ修正をしやすいという開発上のメリットもあることから、POSA システムはすべてオープンソースソフトウェア(OSS：ソースコードが公開され、誰でも自由に改良や再配布が可能なソフトウェア)による構成とした。(表-1参照)

4. 特徴的な機能

上述した開発のねらい、システム構成を踏まえ、公園管理の現場で使いやすいシステムに必要な機能を具体的に整理し、各機能を関連づけながらシステムの機能を構成した。

(1) 主要機能

POSAシステムの主要な機能について表-2に示す。

表-1 POSAシステムで使用したOSS

OS	CentOS5.6 x86 64bit
Webサーバー	Apache2.2
Java	JDK6 update 24
Webコンテナ	Tomcat 6.0
データベース	PostgreSQL 9.0
データベース地図拡張	PostGIS 1.5
Web地図エンジン	MapServer 5.2
Javaフレームワーク	SAStruts 1.0

表-2 POSAシステムの主要機能

区分	機能
共通機能	・ログイン
情報入力	・公園一覧(公園台帳)登録 ・施設一覧(施設、植栽、占用などの台帳)登録 ・日報等の記録入力
閲覧	・公園平面図表示 ・施設別、施設種別表示(図上表示、詳細データ表示) ・日報等の記録表示(公園ごとに全ての記録を表示)
分析・出力	・情報の検索 ・クイック分析(検索・作図機能) ・CSV出力、Shape出力
メンテナンス	・ユーザー管理 ・入力項目の設定



図-1 POSAシステムの主要機能の関係

(2) 主要機能の関係

POSAシステムでは、情報一覧の基本を個別の「公園」に置き、公園一覧や位置図から公園を絞り込み、公園平面図から施設の情報、写真、管理履歴などを参照できるようにした。また大規模公園では、公園を複数の管理ブロックに分けて登録することも可能である。(図-1参照)

5. 特徴的な機能の紹介

(1) レポート入力・出力機能

これまでは書類として記録されていた作業記録、点検記録、修繕記録、市民要望、事故記録などを、従来の様式を活かしながら、システムに入出力することができる。様式自体は自由にカスタマイズでき、複合遊具や電気設備など点検項目が多いものでも対応可能なことから、公園施設長寿命化計画の策定などでの活用が進められている。(図-2, 図-3参照)

施設位置や作業範囲については、マウスを使った簡単な作業で、公園平面図上に位置情報を持ったレイヤーとして作画でき、描いた内容をGISで標準的に使われるshapeファイルとしてエクスポートすることもできる。

(2) 台帳管理機能

都市公園法に定められる都市公園台帳の必要事項を管理することができる。また公園ごとにサーバー



図-2 レポート入力例



図-3 レポート出力例

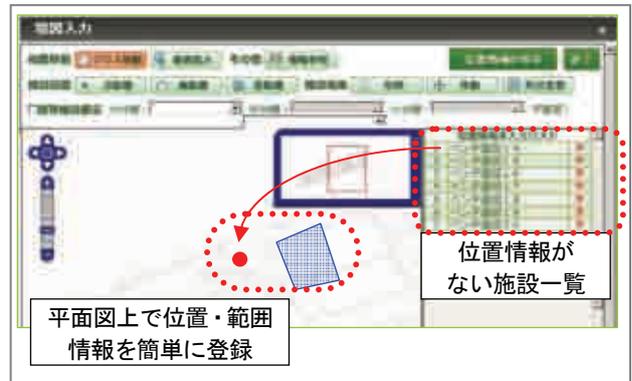


図-4 施設台帳からの位置登録例

上のファイル保管スペースであるオンラインストレージを割り振っており、任意形式のファイルを保存して公園に関連する資料(文書、計算表、設計資料など)を一括管理できるようにした。

施設等台帳については、管理者が自由に定められる書式で整理した内容に位置情報を持たせて管理することができる形式とした。加えて、登録した施設データを現地で参照しながら簡単に位置情報を付与できる仕様とした。これにより、古い公園施設にありがちな「台帳にはあるが場所がわからない、現地にモノはあるが台帳に記載されていない」といった事態に対応して、巡視などのついでに徐々に施設台帳等を充実させることを可能とした。(図-4参照)

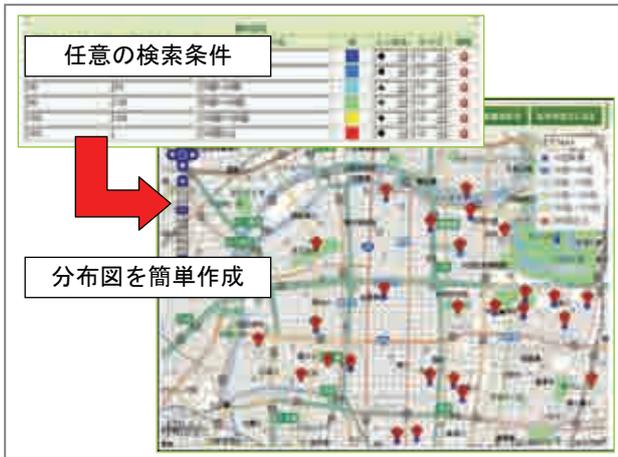


図-5 クイック分析例

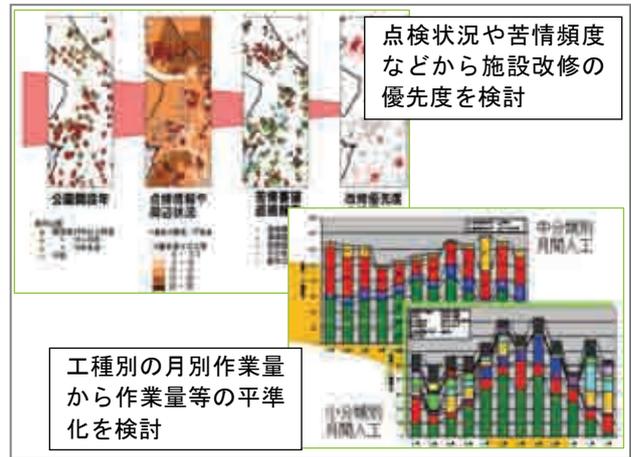


図-6 POSAシステムの活用例

(3) 情報活用（分析・出力）機能

データベースとしての特性を活かし、任意の条件から情報を検索し、一覧表示する機能を設けた。

また任意に定めた検索条件に基づいて入力したレポートや施設の情報をワンクリックで検索して分布図を作成する「クイック分析」機能を設けた。これにより問題が多発している地区の抽出などが容易になり、対外的な報告書などでの情報活用も進めやすくなった。（図-5参照）

また CSV 形式、shape ファイル形式でのエクスポート機能を備えており、POSA システムで収集整理したデータを他のソフトでも使用できる。これを Excel マクロ、汎用 GIS ソフトなどと組み合わせることで、POSA システムだけではできない高度な分析も可能となる。

なお公園管理においては、公園愛護会代表者や施設利用申込者、苦情申立者などの個人情報を取り扱う場面も多いため、データエクスポートをおこなうには高いレベルのユーザー権限を必要とするようにし、さらにエクスポート履歴が必ず残るようにして、不正なデータ流出を防ぐようにした。

6. POSAシステムの応用例

POSA システムでは、コストを抑えるため本格的な GIS 分析機能は持たせていないが、蓄積したデータをフリーGIS ソフト（Quantum GIS 等）で活用し、様々な分析をおこなうことができる。

例えば、施設の設置年度と点検状況、苦情要望の頻度などから施設改修の優先度を分析することや、日報情報を集約して工種別の月別作業量を求め、これをもとに作業量や人員配置の平準化を図る方策を検討することなどは、公園マネジメントを進める上で有効な手段となる。（図-6参照）

こうした活用手法については、ユーザーごとに分析のニーズ等が異なり、そもそも「どんな公園マネジメントをおこないたいのか」という方向性に依りて、「どんな情報を収集整理すべきか」という根本から変わってくるため、POSA システムの提供にあ

たっては、事前・事後のコンサルテーションにも力を入れている。

7. おわりに

POSA システムは、都市公園の管理運営のために開発したものであるが、行政、指定管理者、NPO、市民団体など様々な広がった公園管理に関わる組織のいずれにも使いやすいように研究開発した結果、公園以外の多くの公物管理にも適用できるものとなり、また管理対象や業務分掌の変化にも対応する自由度の高いシステムを廉価で提供することが可能となった。このため、「公物管理情報マネジメントシステム」として新技術情報提供システム（NETIS）登録をおこなったところである（登録 NO. KK-110022-A）。

今後も、ユーザーが必要とする機能拡充には対応しつつ、この簡便さと柔軟さを失わないような方向での開発に取り組んでいきたい。

また、はじめに述べたように、POSA システムの開発目的は、単に使いやすい台帳データベースを作成することではなく、そこに日々蓄積される情報を分析・評価し、より良い公園マネジメントに役立てるための道具として使っていただくことであった。

したがって、すでにシステムを導入していただいた公物管理者、他の方法で情報管理をしている公物管理者らと幅広く意見交換をしながら、様々な条件に応じた POSA システムの使い方、公物管理や公園マネジメントの手法についての検討をさらに深め、当協会の機関誌『公園緑地』や各種セミナーなどを通じて普及に努めていくことが当面の課題である。

謝辞： POSA システムの開発にあたっては、公園管理にあたる自治体や指定管理者の職員の方々、それらの組織運営にあたる方から、現場で日々の管理作業にあたる方まで、様々な立場の皆さまから貴重なご意見を多数頂戴しました。この場を借りてお礼を申し上げますとともに、さらなる改良に向けてご協力をお願いする所存です。