

トンネル工事岩判定について

矢羽田 寛治

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

近畿地方整備局では、平成18年9月に整備されたトンネル地山等級判定マニュアル（試行案）により、トンネル工事の岩判定を行っている。管内トンネル工事の施工実態としては、マニュアルに則りトンネル切羽評価（岩判定）を実施し、現場において適正な支保パターンを確認しているところであるが、当初設計と実施工との間に乖離があり、結果、重い支保パターンとなり、工事費が増加する傾向にある。このため、近畿技術事務所は、画一的なトンネル岩判定の実施により切羽評価のバラつきを無くすこと、支保パターン判定基準の明確化、「現行マニュアル」の改訂にむけ、管内施工中のトンネルを対象に調査・検討を実施しており、現在途中段階ではあるがこれを報告する。

キーワード トンネル、切羽評価、岩判定、地山等級判定マニュアル

1. はじめに

山岳トンネルの設計は、地山の工学的諸性質を類型化して地山分類（＝地山等級区分）を行い、地山分類に応じて標準的な支保構造（＝支保パターン）を設定する。トンネル工事の施工にあたっては、切羽の観察・計測により地山等級を判定し、「安全性」及び「経済性」を確保した合理的な施工ができるよう、必要に応じて支保パターンの変更を実施し、標準支保パターンによる支保工のみで対処できない場合は、適切な補助工法を選定しなければならない。

トンネル地山等級の判定は、切羽における岩の硬さや亀裂等を観察し、その結果を点数化して地山を評価するものであるが、その評価基準・様式等については統一されたものがなく、各現場において担当者がそれぞれ工夫してきたところである。このことから、近畿地方整備局ではトンネル地山等級の判定を客観的かつ統一的に運用するため、平成18年にトンネル地山等級判定マニュアル（試行案）をとりまとめ、現在これを運用している。

近畿技術事務所は、画一的なトンネル岩判定の実施、支保パターン判定基準の明確化等、試行後9年が経過する「現行マニュアル」の改訂にむけ、近畿地方整備局管内で施工中のトンネル工事を対象に、次のとりくみを実施した。本稿では、これらについて報告する。

- ① トンネル岩判定（施工中のトンネルを対象として岩判定の助言・指導を実施）
- ② 切羽観察データの分析（マニュアル改訂にむけた岩判定時の切羽観察データ分析）
- ③ 岩判定マニュアルアンケート調査（マニュアル改訂にむけた課題抽出を目的としたアンケート）

2. 切羽観察データの分析

(1) 分析対象トンネル

分析は、2012年度～2015年2月までの期間に近畿地方整備局管内で施工が行われた49トンネルとし、対象断面は、岩判定を実施した計724断面のうち、トンネル坑口部や土被りが薄い支保パターンDⅢaを除く612断面とした。対象トンネル断面からは以下の傾向が確認された。

●岩石グループは中硬質岩・軟質岩（塊状）、中硬質岩（層状）で79%を占め、硬質岩が少ない。（図-1）

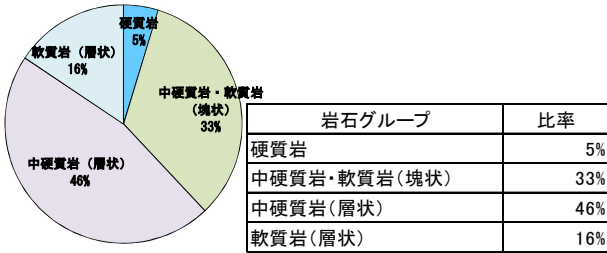


図-1 岩石グループの比率

●施工支保パターンはCⅡ、DⅠで88%を占め、B、CⅠ、DⅡの割合が非常に少ない。（図-2）

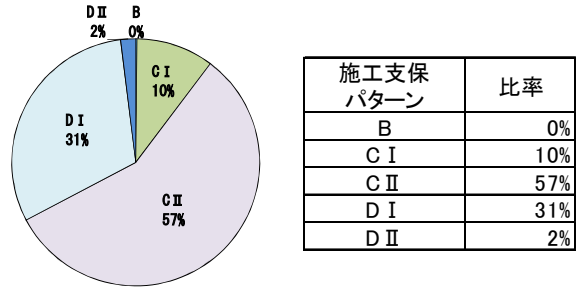
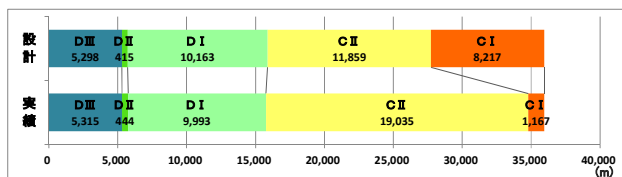


図-2 施工支保パターンの比率

- 全体的な傾向として、当初設計で支保パターンC I，C IIと判断された区間について、実施工との間に大きな乖離がみられた。（表-1）

表-1 設計と実績の支保パターンの比較



(2)分析結果

①支保低減の可能性

当初設計と実施工との間に乖離があった断面を対象として、岩判定評価・計測データより支保パターン低減の可能性がなかったか考察を行った。（図-3～6）

※ 図-3の「箱髭グラフ」とは、各岩質における重み付き評価点の分布グラフのことであり、図-4の「分布表」とは、各岩質における重み付き評価点毎の割合を示す表のことであり、ともに既往の直轄道路トンネルの施工時に得られたデータを基にまとめられ、現行マニュアルに掲載される切羽評価点による支保パターンの判定表である。

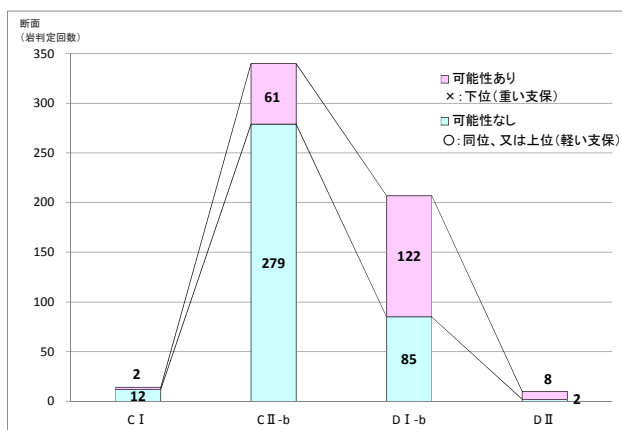


図-3 「箱髭グラフ」から見た支保低減の可能性

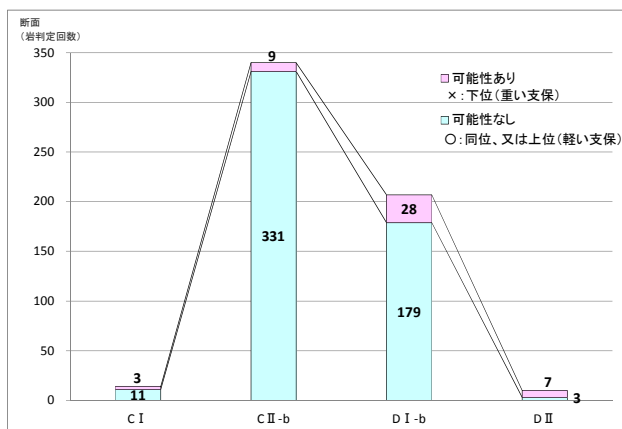


図-4 「分布表」から見た支保低減の可能性

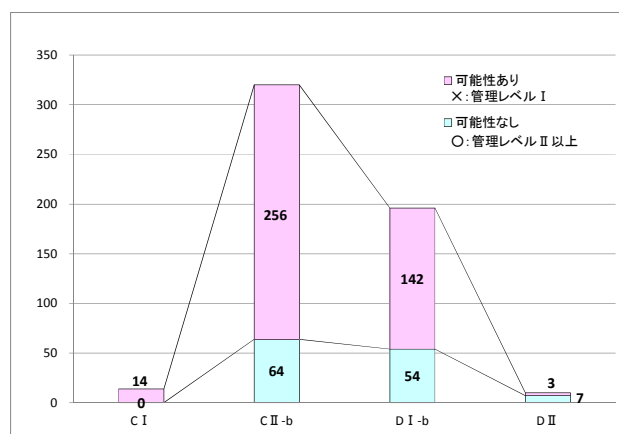


図-5 「計測管理レベル」から見た支保低減の可能性

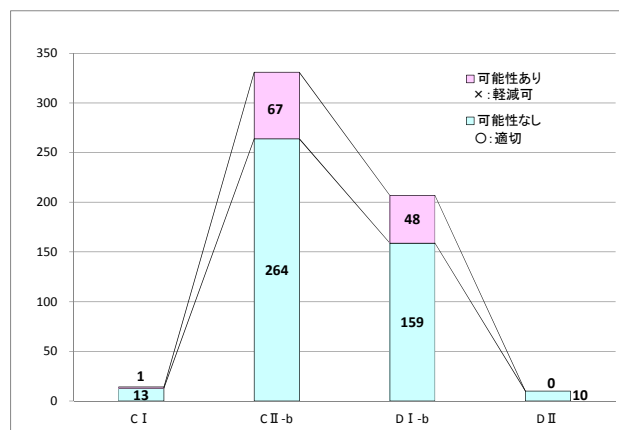


図-6 支保低減の可能性（総合評価）

分析の結果は、以下のとおりである。

- ・図-5にあるように、計測管理レベルはI以下であることが多く、計測管理からは支保低減の余地がうかがえる。（計測管理レベルからはC II-b で約80%，D I-b で約72%の支保低減の可能性がある。）
- ※ 計測管理レベル：限界ひずみを管理基準値とし、管理レベルを3段階に分け、管理基準値の50%をレベルI，75%をレベルII，100%をレベルIIIとして設定。レベルI以下は十分弾性変形以内であり、安全は確保されるものと思われることから、マニュアルでは支保低減を検討することとされている。
- ・C II-b，D I-bにおいては、計測レベルに加えて、図-3にある箱髭グラフからも支保低減の可能性があるが、切羽評価では重い支保を選定する傾向にある。
- ・図-6にあるように、これら全てを踏まえた総合評価からは、C II-b で約20%，D I-b で約23%の支保低減の可能性がうかがえる。

②施工時判定資料に対する評価と考察

現行マニュアルと分析対象の施工実績（支保低減の可能性あるもの含む）について、箱髭グラフと分布表をもとにそれぞれ比較・検討を行い、岩判定評価点と実際に施工した支保パターンの関係について考察した。（図-7）

■中硬質岩・軟質岩(塊状)

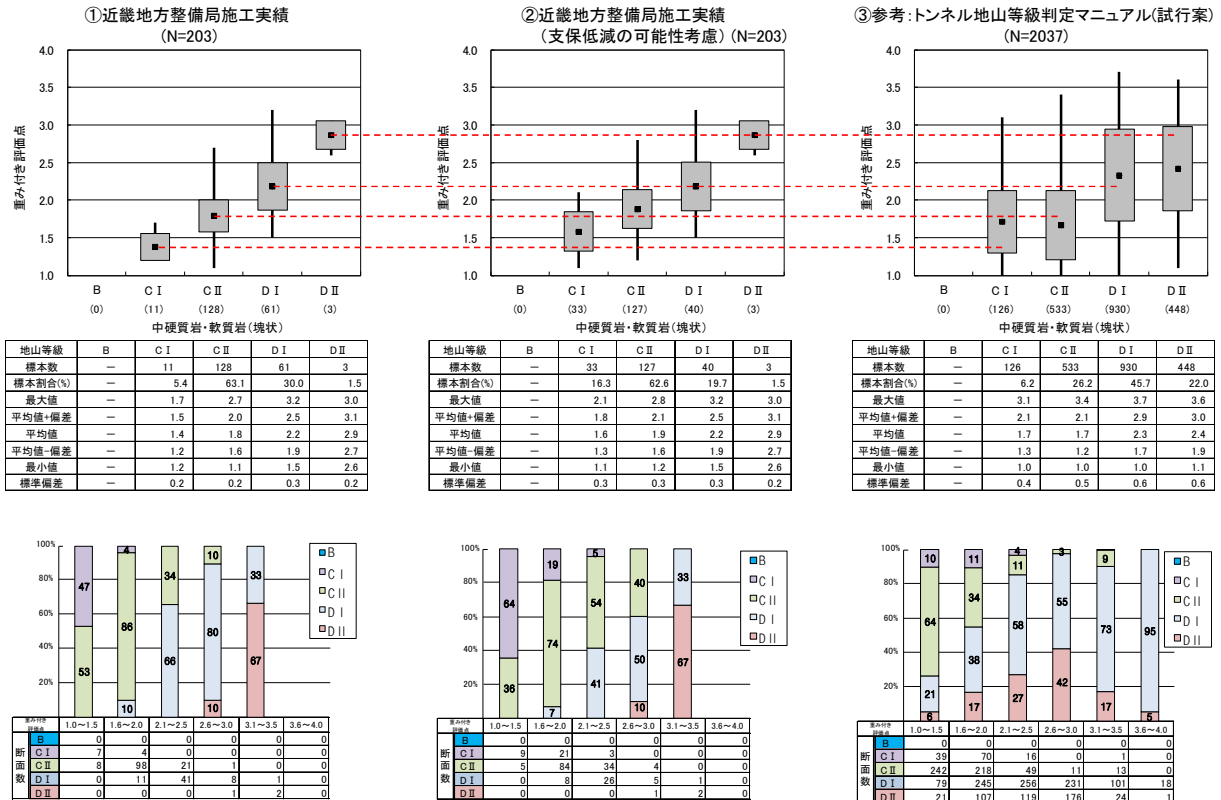


図-7 岩判定評価点と施工した支保パターンとの関係

(中硬質岩, 軟質岩 (塊状) の検討資料を代表として示す)

- ・支保パターンC I～D Iは、総じて現行マニュアルにおける箱髭グラフの各支保パターンの分布域よりも低評価点域に実績が分布する傾向にある（重い支保の採用割合が高い）。
- ・D IIについては、総じてマニュアルにおける箱髭グラフの各支保パターンの分布域よりも高評価点域に実績が分布する傾向にある（軽い支保の採用割合が高い）。
- ・これらの傾向については、近畿管内の地域（地山）特性、評価手法、いずれに起因するものなのか検証する必要がある。

③弾性波速度(設計時判定資料)に対する評価と考察

近畿管内での施工実績を対象として、地山分類表(設計時判定資料)に基づいた各支保パターンでの弾性波速度の分布と、実際に施工した支保パターンおよびその区間の弾性波速度値(最大値・最小値)との関係について、箱髭グラフと分布表をもとに比較・検討を行い、その関係性について考察した。(図-8)

その結果、以下のとおりである。

- ・実際に施工した支保パターンは、弾性波速度の最大値、最小値で傾向が異なる岩石グループも見られるが、総じて地山分類表(設計時)の弾性波速度の分布に近い傾向を示す。
- ・分布表に基づくと、弾性波速度が高い区間ほど、軽

い支保を選択している割合が高く、箱髭グラフと合わせて確認することで有効な判定指標となる可能性がある。

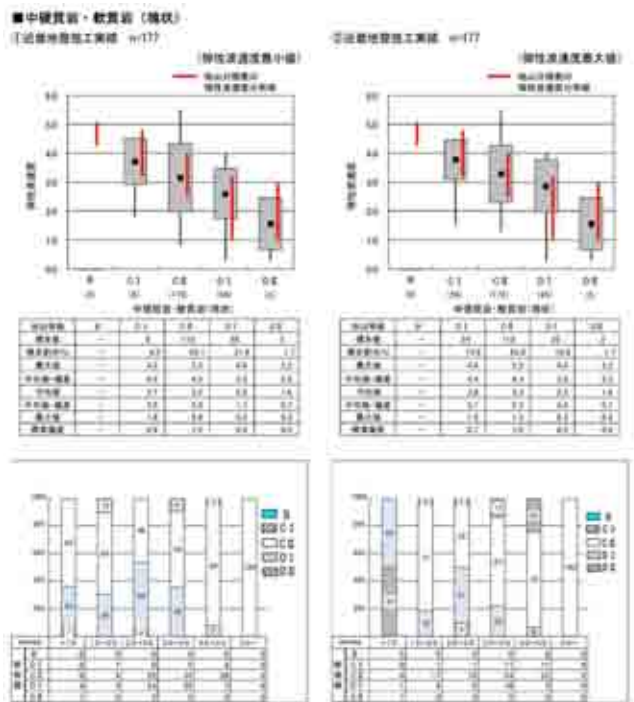


図-8 弾性波速度分布と支保パターンとの関係

(中硬質岩, 軟質岩 (塊状) の検討資料を代表として示す)

3. 岩判定マニュアルアンケート調査

(1) アンケート対象

現行マニュアルの課題抽出を目的として行ったアンケート調査は、近畿地方整備局管内施工中のトンネル岩判定に関係する出張所長、建設監督官等を対象とし、計 36 名から回答を得た。

(2) アンケート結果

アンケート回答結果は、以下のとおりである。

経験不足を補えるマニュアル改訂の必要性

- ・トンネル岩判定経験数は、10 回以内が 56%となっている。
- ・岩判定に先立ち、事前に施工業者の判定結果の説明を受けて岩判定を実施している人が、全体の 83%となっている。
- ・切羽判定表（岩判定シート）の評価項目で、いずれかの項目で点数付けが難しいと思われる人が、全体の 97%となっている。
- ・水による岩石の劣化については、経験豊かな施工業者の技術者判断を参考にしている人が 63%となっている。

分かりやすい表現に改訂する必要性

- ・切羽の状態で、理解に悩む人が 33%。
- ・素堀面の状態で、理解に悩む人が 22%。
- ・風化変質で、理解に悩む人が 25%。
- ・割れ目の状態で、理解に悩む人が 31%。
- ・切羽の状態では、「鏡面から岩塊が抜け落ちる」と「鏡面の押し出しを生じる」の判断を迷う場合が 67%となっている。

- ・素堀面の状態では、「時間が経つと緩み肌落ちする（後普請）」と「自立困難掘削後早期に支保する（先普請）」の判断を迷う場合が 72%となっている。
- ・風化変質では、「岩目に沿って変色、強度やや低下」と「全体的に変色、強度相当に低下」の判断に迷う場合が 78%となっている。
- ・割れ目の状態では「部分的に開口」と「開口」の判断に迷う場合が 91%となっている。
- ・割れ目の形態では「柱状」と「層状、片状、板状」の判断に迷う場合が 56%となっている。

今後検討が必要な意見

- ・定性的な表現でなく、出来れば定量的な判断基準が望ましい。
- ・圧縮強度測定は岩検ハンマーで確認するが、切羽面に近づけない。掘削ズリで判断するが何処の部位のものかよく分からない。
- ・補助工法の必要性判断は、施工業者と意見が合わない場合がある。
- ・補助工法の必要性和選定については、構造の成立性と作業時の安全性の両立を勘案することになるが、両者を混同して議論されることが多く、適用の選別に苦慮している。

4. マニュアル改訂に向けての課題・検討方針

近畿技術事務所が実施したトンネル岩判定、切羽観察データの分析結果、および岩判定マニュアルアンケート調査から得られた、今後のマニュアル改訂に向けた課題・検討方針を整理した。（表-2）

表-2 マニュアル改訂に向けての課題、検討方針

課題項目	現状	課題	検討方針
岩判定の開催時期・頻度について	●当初設計における支保パターンの変化点で実施	●当初設計では支保パターンの変化点を弾性波探査により設定しているが、施工時の支保パターンの変化点は異なることが多い。 ●当初設計時の支保パターン変化点を岩判定実施の目安とすることは適切と言いきれない傾向にある。	●下記に示すような改善策を軸に、適正な運用を検討する。 案①：切羽評価を毎日実施し、箱髭グラフ[判定Ⅰ]において切羽評価点が重い支保パターンの領域に入り、分布表[判定Ⅱ]から重い支保パターンの採用割合が高くなった時点で実施する。 案②：計測レベルⅠが40m以上続く場合に実施する。 案③：50mに1箇所等の一定距離を定めて実施する。
切羽判定表（岩判定シート）の選択について	●当初設計時に想定された岩石グループに対応した切羽判定表を選択	●施工時に出現する岩石グループと異なる切羽観察表を用いた場合、誤った判定につながる。	●マニュアルに「切羽判定にあたっては、切羽に出現する岩石を判定のうえ、同岩石が属する岩石グループの切羽観察表を選択する」旨を明記。 ●代表的な岩石グループの切羽写真と岩石判定上の指標を付与。
切羽評価時における切羽状態に応じた支保パターン選定と記録	●現行マニュアルに「切羽状況に支保パターン選定の目安」が示されているが、岩判定における総合評価コメントの記述には目安の観点からの記述が無いものが多い。	●支保パターン選定の目安に基づく判定がおこなわれていないか、表記が不十分な状況にある。	●支保パターン選定の目安が現在のトンネル技術に即したものが検証、近畿の地山に即したものかを検証し、必要に応じて改定を行う。 ●同目安をチェックポイントに現場における支保パターン選定を実施するよう周知。 ●同目安をチェックポイントに切羽評価表の記述がなされるよう周知。
岩判定時における設計情報の活用	●施工時の岩判定においては、判定断面前後の切羽情報、前方探査により今後施工を行う前方地山状況を評価している。	●判定断面前後の切羽情報、前方探査による前方予測については把握できる範囲（前方距離）に限界がある。	●既施工部の切羽状況と事前調査の弾性波探査を対比することで、前方の弾性探査値あるいは分布より前方地山の状況を把握できる可能性があるため、弾性波探査の岩判定時における活用を検討する。

課題項目	現状	課題	検討方針
計測管理に基づく支保パターンの軽減検証	●現行マニュアルでは、計測管理レベルがⅠ以下の場合、支保軽減を検討することとしているが、レベルⅠ以下が続く場合でも軽い支保の採用を検討するケースは少ない。	●支保の軽減が可能なケースが潜在していた可能性がある。 ●計測管理レベルからはＣⅡ-ｂの80%、ＤⅠ-ｂの72%で支保軽減の可能性。	●計測管理レベルⅠ（：支保の軽減を検討）以下の計測値が続く場合で、安全性を損なわないと判断される場合には、上位（軽い）支保を試験採用し妥当性を検証する旨を明記する。
近畿地方整備局の施工記録を基にした岩判定参考指標の精度向上について	●近畿地方整備局管内における「切羽評価点」と「支保パターン毎の採用断面数」を基に箱髭グラフ、分布表を作成。箱髭グラフは、支保パターンの重複が比較的小さく採用支保パターンを判定しやすいものとなったが、一方で、一部に重い支保パターンが採用される傾向となった。	●切羽評価・計測管理結果の総合評価からは、ＣⅡ-ｂの20%、ＤⅠ-ｂの23%で支保軽減の可能性がうかがえた。 ●採用された支保パターンが妥当性に欠ける場合、作成した箱髭グラフ、分布表の判定資料としての信頼性にかける。	●切羽評価・計測から総合的に評価した結果、支保軽減が適切と評価したデータについてワンランク上位（軽い）支保パターンに繰り上げし、試行分析を実施。 ●下記に示すような改善策を軸に、判定指標としての信頼性向上を検討する。 案①：計測レベルⅠ以下（計測値単独で見た場合、過支保と判断される断面）を削除した集計 案②：支保軽減が可能と判断される断面の選定精度向上と同断面を削除した集計
岩判定マニュアルアンケート結果①	●トンネル岩判定職員の経験が不足している。		●経験不足を補えるマニュアル改訂が必要。
岩判定マニュアルアンケート結果②	●マニュアル内の内容・用語が理解しづらい。		●わかりやすい表現に改訂が必要。
岩判定マニュアルアンケート結果③	●その他意見 ・定性的な表現でなく、出来れば定量的な判断基準が望ましい。 ・圧縮強度測定は岩検ハンマーで確認するが切羽面に近づけない。掘削ズリで判断するが何処の部位がよく分からない。 ・補助工法の必要性判断は、施工業者と意見が合わない場合がある。 ・補助工法の必要性と選定については、構造の成立性と作業時の安全性の両立を勘案することになるが、両者を混同して議論されることが多く適用の選別に苦慮している。		●今後検討が必要。

5. まとめ

トンネル工事において「安全性」及び「経済性」を確保した合理的な施工をするためには、地山状態に応じた適切な支保構造の選定が重要であり、それを実現するための地山等級判定の目安は重要である。

近畿技術事務所が実施したトンネル岩判定、切羽観察データの分析結果、および岩判定マニュアルアンケート調査から、今後のマニュアル改訂に向けた概ねの課題等は見えてきたところではあるが、経験の不足を補い、分かりやすく使いやすい、安全性と経済性との整合のとれたマニュアルとするためには、検討を深める必要がある。

また、今回、近畿地方整備局管内で施工されたトンネル工事を対象として収集した岩種別評価点デー

タをもとに近畿独自の重み付き評価点の目安の検討を行ったが、今回の対象において硬質岩のデータは28件と少ない状況であり、また支保パターンではBが無く、CⅠ、DⅡが非常に少ない状況であり、近畿のデータとしては偏ったものとなっていることも事実である。データ数の少ない岩種や、支保パターンについては、今後どのように扱っていくのかも含めて、さらに検討を重ね、とりまとめしていく考えである。

参考文献

- 1) 近畿地方整備局道路部道路工事課：
トンネル地山等級判定マニュアル（試行案）平成18年9月

兵庫県南部地震で被災した杭を有する建築物の 免震改修工事における施工対策について

吉村 務¹・岩村 正一²

¹近畿地方整備局 営繕部 整備課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

²近畿地方整備局 営繕部 整備課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44) .

一般的な免震改修では、施工時に既存杭に建物荷重を負担させることにより、建物のバランスを保ちながら免震工事を行う場合が多い。神戸地方合同庁舎の免震改修工事では、1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震の影響による既存杭の破損が掘削後に発見され、従来の工法を行う事が難しい状況にあった。そのため、施工時に対策を検討する必要性が生じたが、掘削後に現場対応でパターン毎の破壊モードの分析を行い補強方法の検討及び仮設材の設置の再考を行った。事前にパターン化を行うことにより、最終的に安全性の確保、工期の短縮、長寿命化という目的を達成することができた。

キーワード 免震改修，兵庫県南部地震，杭補修

1. はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は我が国初の大都市直下型の大地震であり、その後、震災に対する対策として、全国の公共建築物を中心に既存建物の耐震補強が進められてきた。地震力を抑制することによって構造物の破壊を防止する免震構造への改修工事についても、国立西洋美術館のレトロフィット工法をはじめとして、複数の施工例がある。

今回対象施設である神戸地方合同庁舎についても2012年に免震改修工事を着工、2015年2月に竣工した。兵庫県南部地震の被災庁舎であり、建物を支える杭への被災による破損状況を考慮しながらの施工であった。

本論では、神戸地方合同庁舎の被災状況を分析することによって、被災した杭を有する庁舎の免震改修工事における施工対策について考察する。



写真1：神戸地方合同庁舎 南側外観

神戸地方合同庁舎については、建物周辺の液状化現象や上部躯体のひび割れが多数確認された。震災後、全国規模で地震の影響が懸念される建物から優先的に耐震改修工事を行ったため、当該施設は応急的に地盤補強やひび割れ補修を行うことで、引き続き庁舎を使用していた。

2. 改修工事の概要

2-1. 兵庫県南部地震の被害状況

兵庫県南部地震は直下型地震であり、震源からの距離が近いために大阪・神戸間の平野部に地震動が大きく作用した。基礎構造への被害に関しては、旧耐震基準で設計された建築物の既製コンクリート杭（RC杭・PC杭）に、また短辺方向のスパン数が少ない杭に被害が集中している。上部構造と基礎構造の一方のみに被害が大きくなるという特徴も調査により判明している。

2-2. 建物概要

既存建物の建築年は1968年で、工事発注段階で建設から40年以上経過していた。地上9階、地下1階建て、平面形状は整形な長方形になっており、中央に階段室、便所、エレベーターなどが配置されたセンターコア型の庁舎である（写真1）。また、耐震壁付ラーメン構造で、他の庁舎に比べ壁量が多く、平面的及び断面的にもバランスのとれた建物となっている。構造については、柱、梁を鉄骨鉄筋コンクリート造、床スラブ、耐震壁および雑壁を鉄筋コンクリート造としている。

2-3. 設計段階の検討事項

設計では本建物の条件として、特に以下に着目した。

- ① 兵庫県南部地震により杭への被災が想定される。
- ② 建物外周地下に液状化対策として地盤改良が行われている。

以上の条件で、免震改修工法の検討を行うにあたり、比較検証を基本設計で行った。比較案は、基礎下免震型2案、中間階免震型2案、強度型2案で検討を行った。強度型については、本工事は建物を使用しながら施工する「居ながら改修」を前提としていたため、各居室に騒音、振動など大きな影響を与える外付けフレーム等による補強の採用は難しかった。また、中間階免震型は、設備機器の盛り換えに伴う工事中の機器の運転停止が多数必要なことや地下1階の屋根スラブの切断が必要なため工事中に漏水の危険性があること、基礎下の既存杭の相当数に補強工事が必要なこと、工事費が高くなることといったデメリットが挙げられた。改修後の環境、工事中の影響、既存杭の被災対策、コストについて比較検討を行い、基礎下免震型が適していると判断した(図 2-3)。万が一、杭が建物の荷重を負担できない場合も想定し、地盤改良を行うことで、最終的に耐圧盤によって建物を支持する直接基礎工法を採用している。また、施工時に検討する事項として、震災による杭の破壊状況が事前に確認できないことから、設計段階では杭の損傷を想定していたが既存躯体下部の掘削時に杭の被災状況を目視確認をした後、必要な対応を検討することとした。



図 2-3：免震装置の設置範囲



写真 2-4-1：竣工後の免震装置

2-4. 施工段階の検討事項

本工事は、積層ゴム支承 33 台、転がり支承 12 台、オイルダンパー 8 台を含め計 53 台の装置を基礎下に設置する工事であり、東工区と西工区に分割して行うこととした(写真 2-4-1)。設計段階では工事中に杭の仮設としての使用を検討していたが、掘削後の杭の目視確認で、被災により杭が想定以上に破損していたことが発覚した(写真 2-4-2)。そのため、施工段階で、受注者・国土交通省・設計者で協議を行い、杭の破断状況を分析し、安全性及び迅速性を考慮して施工方法を検討した。仮設ブレースや仮設スラブ等の仮設材だけで建物荷重を支えることも検討されたが、コスト面と工期の面で杭を全数補修して、一部仮設材を使用する方が有利であると判断できたため、今回は全数の杭の補修を行うこととした。このように基礎下免震工法の工事で被災した既存杭を全数補強して行う例は全国でも初めての取組である。



写真 2-4-2：掘削工事後の目視確認

3. 施工の問題点と対策 -杭の補修検討に関して-

杭の破壊状況について、掘削直後に観察された杭の破壊モードを分析したところ、

- (A) 杭頭接合部のずれせん断破壊
- (B) 杭頭部の曲げ破壊
- (C) 杭頭部及び杭のせん断破壊
- (D) 縦方向のひび割れ

以上、被災した既存杭について大きく 4 つの破壊モードに分類ができた。この分類に基づき、既存杭の補強方法の検討を行った。既存杭は 124 本全てが破損しており、全数に対して補強をする必要があったが、破壊モードの分類に基づいて補強を決定することで迅速化が図られた。また、工事中に地震が発生する可能性を考慮し、最低限の範疇で仮設ブレース及び仮設スラブの設置を再検討することで耐力を維持させることを重視した。

続いて、前述のような検討を経て分析した結果により決定した、各破壊モードに対する各補修工法について述べる。

(A) 杭頭接合部のずれせん断破壊

建物の外側に配置されていた杭に多く見られた破壊モードで、杭頭接合部の接合面に、水平ずれ変位が生じていた。柱主筋が水平変位に伴い、局部変形していた（写真3-1）。局部変形が大きい場合は、主筋の破断が生じている杭も確認された。このような杭頭接合部のずれせん断破壊は、一般に杭の圧縮軸力が比較的小さい場合に生じやすいと考えられる。神戸地方合同庁舎の場合は、杭頭接合部の既設コンクリートが地震に対して脆弱であったことから、このような破壊が発生したと判断されている。

こちらの破壊モードの杭の補修工法は、特に被災による損傷の著しい主筋の破断が確認された箇所については、免震改修中の鉛直力の負担について不安があり、施工中の安全性に問題があると判断した。そのような理由から、安全側の工法を選択し、鉛直力が負担できない箇所ではジャッキで借り受けを行って、ある程度の支持力を確保してから、破損部を撤去及び配筋を行い、周りから新たにコンクリートを打設する補修工法を採用した（図3-1）。



写真 3-1：杭頭接合部のずれせん断破壊

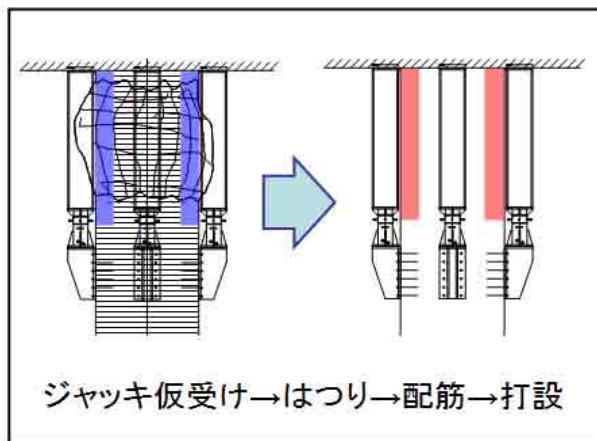


図 3-1：破壊モード(A)の補修工法

(B) 杭頭部の曲げ破壊

杭頭接合部から杭径の範囲のかぶりコンクリートが曲げ圧壊しており、それにより杭主筋が座屈あるいは伸びた破壊モードである。細かく分析を行うと、杭のフープ筋で囲まれたコアコンクリートが比較的健全なケースとコアコンクリートに斜めのひび割れが生じ、せん断破壊しているモード（写真3-2）が見られた。こちらの破壊モードは最も箇所数が多く、損傷度の差はあるが、全杭の内、7割以上が曲げ圧壊が確認された。

補強工法については、鉛直力のための対策として、既存の耐圧盤から既存杭に鉛直力を伝えている劣化部を無収縮モルタルに置換することで、必要な断面積を確保した。また、水平方向を拘束させるために、三角ブラケットを設置して、水平力を負担させた。（図3-2）。

(C) 杭頭部及び杭のせん断破壊

杭がせん断破壊した破壊モードで、全断面に渡って斜めひび割れが生じていた杭（次項写真3-3）と、杭頭部のある限られた範囲でせん断破壊した杭が確認された。なお、一部の杭においては白色状に固化している杭が確認され、兵庫県南部地震で損傷した後、ひび割れの内部が長時間経過していたことが原因であると想定される。

補修工法については、まず、施工中、地震によってせん断ひび割れ面がずれを起こさないように、フープ筋を



写真 3-2：杭頭部の曲げ破壊

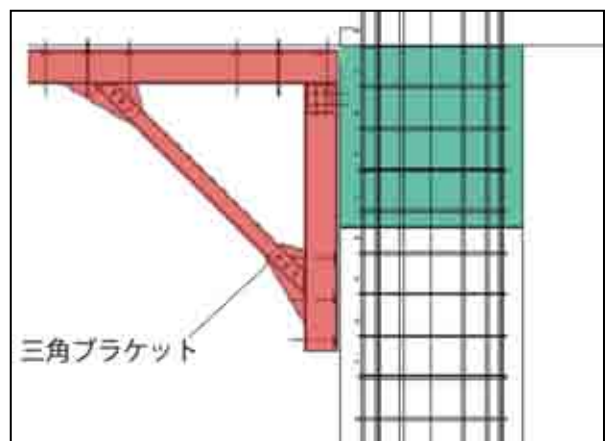


図 3-2：破壊モード(B)の補修工法



写真 3-3 : 杭頭部及び杭のせん断破壊

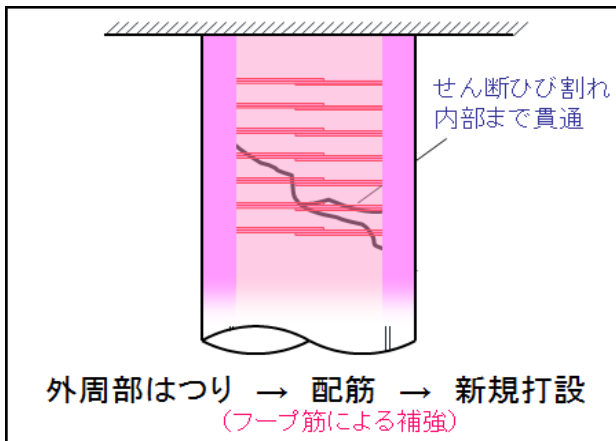


図 3-3 : 破壊モード(C)の補修工法

配筋し直すことによって補強した。(A)の破壊モードと異なり、比較的既存の主筋へのダメージが軽微であったことから、主筋の再配筋は行っていない。次に、ひび割れ部にモルタルを充填し、周囲にフラットバーを設置することによって補強を行った(図3-3)。

(D)縦方向のひび割れ

全杭の内、破壊モードの種類は前述の3つのケースが大半を占めていたが、一部の掘削した杭には縦方向のひび割れが生じたものが確認された(写真3-4)。

補修工法について、こちらの破壊モードの場合は杭内部への損傷は少なく、主筋へのダメージがほぼないため、ひび割れ部に無収縮モルタルを充填し、周囲をフラットバーで補強する工法とした(図3-4)。バーのピッチについては、ひび割れの状況によって、杭頭部・中間部・杭下部に応じて設定を行った。

以上のように、杭の破壊パターンを大きく4つに分類した結果、地上階を支持する杭の多くは杭頭接合部の曲げ破壊が多く、地下階のみを支持し軸力が小さい杭については杭頭接合部のずれせん断破壊が生じていることが分かった(次項図3-5)。その他少数の杭において、杭頭部のせん断破壊や杭の縦ひび割れが確認された。ほぼ全ての杭において4つの内のいずれかの破壊パターンが



写真 3-4 : 縦方向のひび割れ

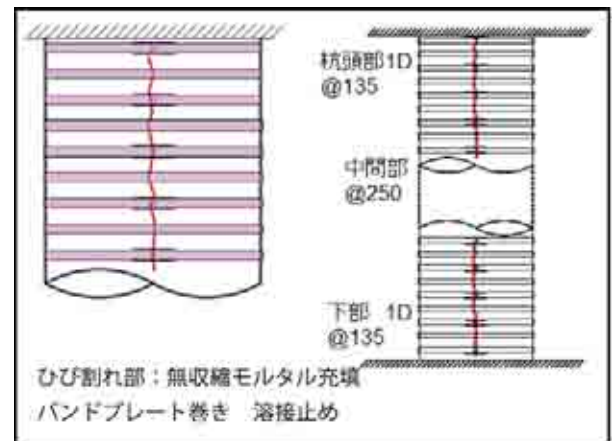


図 3-4 : 破壊モード(D)の補修工法

確認されたため、杭の補強工事は全数に対して行う必要があったが、中には曲げ圧壊とせん断破壊の破壊モードが同杭中に確認されるなど、破壊モードが複合的な杭も確認された。そのような杭の場合、主筋の損傷状況や鉛直支持力等を確認しながら、ブラケットと仮設ジャッキを併用するなど、前述の4つの補修パターンを主軸に検討を行い、補修工法を組み合わせながら改修を行った。

4. 対策による効果

前述の破壊パターンの分析、対策の検討により、破壊モードに応じた補修を行うことにより、次の3つの目的が達成できた。

- (1) 工事中の安全性の確保
- (2) 工期の短縮
- (3) 建物の長寿命化

(1) 工事中の安全性の確保

震災による杭への被害が想定されたことから、工事中に地震が起きた場合に備え、工事中の建物の耐力について注意する必要があった。設計段階では、杭の鉛直支持力及び地震時の水平耐力を期待していたが、破壊パター

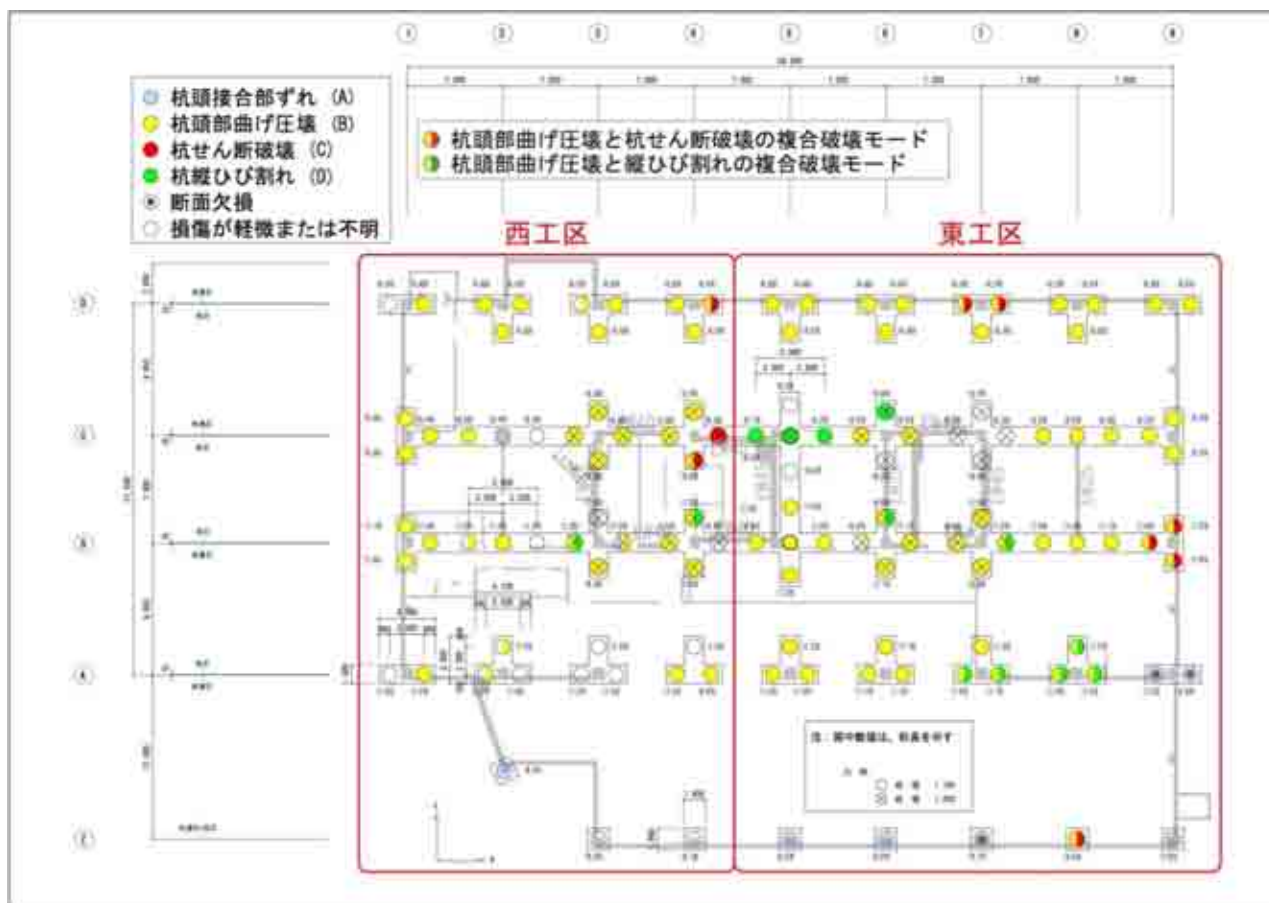


写真 3-5 : 既存杭の破壊モードの分布状況

ンを分析することによって、設計通りに杭の耐力を負担することができず、構造体の安全性を見直して仮設材の再検討を行うこととした。設計段階においては、仮設ブレース及び仮設スラブの設置を検討していたが、設計案のままだと、杭の補強を行っても、建物荷重を支えることは難しいと判断した。そのため、仮設ブレース(写真4-1-1)の設置箇所と仮設スラブ(写真4-1-2)の数量を増やし、設計時には計画していなかった鉄骨スラブの設置も行うこととした。また、また、仮設材の設置箇所は東工区のみとしており、大きな仮設材の搬入に手間がかかること、数量を増やしすぎると作業スペースが確保でき

ず、円滑に工事を進めることが難しいことが考えられたため最低限の設置とした。結果的に、補強後の既存杭と合わせ、免震改修中に地震が起きても安全に工事を行える安全を確保できた。

(2) 工期の短縮

本工事では、東工区の免震装置設置が完了した後に、西工区においても東工区と全く同じ工程の工事を計画し、掘削工事を始めていくという工程だった。しかし、杭の補強工法の再検討など設計段階では想定していない内容の時間が必要になったため、安全性の向上を目指し単純に東工区と西工区で補強を増強すると、その分の工期延



写真 4-1-1 : 仮設ブレース V3000(左)と V7000(右)

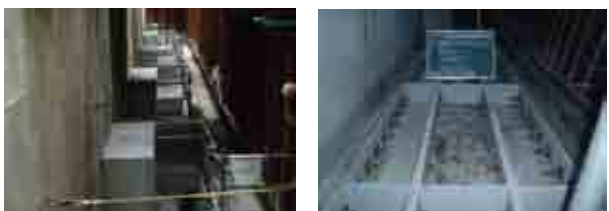


写真 4-1-2 : 仮設スラブ (左)と鉄骨スラブ(右)

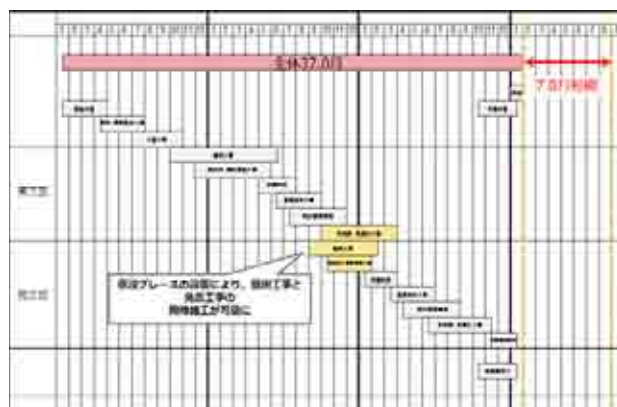


図 4-2 : 今回工事の最終工事工程

長が必要となる想定となった。そこで、東工区の補強を設計段階より増大させ、西工区の杭の補強は最小限とした。それにより、杭の補強と合わせ仮設材による建物荷重の支持力に対する安全性を確保しながらも、先の東工区の免震装置設置の段階で、西工区の掘削工事を同時に進めることが可能となった。既存杭の破壊モードを分析することによって、安全性の確保を図りながら、補強箇所及び数量のバランスを再検討を行うことが可能となり、結果的に工期を7ヶ月短縮することが達成できた(前項図4-2)。

(3) 建物の長寿命化

免震改修工事の際の既存杭の補強工法については、鋼管を増杭して補強する工法や、既存杭にRC巻きを行う工法などが挙げられ、圧縮耐力や水平耐力に対して補強した既存杭で負担する工法が主流となっている。さらに、補強した既存杭は、完成後の建物に対する耐力が期待されており、杭としての役割を引き続き担うことが通例である。ただし、今回は設計段階で被災によって杭の損傷が想定されていたため、既存杭に対して耐力を負担させることは難しく、長期的に軸力を負担させることは出来ないと判断した。そのため、設計案では基礎下部に噴射攪拌式の地盤改良を行い、厚さ1mの耐圧盤を施工することで、基礎下で建物荷重を受ける直接基礎工法とした(図4-3)。既存杭については、あくまで免震改修中の仮受けとして捉え、改修後の耐力を期待しないこととした。

施工段階では、杭の目視確認及び破壊モードの分析に伴い、地盤改良に使用する固化材を変更した。試験施工を行うことで、固化剤の分析の他、ディープウェルの箇所数の見直しも行っている。これにより、40年以上経過した既存杭を支持構造とせず、長期にわたる庁舎の使用に耐え得る基礎構造となり長寿命化が図られた。

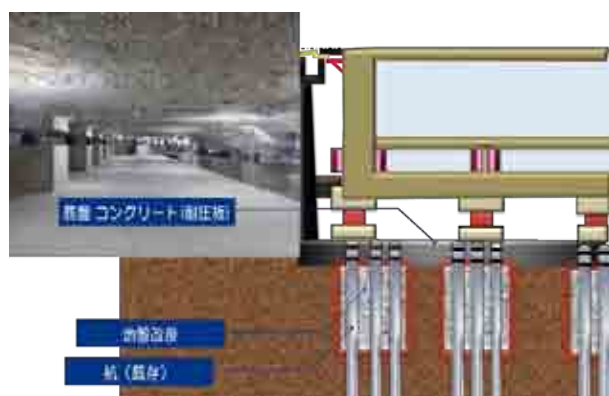


図4-3：直接基礎工法の考え方

5. おわりに

以上、被災した既存杭の破壊モードの分析による対策

とその効果を述べた。現在の技術では、被災による既存杭の詳細を設計段階で目視確認できず、どの程度破壊されているか正確な想定をすることが難しい。神戸地方合同庁舎の事例では、掘削工事段階で、施工者・国土交通省・設計者の3者間での横断的な協議を進めることで、既存杭の破壊モードの検討を行い、既存杭の補強工法、仮設材の箇所・数量の再検討を行った。今回のように、発注時に不確定要素を抱えての工事においては、再検討による工期面・コスト面の変動が想定され、協議における仲介役として、発注者の役割は大きいと考えられる。また、施工者の意見だけではなく、設計者を通して、設計段階で確認していた点について意見交換することも重要と考えられる。協議を踏まえ、破壊モードを分析し、パターン化することで適切な補強工法を選択することが可能となり、杭の状況に応じた仮設スラブや地盤改良を選択することによって、工事中的安全性の確保、工期の短縮、建物の長寿命化の目的が達成された(表5-1)。

以上を踏まえて、以下の3つの知見が得られた。

1点目は、杭の補修工法の分類によって、掘削後の杭補強の検討が容易になることである。本工事のように、杭の破壊モードをメニュー化することにより、基礎下免震改修の工事が円滑に行うことが期待できる。

2点目は、工事の安全性の確保により、工期の短縮も可能となる点である。本工事は、杭の破壊状況を分析した段階で設計で検討した仮設スラブや仮設ブレースについても再検討を行い、より確実な安全性を図った。過度に仮設材を補強することは、工期が伸びることも予想されるが、必要最低限の範囲で安全性を図ることで、結果的に全体工期の短縮を図ることが出来た。

3点目は、発注者・受注者・設計者の3者間での協議により施工方法を円滑に分析できた点である。設計段階で考慮した点、目視確認で判明した点を発注者を仲介して、意見を交わすことにより適切な工法を選択することが可能となった。今後の国土交通省における被災建物の基礎下免震改修の先進事例として、今回の免震改修を汎用することが可能であると考えられる。

表5-1：神戸地方合同庁舎の実施項目と効果

設計段階の検討項目	実施項目	効果
杭の補修	杭の破壊状況の分析	工期の短縮
-	補修方法のパターン化	工期の短縮
仮設ブレースの設置	仮設ブレースの増設	安全性の向上
仮設スラブの設置	仮設スラブの増設	安全性の向上
地盤改良(直接基礎)	固化剤、機材の見直し	長寿命化

当該建物の設計、施工（図版提供共）

設計：株式会社 松田平田設計

施工：株式会社フジタ

名塩道路八幡トンネル～都市部山岳トンネル 工事における安全の見える化技術について～

山田 浩幸¹・大槻 文彦²

¹株式会社 鴻池組 大阪本店 名塩道路八幡トンネル工事（〒669-1141 兵庫県西宮市塩瀬町名塩）

²株式会社 鴻池組 大阪本店 名塩道路八幡トンネル工事（〒669-1141 兵庫県西宮市塩瀬町名塩）

名塩道路八幡トンネルは、上下線の離隔が約1mで近接する超近接メガネトンネル構造であり、無導坑方式で掘削を行った。都市部で重要施設に近接するため、周辺環境の保全と安全管理を確実に実施する必要があった。

高速道路に近接した起点側坑口部の施工では「計測結果の見える化技術」を採用し、作業の安全性の向上を図った。また、トンネルの施工では、CIM（Construction Information Modeling）を導入し、前方切羽を精度良く予測しながら、適切な補助工法を採用することができた。

本論文では、現場における最新技術の適用の紹介とその効果について得られた知見を述べる。

キーワード 山岳トンネル、近接施工、安全管理、メガネトンネル、新技術

1. はじめに

西宮市から宝塚市へ至る国道 176 号の改良工事のうち、名塩道路八幡トンネル工事は、先行して整備を進める第一工区（L=1.4km）、西宮市名塩南之町～東之町に至る延長 L=242mの山岳トンネルであり、用地の制約条件から超近接無導坑メガネトンネルの構造で計画された。

施工では、都市部での施工ということもあり、周辺環境の保全と安全管理を確実に実施する目的から最新技術の導入を行った。

本論文では、八幡トンネル工事の現場で適用した新技術の紹介と効果の検証結果について述べる。

2. 工事の概要

当工事は、表-1 に示すとおり、名塩道路に計画された延長 L=242m の山岳トンネル工事である。八幡トンネルの構造は、上下線の最小離隔距離が約 1m（最小部分 82cm）で近接した、超近接無導坑メガネトンネル構造であった（図-1）。

周辺制約条件として、南側に中国自動車道、上部に神社、北側にマンションが近接した施工となり、最大土被りが 22mで、全線にわたり土被りが 2D 以下と小さい。

起点側坑口付けにあたっては、供用中の中国自動車道

の既設法面を一部掘削する必要があり、切土工事による本線への影響が懸念されたため、より慎重な計測管理が必要となった。また、事前の水平ボーリングの結果から起点側坑口より 32m 区間（沢部あり）は、未固結な状況であり、数値解析の結果により対策工が必要となった。

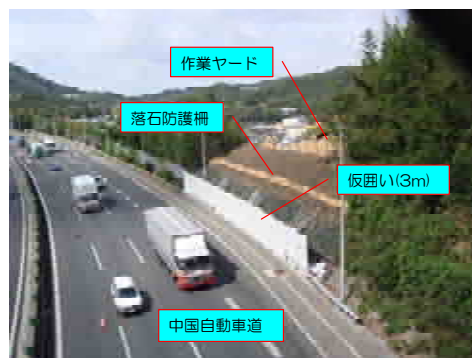


写真-1 起点側坑口近接部分落石対策



写真-2 トンネル施工状況

表-1 工事概要

工 事 名 称	名塩道路 八幡トンネル工事
工 事 場 所	兵庫県西宮市塩瀬町名塩南之町地区～東之町地区
工 期	平成25年2月～平成27年6月
発 注 者	国土交通省 近畿地方整備局
施 工 者	株式会社 鴻池組
工 事 内 容	延 長 L=288m (トンネル延長L=242m、上下線)
	断 面 掘削断面積A=87㎡ (上り線) ,117㎡ (下り線) 超近接無導坑メガネトンネル
	施 工 法 NATM
	掘削方式 機械掘削
	掘削工法 DⅢハターン (早期閉合) DⅠハターン (早期閉合)
	補助工法 天端安定対策:多段式長尺鋼管フォアバイリング 注入式フィアボリング 鏡面の安定対策:鏡吹付、鏡ボルト 脚部の安定対策:脚部補強工 (フットパイル)

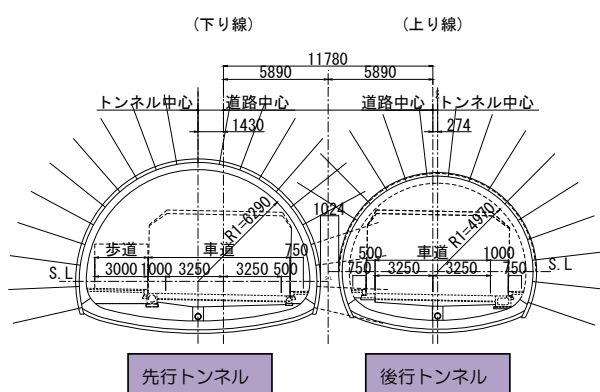


図-1 トンネル標準断面

トンネルの地質は、神戸層群の砂岩・礫岩の互層であり、設計では、比較的良好な地山でトンネル区間の新鮮なCM層の一軸圧縮強度は、概ね10～20MN/㎡であり、最高値が23.1 MN/㎡と比較的軟弱な地山が想定され、トンネルが重要施設に近接しているため、早期閉合による機械掘削が計画されていた。しかしながら、実際の切羽は、写真-3、4に示すように砂岩、礫岩層に人頭大から1mの硬質の玉石を含んでいる状況であった。

掘削手順は、大断面で法尻側に位置する土被りの小さい下り線を先行させ、比較的土被りの大きい上り線を切羽離れ約100mで併進した。

写真-5に下り線の掘削状況を示す。

上記のような地質条件の下でのトンネル掘削にあたり、安全管理と施工性の確保のため、計測結果を現地でリアルタイムに表示する「計測結果の見える化技術」及び「切羽前方予測」の必要性があった。

当工事では、①地層がほぼ水平（8～10度北落ち）であったこと、②トンネル設計のために比較的多くのボーリングデータがあったこと、③メガネトンネルであるため先進坑（下り線）の切羽データが後進坑（上り線）へ速やかにフィードバックできることから、切羽前方予測にCIM（三次元地質モデル）を採用した。

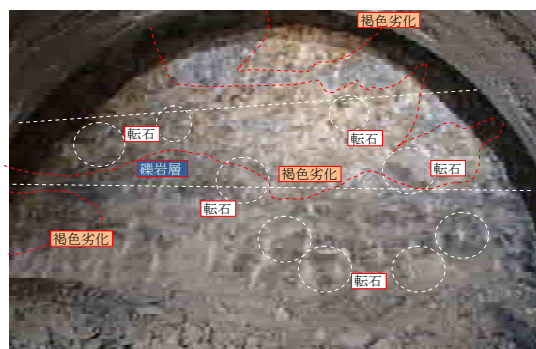


写真-3 トンネル切羽状況（沢部通過時）



写真-4 硬質の玉石出現状況（沢部通過時）



写真-5 掘削状況（下り線DI区間）

3. 現場における新技術の適用と検証

当工事では、新技術の導入を積極的に行ったが、ここではその内、「計測結果の見える化技術」と「CIM（Construction Information Modeling）に関して概要を述べるとともに、現場適用による効果について得られた知見を以下に示す。

(1) 計測結果見える化技術

a) 計測管理の概要

中国道に近接する切土施工時の計測システムとして、切土作業時およびトンネル掘削時の中国道近傍斜面、坑口部斜面、中間部地山などの挙動をリアルタイムで監視し、中国道の通行車両や作業員の安全を確保する目的か

ら、計測結果を現地で見える化できるよう工夫した。

なお、作業員に対する安全研修により、計測値とその表示色との関係に基づく安全性の確認方法を説明し、作業員自ら安全性を確認して作業できるよう指導した。

図-2 に計測位置平面図を示し、写真-6 に計測器設置状況を示した。なお、計測手法の概要は以下のとおりである。

①斜面変位測定（トータルステーション：TS）

斜面上に設置したターゲット（プリズム）の座標の変化を三次元測距儀により測定（自動測定）することにより、三次元的な斜面の変形挙動を計測する。

②地表面伸縮測定（地すべり伸縮計、光る変位計）

斜面に温度の影響を受けにくいインバール線を張り、2点間の距離の伸縮を計測することにより地すべりの監視を行う。計測値と管理値の関係を光の色の変化で表示する。見える化技術として、光る変位計（変位量により測線端部が光る）とデータ集積が可能な LEC（光るデータコンバータ）を採用した。

③非接触地表面伸縮測定（DD センサー）

DD センサーはレーザー測距儀により 1 回/1 秒の測定を連続して実施することで、ターゲットまでの距離の変化を連続計測する。設置・撤去が容易であり、測定したい箇所に移動して施工途中の変位を容易に測定することができる。なお、DD センサーの計測値と管理値の関係をパトライトにより光の色の変化で表示した。

④斜面変位測定（SOP：Single Observation Point）

斜面のすべり挙動を鏡と光源を用いて、ある限定され

た観測点（SOP）から計測を行う。SOP ライトの光源が見える位置にターゲット（鏡）を設置し、観測を行い、鏡の位置（斜面）が動くと観測点から光源が見えなくなることを利用して斜面のすべりの兆候を確認する（TS にて検証）。

なお、鏡に工夫（寸法が明確な同芯円やゼブラシール貼付）することで mm 単位の変位確認を目指している。

⑤地中側方変位測定（地中傾斜計）

重力加速度計（MEMS センサー）を 3 軸に設置し、地中傾斜計の区間変位（50cm ピッチ）を測定し、地中の側方変位の分布を計測することにより、すべり面の有無を確認する。

区間変位速度の計測値と管理値の関係を LEC により光の色の変化で表示するとともに、地中変位分布を遠隔監視可能なタブレット PC により現位置に表示する。



写真-6 計測結果の見える化実施状況

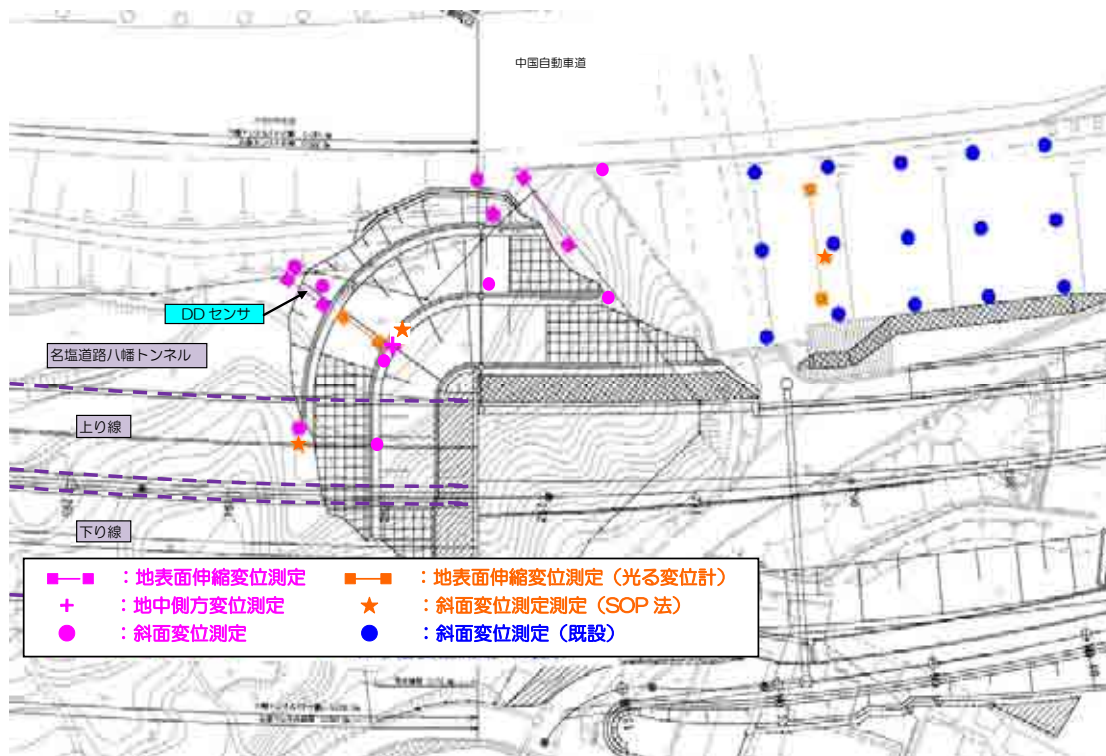


図-2 起点側坑口部 計測位置平面図

b) 計測結果の考察と見える化技術の検証

以下に当工事で採用した「計測結果の見える化技術」による計測結果の一例を示し、結果に対する考察を述べる。

①斜面変位測定結果

図-3にTSによる測定結果の一例を示す。

結果的には、多少のばらつきはあるものの、切土作業を通して管理値である5mm/10日の範囲で収まっており、法面の安定性は確保されていた。

計測結果の見える化技術の適用により、現場作業員自ら安全状態を確認して作業を行うことができた。

②地表面伸縮測定結果

図-4に示すとおり、地すべり伸縮計のデータについても管理値(5mm/10日)以内で収まった。

計測結果が光の色で表示されるため、作業員の聞き取り結果でも作業時の安全管理に有効であることが検証できた。切土時には結果的には緑色(安定)からの変化はなかったが、斜面に近接する上り線掘削時には一番上部の伸縮計が赤色(3mm伸び)、盛土部の伸縮計が水色(3mm圧縮)に変化した。

③非接触地表面伸縮測定(DDセンサー)測定結果

図-5に示す非接触連続変位に関しても他の結果同様、変位の変化は見られなかった。DDセンサーは、計器の設置、移動が容易であり、切土作業という日々計測対象

の法面が変化するような作業においては、適用性に優れているといえる。

④鏡による斜面変位測定

SOP法による測定結果からは、TS同様地すべりの兆候は見られなかった。光る変位計が誰にでも確認されることに対して、SOP法では、ある特定の位置に限定して確認できるということで、計測結果の取り扱いといった面で管理者としては有意なものと考えられる。

⑤地中傾斜計測定結果

図-6に示すように、地中側方変位に関しては、切土作業に伴い、3mm~4mm程度の変位は見られたが、管理値(5mm/10日)内で収まっており、目立ったすべり面(変化点)も観察されていないことから安定性に問題はなかった。

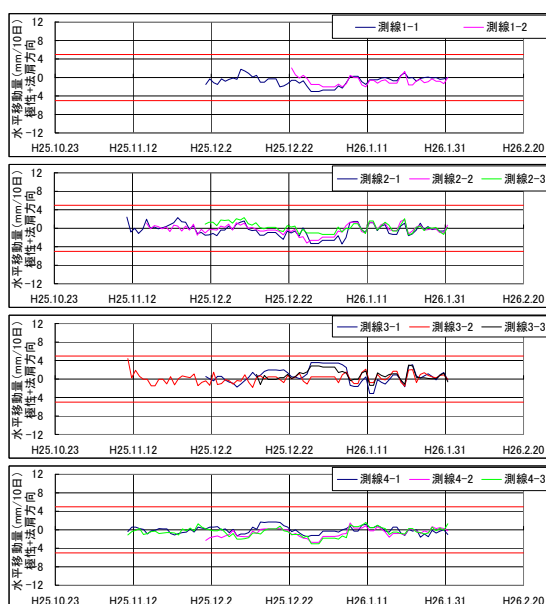


図-3 TSによる測定結果

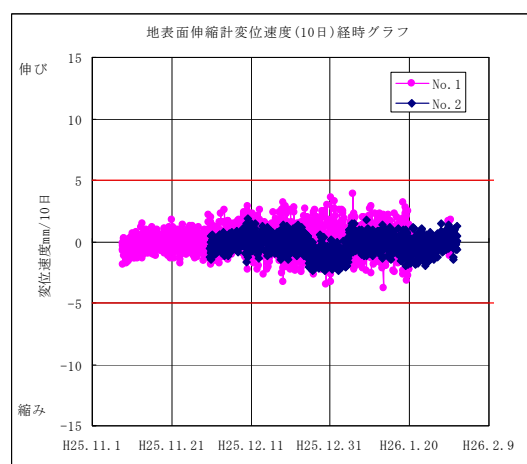


図-4 伸縮計測定結果

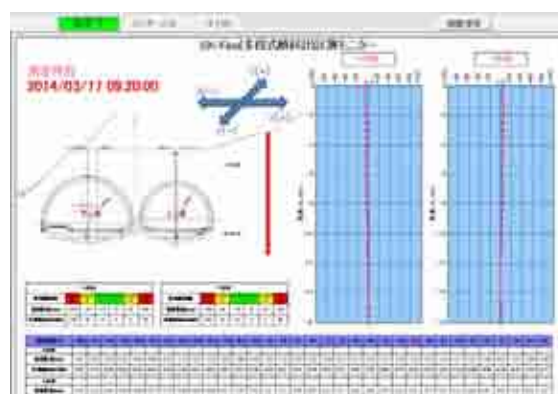


図-6 地中傾斜計測定結果(現地タブレットPC)

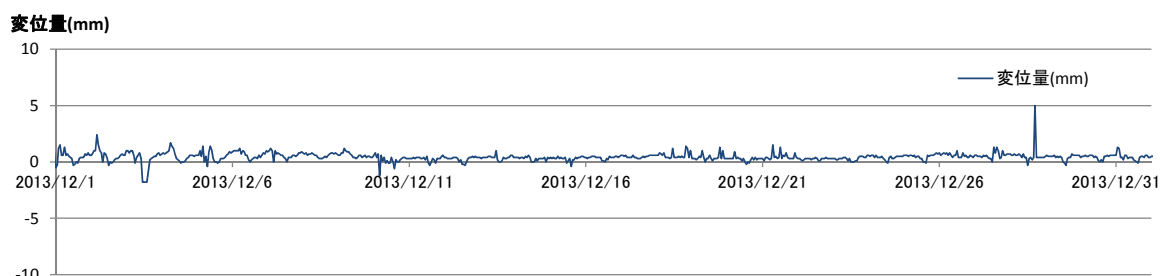


図-5 DDセンサー測定結果

(2) CIM（三次元地質モデル）の適用

CIM とは建築分野で適用がすすむ BIM を土木分野にも広げ、公共事業の一連の過程で、ICT ツールと三次元データモデルの導入・活用により、建設事業全体の生産性向上を図ろうとする取り組みのことである。

a) 三次元地質モデルの作成

トンネル断面が超近接メガネトンネルという特殊断面であり、トンネルの支保構造や補助工法の設計および近接する重要施設への影響度合いの把握という目的で数値解析に基づく設計がなされていた。そのため、多くのボーリングデータがあったことに加え、先進坑である下り線において事前の追加水平ボーリングにより連続的な地質データを取得することができたことからこれらの地質データに基づき、既製のプログラム（GEORAMA）を用いて三次元地質モデルを作成した。

施工時には、先進坑（下り線）の切羽観察結果を用いてモデルの修正（当初想定地質の検証）を行い、トンネルの施工とともに精度を高めた。

図-7 に当初の三次元地質モデルを示し、図-8 に施工時の三次元地質モデルの修正状況を示す。

b) 三次元地質モデルの活用

三次元地質モデルを用いた切羽前方予測の活用効果として以下の事項が挙げられる。

- ①安全性の向上：地山崩落の可能性の判断（天端礫岩層の有無により小崩落の可能性を判定）
- ②現場管理の効率化：施工機械（掘削機械）、支保工他の材料手配の効率化

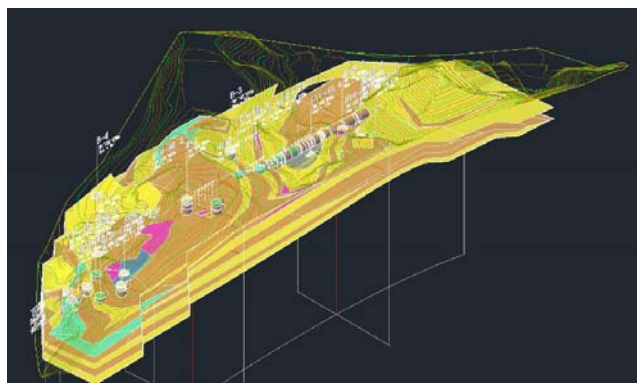


図-7 三次元地質モデル

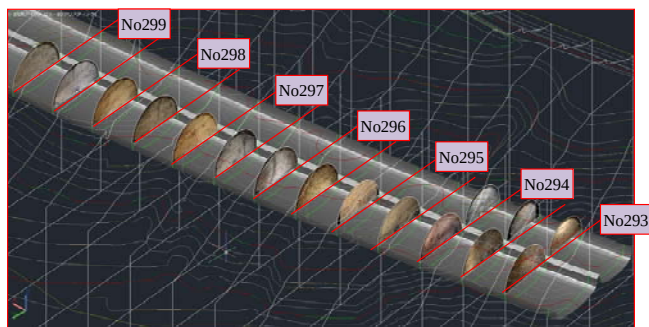


図-8 先進坑切羽観察結果に基づくモデルの修正

③設計変更の効率化：補助工法の必要性、補助工法適用区間長の決定

④情報化施工への活用：計測結果との整合を図り、地山挙動の把握の高度化

⑤施設管理の効率化・高度化：電子データとして施工時のデータ（地質状況、計測結果、支保工等）保存

当工事においては、CIM（三次元地質モデル）の活用としては、まず、図-9 に示す断面図を作成し、岩判定時に前方の切羽予測を用いて、切羽安定対策としての補助工法の適用範囲の判断に活用できた。当工事の地山の特性から、天端部分に礫岩層が存在する場合には肌落ちや小崩落が発生しやすいため、天端安定のための長尺鋼管フォアパイリング等の補助工法を採用することとした。

また、硬質の岩盤を掘削するための機械選定にも大いに参考になった。

さらに、先進坑での計測結果の実績に基づき、後進坑での変位量の予測および先進坑への影響判定に活用した。

終点側の既設盛土区間（マンション建設時に造成）においては、既設盛土施工時に存置された既設排水管が突然先進坑の切羽に出現した（写真-7）。後進坑の掘削に先立って、図-10 に示すように、先進坑の出現位置に基づき後進坑での出現箇所を推定し、緩み防止対策（干渉部補強工）を先進坑側から施工することができた。

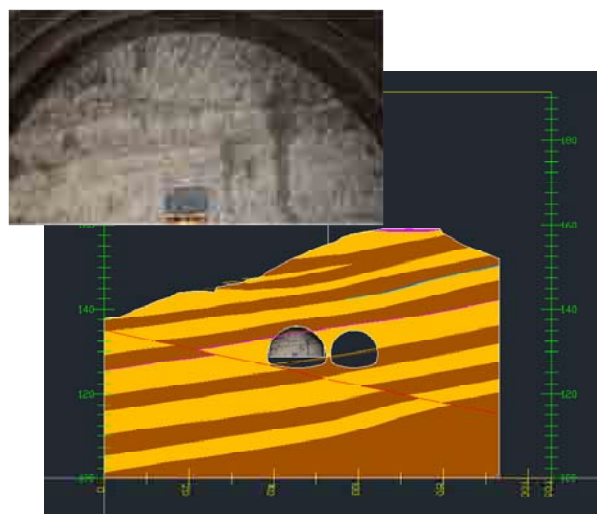


図-9 三次元地質モデルによる断面図作成



写真-7 既設排水管出現状況

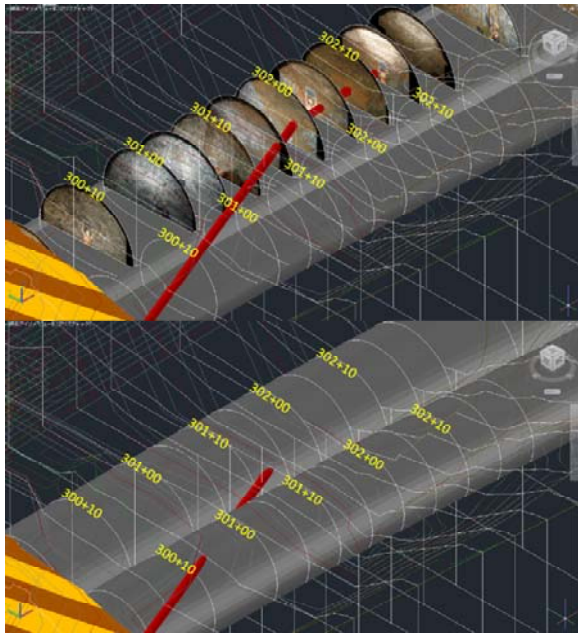


図-10 既設排水管出現予測（上り線施工時）

4. おわりに

名塩道路八幡トンネル工事で採用した最新技術のうち、中国自動車道に近接した起点側坑口付けのための切土法面に対する計測管理で採用した「計測結果の見える化技術」の効果と検証結果を示した。

また、切羽前方予測として活用した CIM（三次元地質モデル）に関しての適用効果について述べた。

切土法面の施工では、神戸層群の長期安定性を確保する目的から、土砂部に関しては法面補強対策を施し、軟岩の部分に関しては厚層基材吹付けを施工した。

一方、トンネルの施工に関しては、2014年2月から坑口付けを行い、FEM 解析結果に基づき、切羽の安定と近接する中国自動車道への影響を最小限に抑える目的で補助工法（多段式長尺フォアパイリング及び注入式フォアポーリング）を併用して掘削を行った。

補助工法の採用により、トンネル掘削時には特に大きな変位や地すべりの兆候も見られず、中国道の切土法面に関しては影響はなかったものと考えられる。

CIM に関しては、三次元地質モデルと合わせて、3D スキャナによる測量を実施しており、超近接メガネトンネルの挙動把握や品質管理としての活用が期待できる。

今後、データの整理を実施して別の機会に報告したい。

計測結果の見える化技術の現場適用にあたっては、「安全の見える化」として、従来の計測管理における課題の1つであった計測から警告の発信までのタイムラグの発生を防止し、リアルタイムに光の色の変化で危険度を評価できるため、作業員自らが安全を意識しながら作業できるというメリットがあり、現場における安全性の向上と変状に対しての早期の対策が期待できる。今後とも情報化施工の実施により、安全施工に努めていく所存である。

また、CIM（三次元地質モデル）は言わば、地質の見える化であり、現場管理や対策工の適用の合理化にも寄与したものと考えられる。

今後、3D スキャナのデータの整理や計測データと合わせて、本トンネルの維持管理の参考資料となるようまとめる所存である。

本論文が、まだまだ施工実績の少ない無導坑メガネトンネルの設計・施工において参考になれば幸いである。

謝辞：最後に、計測結果の見える化技術の現場適用にあたっては、神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 芥川真一教授はじめ OSV 研究会の関係者の方々に貴重なご意見を頂きましたこと深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 芥川真一，高野晃佑，森翔矢，金子勝，高木加乃：光る変位計の開発とその岩盤工学における適用の可能性について，第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，pp. 427-432，2008. 1
- 2) 芥川真一，森翔矢，大村修一，山田浩幸：トンネル掘削工事の安全管理における光る変位計の適用例，トンネル工学研究論文，pp. 23-28，2009. 11
- 3) 芥川真一，野村貢，山田浩幸，片山辰雄：On Site Data Visualization の概念と岩盤工学における適用可能性について，岩盤力学に関するシンポジウム，pp. 151-156，2010. 1
- 4) 山田浩幸，芥川真一：山岳トンネル工事現場における計測結果見える化技術の適用とその効果，平成 23 年度近畿地方整備局研究発表会，施工・安全管理対策部門：No. 04，pp. 1-6，2011. 6
- 5) 山田浩幸，大槻文彦，木村圭吾：都市部における超近接無導坑メガネトンネルの設計と施工に関する一考察，I-15，pp. 1-8，2014. 12

京奈和自動車道（紀北西道路）における長大橋梁の工期短縮のための工夫について

喜多 弘¹・大野文義²

¹近畿地方整備局 浪速国道事務所 調査課 （〒573-0094 大阪府枚方市南中振3-2-3）

²近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 工務第二課 （〒640-8227 和歌山県和歌山市西汀丁16）

本論文の対象路線である京奈和自動車道は、京都・奈良・和歌山を結ぶ延長約120kmの高規格幹線道路であり、その最西部である紀の川市神領から和歌山市弘西までの延長12.2kmの区間を紀北西道路と呼び、2016年度の供用に向け、事業を鋭意推進しているところである。

今回は、阪和自動車道と接続する和歌山JCT（仮称）に建設予定の長大橋梁を対象に、工期短縮のための新技術の採用及び創意工夫等について中間報告するものである。

キーワード 工期短縮，新技術，創意工夫

1. はじめに

紀北西道路は、和歌山市内で阪和自動車道と接続するため、図-1に示すような紀の川に並行し、和泉山脈の南側を東西に通るルートとなる。そのため、起伏が大きい山間部に、快適に走行できるような縦横断等の線形計画がなされたことから、トンネル4本、橋梁18橋（国施工分のみ）と多数の道路構造物で構成される。

その中でも雄ノ山峠付近は特に急峻な山間部であり、そこに新しく和歌山JCT（仮称）（以下、「和歌山JCT」と記す）を建設して阪和自動車道と接続するため、地形条件や交差条件が大変厳しく、近畿地方整備局管内でも類を見ない長大橋梁を7橋（国施工分のみ）建設することになる。よって、工事の規模、難易度共に高く、これまで受発注者の間で知恵を絞り、工期短縮のための

様々な工夫を実施してきた。以下にその工夫を述べる。

2. 建設予定の長大橋梁の概要

和歌山JCTの長大橋梁の諸元を表-1、完成イメージを図-2にそれぞれ示す。

表-1 和歌山JCTの長大橋梁の諸元

橋梁名	橋長(m)	幅員(m)	形式	
			上部工	下部工
雄ノ山高架橋(下り線)	132.0	10.7	PC2径間連続ラーメン箱桁橋	逆T式橋台、柱式橋脚
雄ノ山高架橋(分合流部)	250.0	22.6～37.4	PC3径間連続箱桁橋	壁式橋脚、張出式橋脚、ラーメン橋脚
雄ノ山高架橋(移行部)	604.4	11.7	PC5径間連続ラーメン箱桁橋	逆T式橋台、壁式橋脚
和歌山JCT Aランプ橋【NEXCO施工】	416.8	7.7～9.6	PRC6径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ箱桁橋	逆T式橋台、柱式橋脚
和歌山JCT Dランプ橋	480.4	7.7～8.1	PC6径間連続ラーメン箱桁橋	柱式橋脚、張出式橋脚、逆T式橋台
岡野第一橋	167.0	13.2～13.4	PC2径間連続ラーメン箱桁橋	逆T式橋台、壁式橋脚
岡野第二橋	110.0	13.9	PC2径間連続ラーメン箱桁橋	逆T式橋台、壁式橋脚
北別所高架橋	559.0	13.2	PC6径間連続ラーメン箱桁橋	逆T式橋台、壁式橋脚

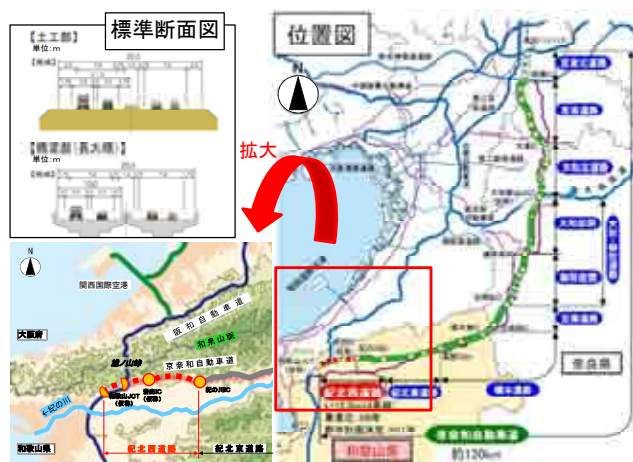


図-1 位置図及び標準断面図



図-2 和歌山JCTの完成イメージ図

3. 設計段階における工夫

設計段階における課題は、経済性・施工性・工期等を比較検討し、最適な構造物を設計することである。ここでは、主に詳細設計において検討した工期短縮を図る上での問題点、解決策及び結果と考察を以下に示す。

(1) 長大橋梁の施工規模の縮小

a) 問題点

構造物の規模が大きいため、設計・施工ともに時間を要することが分かった。

b) 解決策

構造物の規模を小さくするため、定められた幅杭の範囲内で①橋台位置・構造、②支間割及び③橋脚・基礎の断面形状を見直した（図-3～5及び表-2参照）。

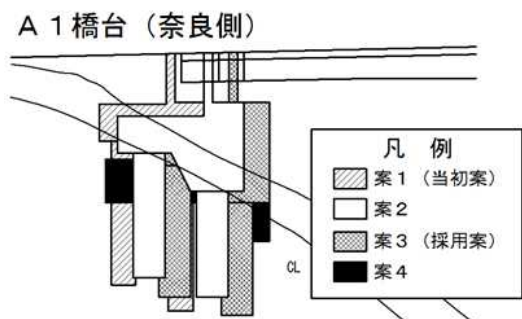


図-3 橋台位置・構造の見直し（雄ノ山高架橋の例）



図-4 支間割りの見直し（雄ノ山高架橋の例）

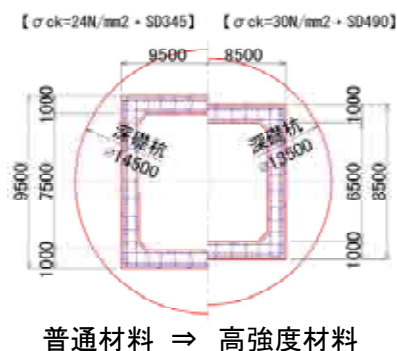


図-5 橋脚・基礎の断面形状の見直し（北別所高架橋の例）

c) 結果と考察

工期短縮日数及びコスト削減額を表-2のように示す。

構造を見直すことによって、工期短縮及びコスト削減に大きな成果が見られたが、橋脚位置の見直しには地質調査データが必要となるため、詳細設計と同時に調査を進めることになった。よって、両業務の迅速かつ的確な連携を図ることに留意した。

(2) 用地の追加買収の回避

a) 問題点

基礎の土留めについては、経済比較の結果、竹割り土留工法が有利となったが、アンカー定着部の用地の追加買収が必要となり、時間を要することが分かった。

b) 解決策

追加買収を回避するため、用地内で施工可能な軽量盛土を用いた施工基面嵩上げ工法を採用した（図-6参照）。

c) 結果と考察

用地を追加買収することなく、基礎を建設することができた。一方で、軽量盛土工は土圧により滑動しやすい構造のため、設計・施工時には安全面に留意した。

(3) 工事用道路のルート変更

a) 問題点

雄ノ山高架橋等の施工にあたり、JR阪和線及び県道貝塚線と近接した国有林・民有林の区域内に工事用道路を設置するため、安全対策で関係機関協議に時間を要した。

b) 解決策

工事用道路のルートを大きく見直すことにより、JR阪

表-2 工期短縮日数及びコスト削減額

橋梁名	橋台位置・構造の見直し	支間割の見直し	橋梁・基礎の断面形状の見直し
雄ノ山高架橋（下り線）	90日 1,395百万円		13日 31百万円
雄ノ山高架橋（分合流部）			
雄ノ山高架橋（移行部）			
和歌山JCT Dランプ橋	17百万円	60日 54百万円	12日 11百万円
岡野第一橋	50百万円	15日 87百万円	
岡野第二橋	17百万円	15日 91百万円	
北別所高架橋	8百万円	15日 530百万円	

上段：工期短縮日数、下段：コスト削減額（いずれも予備設計と比較）

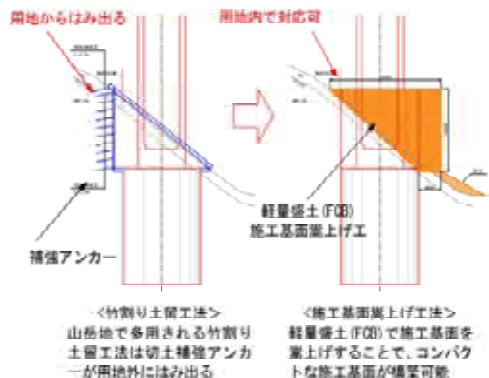


図-6 施工基面嵩上げ工法への変更

和線及び県道貝塚線との近接を回避し、国有林・民有林の区域内の工事用道路の面積を最小にした（図-7参照）。

c) 結果と考察

関係機関との協議時間を短縮することができた。また、変更前後の工事用道路の施工規模がほぼ同等となるように留意したため、施工時のコストへの影響を最小限に抑えることができた。

(4) 阪和自動車道を利用した工事用道路

a) 問題点

北別所高架橋については、現道が狭隘なJRの踏切道及び住宅地を経由するため、工事用車両の搬入が困難であり、別ルートで工事用道路を設置する必要があった。

b) 解決策

現道からの進入を回避し、阪和自動車道の紀ノ川SA及び本線から工事用車両を搬入した（図8～9参照）。

c) 結果と考察

現道を利用することなく、工事現場に到着する工事用道路を設計することができた。一方で、阪和自動車道の

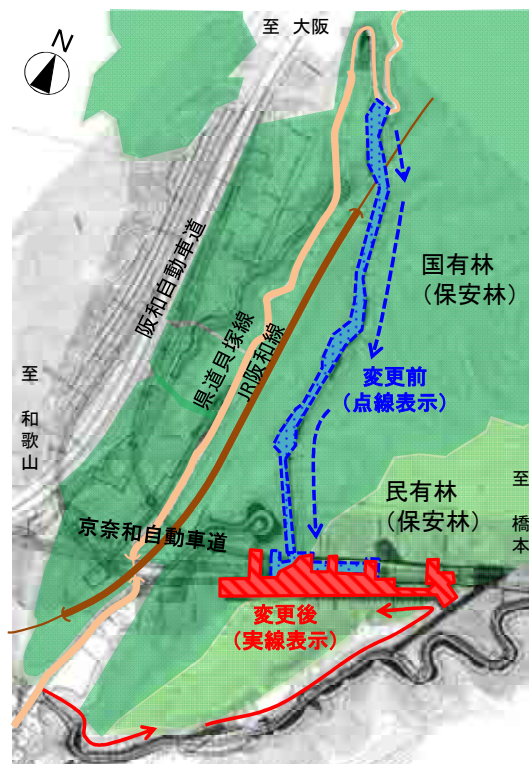


図-7 工事用道路の変更例（雄ノ山高架橋他）

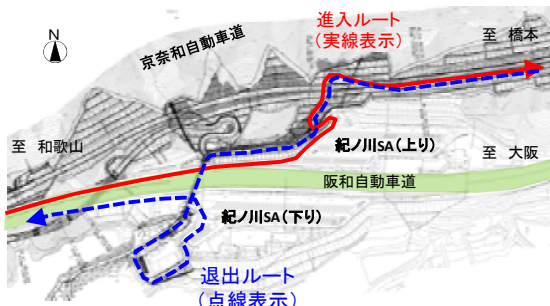


図-8 紀ノ川SAからの進入（北別所高架橋）

紀ノ川SA及び本線を利用するにあたり、道路管理者及び警察との協議が必要となった。そこで、十分な協議期間の確保に加え、阪和自動車道路利用時の課金も踏まえた経済性の比較、交通規制方法及び一般利用者への広報等について、設計段階で具体化しておくことが施工時の円滑な工事着手につながることを実感した。

(5) 新技術を活用した工事用道路

a) 問題点

急峻な山間部であるため、仮橋主体の工事用道路となるが、従来工法では施工に時間を要することが分かった。

b) 解決策

仮橋の支間を大きくすれば、施工速度が上がると考え、現場条件に合わせてSqCピア工法、LIBRA工法、G栈橋等の新技術を採用した（表-3参照）。

c) 結果と考察

従来工法と比較して、仮橋の施工時間を短縮することができた。一方で、施工段階では多数の仮橋を同時期に施工するため、施工班の調整が必要となった。この経験を通じて、設計段階から施工班について考慮することが重要であると実感した。

(6) 上部工のブロック数の見直し

a) 問題点

上部工は移動作業車（ワーゲン）を用いた片持張出架



図-9 阪和自動車道の本線からの進入（北別所高架橋）

表-3 仮橋に採用した新技術（本現場での例）

工法	従来工法	SqCピア工法（粘着キャップ工法） QS-020042-V	仮橋用橋脚傾斜式架設工法 （LIBRA工法）KT-990222-V	G栈橋 KT-120094-A
支間長(m)	6	10	8	12
資料対象部材	受桁、覆工板	受桁、覆工板	支持杭、橋脚、上部工、覆工板、高欄	上部工主部材、覆工板
特徴	・高所での溶接・ボルト接合等は足場を設置し、足場上での作業を行う ・支持杭の打設は地面に位置出しを行い定規を組んで削孔、建込みを行う	・支持杭を先に打設し、粘着キャップを介して上部工と連結する ・粘着キャップはボルトで締付固定するため再利用が可能 ・プレス材の取付時には専用ゴンドラを使用することで足場は不要で高所作業が少なく施工性、安全性が向上する ・同工法の上部パネル先行架設工法と比べて経済的	・上部鋼製パネルを支持杭打設の方へとすることにより、杭心確保を容易にし上部工架設までの足場材の設置を無くし、傾斜地における煩雑な橋脚部補強も極限まで省力化した	・主桁を長スパン対応可能な製作桁（SM490）とすることにより、支持杭本数を削減することができることから、工期短縮になる ・主桁及び受桁以外は、従来工法と同じ
長所	・特殊な部材を使わないため市場性がある	・安全性が高い	・安全性が高い	・直線で断面勾配が一定の場合は有利
短所	・地上高が高いと不経済	・部材にリース材が少ないため供用日数が少ないと不経済	・部材が全てリース材であるため供用日数が多く不経済	・折れ点が多いと不利 ・地上高が高いと不経済
備考	・地上に足場を設置するため、急傾斜地および地上高が高い場合は適さない ・地上高が高くなるとプレスが多くなり不経済となる（H鋼杭には強軸・弱軸があり、鋼管杭に比べてプレスが多くなる必要）	・急傾斜地および地上高が高い場合には、上下作業が少ないため安全性が高い	・急傾斜地および地上高が高い場合には、上下作業が少ないため安全性が高い	・従来工法よりも支間長を大きくすることができると経済的である ・地上高が高くなるとプレスが多くなり不経済となる（H鋼杭には強軸・弱軸があり、鋼管杭に比べてプレスが多くなる必要）

設工法を採用したが、ブロック数が多くなることから、施工に時間を要することが分かった。

b) 解決策

ブロック数を減らすと施工速度が上がると考え、大型ワーゲンを採用する設計とした。さらに中央閉合を一般的な吊り支保工ではなく、ワーゲンによる閉合にした。

c) 結果と考察

大型ワーゲンによる工期短縮効果を表4に示す。大型ワーゲンの採用は、通常ワーゲンと比べて若干割高となったが、確実に工期短縮可能な方法となった。

(7) PCケーブルの緊張方法の変更

a) 問題点

通常はPCケーブルを両端から緊張するが、その際に橋台背面の工程が緊張待ちとなるリスクが生じた。

b) 解決策

工期短縮のため、PCケーブルの緊張方法を両引きではなく、桁内側からの片引きに変更した（図-10参照）。

c) 結果と考察

PCケーブルの施工待ちのリスクを回避することができた。

(8) 昼夜間施工の採用

a) 問題点

上記(1)～(7)を採用した場合の工程を精査した結果、さらに設計時点での工期短縮が必要となった。

b) 解決策

クリティカルパスを明確にした上で設計段階から昼夜

間施工を採用した。

c) 結果と考察

昼夜間施工により、供用工程を遵守した設計となった。一方で、当初設計から昼夜間施工で設計することは、工程上の余裕がなくなることを意味するため、施工段階では通常よりも工程管理に注力する必要があった。

4. 施工段階における工夫

施工段階における課題は、工期内に良好な品質の構造物を安全に施工することである。ここでは、施工段階において検討した工期短縮を図る上での問題点、解決策及び結果と考察を以下に示す。

1) 工事用道路の輻輳防止

a) 問題点

規模の大きい複数の工事が同じ工事用道路を利用するため、コンクリートミキサー車、トンネルのずり出しダンプトラック、資材運搬車等で工事用道路が輻輳することが分かった。また、工事用車両の転回及び離合待ちで施工速度が上がらないことも問題となった。

b) 解決策

工事用車両の台数を分散させるため、受注者にて組織する安全協議会等で工事間調整した。しかし、工事間調整では対応できない状況であった。

そこで、クリティカルパスに大きく影響する工事用道路の拡幅により、工事用車両の離合を可能とした。また、拡幅できない工事用道路については、追加の工事用道路を設置した（図-11～12参照）。

表4 大型ワーゲンによる工期短縮効果

橋梁名	大型ワーゲンによる 工期短縮効果
雄ノ山高架橋(下り線)	1.7ヶ月 (移行部)
雄ノ山高架橋(分合流部)	
雄ノ山高架橋(移行部)	
和歌山JCT Dランプ橋	1.0ヶ月
岡野第一橋	1.3ヶ月
岡野第二橋	0.8ヶ月
北別所高架橋	0.8ヶ月

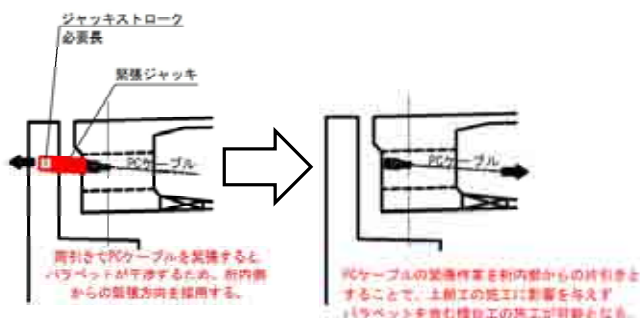


図-10 PCケーブルの緊張方法の変更

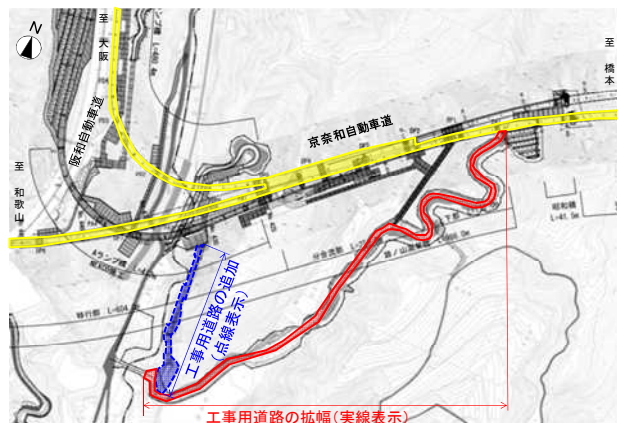


図-11 工事車両の輻輳防止対策（雄ノ山高架橋他）

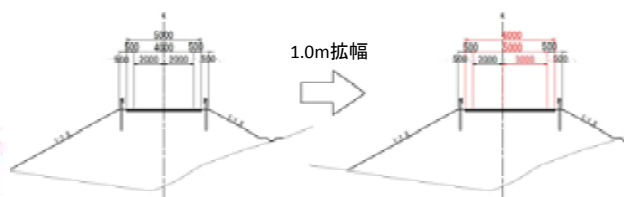


図-12 拡幅した工事用道路の例

c) 結果と考察

工事用道路を拡幅・追加したことによって工事用車両の輻輳を回避することができた。また、副次的な効果として、現道上で工事用車両が待機することもなくなり、現道の渋滞等の影響を回避することができた。

(2) 工事用道路の追加による工期短縮

a) 問題点

岡野第二橋への工事用道路は片押し施工となるため、工期遅延のリスクを低減する必要があった。

b) 解決策

岡野第二橋の工期短縮のため、調整池設置に使用する工事用道路を分岐させ、先行工事の完了を待たずに後続工事に着手できるようにした（図-13参照）。

c) 結果と考察

約10ヶ月工期短縮することができた。

(3) 鉄筋の施工方法による工期短縮

a) 問題点

橋脚施工時に帯鉄筋が過密配筋となるため、施工速度が上がらない。また、通常の鉄筋についても橋脚上の狭小な足場では組み立てに時間を要することが分かった。

b) 解決策

過密配筋を防ぐため、鉄筋定着部を工夫した新技術を採用した。また、橋梁上ではなく、施工ヤードで鉄筋を先組みする新技術を採用することで、組み立て時間を短縮した（表-5参照）。

c) 結果と考察

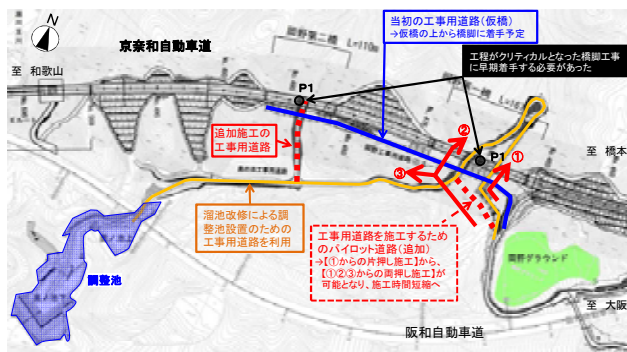


図-13 工事用道路の追加による工期短縮例
（岡野第一橋、岡野第二橋）

表-5 鉄筋の施工方法に関して採用した新技術（本現場での例）

技術名	配筋作業の合理化を図る鉄筋端部定着工法	鉄筋組立の省力化を図る鉄筋組立工法
概要	- 過密配筋での施工性を向上させる鉄筋定着工法 - せん断補強鉄筋である - 半円形フックの定着工法を着工法（圧定着）にした - これにより、組みにくかった両端フックのせん断補強鉄筋の組立が、片方をプレート定着にすることにより組立が非常に簡単になった	- 橋脚下部工などの鉄筋組み立てにおいて、地上で組み立てた帯鉄筋などを一括して吊り込み構築する技術 - 設計図書によってノックキャリイ設備が変わる
長所	- 組みにくかった両端フックのせん断補強鉄筋の組立が、片方をプレート定着にする事により施工性が向上 - 過密配筋部の主筋定着などに適用することにより、コンクリートの先遣性が向上	- 足場上での作業が軽減されるため、作業時間の短縮、安全性の向上を図ることができる - 鉄筋定尺内であれば重ね継手の必要がないため、軽量化が可能 - 地組できるため過密配筋では効果的
短所	疲労が問題となる橋梁上部構造の軸方向鉄筋には使用できない	- 地組ヤードの確保が必要 - D38を超える鉄筋は使えない - ノックキャリイ部材の製作期間が3ヶ月必要（断面形状・大きさが異なることと組立できない） - 深掘りでは足場やライナープレートなどの支障物等の条件により、橋脚本体ほどの効果が得られないと思われる

雄ノ山高架橋の例では、新技術を適用した結果、約13日工期短縮することができた。

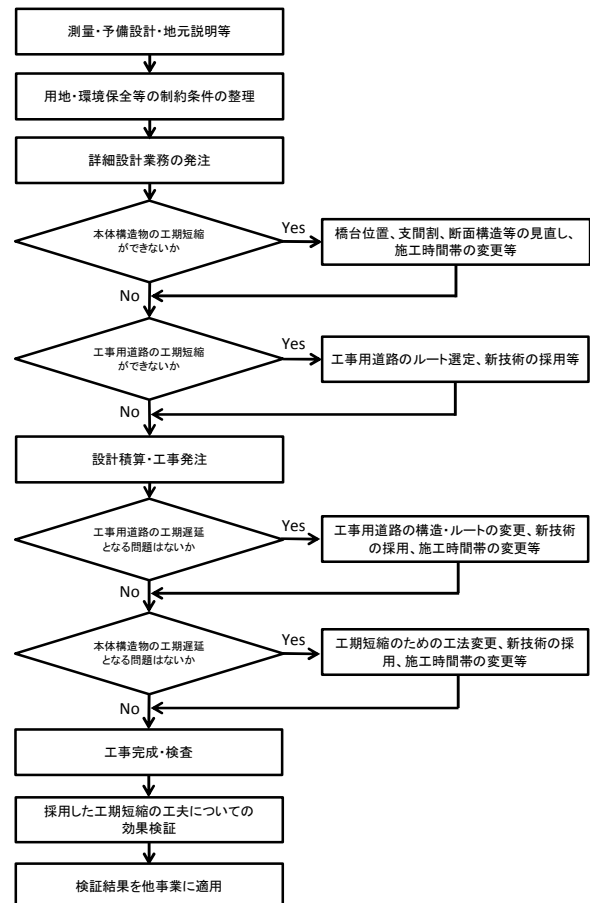
5. まとめ

上記により、それぞれの工夫において、一定の工期短縮効果が確認された。一部でコスト増となった工夫もあったが、工期短縮により仮橋賃料・交通誘導員等の費用が縮減されるため、効果把握の際は総合的な視点が必要である。また、現場条件の変化等の不測の事態に対し、早期供用に向けてクリティカルパスを24時間体制で施工を進める一方で、発注者側としても現場で生じた様々な課題を共有し、その状況に応じた意思決定を円滑に行うため、担当者が一堂に会するプロジェクトマネジメント会議等によって早期に方針決定し、工事の進捗を図った。

本事業は現時点においても施工中であるため、中間報告となる。そのため、今後も経過観察を行い、経済性・安全性・施工性等に関して長所・短所を分析し、費用対効果、適用可能範囲等を議論する必要がある。

また、今回の工夫内容の着眼点は事業に関係する者の暗黙知によるところが大きい。そこで、体系的にまとめることによって形式知にすることも重要であると考え。その一例を表-6に示す。

表-6 工期短縮の着眼点の例



6. おわりに

本論文にて紹介した設計段階及び施工段階における工期短縮の工夫は、事業に関係する者が現場状況に合わせて苦慮しながら創出したものである。そのため、全ての工夫を他の事業に水平展開できるとは限らないが、早期供用を望む地域の強い要望に応えるための一助となれば、望外の喜びである。

謝辞：本論文の執筆にあたり、組織の内外を問わず、関係する皆様に多大な協力をいただきました。心から感謝の意を表します。

付録

2015年5月末時点での工事現場の進捗状況を写真-1～7にて報告する。



写真-4 雄ノ山高架橋（移行部）



写真-5 岡野第一橋



写真-1 雄ノ山高架橋（下り線・分合流部）



写真-6 岡野第二橋



写真-2 和歌山 JCT（全景）



写真-7 北別所高架橋



写真-3 和歌山 JCT（近景）

参考文献

- 1) 紀北西道路雄ノ山高架橋詳細設計業務報告書, 2013.3
- 2) 紀北西道路橋梁3橋他詳細設計業務報告書, 2013.3

喜多 弘（旧所属：近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 工務第二課）

大野文義（近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 工務第二課）

長大切土に発生した 施工途中の地すべり対策について

緒方 健太郎¹・清水 良和²

¹清水建設（株） 大古地区改良工事 （〒649-2511和歌山県西牟婁郡白浜町日置651番地）

²清水建設（株） 大古地区改良工事 （〒649-2511和歌山県西牟婁郡白浜町日置651番地）。

近畿自動車道紀勢線大古地区改良工事は日置川河口近くの右岸に位置し、最大切土高さ 61m、切土量約 80 万 m³ の長大切土が計画されていた。掘削中の切土法面の変状観測を目的に、各小段を 20m ピッチにトータルステーションによる動態観測を行いながら施工していた。8 段の切土掘削を開始し、約 45m 掘削した時点で、切土法面が幅 80m に渡って本線側に変位した。最大変位が 21mm となり、緊急対策として押え盛土を実施した。変位の発生原因を究明するため、詳細な法面観察、既往ボーリングコアの再確認、3 本の新設ボーリングのコア確認とボアホールカメラによる亀裂・破碎帯の構造を調査した。その結果、確認された変位は粘土を挟在している断層が流れ盤構造になっており、掘削に伴って流れ盤上の土塊が不安定化したところへ台風による降雨が誘因となって発生した地すべりの兆候であると判明した。さらに、流れ盤の断層が道路面である最下段にも確認されたため、今後、掘削すれば切土完成時に法尻に抜ける同様の地すべりが発生する危険があることも分かった。

そこで、施工途中で発生した地すべりの兆候と最下段掘削時に発生が予想される地すべりに対して対策工を比較検討した。排土案、グラウンドアンカー案、抑止杭案とこれらの複合案の中から排土とグラウンドアンカー工の複合案を選定した。

グラウンドアンカーの仕様は引抜試験による極限周面摩擦抵抗の確認と平板載荷試験による支持力の確認を行って決定し、掘削とグラウンドアンカー工を交互に行いながら最下段まで掘削した。掘削完了後に変位の発生はなく安定化しているため、地すべり対策工が有効に機能していることが証明できた。

キーワード 地すべり、動態観測、流れ盤、ボアホールカメラ、グラウンドアンカー

1. はじめに

近畿自動車道紀勢線は、大阪府松原市を起点とし、和歌山県和歌山市及び田辺市等を経由し、三重県多気郡多気町に至る延長335kmの高速自動車国道である。この路線は、京阪神と紀南を結ぶ幹線道路として、輸送時間の

短縮や一般道の混雑緩和を図り、地域相互の産業、経済、文化、観光の振興と発展に寄与することを目指している。現在、紀勢線は松原JCT～南紀田辺IC間129.2kmが自動車専用道路でつながっており、今後、南紀田辺IC～すさみIC（仮）間の延長38kmを国土交通省による新直轄方式で整備している。

近畿自動車道紀勢線大古地区改良工事は紀勢線整備事業のうち、西牟婁郡白浜町の日置川河口近くの右岸に位置し、日置IC（仮）を含む工区延長約665mを造成する道路改良工事である。工事位置図を図-1に示す。



図-1 工事位置図

2. 工事概要

近畿自動車道紀勢線大古地区改良工事は、大きく切土区間と盛土区間に分別される。そのうち切土区間は、最大切土高さ 61m、切土量 80 万 m³ の長大切土工事である。図-2 に全体平面図と図-3 に掘削断面図を示す。切土法面は高さ 7m 毎に小段を有する最大 8 段からなる。切土

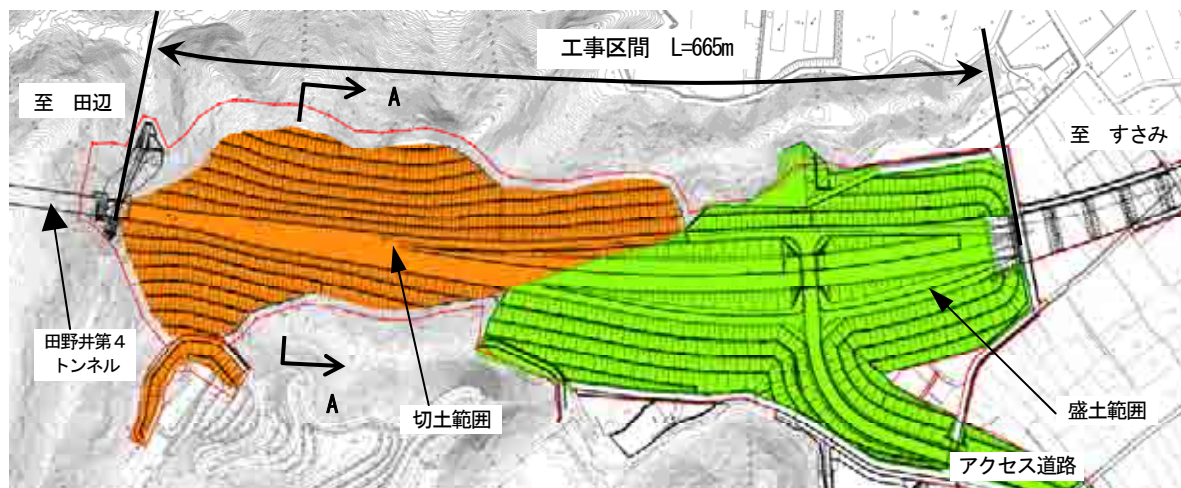


図-2 全体平面図

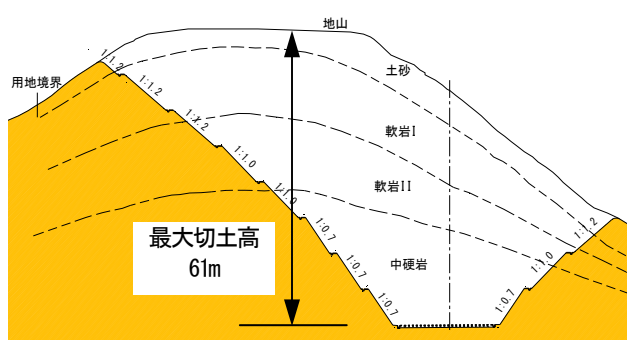


図-3 A-A 掘削断面図 (No. 502+00)

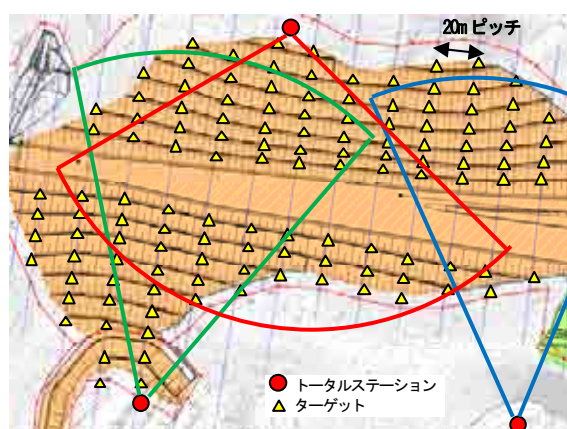


図-4 切土部動態観測 平面図

勾配は、事前地質調査の土軟硬区分から切土標準勾配として1:1.2～1:0.7で設計されていた。

長大切土工事であるため、掘削中の地山挙動を監視するために、各小段を20mピッチにトータルステーションを用いた動態観測を行った。観測は1回/時間の自動計測で24時間体制の監視を行った。各段の切土掘削が完了後、次段への切土掘削の開始前にターゲットを設置し、法面挙動を監視した。動態観測の測定結果は、FOMA回線により自動転送されて、管理基準を超えた場合は携帯メールに警報するシステムとした。動態観測の平面図を図-4に示す。動態観測は全ての切土法面を網羅できるように3箇所にトータルステーションを設置した。

3. 地質概要

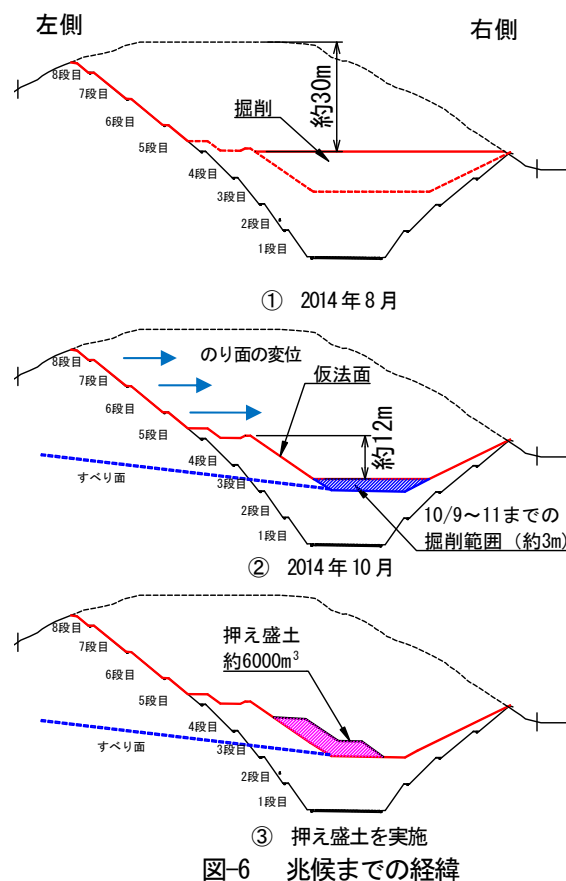
工事周辺の基盤岩は、日置川付近を境界として、西方には新生代第三紀新生に形成された「田辺層群」が、東方には新生代第三紀始新生～中新世に形成された四万十帯の「牟婁層群」が分布する。日置川から西方に位置する大古地区改良工事は、田辺層群の泥岩が主体であり、砂岩泥岩が互層となっていた。図-5に地質図¹⁾を示す。



図-5 地質図¹⁾

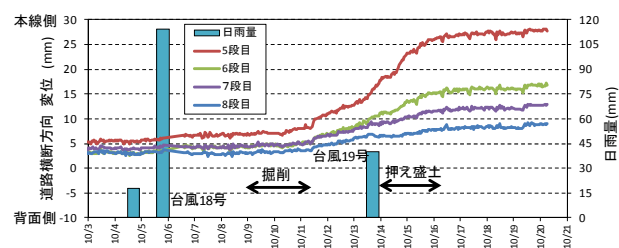
4. 地すべりの兆候までの経緯

2014 年 4 月に切土掘削を開始し、2014 年の 8 月に 5 段目の約 30m まで掘削を行っていた。8 月からは仮法面を作って約 12m 掘削した。そして 10 月 9 日～11 日の期間でさらに 3m 掘削し、日降雨量 40 mm の台風 19 号が来襲した後、左側法面にて約 80m の区間で変位が観測された。この時の最大変位は 21 mm であった。この動きを抑えるために、緊急対策として、仮法面の前面に約 6000m³ の押え盛土を行って変位を収束させることができた。兆候までの経緯を図-6 に示す。この期間に観測された法面直角方向の変位記録の一例を図-7 に示す。台風 18 号（日降雨量 120 mm）の通過時は、切土法面の変位が無かったが、3m を掘削して台風 19 号の通過後に、急激に動き出しており、掘削と降雨による地下水の影響が考えられた。変位も頂部の 8 段目から動き出していることもわかる。図-8 に動態観測結果の変位のベクトル図を示す。変位の規模は約 80m 幅の赤線で囲まれた範囲で変位している。変位している方向は法面直角よりもやや起点側に傾斜していた。



5. 追加地質調査の概要と発生原因

確認された変位の発生原因を究明するため、詳細な法面観察、既往ボーリングコアの再確認、3 本の新設ボーリングのコア確認とボアホールカメラによる亀裂・破碎帯の構造を調査した。調査ボーリングの結果、以下のことが判明した。



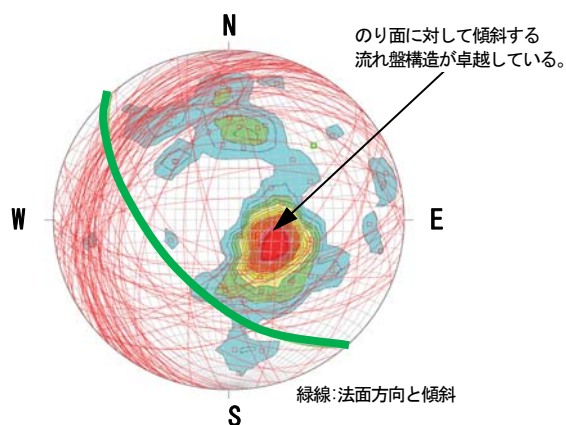


図-9 孔面構造判読結果のステレオネット図

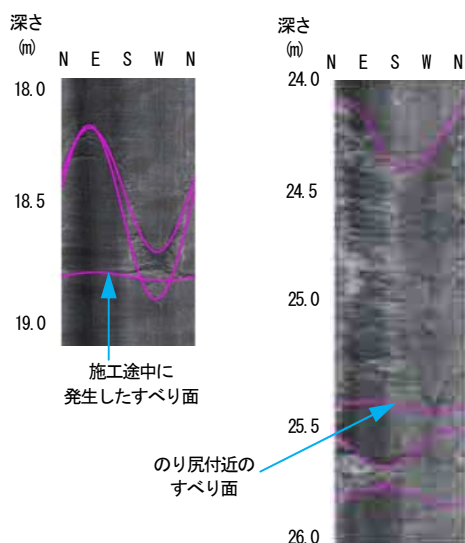


図-10 ボアホールカメラより判読できたすべり面

- ① 層理面の角度は20度前後が主体である。
- ② 70度～90度の高角度の割れ目が認められる。
- ③ 層理面沿いや高角度の面沿いに礫状～粘土状の破碎帯部が存在する。
- ④ 硬質岩盤が出現する深度以深においても、破碎帯等の弱部が存在する。
- ⑤ 層理面沿いに剥離しやすく、一部鏡肌を呈している。

ボーリング調査により得られたコア観察では、その地点の深さ方向の地質分布状況や亀裂・破碎帯の状況は確認できても、コアが土被り荷重から解放され回転して上がって来ているため、地盤内の層理面や亀裂の方向、開口状態まで確認できない。そこで、地質の構造をより正確に把握するために、ボアホールカメラによる調査を実施した。

図-9 にボアホールカメラの画像から判読した構造のステレオネット図を示す。ステレオネット図を利用することで、傾斜の向きを統計的に処理し傾斜の卓越方向が

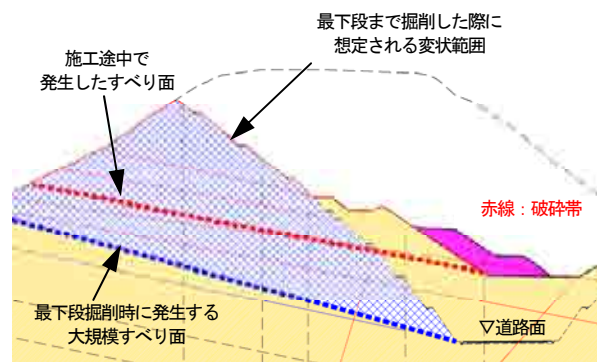


図-11 対策が必要な範囲断面図

明らかになる。ステレオネット図で北東―南西系で西側に $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ で傾斜する法面に対して斜交する流れ盤構造が卓越しているのがわかった。図-10 にボアホールカメラの観察画像を示す。深さ19m付近に今回の施工途中に発生した変位の素因と思われる層理面沿いのすべり面が確認できた。さらに以深を調査すると、最終掘削時の法尻付近にも同様な流れ盤構造を有するすべり面が確認できた。

以上のことから、今回確認された変位は掘削による応力解放やリバウンドではなく、粘土を挟在している断層が流れ盤構造になっており、掘削に伴って流れ盤上の土塊が不安定化となった所へ降雨が誘因となって発生した地すべりの兆候と判明した。さらに、施工途中のすべり面より以深においても同様な流れ盤構造の断層が存在するため、最下段掘削時に発生するすべり面も含めた対策が必要であることも判明した。図-11 に対策が必要な範囲断面図を示す。

6. 地すべり対策工

施工途中で発生した地すべりと最下段掘削時に発生すると予想される地すべりに対して対策工の比較検討を行った。対策案としては以下の4案を選定した。

- ① 排土案
- ② グラウンドアンカー案
- ③ 抑止杭案
- ④ 排土+グラウンドアンカーの複合案

比較検討結果を表-1 に示す。コストや工期等を総合的に判断した結果、④排土とグラウンドアンカー工の複合案を選定した。

グラウンドアンカーの設計に必要な諸定数を求めるために、原位置試験を行った。原位置試験の内容を表-2 に示す。引抜試験の定着長の位置は最終掘削時に発生するすべり面の下層の地盤とした。平板載荷試験はグラウンドアンカーの受圧版が破碎帯部に位置する可能性があるため、破碎帯上において支持力を確認した。

表-1 地すべり対策の比較検討結果

対策案	① 排土案	② グラウンドアンカー案	③ 抑止杭案	④ 排土＋グラウンドアンカー工
概要図				
概要	安定が得られるように土塊を排土する。	プレストレスを地山に与えてすべりを抑える。	抑止杭が変形してすべりを抑える。抑止杭より下方の法面はグラウンドアンカーですべりを、地山補強土で表層すべりを抑える。	幅広小段を設けて、すべり土塊を用地境界まで排土する。安全率が不足する分をグラウンドアンカーで補強する。
対策案の仕様	頭部を排土し、のり面勾配を1:1.2と緩くする。掘削総量 約30万m ³	アンカー：8本/断面@3.0m、L=42.5m n= 546本	深礎杭 φ5.0m@5.0m、L=36.5m 鋼管杭 φ1.0m@1.0m、L=39.0m アンカー：2本/断面@3.0m、L=13.5m 鉄筋挿入：D25@2.5m、L= 4.5m	アンカー：6本/断面@3.0m、L=26.5m n=279本 掘削総土量 約11万m ³
長短所	×既施工範囲もすべて排土になる。 ×残土処分量が大幅に増える。 ×用地買収が必要となる。 ×工期内に工事を完了できない。	○逆巻でグラウンドアンカーを施工するため地山のゆるみを抑えながら掘削できる。 △想定土塊を過小評価すると、アンカー力が足りず増しアンカーが必要となる。 ×グラウンドアンカー調達できるまで、工事がストップする。	○想定土塊が多少大きくても根入れがあれば抑止できる。 △抑止杭より下方の法面にすべり対策が必要となる。 ×工期内に工事を完了できない。	△既施工範囲を再掘削し、残土処分量が約11万m ³ 増える。 ○グラウンドアンカーを調達中に、土工を進めることができる。 ○工期内に工事を完了できる。
直工費※	2.0	1.2	26.0	1.0
工期	約1年	約8か月	約3.5年	約8か月
評価	×	△	×	○

※直工費は④排土工＋グラウンドアンカー案の工事費を1.0とした場合。

これらの原位置試験の結果を反映し、グラウンドアンカー工の仕様を決定した。地すべり対策の平面図と断面図を図-12、図-13 に示す。対策案の特徴は、左側のり面は将来2期線拡幅のために用地買収済みであったため、用地境界まで掘削範囲を広げて排土し、3段目に10mの幅広小段を設けて掘削勾配を1:1.2と緩く設定した。グラウンドアンカーは施工途中に発生した地すべり対策として、4段目と3段目の各1段にグラウンドアンカーを配置した。最終掘削時に発生する地すべりに対しては、1段目と2段目にグラウンドアンカー4段を配置した。

施工は掘削とグラウンドアンカーを交互に行いながら、最下段まで掘削を完了させた。

表-2 原位置試験の内容

試験項目	試験内容	ねらい	得られた結果
引抜試験	削孔径φ135mm アンカー-SFL-5 L=27m 定着長2m	アンカーの摩擦抵抗	極限周面摩擦抵抗 $\tau = 1.0\text{N/mm}^2$
平板載荷試験	地盤の平板載荷試験方法 (JGS1521)	受圧版の選定	地盤の長期許容支持力 240kN/m ²

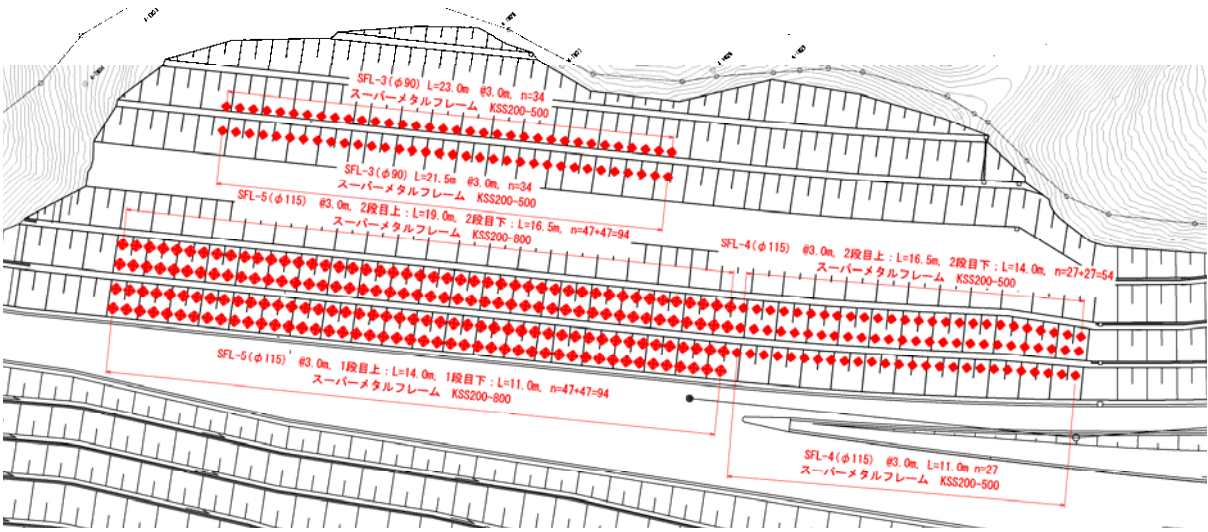


図-12 地すべり対策 平面図

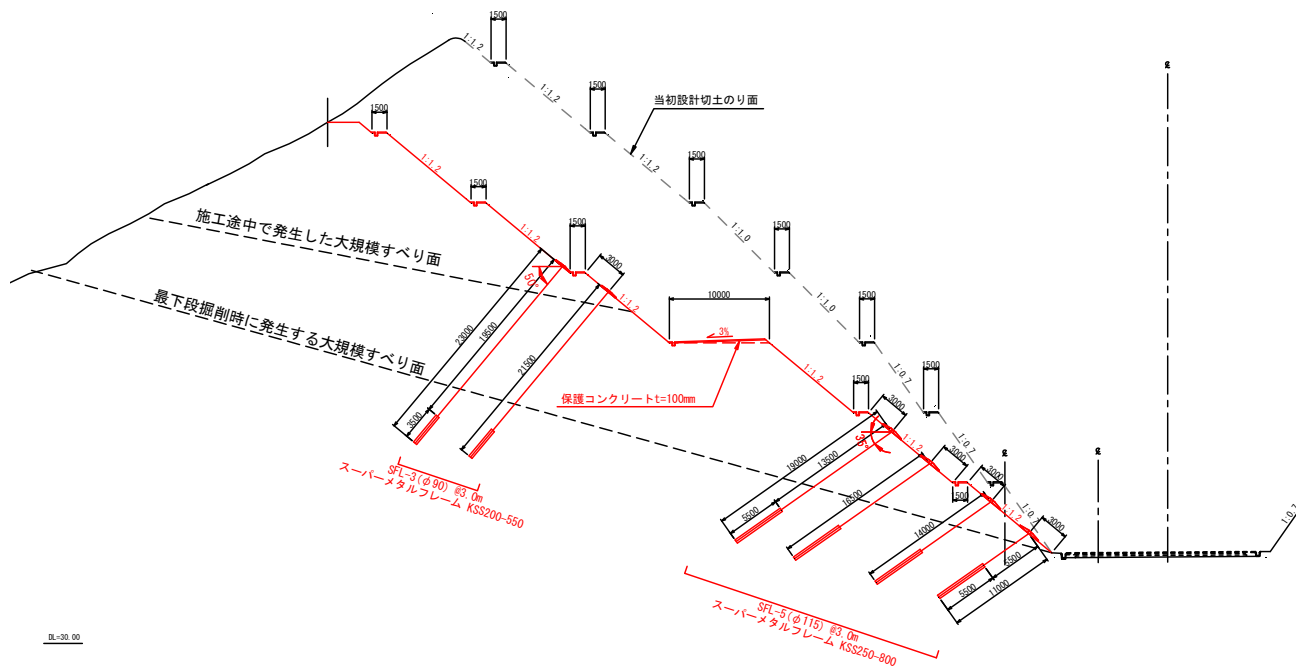


図-13 地すべり対策 標準横断面図

7. おわりに

今回、動態観測を実施したことで、施工途中に発生した地すべりの微細な兆候を察知し、地すべり対策の検討と実施ができ、安全に掘削することができた。動態観測の結果では、掘削完了後の変状の発生は観測されておらず、対策工が有効に機能していることが証明された。

謝辞：最後に、本地すべり対策の調査から設計、施工をするにあたり、多大なる指導・ご協力を頂いた紀南河川国道事務所ならびに関係者の皆様へ、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 株式会社クボタ：紀伊半島四万十帯の地質図, アーバンクボタ NO.38 SEPTEMBER 1999

道路管理情報システムの耐災害性向上とコスト縮減を考慮した設備更新について

吉川 賀庸

近畿地方整備局 企画部 情報通信技術課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44) .

近畿地方整備局が管理している道路には道路情報板システム、VICSシステム、トンネル防災システム等の道路利用者の安全に寄与するシステムが昼夜を問わず稼働している。

それらを取り纏めている道路管理情報システムが導入から16年を経過し、老朽化による更新を行うに際し、耐災害性向上とコスト縮減を考慮した設備更新を行っているので紹介する。

キーワード 耐災害性, コスト縮減, 拠点事務所集約方式, 老朽化

1. はじめに

道路上には、道路の現状を把握する為の各種情報収集設備（気象観測設備や交通量計測設備など）と道路利用者に規制状況などをお知らせするための情報提供設備（可変式道路情報板やVICSビーコンなど）があり、それらを一元的に取りまとめているのが道路管理情報システムである。近畿地方整備局では、従来、別々で運用していた情報収集設備と情報提供設備を一元化し、道路管理の効率化を図ることを目的とし、平成11年7月より道路管理情報システムを整備し、運用開始をしている。

道路管理情報システムは整備してから、16年を経過し、今後の保守部品の調達が困難になるなど、老朽化により、道路管理に支障をきたす恐れがあることからシステムの更新計画をしたものである。

本稿では、維持管理費が削減されるなか、道路管理情報システムの機能を維持するのに際し、耐災害性とコスト縮減を考慮した設備更新を現在実施しているので紹介する。

2. 従来の道路管理情報システムの概要

既存道路管理情報システムは、管内道路系各事務所に複数機能を有する機器を設置し、雨量情報等各種気象情報の収集、道路情報板等への情報提供及び工事施工に伴う規制情報等の提供を行うとともに、各種データを本局設備へ転送しており、事務所毎に独立した機能で運用してきた。（図1 現状の道路管理情報システム）

このため、本局設備又はネットワーク障害で孤立状態となった場合でも、事務所での道路管理業務が継続して行えた。

既存道路管理情報システム導入当時は本局と管内事務所を結んでいる通信回線が現在と比べて脆弱であった為、事務所毎に機能が発揮出来るシステム構築であった。

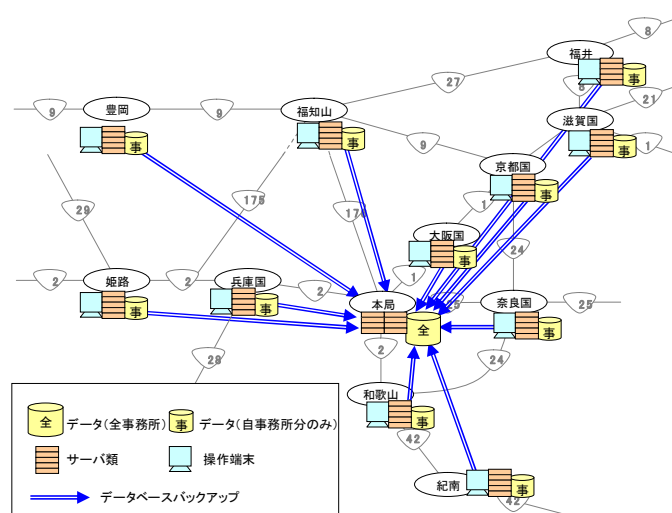


図1 現状の道路管理情報システム

3. 既存道路管理情報システムの問題点

既存道路管理情報システムは、導入後10年以上経過していることから、下記の3点について問題を解決する必要がある。

(1) 老朽化

ハードウェアが保守終息を迎え、故障発生時の迅速な復旧が担保できず、長期に渡り道路管理業務に支障を来す可能性が年々高まっている。

OSのメーカーサポートが終了し、バグの修正や機能更新が行われず、重大なセキュリティ上の問題が発生

してしまう恐れがある。

(2) 陳腐化

専用端末でないと操作できないので、利用できる端末、場所が限られる。

工事情報、規制情報等データ入力、チェックに人手が必要で、迅速性を確保出来ない。

(3) 複雑化

本局、事務所に設置されている機能や機器を逐次追加した結果、システムが複雑化している。

4. 道路管理情報システムの更新計画

道路管理情報システム改修に要求される機能、性能を安定的に提供させるためには、老朽化したハードウェアを更新することにした。

(1) 機器構成の整理

道路管理情報システムの配置計画案について以下の3案について検討した。

a)案1：事務所独立方式（図2 事務所独立方式）

現行と同様に事務所毎にデータベースをもち、事務所単位でも独立して動作可能とする。

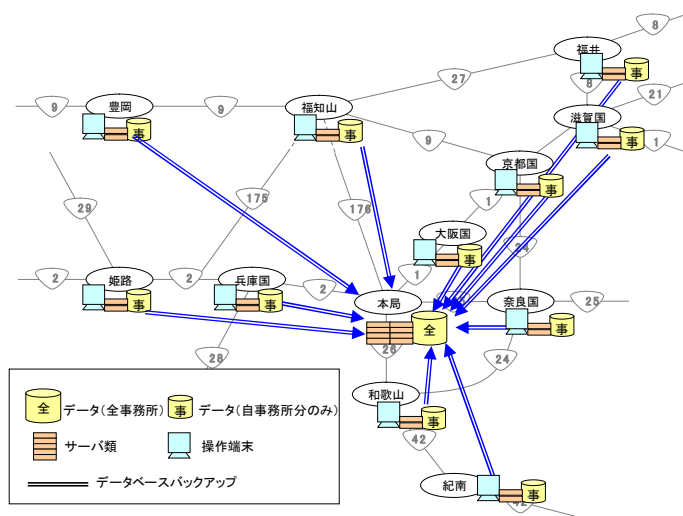


図2 事務所独立方式

b)案2：府県代表方式（図3 府県代表方式）

府県毎に代表事務所に府県全体のデータベースをもち、府県単位で独立した動作可能とする。府県代表事務所は本局からの位置関係から次のように設定した。

福井県：福井河川国道事務所（代表事務所）
滋賀県：滋賀国道事務所（代表事務所）
京都府：京都国道事務所（代表事務所）

福知山河川国道事務所

大阪府：大阪国道事務所（代表事務所）

兵庫県：兵庫国道事務所（代表事務所）

豊岡河川国道事務所

姫路河川国道事務所

奈良県：奈良国道事務所（代表事務所）

和歌山県：和歌山河川国道事務所（代表事務所）

紀南河川国道事務所

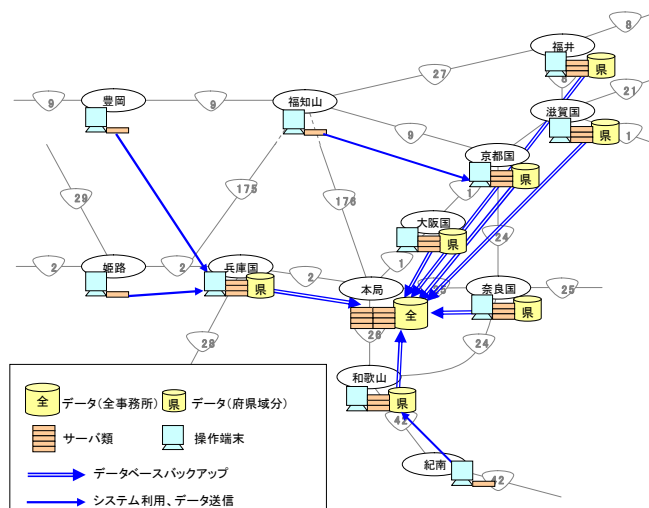


図3 府県代表方式

c)案3：拠点事務所集約方式（図4 拠点事務所集約方式）

2箇所の拠点に全データをもち、平常時は近傍の拠点を利用し、障害発生時は拠点間で補完しあう。

2つの拠点を地理的にも離すことで大規模地震時における拠点が機能不全になるリスクが低減される。

なお、一つの拠点到にサーバ機器を集中させる方式については、システム障害時の冗長性を確保することができず、システムの可用性が担保できないため、検討対象外とした。

2つの拠点については下記を選定した。

・第一拠点：本局

ネットワークがマイクロ網、光ケーブル回線が集中し、NEXCO等の情報交換やインターネット機能を有する本局を第一拠点とした。

・第2拠点：滋賀国道事務所

近畿地方整備局の電話交換機バックアップ拠点でもあり、災害時にも強いマイクロ網の主回線が通過し、かつ、全ての幹線系ネットワーク光ケーブルが通過する京都国道に隣接する滋賀国道が地理的にも本局と離れている為、耐災害性にも強いと判断して、本局と対になる拠点として選定した。

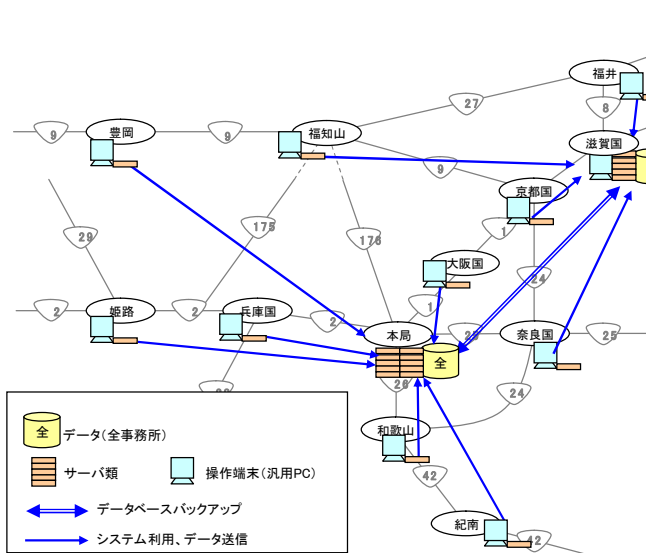


図4 拠点事務所集約方式

(2) 各案のメリットデメリットについて

a)案1 事務所独立方式

【メリット】

- ・災害発生時事務所の独立運用が可能

【デメリット】

- ・サーバ類の装置の数が多いため、保守費用が必要となり、故障率が高くなる。また、データベースライセンス費用やディスク交換費用が事務所の数だけ必要となる。

b)案2 府県代表方式

【メリット】

- ・県単位で集約するため、自治体や府県警との情報交換との親和性がよい

【デメリット】

- ・ネットワークに障害が出ると一部の事務所の業務に影響が出る。

c)案3 拠点事務所集約方式

【メリット】

- ・集中管理によるコスト削減が期待できる
- ・システム改修等のメンテナンス作業が簡素化出来る。(ソフトウェア改修等が2箇所済む)

【デメリット】

- ・ネットワークに障害が出ると業務に支障が出る。

(3) 配置計画案の比較、選定

ネットワークについては、マイクロ網と光ネットワークが一体化した統合網を整備が近年完了した為、信頼性が高く、拠点と事務所間の通信が災害時でも途絶するリスクが低い為、問題と判断した。

配置計画案の経済性、冗長性等を比較した結果、次の理由により、拠点事務所集約方式を採用した。

【経済性】

- ・ハードウェアの整備コストが最も安価である。
- ・主要な機器が削減され2拠点に集約されるため保守費用が低減する。

【冗長性】

- ・拠点で全事務所のデータを持ち合い、拠点で障害が発生した場合には、他の拠点サーバを利用することが出来る為、冗長性が確保されている。

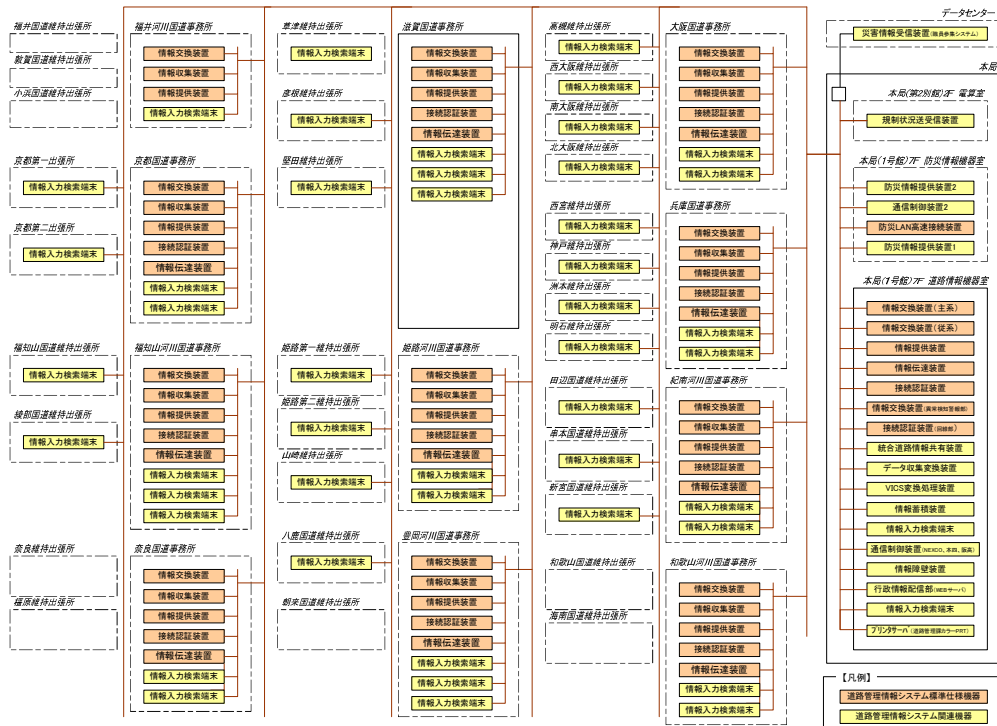


図5 従来の道路管理情報システム

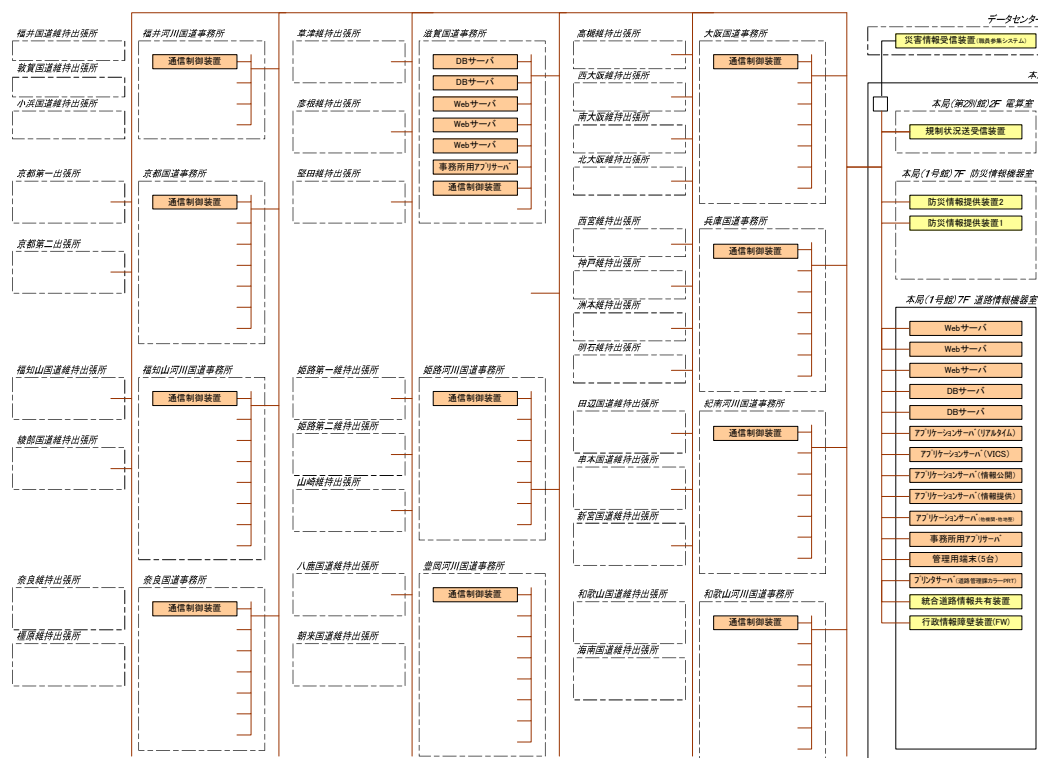


図6 新しい道路管理情報システム

5. 新しい道路管理情報システムのコスト削減について

(1) サーバ台数の削減

拠点を従来の12箇所（本局、事務所）から2箇所（本局、滋賀国道）に減らしたことでサーバ台数を従来の62台から30台の構成になった。

(2) ソフトウェアの共通化

各事務所個々にカスタマイズし、肥大化かつ複雑化していたソフトウェアを整理し、当面不要な機能は削減した。共通化に際し、近畿管内に46台あった情報入力検索端末を廃止し、行政端末からWeb画面で情報入力が行えるようになった。（図5 従来の道路管理情報システム）（図6 新しい道路管理情報システム）

(3) 伝送仕様の共通化

標準的な伝送仕様が定められておらず、トンネル毎に変換して、道路管理情報システムに取りこんでいた道路トンネル非常用設備の監視情報については標準仕様を新たに策定し、個々に通信処理ソフトウェアを改修することが無いように統一化を図った。今後、事務所にあるトンネル受信制御機更新時には新しい伝送仕様に対応することでコスト削減を図ることになった。

6. 新しい道路管理情報システムへの移行

平成26年度より、新しい道路管理情報システムに移行すべく整備を開始した。平成27年度末迄に全事務所移行完了予定である。初年度は滋賀国道事務所に中央側サーバを整備した。また、各事務所に通信用制御装置を整備した。

新しい道路管理情報システムと古い道路管理情報システムがスムーズに移行出来るように新旧データベース連携サーバにより同期し、相互にデータを共有することで、最小限の停止期間で切り替わるように工夫した。

初年度については京都国道事務所を整備し、現在新しい道路管理情報システムで運用している。

7. おわりに

コスト削減を意識しつつ、今後想定される地震等災害にも耐えられる様に拠点を分散し、非常時においても道路管理業務が継続出来るように構築を行った。実現出来た背景には局舎の耐震化、非常用電源の確保、通信網の信頼性向上があった為、実現出来たと認識している。

引き続き、拠点機能の構築を進め、残りの事務所についてもスムーズに移行出来るように調整を図っていきたい。

ニューマチックケーソン工法による 姉川ポンプ場建設工事

西村 峻介

滋賀県 北部流域下水道事務所 （〒522-0002 滋賀県彦根市松原町1550）

琵琶湖流域下水道木之本西幹線姉川ポンプ場は、長浜市（旧びわ町、湖北町、高月町）西部の処理区域から木之本西幹線により集水され、姉川を横断してきた汚水を揚送水するための中継ポンプ場である。2018年度の供用開始を目指し、2014年3月から建設工事に着手しており、地下部の鉄筋コンクリート構造物をニューマチックケーソン工法により施工した。

本稿は、姉川ポンプ場の設計概要及びニューマチックケーソン工法による地下構造物築造にあたっての精度管理、漏気対策等に関する技術的工夫について報告するものである。

キーワード 流域下水道，ポンプ場，ニューマチックケーソン工法

1. はじめに

東北部処理区は、琵琶湖流域下水道4処理区のなかで、湖南中部処理区に次ぐ規模をもち、彦根市、長浜市を中心とする東北部地域4市4町を対象とする処理区である。2014年3月31日現在、東近江市を除く3市4町で供用しており、下水道普及率は78.9%となっている。また、処理区域の拡大を図るべく、長浜市内、東近江市内で幹線管渠の延伸工事を行っている。

姉川ポンプ場は延伸工事を進めている木之本西幹線の終点（長浜市高月町字西柳野）から約7.9km下流の姉川左岸側に位置し、姉川を横断してくる下水を揚送水するための中継ポンプ場である。送水された下水は、木之本東幹線、長浜第一幹線を経て東北部浄化センターで高度処理された後、彦根旧港湾に放流される。

2018年度の木之本西幹線供用開始を目指し、2014年3月から姉川ポンプ場の建設工事に着手し、ニューマチックケーソン工法によりポンプ場地下構造物を施工した。

表-1 姉川ポンプ場の計画概要

位 置	長浜市川道町	
敷地面積	930 m ²	
全体計画	姉川ポンプ場	東北部処理区(参考)
処理区域面積	468.7 ha	13,994.3 ha
処理人口	8,350 人	344,890 人
日平均汚水量	3,057 m ³ /d	170,800 m ³ /d
日最大汚水量	3,855 m ³ /d	205,800 m ³ /d
時間最大汚水量	5,648 m ³ /d	320,647 m ³ /d

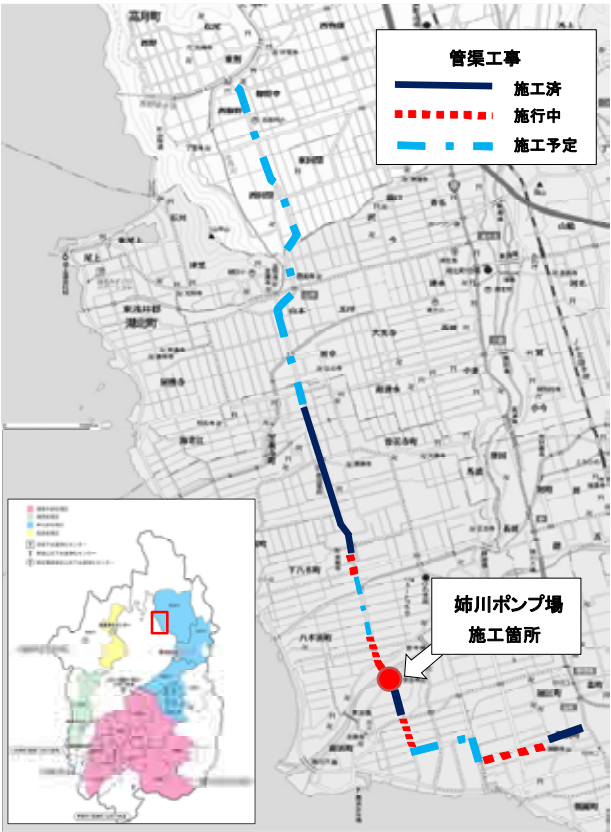


図-1 琵琶湖流域下水道木之本西幹線全体図

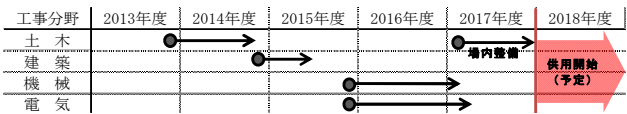


図-2 姉川ポンプ場施工スケジュール



図-3 姉川ポンプ場付近見取図

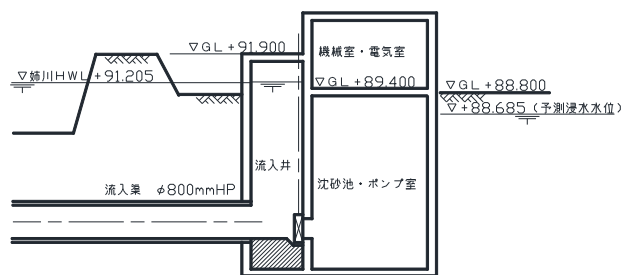


図-4 計画地盤高の決定

2. 姉川ポンプ場の設計概要

(1) 小規模ポンプ場としての設備設計

姉川ポンプ場は、計画流入量が約 $3.9\text{m}^3/\text{min}$ と小規模なポンプ場であることから、経済性、維持管理性、危機管理性等を十分考慮した上で、極力、施設・設備の簡素化を図ったコンパクト型ポンプ場として計画・設計を行った。簡素化の例は、以下のとおりである。

- ・カーブ推進工法によって直接流入井に推進管を接続することとし、流入人孔を省略した。
- ・流入井にインバートを設置し流速を上げ、水路に傾斜をつけて土砂が堆積しにくい構造とすることで、従来設置されている沈砂池、砂だまりを省略し、土木構造物を小さくした。
- ・一般的に流入時にスクリーンで除去された夾雑物などのし渣は、回収され場外搬出されるが、除去・回収に加え破碎する除塵設備仕様とし、破碎したし渣を水路に戻し下流へ圧送することで場外搬出を不要とした。

一方、小規模ポンプ場であれば省略可能とされる流入部の緊急遮断ゲートについては、河川管理者との協議により、堤外地からの河川水流入など不測の事態に備え設置することとした。

(2) 計画地盤高の検討

ポンプ場は、基幹施設として位置づけられる重要な施設であることから、周辺地域が浸水した場合においてもその機能が停止されることは避けなければならない。そのため、姉川ポンプ場の計画地盤高は、姉川・高時川の浸水想定区域図の浸水予測値に対して10cm程度の余裕をもたすこととした。また、周辺地盤高から違和感がないこと、掘削量、盛土量のバランスが取れることを考慮し、計画地盤高をTP+88.80mとした。

姉川HWLと計画地盤高の関係は、図-4に示すとおり、 $\text{姉川HWL} = \text{TP}+91.205\text{m} > \text{計画地盤高} = \text{TP}+88.800$ であることから、堤内地への河川水流出防止対策として、流入井スラブ天端高をTP+91.900mとした。

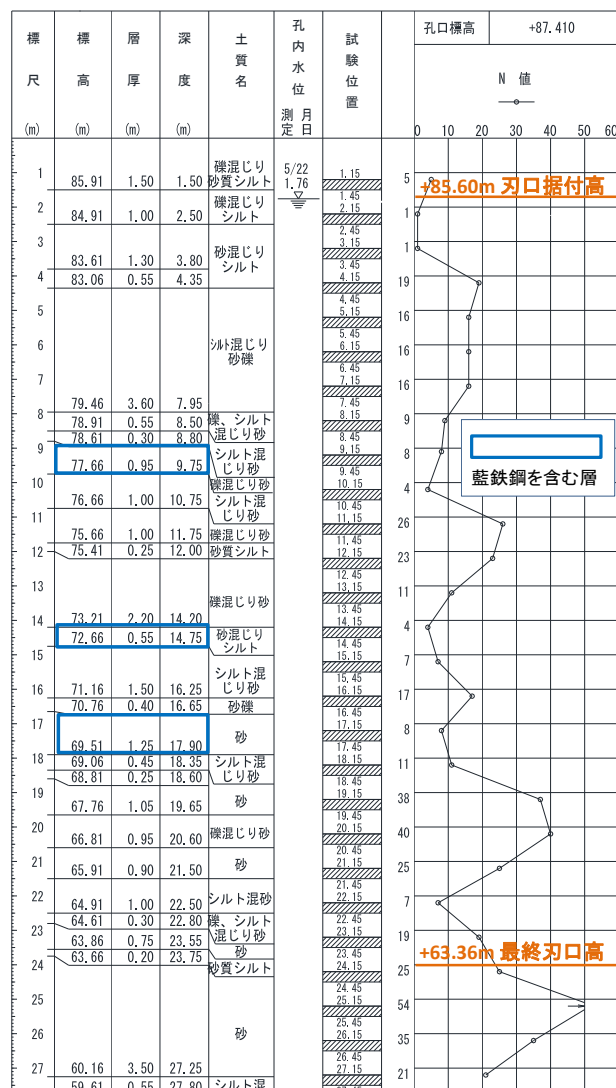


図-5 施工箇所のボーリング柱状図

(3) 土質条件

施工箇所の基礎地盤土質は、図-5に示すとおり、層厚の薄い礫・砂・シルトの互層であり、全体としてゆるい土層で構成されている。また、一部に藍鉄鋼を含む層が確認されている。

地下水位はTP+85.49～TP+85.65と地盤面から-1.8m付近で安定して存在している。

(4)施工方法の検討

姉川ポンプ場の地下構造物築造にあたっては、掘削深さが20m以上であること、敷地北側境界が姉川左岸堤防と隣接していること、土質の主体が砂質土でゆるい状態にあることなどの設計条件を考慮し、施工方法を土留開削工法（SMW壁＋底板改良）、圧入オープンケーソン工法、ニューマチックケーソン工法に絞り込み構造的、施工性、環境影響、経済性、工期などを比較検討した。

その結果、地上部で構造物が構築できることから施工性、品質確保に優れること、剛性の大きい本体構造物が土留め壁を兼ねるため掘削に伴う変位の影響が少ないこと、掘削に伴う排水が発生せず環境性に優れること、内部構築と沈設が併行でき工期短縮が可能であることなどからニューマチックケーソン工法が総合評価として最も優位であった。

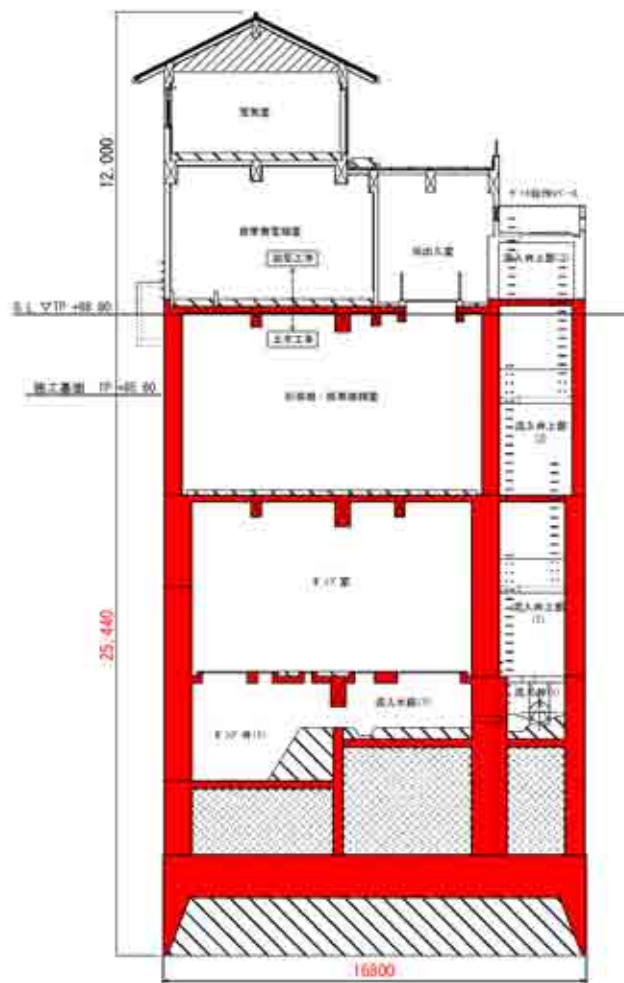


図-6 姉川ポンプ場構造図

3. 土木工事の概要

工事名 平成25年度 第11号 琵琶湖流域下水道東北部
木之本西幹線姉川ポンプ場建設工事

工期 2014年3月25日～2015年9月15日

請負人 大豊・大山建設工事共同企業体

主たる工事内容

・ポンプ場築造工（図-6）

地下2階＋水路部（25.44m）、地上2階（12.00m）

掘削土量 4,550m³、コンクリート工 2,336m³

・ケーソン設備工 1式（図-7）

掘削面積 188.7m²（概ね長辺 16.7m 短辺 11.8m）

沈下深さ 22.24m、最大作業気圧 0.22MPa

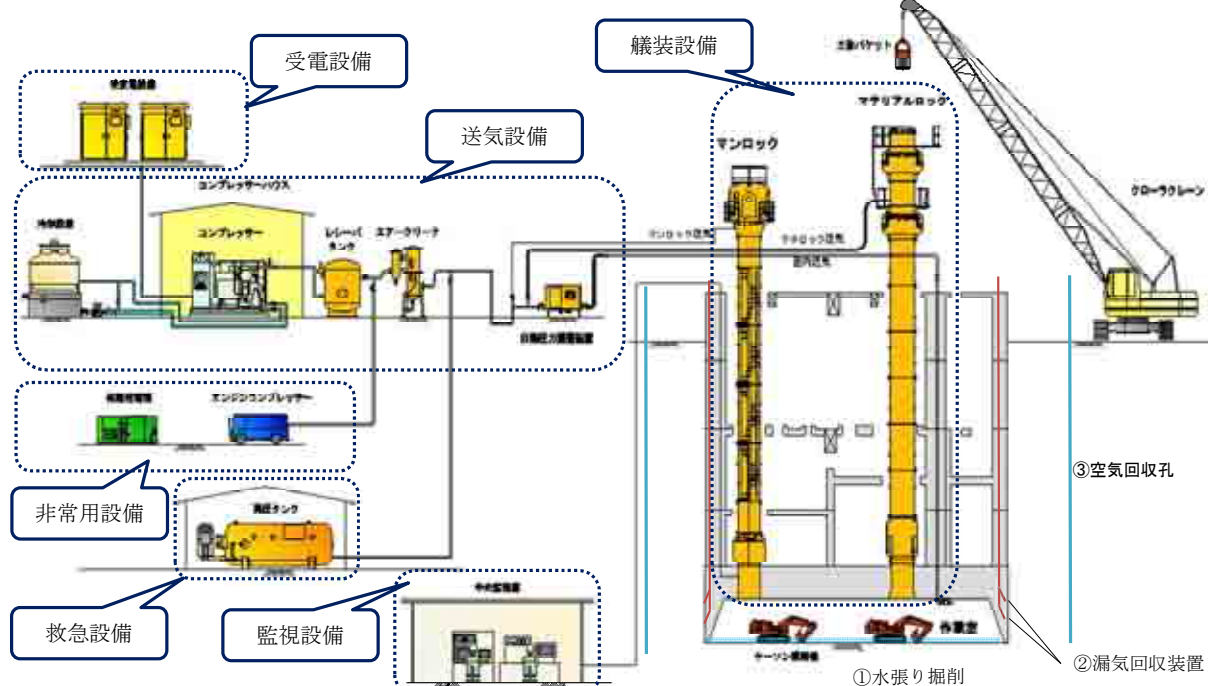


図-7 ニューマチックケーソン設備

(1)ニューマチックケーソン工法の概要

本工法は、ケーソン本体の下部に気密性の作業室を設け、空気圧により湧水を防ぎながら掘削作業を行い、地上で構築した構造物を所定の深さまで沈下させていく工法である。

沈下掘削に必要な設備としては、人の出入りを行うマンロックや資材等の搬出入を行うマテリアルロックなどの艀装設備、コンプレッサーやエアクリーナーなどの送気設備、発動発電機やエンジンコンプレッサーなどの非常用設備、ホスピタルロックなどの救急設備などがあり、各設備の機器制御、函内圧力の管理、沈下・傾斜のデータ蓄積などは、中央監視室(写真-1)で行われる。

本工事では、高さ2,940mm～4,200mmの範囲で土木躯体を7ロットに分割し、地上部での構築、函内掘削による沈設を繰返し行う。沈下完了後は、ケーソンショベルを解体し、地耐力試験を行い、作業室内に中埋めコンクリートを打設する。その後、作業室への送気を停止し、艀装設備を解体、開口部のコンクリート打設をして地下構造物の完成となる。

施工中は、地層の変化や土質の不均一に伴う躯体の急激な沈下や傾斜の抑制、過圧気に伴う漏気がないようケーソンの精度管理、漏気対策を行う必要がある。中央監視室では、リアルタイムで傾斜状況や沈下量の監視、圧力制御を行っており、函内作業者とコミュニケーションをとりながら蓄積したデータと現場状況を踏まえた施工管理を行っている。

以下、(2)、(3)では、本工事で実施しているケーソンの精度管理及び漏気対策について記載する。

(2)ケーソンの精度管理

ケーソン沈設の初期段階は、側方の地盤反力が乏しいため傾斜しやすく、また刃口据付けのため改良した地盤から砂混りシルト層へ移行した際に急激な沈下が発生する可能性があるため、ガイド杭+ガイドローラーを設置し傾斜の抑制を図った。また、ケーソン掘削の1回あたりの沈下量は一般的に40cm程度であるが、本工事の初期

段階は20cm以内に低減し、こまめな傾斜や変位の修正を行うことで傾斜や偏心の抑制を図った。その結果、最も傾斜が発生しやすい初期段階での瞬間最大傾斜は120mmに抑制され、精度の高い沈設が可能となった。

また、常時、刃口先端部4か所に設置した地盤反力計により傾斜傾向を監視し、傾斜が発生した際は、必要に応じて刃口に着脱式の付刃口を使用することで沈設時の傾斜修正・抑制を図ることとしていたが、付刃口が必要となる傾斜は発生しなかった。

(3)漏気対策

ニューマチックケーソン工法の施工において、最も警戒すべき事項の一つが函内作業室に過剰な圧縮空気を送ることによって発生する刃口からの漏気(エアブロー)がある。

漏気は、周辺井戸への漏出や地盤の乱れ・沈下、既設構造物や隣接工事への影響などを引き起こす恐れがある。さらに、2.(3)土質条件で述べたとおり、姉川ポンプ場施工箇所である姉川河口部の地層には、藍鉄鉱を含む層が確認されており、この藍鉄鉱が空気にさらされることで酸化し、酸欠空気となる。万が一、漏気し酸欠空気が周辺井戸に放出、滞留した場合は、重大事故に直結する可能性があるため、本工事では、リアルタイム監視制御による徹底した函内圧力管理に加え、3つの漏気対策をとり安全性の向上を図ることとした。

- ①掘削中の作業室内は水を張った状態とする。(写真-2)
- ②躯体全周に2段の漏気回収装置を設置する。(写真-3)
- ③躯体周辺にブローホールを8か所設置し、常時、酸素濃度を測定する。(写真-4)

また、酸素欠乏症等防止規則第24条第1項に定められる井戸調査については、図-8に示す圧気部分の周辺1km以内のある全戸を対象に井戸分布調査(669箇所)を行い、測定可能な井戸(94箇所)の酸素濃度測定を実施した。施工前、施工中、施工後(断気後)に測定した結果、全ての井戸で酸素濃度低下等の異常はなかった。



写真-1 中央監視室の状況



図-8 井戸調査範囲



写真-2 作業室内水張り掘削の状況



写真-3 漏気回収装置の設置状況



写真-4 ブローホールの設置状況

5.まとめ

姉川ポンプ場の設計概要およびニューマチックケーソン工法による施工概要のまとめは以下のとおりである。

- ・施設・設備を極力省略したコンパクト型ポンプ場として計画・設計を行った。
- ・ポンプ場は重要な基幹施設であるため、周辺地域が浸水した場合でも揚送水機能が確保できるように計画地盤高を設定した。
- ・地下構造物築造の施工方法は、施工性、品質確保に優れること、周辺環境への影響が抑制できること、工期が短いことなどからニューマチックケーソン工法を採用した。
- ・傾斜が発生しやすい初期掘削時には、ガイドローラー等の傾斜対策設備を備えるとともに、沈下掘削時にケーソン状態をこまめに修正することで大きな傾斜・変位は発生しなかった。
- ・漏気については、藍鉄鋼を含む地層があることから、徹底した圧力管理に加え、水張り掘削の実施、漏気回収装置、ブローホールの設置により対策を行った。
- ・酸欠空気が漏出する可能性があるため、周辺1km以内全戸を対象に井戸分布調査を行い、可能な井戸については酸素濃度測定を行った結果、酸素濃度の低下等は確認されなかった。

2015年1月8日に、ニューマチックケーソン工法により地下部25.4mまで沈設が完了し、その後、地耐力試験、中埋めコンクリートの打設後、1月19日に断気し、ニューマチックケーソン工法は完了した。幸い本体工事は、着工から大きな事故、トラブルもなく順調に進み、現在は、上屋の建築工事を進めているところである。

今後も、円滑かつ安全に工事を進め、土木・建築工事を完工し、2018年度の供用開始に向け、別途発注する機械・電気設備工事に引き継いでいけるよう努めていきたい。



図-9 姉川ポンプ場完成予想パース

近畿自動車道紀勢線における切土法面の特徴と考察

出崎 太朗¹・大森 功一²

¹近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 工務第二課 (〒646-0003 和歌山県田辺市中万呂142)

²近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 工務第二課 (〒646-0003 和歌山県田辺市中万呂142)

現在事業を進めている近畿自動車道紀勢線の紀勢自動車道は、切土法面の複数の箇所において施工途中に変状が確認され、対策工を施した。変状の形態としては大きく分けて二つあり、「表層崩壊に繋がる変状」と「大規模崩壊・地すべり性崩壊に繋がる変状」に分類される。これらは、この地域の地質特性が原因であるが、事前に予測することが難しい。本稿は、変状の特徴と考察、そして大規模な崩壊を起こさないために行った、施工途中における対策事例について報告する。

キーワード 切土法面、スレーキング、流れ盤、法面对策

1. はじめに

近畿自動車道紀勢線は、大阪府松原市を起点に、三重県多気郡多気町に至る延長約340 kmの国土開発幹線自動車道であり、このうち、和歌山県田辺市稲成町稲成から和歌山県西牟婁郡すさみ町江住の紀勢自動車道、約38 kmについては、2015わかやま国体開催にあわせた開通を目指し事業を進めている。

現在、事業は佳境を迎えているが、施工途中において複数の切土法面箇所に変状が確認され、対策工を施したことから、その変状の特徴と考察を述べる。

また、大規模な崩壊を起こさないために行った、施工途中における対策事例を報告する。



図-1 事業位置図

約 38 kmに及ぶ紀勢自動車道は、トンネル 5 割、橋梁 2 割、改良（切土・盛土）3 割で構成されている。このうち切土法面は 147 箇所あり、小段数は 1 段から最大 13 段と様々である。また、切土勾配については、事前の地質調査結果に基づき、土砂・軟岩Ⅰは 1:1.2、軟岩Ⅱは 1:1.0、中硬岩は 1:0.7 で設計されている。

今回、15 箇所の切土法面において施工途中に変状が確認され、各々対策工を施した。図-2 はこの地域の地質図に変状箇所を示した図である。今回の変状は新生代第三期始新生から中新世に形成された「牟婁層群」と新生代第三紀中新世に形成された「田辺層群」において発生していることが分かる。

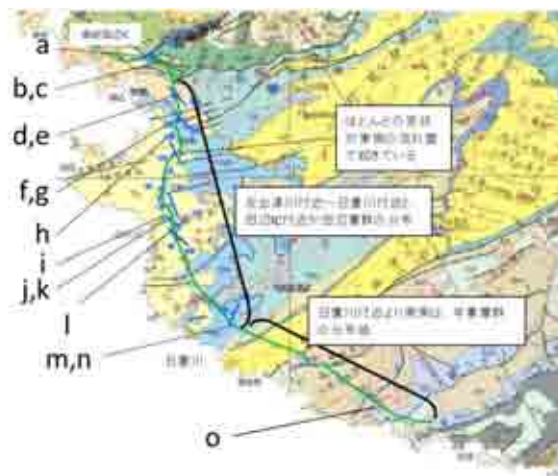


図-2 地質図と切土法面変状箇所

2. 施工途中における切土法面の変状

(1) 変状箇所と地質構造

(2) 変状の形態

今回発生した変状の形態を道路土工一切土工・斜面安定工指針「切土のり面の崩壊及び斜面崩壊の発生形態」を参考に分類すると、主に以下の2分類となる。

- ・「表層崩壊に繋がる変状」・・・岩の表層が風化等に伴って滑落する
- ・「大規模崩壊・地すべり性崩壊に繋がる変状」・・・流れ盤や断層・破碎帯等の地質構造を有する岩体が大規模に滑落する．岩盤崩壊タイプの一つ

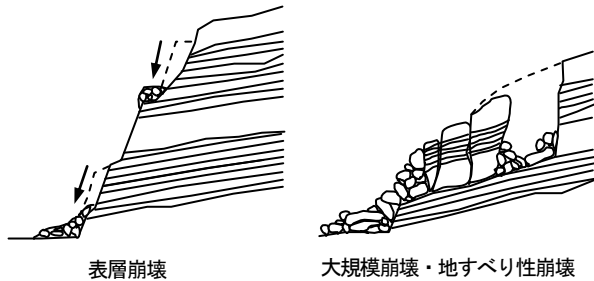


図-3 崩壊のイメージ

以下に、今回発生した変状の具体的事例を挙げ、各々の発生原因を示す。

a) 表層崩壊

写真-1 は表層崩壊の兆候を示した法面で、変動により小段下に隙間が空いているのが分かる。

前述のとおり、当該地区の地質は、砂岩泥岩の混合層である「牟婁層群」、もしくは砂岩・泥岩の互層である「田辺層群」で泥岩が主体となっている。この泥岩はスレーキングによる強度低下が激しく、特に切土によって乾燥・湿潤の繰り返しを受ける状況になると、短期間で細粒化してボロボロとなるのが特徴である。

写真-2 は、切土法面の法尻に、スレーキングした泥岩が堆積した状況である。掘削から間もない状況で、すでに風化している状況が分かる。

今回発生した変状は、表面の薄層が前下面にすべり出すような崩壊モードを呈しており、表層土塊のスレーキングに伴う強度低下が原因である。図-4 に表層崩壊に繋がる変状のイメージを示す。



写真-1 表層すべりの兆候（小段下の隙間）



写真-2 スレーキングにより法尻に堆積した土砂

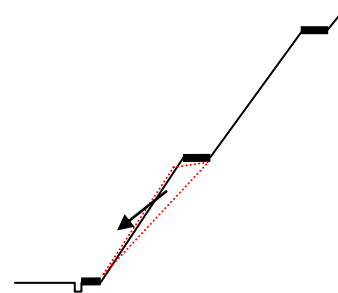


図-4 表層崩壊に繋がる変状のイメージ

b) 大規模崩壊・地すべり性崩壊

写真-3 は大規模崩壊の兆候を示した切土法面で、破線囲みがその範囲である。この切土法面は、設計において流れ盤であることは確認していたが、傾斜角が 16° と緩いため、道路土工一切土工・斜面安定工指針に基づき崩壊する流れ盤には該当しないと判断をしていた。今回再調査を行っても、 20° 前後とほぼ変わりのない傾斜角であったが法尻付近に破碎帯や湧水があり、この面をすべり面として兆候を示したと考えられる。



写真-3 変状を示した切土法面

写真-4 は、この法面の法尻付近を撮影した写真であるが、灰色に変色した箇所が破碎された断層で、そこには粘土を含んでいることも確認できた。また、黒い箇所

は湧水で、すべり面となる箇所に染みだしていることが分かる。

また、写真-5 は当該法面的一部分であるが、崩壊の分離面となりやすい、 70° ～ 90° の高角度節理が発達しており、これも変状の誘因となっている。



写真-4 すべり面の破碎帯と湧水



写真-5 高角度節理

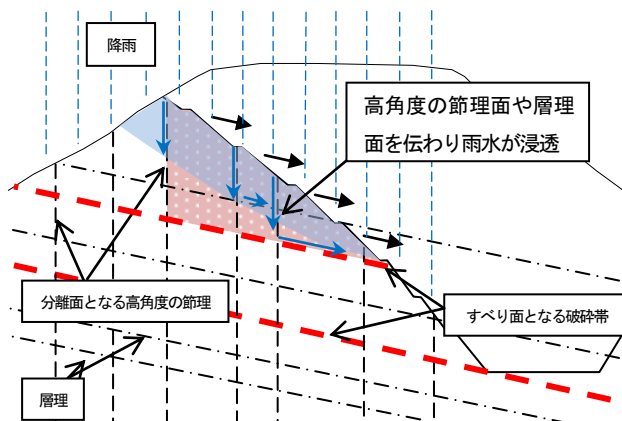


図-5 大規模崩壊に繋がる変状のイメージ

今回、紀勢自動車道の施工途中に発生した、大規模崩壊に繋がる変状は、1 箇所を除きすべてが流れ盤側の切土法面で発生している。

また、いずれの法面もすべり面となる層理面に軟弱化した粘土層もしくは破碎帯があり、湧水も確認されている。そして、滑動の分離面となる高角度の節理がいずれの法面も発達しているのが特徴である。

今回の大規模崩壊の兆候は、これら複数の誘因が原因となり発生している。図-5 に、大規模崩壊変状のイメージを示す。

3. 施工中における対策事例

今回切土法面で発生した変状は、事前の地質調査のみから判断することは難しい。

例えば、スレーキングによる表層崩壊に関しては、一つの切土法面でも、数十メートル先ではスレーキング率や土壌硬度が異なるため、事前の調査ボーリング箇所のみで、該当の切土法面がスレーキングによる表層崩壊を起こすか否かを判断できないからである。

大規模崩壊については、前述したとおり、設計において流れ盤であることは確認していたが、事前のボーリング調査だけでは、層理面や節理面の亀裂の方向や角度までは確認できないため、切土勾配等の見直しを行っていない。

しかし、設計通りに施工を進め、大規模な崩壊が起きてしまうと、費用や工程への影響は大きなものになってしまう。

以下に、大規模な崩壊を起こさないために行った施工途中における対策事例を示す。

(1) スレーキング率試験

明確な表層崩壊の対策範囲は設計段階では判断できないが、スレーキングの可能性の有無については、周辺の崩壊跡等から予測することができる。スレーキングの可能性のある切土法面については、掘削後すみやかにスレーキング率試験を行い、対策工の必要性を判断した。

(2) 法面観察（スケッチ）と動態観測

図-6 は、大規模崩壊の兆候を示した切土法面の一つである。当該箇所は、図-7 のように常に法面観察（スケッチ）を行いながら施工を進めており、断層や節理・層理の特徴を把握しながら、法面全体の状況を予測し施工を進めた。そして、法面全体に及ぶ大規模崩壊も考えられることから、法面全体の小段に 20m ピッチでターゲットを設置し、トータルステーションにより自動計測を行って管理を実施した。図-8 は動態観測のグラフである。結果、数ミリ単位の変状をすみやかに把握し、対策工を施したことにより、大規模な崩壊を出さずに、最小減の対策工で施工を進めることができた。



図-6 表層すべりの兆候

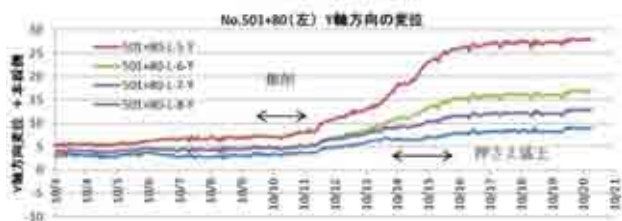


図-8 動態観測

4. おわりに

約 38km の区間で、15 箇所及び切土法面の変状が確認された。これは、この地域の地盤特性に起因することが大きいと考える。しかし、事前の地質調査のみでは、切土後の法面の安定性を完全に把握することは難しい。

紀勢自動車道では、施工業者間で情報を共有しながら、施工を行い、前述したような試験や法面観察（スケッチ）・動態観測等を行うことによって、大規模な崩壊を防ぐことできた。

今後事業展開される、すさみ串本道路やこの地域で行われる切土法面工事では、今回の事象や取り組みを参考に設計や施工計画を立案することが重要と考える。

謝辞：執筆にあたって、ご指導・ご協力頂いた関係者の皆様に感謝申し上げます。本論文が、これからの事業の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：道路土工一切土工・斜面安定工指

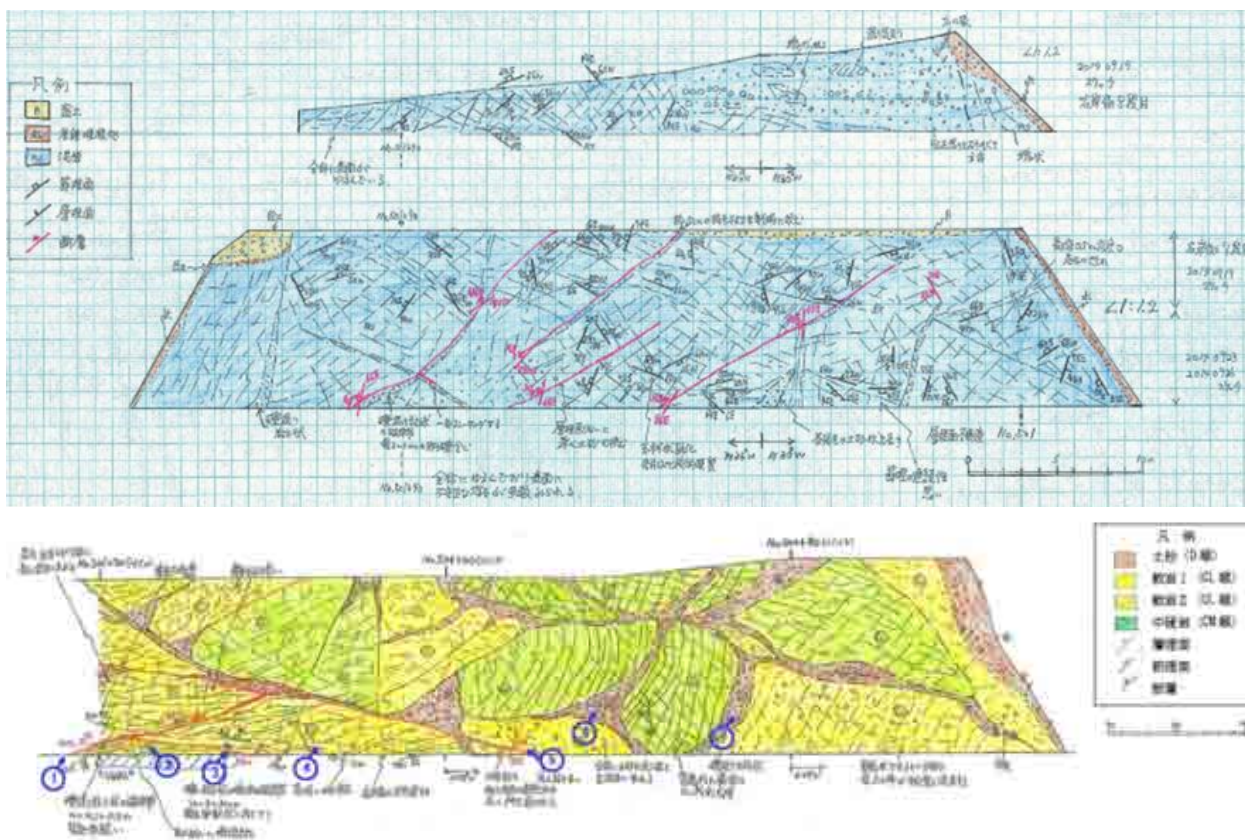


図-7 法面観察

浜坂道路事業における総合評価の取組みについて ～より高品質な土木構造物の構築を目指して～

芝本 芳生

兵庫県 但馬県民局 新温泉土木事務所 浜坂道路第2課 (〒669-6701兵庫県新温泉町芦屋522-4)

「総合評価落札方式」は、品質を高めるための新しい技術やノウハウなど、価格に加えて価格以外の要素を含めて総合的に評価する落札方式であり、発注者としては技術提案で技術力を評価し、優れた品質を確保出来るメリットがある一方、入札に要する期間が長いことや技術審査に多くの時間と労力を要するなどのデメリットもあり、積極的な採用には至っていない。

総延長の約7割がトンネルや橋梁などの重要構造物で占められる山陰近畿自動車道「浜坂道路」において、より高品質な土木構造物の構築を目指し、2010～2013年にかけて発注した工事のうち約半数以上で採用した総合評価落札方式（簡易型）における取組みについて報告する。

キーワード 総合評価、品質、技術提案、重要構造物

1. 浜坂道路の概要

(1) 道路の重要性

一般国道178号浜坂道路は、日本海側唯一の「高速交通空白地帯」の解消を目的とした山陰近畿自動車道の一部区間である。この道路は国道178号のバイパスとして災害時、積雪時の安全な交通を確保するだけでなく、地域の産業、山陰海岸ジオパークや温泉等の豊かな資源を活かした観光・交流の促進が期待されるなど、但馬地域の産業、経済、観光、社会、文化、生活を支える大動脈として非常に重要な道路である。

(2) 道路の構造別比率

浜坂道路は山岳地帯を通過する道路であることから、トンネル9本、橋梁7橋が計画されている。それぞれの構

表-1 計画概要

◇事業名：一般国道178号 浜坂道路 (山陰近畿自動車道)
◇延長：約9.8km
◇道路区分：第1種第3級（自動車専用道路）
◇車線数：2車線
◇設計速度：80km/h
◇総事業費：約370億円



図-1 位置図

造物延長の内訳を表-2、表-3に示す。これらの合計は総延長9.8kmの約7割を占めており、重要構造物の占める割合が非常に高い計画となっている。

(3) 工事の発注状況

こうした計画の中、浜坂道路では2010～2013年にかけて48件の工事を発注した。図-2のように工種別で見ると橋梁や函渠といったコンクリート構造物が約半数を占めている。重要構造物を主体とした発注となることから、入札形式では図-3のように総合評価落札方式が約7割を占めており、中でも橋梁下部や函渠工事等で採用している簡易型（Ⅱ）が最も多くなっている。また、トンネル工事や橋梁上部工事の一部が総合評価（標準型）での発注となっている。

(2) 入札手続、技術審査

総合評価落札方式（簡易型）における入札手続きのフローを図-4に示す。技術提案の内容の審査等に日数を要することから、入札公告から契約締結までの期間は標準で約70日と、制限付き一般競争入札（5,000万円以上）の約40日に比べて約1ヶ月長くなる。また、入札公告前

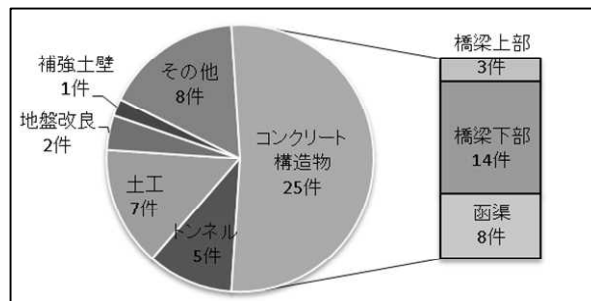


図-2 主要工種別発注件数

2. 総合評価落札方式（簡易型）

(1) 概要

総合評価落札方式は価格に加えて価格以外の要素（品質を高めるための新しい技術やノウハウなど）を含めて総合的に評価する落札方式である。この方式は価格と品質の両方を評価することにより、総合的に優れた調達が可能となる。簡易型では表-4に示す工事が対象となり、求める技術提案は工事内容を考慮して表-5の4項目のうちから1～2項目を発注者が選択し、評価することになる。

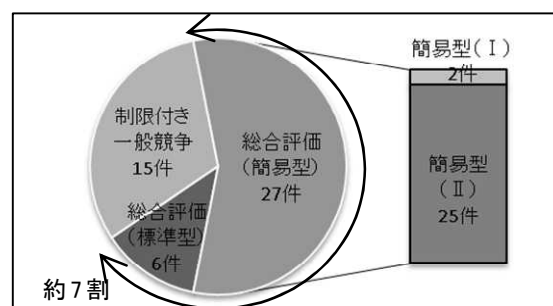


図-3 入札形式内訳

表-4 総合評価落札方式（簡易型）の対象工事

- ・契約金額 7 千万以上の土木工事のうち、重要構造物に関する工事又は施工上の配慮が特に必要な工事
- ・その他総合評価落札方式（簡易型）により入札を行うことが適当であると認める工事

表-5 技術提案項目

- 【発注者が指定した施工上の課題】
- 【施工上配慮すべき事項】
- 【工程管理】
- 【品質の確認方法、管理方法】

表-2 トンネル延長

	名称	延長(m)
1	余部トンネル	1,255
2	新桃観トンネル	2,546
3	久谷第1トンネル	859
4	久谷第2トンネル	197
5	対田第1トンネル	144
6	対田第2トンネル	78
7	対田第3トンネル	289
8	二日市トンネル	109
9	大庭トンネル	749
	合計	6,226

表-3 橋梁延長

	名称	延長(m)
1	アセビ橋(余部IC)	24.2
2	桃観大橋	108
3	瀬間大橋	90
4	久斗大橋	160
5	要ヶ池大橋	40
6	長谷橋	94
7	大庭大橋	193
	本線部 合計	709
8	タキ川橋(余部IC Eランプ)	23.1

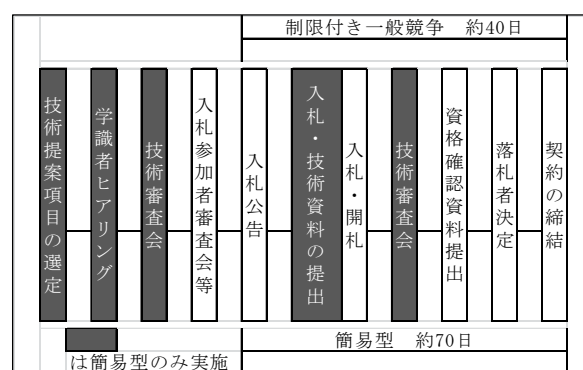


図-4 入札手続きのフロー

には、総合評価項目に関する学識経験者への意見聴取や事務所内での技術審査会が必要となるため、これらの準備を設計書作成と並行あるいは前もって行わなければならない。

開札後の技術審査における1工事あたりの平均審査業者数は、図-5に示すとおり浜坂道路では10.6社である。1つの技術提案項目に対し3提案まで可能なため、1工事あたり約30提案以上を審査しなければならない。多い時には倍の約60提案に上ることもあり、審査の作業のみならず、資料の整理に多くの時間と労力を要することとなる。

3. 浜坂道路での取組み

総合評価落札方式（簡易型）では入札手続きから審査作業まで多くの時間と労力を要するが、浜坂道路では「より高品質な土木構造物の構築」を目指し、以下の取組みを行い、積極的に総合評価を採用した。

(1) 取組み（その1）

～求める技術提案項目を“品質”に特化～

技術提案は、表-5に示すとおり4項目から1～2項目を選択できるが、土木構造物の長寿命化が求められている中、新設の構造物については長期耐久性の確保を目的として、技術提案は「品質の確認方法、管理方法」の項目に特化して求めることとした。また、現場条件が特異な場合（施工箇所付近に近接して貴重種が確認されている現場条件等）については、別途「発注者が指定した施工上の課題」も提案項目として求めた。

しかし、数多くの技術審査を実施していく中で、表-6に示す問題が生じてきた。求める技術提案項目を品質に絞ったものの、項目自体が漠然としていることが「技術提案を審査する発注者側」及び「技術提案を行う施工者側」にとって一番の問題点であると分かった。

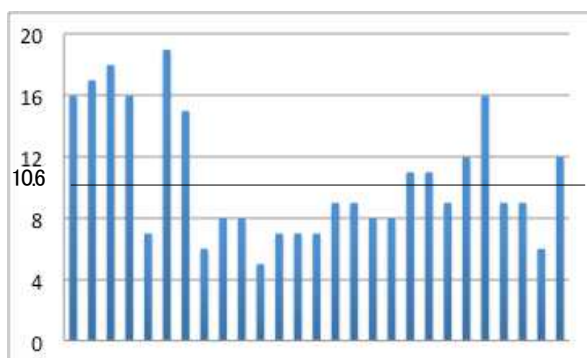


図-5 浜坂道路での審査業者数（簡易型）

(2) 取組み（その2）

～求める技術提案項目を具体的に提示

“ヒントを追加”～

上述の技術審査での問題点を踏まえ、あらかじめ求めたい提案内容を想定した上で、施工者がその提案を出しやすくするため、具体的にどのような提案を求めるのかというヒントを入札説明書上に追記することとした。ヒントは以下のフローで設定した。

- 1) 維持管理で困っている問題点や、工事を進めるに当たり最も施工や管理が難しい箇所等の施工上のポイント把握。
- 2) 1)のポイントに対してどのように施工・管理していくのかを考え、あらかじめ想定される提案、評価していく基準を考慮。
- 3) 施工業者から2)の提案がなされやすいようなヒントを設定（発注者がどのような点に提案を求めているのかをわかるように明記）。

設定したヒントを追記した入札説明書の記載例を表-7に示す。求める技術提案を入札説明書に具体的に明記することにより、漠然としていた提案項目からの絞込みができた。また、上記フローにてあらかじめ評価基準を考慮しておくことで、技術審査の際にも評価を整理しやすくなった。

(3) 取組み（その3）

～総合評価落札方式（簡易型）の積極的な採用

“重要構造物以外でも実施”～

表4に示すとおり重要構造物に関する工事は、必ず総合評価（簡易型）にて入札しなければならないが、①施工上の配慮が特に必要な工事及び②その他総合評価落札方式（簡易型）により入札を行うことが適当であると認める工事は「できる」規程である。入札手続きや審査作業にかかる時間や労力を考えると、二の足を踏むところ

表-6 技術審査での問題点

発注者	実施してほしい提案内容が出てこない
	提案内容がバラバラで評価基準を設定しにくい 評価に時間を要する
施工者	提案項目が漠然としすぎて、提案内容を絞りにくい
	どのような提案が評価されているかわからない

表-7 入札説明書の記載例

2連函渠工事の場合	
【従前】	躯体コンクリートの品質確認方法 及び管理方法に関する提案
【今回】	躯体コンクリートの品質確認方法 及び管理方法に関する提案 なお、下記の①②の項目については それぞれ1提案以上とする。 ① 2連函渠の中壁における施工管理方法 ② 躯体コンクリートの養生方法

であるが、「浜坂道路」という一連の基盤をより一定の高品質な構造物で構築するため、今回はこの「できる」規程を積極的に利用し、重要構造物以外の工事でも総合評価（簡易型）にて入札を行った。重要構造物以外で求めた技術提案項目は表-8に示すとおり、土工や地盤改良、法面や補強土壁など多様な土木構造物について実施した。また、これらについても求める技術提案項目は具体的に明示した。

4. 総合評価による評価

提案内容を絞り込むことで評価基準が容易に整理できるようになり、審査作業の時間短縮に繋がっている。施工業者からもテーマが絞られることで技術提案を考えやすいとの声も聞こえてきている。また、重要構造物以外にも技術提案を求めることで、通常の品質管理や出来形管理に“+α”の要素が加わり、写真-1、写真-2に示すようなより高い施工精度や品質の向上に繋がっている。

5. 今後の課題

今回の取組みとして重要構造物以外で技術提案項目を設定した場合は、過去に参考とする事例が無く、個人的な現場経験も少ないため、技術審査における担当レベルでの取りまとめでは通常より多くの時間を費やすこともあった。この審査作業に要する時間・労力が、積極的な総合評価の採用を阻害する一因であることを改めて感じることとなった。

現在、技術提案を評価する県下の統一基準はなく、評価基準は事務所ごとに異なっている。構造物の種類や現場条件、施工時期等によって評価基準は当然異なるものであるが、構造物あるいは工種毎にある一定の県下統一の評価基準があれば、審査作業の時間短縮に繋がり、積極的な総合評価の採用を促すことになると思われる。

6. さいごに

兵庫県では、2014年1月より「総合評価（簡易型Ⅰ・Ⅱ）」は「総合評価（施工計画評価型）、（施工能力評価型）」へ改正され、施工業者の自主的な提案や配置予定技術者の施工能力が重要視される傾向となっている。「総合評価（簡易型）」での取組みとして求める技術提案の項目を考えることは、時間と労力がかかる一方で、工事の内容・施工上の課題・維持管理上の問題点等を踏まえ、工事の施工・管理を自分がシミュレーションする機会となった。施工管理上の一番のポイントを事前に把握することで、現地着手後の現場管理に活かすことができ、また自分自身の土木技術者としてのスキルアップにも繋がったと思う。

謝辞：これまで浜坂道路の総合評価に関わっていただいた技術審査会の委員の方々及び浜坂道路課のメンバーに感謝申し上げます。

写真-1 曲線部の切土形状



【設計測点以外でも高さ・勾配等を管理】

写真-2 盛土材の品質管理



【現地発生土の粒径を均一化】

表-8 重要構造物以外の技術提案項目

工種	技術提案項目
地盤改良	縦横断方向の支持層の変化を把握するための事前調査、確実な着底管理の方法に関する提案 改良強度の確実な発現に資する事前調査・施工方法等に関する提案
軽量盛土	軽量盛土の品質確認方法及び管理方法に関する提案 ①気泡混合軽量盛土の湿潤密度の管理方法 ②気泡混合軽量盛土の養生方法
切土	大規模切土の施工方法及び出来形管理方法に関する提案 ①切土（特に曲線部）の施工精度の向上 ②施工時の濁水処理対策
盛土	大規模盛土の品質確認方法及び管理方法に関する提案 ①盛土材料としての適否を判断するための品質確認・管理方法 ②締固め密度の向上に資する施工管理方法
法面	ロックボルトの品質確認方法及び管理方法に関する提案 ①ロックボルトの地山への確実な定着方法並びにその確認方法
補強土壁	補強土壁工の品質確認方法及び管理方法に関する提案 ①壁面の長期的な鉛直性に配慮した施工方法 ②補強土に用いる盛土材の品質管理方法

未改良地盤の沈下管理施工について

東 智博

近畿地方整備局 和歌山港湾事務所 保全課 (〒640-8404 和歌山市湊葉種畑の坪1334) .

和歌山下津港防波堤(外)(2)においては、地盤改良工法を床掘置換工法からSCP工法に見直した関係より、工法境界部に未改良区間が生じていた。この未改良区間の施工において不等沈下の発生が予測されたことから、施工ステップ毎の残留沈下量を推定し、基礎捨石マウンド縦断方向に傾斜をつけ、不等沈下対策を行った。実際に施工を行ったところ、沈下は推定と異なり、ケーソンは水平とはならず、据え付け時とほぼ同様の傾斜した状態となった。

本報告では推定値と異なる結果となった経緯とその原因についての考察を報告する。

キーワード 床掘置換工法、SCP工法、不等沈下

1. 防波堤(外)(2)について

和歌山下津港本港地区に位置する防波堤(外)(2)は、港内の静穏度確保及び船舶航行の安全確保のために計画され、2013年に開口部と基部を除き据付完了、開口部は2013年より施工している。(図-1)

今回施工を行った開口部は、地盤改良方法が、経済比較より床掘置換工法からSCP工法へ転換し、断面変わりの境界部分となっている。

床掘置換層の法面下部については、SCPが貫入不可となったことから未改良部分が残っており、ケーソンを設置するにあたり未改良部分に対する沈下量を考慮した設計を行った。

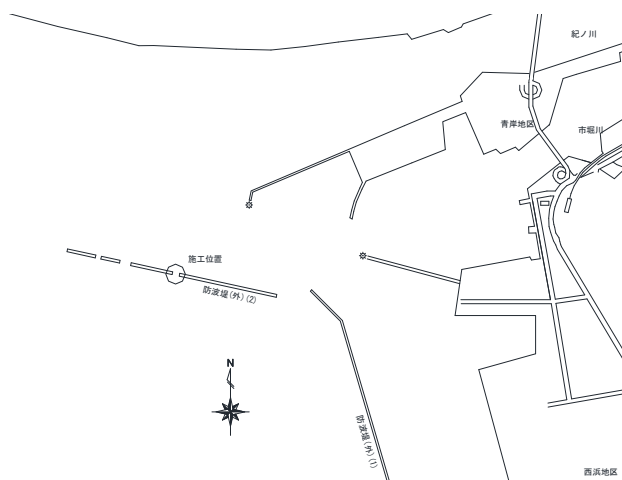


図-1 位置図

2. 施工内容

未改良部分に対する不等沈下に考慮した施工内容としては(図-2 縦断面図)基礎捨石マウンドのケーソン端部直下部分に根固め方塊を敷き、基礎捨石マウンドについても傾斜をつけて造成を行った。

また、沈下促進のため上部工の一部打設、未改良部分の強度対策として横断方向にSCPの打設を行った(図-3 横断面図)

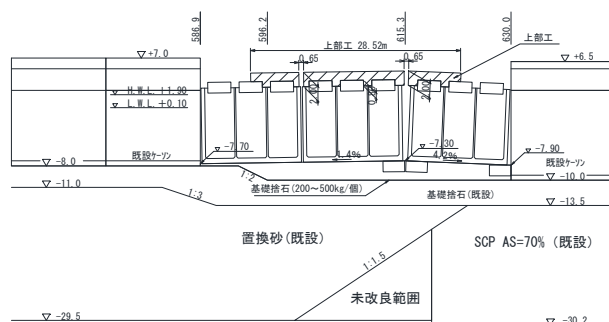


図-2 縦断面図

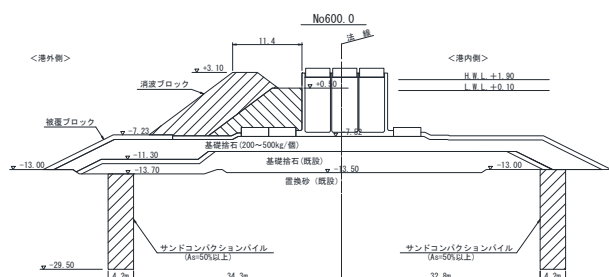


図-3 横断面図

3. 沈下管理

施工管理における沈下管理は図-4に示す通り、ケーソン各函の四隅の天端高さ等について、施工ステップのタイミングにて（ケーソン据付、中詰砂投入、蓋コンクリート打設、上部工打設）継続して測定を行った。

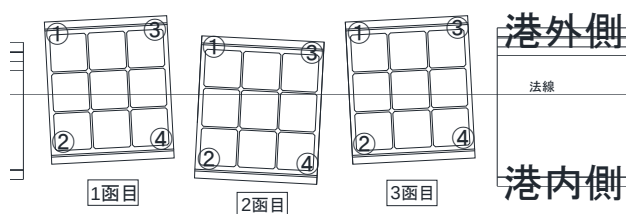


図-4 管理要素

4. 設計時に想定された沈下について

設計における沈下量の算定は、現況の各断面毎に行っている。

沈下計算の大まかな流れは、現在の土層にてモデル化し、現在既に施工済みのケーソン等による外力を土中にかかる応力として反映させている。

計算にて用いられる間隙比 e 、圧縮指数 C_c は一般的に次の式で表わされる。

$$C_c = \frac{(e_p - e_n)}{(\log P_n - \log P_p)}$$

ここでサフィックス p は地盤改良前、 n は地盤改良後のものをそれぞれ表わし、 P は増加応力を表す。

この式を e_n について解くと、以下のように変形でき、外力条件を与える事で、現在の間隙比を導出することができる。

$$e_n = e_p - C_c \times \log(P_n / P_p) \quad \text{式(1)}$$

導出に用いられる C_c 、 e_p は1981年と1996年に行った土質調査における原地盤の土性試験の結果であり、当該箇所における施工履歴は無い状態のものである。

沈下計算に用いる土性試験の結果は、施工が2013年に対し1981年と1996年と古いものであることもあり、2012年に追加ボーリングを行い土性試験を行っている。

ボーリング実施箇所は既施工区間のため、根固め方塊等が存在し実施が困難な状況ではあったが、2点実施する事が出来た。未改良部分は43.1m程の延長であるので、実施本数としては十分な数と言える。

結果としては、未改良部分の粘性土は強度増加傾向に

はあったが、想定以上の沈下があった場合、断面としては危険側になる事から、安全側を考慮して1981年と1996年の結果を用いて、沈下予測を行うこととした。

5. 実際に発生した沈下について

施工においては、図-5のように適宜ケーソン天端高さを計測した。

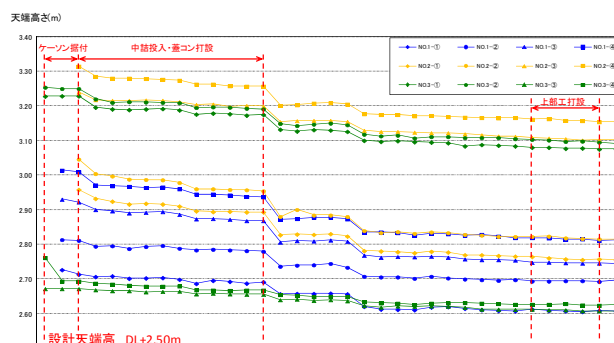


図-5 沈下状況の推移

図-6は、蓋コンクリート打設後50日程度における設計と実際の沈下量の比較である（負は沈下方向を表す）

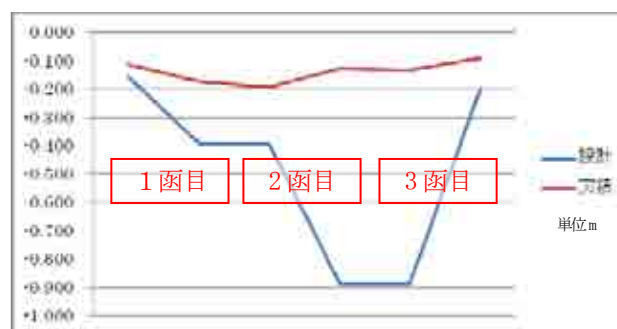


図-6 沈下量比較

設計における予想と異なり、実際の沈下量は未改良部分の大きくなる図の右側方向に行くに従って、沈下量が小さくなっていく傾向となった。

6. 想定との相違要因

設計時に想定された沈下量と、実際に発生した沈下量の相違が生じる要因はいくつか考えられ、以下にそれを列挙する。

(1) 床掘り範囲

当初、床掘り置換砂による施工が行われたが、その出来形が設計よりも大きく、実際にはSCP側にくいこんでいたという可能性がある。(図-7は三次元イメージ図)

過去資料より、出来形と設計を法面中央部にて比較したところ(図-8) 確かに出来形は設計より大きかったが、

垂直方向に60cm、水平方向に90cm大きい程度で、沈下予測に大きい影響を与える程ではなかった。

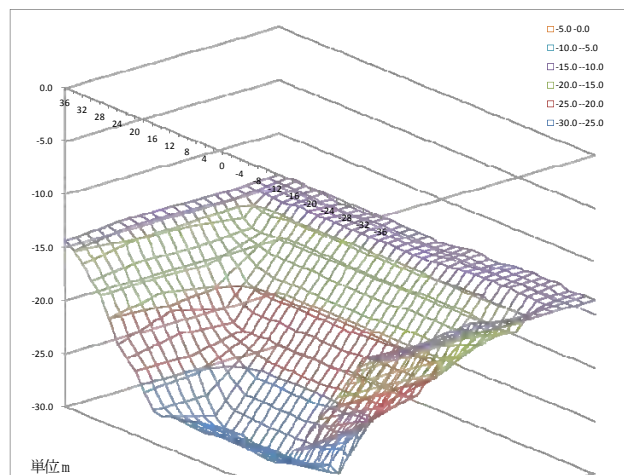


図-7 床掘置換砂出来形

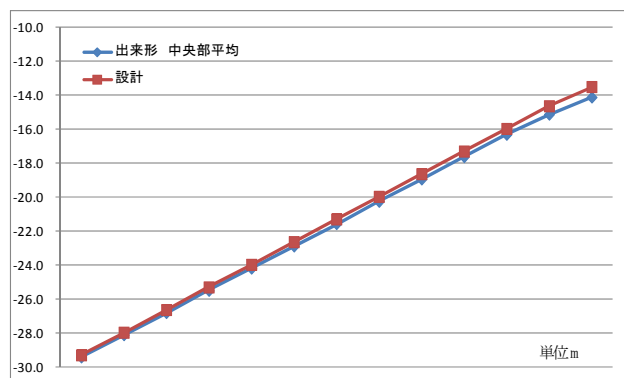


図-8 床掘置換砂 中央部分比較

(2) SCP打設範囲

設計においてはSCP打設区間はNo.620～となっているが、実際にはSCP打設範囲が大きく、床掘置換砂側にくいこんでいたという可能性がある。

実際の打設記録（図-9）によると、ほぼNo.620からしか打設できなかった事がわかるため、SCP打設範囲は設計通りと言える。

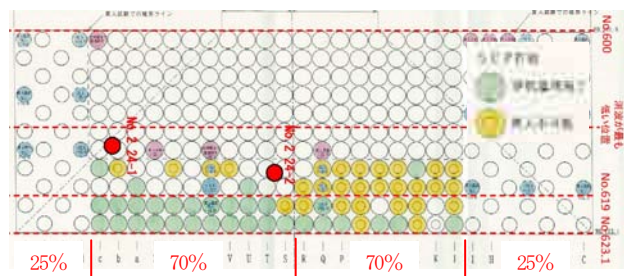


図-9 SCP打設記録

SCP打設範囲の確認のため、SCP打設による盛上土の実績の確認を行った（図-10,11）

SCP打設範囲はNo.620からであるが、盛上土はNo.640

あたりまで徐々に盛り上がり行く状況となっている。

同様に横断方向の盛上土の実績を確認してみたところ、25%のSCPであっても、縦断方向よりも盛り上がっている。これは周囲も同様にSCP打設が行われる事で、盛上土が拘束され上方向にのみ盛り上がっているためと思われる。

縦断方向が横断方向と比較して盛り上がっていないのは（勾配にして1/2程度）拘束されていない未改良部分に逃れているためであろうと推測する。

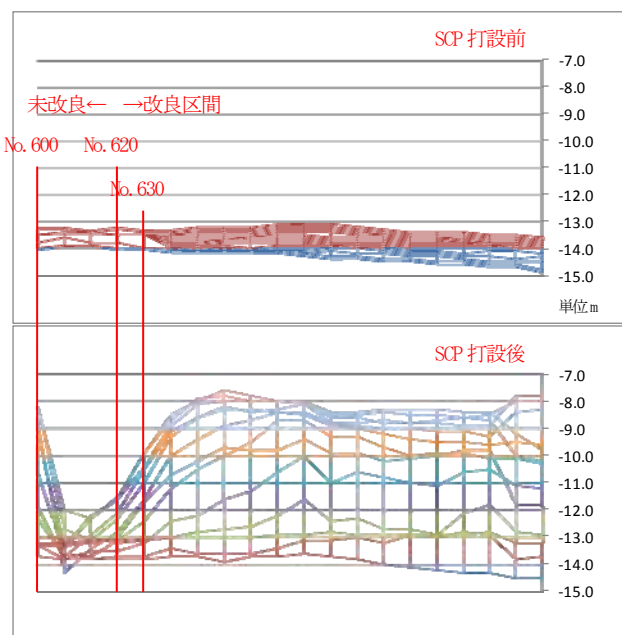


図-10 SCP盛上土 縦断方向

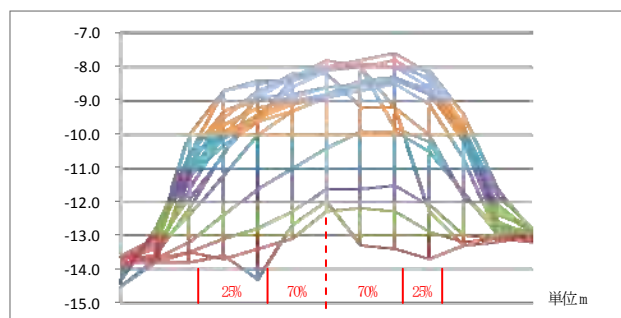


図-11 SCP盛上土 横断方向

(3) 未改良部分の評価

沈下計算における間隙比の算定は4節のとおりであるが、圧縮指数より導出される間隙比は、地盤改良未施工状態から工事の各ステップ完了時の外力条件によって算定される。

これは未改良区間の間隙比としては、原地盤に現在の断面を作ったら、現在はどうなるか？という考え方になる。

しかし実際には未改良区間の近傍にはSCP打設が行われており、6(2)節でも述べたとおり、SCP打設そのもの

が未改良区間に少なからず影響を与えている事が、実際の記録からもうかがえる。

一般的な沈下予測において、SCPの盛上土による側方圧力や、排水効果による圧密促進、それによる強度増加など、評価を取り込むのが難しい要素があるが、こういった要素によって今回の沈下予測の相違が生じたのではないかと推察する。

7. 相違への対処

当初設計からの現況相違が発生したため、高止まりしている断面の安定に問題が無いかをLWL、HWL、HHWLの各パターンについて照査を行った所、HHWLの滑動についてのみ安定性を確保できない事が判明した。

これについて断面の安定を満たすためには、堤体重量を増やす必要がある事が判明したため、今後施工を行う部分である、上部工のパラペット幅の拡幅を行う事で対処を行い、堤体の安定を保つこととした。（表-1、図-12）

	当初断面	高止まり断面 (対策なし)	高止まり断面 (対策あり)
滑動	$1.005 \geq 1.00$	$0.991 < 1.00$	$1.003 \geq 1.00$
転倒	$1.528 \geq 1.00$	$1.551 \geq 1.00$	$1.558 \geq 1.00$
ビショッブ法	$1.369 \geq 1.00$ ($P=483.231\text{kN/m}^2$)	—	$1.383 \geq 1.0$ ($P=433.959\text{kN/m}^2$)
円弧	港内側	$1.005 \geq 1.00$	—
すべり	港外側	$1.029 \geq 1.00$	$1.024 \geq 1.00$

表-1 HHWL安定性照査結果

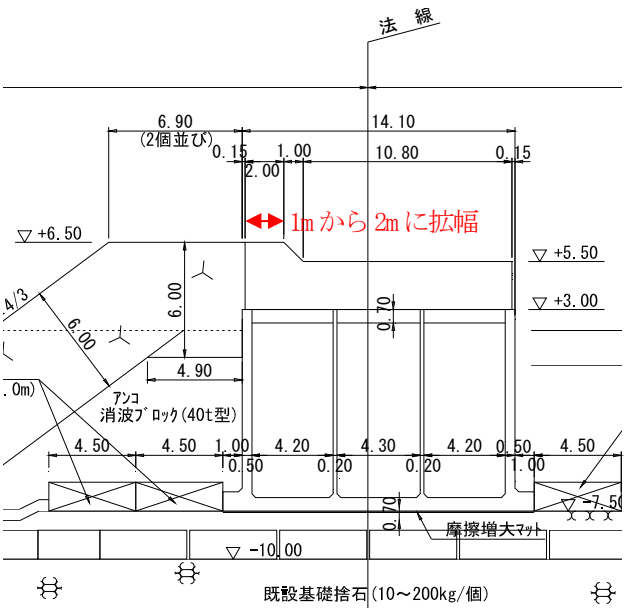


図-12 対策後断面図

8. 今後への課題

本施設は長期の事業期間を要する施設であるが、断面変わりという特別な現場条件によって、予想しない状況が生じたものである。

本事例は、事前に各状況毎の想定と、随時の状況把握があったため、的確な対処ができたと考える。

今後も、特別な現場条件等が確認された場合は、事前の想定と、随時の状況把握を行う事が、重要と思われる。

参考文献

- 1) 平成 23 年度 和歌山下津港(本港地区)防波堤(外)基本設計報告書

おぼれ谷を有する軟弱地盤上の大規模盛土の沈下対策について

清水 良和¹・緒方 健太郎²

¹清水建設（株） 大古地区改良工事 （〒649-2511和歌山県西牟婁郡白浜町日置651番地）

²清水建設（株） 大古地区改良工事 （〒649-2511和歌山県西牟婁郡白浜町日置651番地）。

近畿自動車道紀勢線大古地区改良工事は、軟弱地盤上に盛土高さ25m、盛土量58万 m^3 を行う大規模盛土である。深層混合処理工の着底深度の施工記録から沖積粘性土の軟弱層厚にばらつきが大きいことが判明し、当初計画の軟弱層厚と実際が異なると残留沈下量の許容値10cm以内を確保できないことが予想された。そこで、軟弱層厚と物性を追加調査した。その結果、原設計では捉えられていなかった軟弱層厚が不規則に変化するおぼれ谷の存在と、室内試験によって軟弱粘性土に挟まれたN値21の火山灰層が細粒分含有率90%の非排水層であることが判明した。

追加調査結果を基に地層横断面図を再設定し、圧密計算を行い、残留沈下量の許容値10cm以内を確保できないところはバーチカルドレーン工による圧密促進対策工とする再設計を行った。

施工中は、ポンプによる強制排水用の釜場を約2,000 m^2 に1箇所割合で設置した。盛土は法肩位置が沈下することを考慮して、上げ越し施工を行った。沈下の実測値は計算値と同程度以下の結果となり、残留沈下量の許容値10cm以内に収めることができた。

キーワード 軟弱地盤、浅層反射探査法、圧密沈下促進対策

1. はじめに

近畿自動車道紀勢線は、大阪府松原市を起点とし、和歌山県和歌山市及び田辺市等を経由し、三重県多気郡多気町に至る延長335kmの高速自動車国道である。この路線は、京阪神と紀南を結ぶ幹線道路として、輸送時間の短縮や一般道の混雑緩和を図り、地域相互の産業、経済、文化、観光の振興と発展に寄与することを目指している。現在、紀勢線は松原JCT～南紀田辺IC間129.2kmが自動車専用道路でつながっており、今後、南紀田辺IC～すさみIC（仮）間の延長38kmを国土交通省による新直轄方式で整備している。



図-1 工事位置図

近畿自動車道紀勢線大古地区改良工事は紀勢線整備事業のうち、西牟婁郡白浜町の日置川河口近くの右岸に位置し、日置IC（仮）を含む工区延長約665mを造成する道路改良工事である。工事位置図を図-1に示す。

2. 工事概要

近畿自動車道紀勢線大古地区改良工事は、大きく切土区間と盛土区間に分別でされる。そのうち盛土区間は、盛土高さ最大25m、盛土量58万 m^3 の大規模盛土である。図-2に平面図と図-3に盛土部の横断面図を示す。盛土箇所の原地盤は、旧耕作跡地で、泥岩と礫質土の基盤面に、主に粘性土が堆積している軟弱地盤であり、深度10m近辺にN値21程度の火山灰層が厚さ1～2mで分布していた。また、軟弱地盤の中央部において設計では軟弱地盤の圧密沈下促進対策として、供用開始後の残留沈下量を10cm以下とするためにバーチカルドレーン工法を、さらに盛土の安定対策として、盛土の法尻に円弧すべりによるすべり破壊を防止するために沖積粘性土を対象に深層混合処理工を採用していた。この深層混合処理工の一部は、すでに他工事において施工されており、深層混合処理工の着底深度の施工記録を調査すると、沖積粘性土の軟弱層の層厚が当初計画と異なっていることが判明した。さ

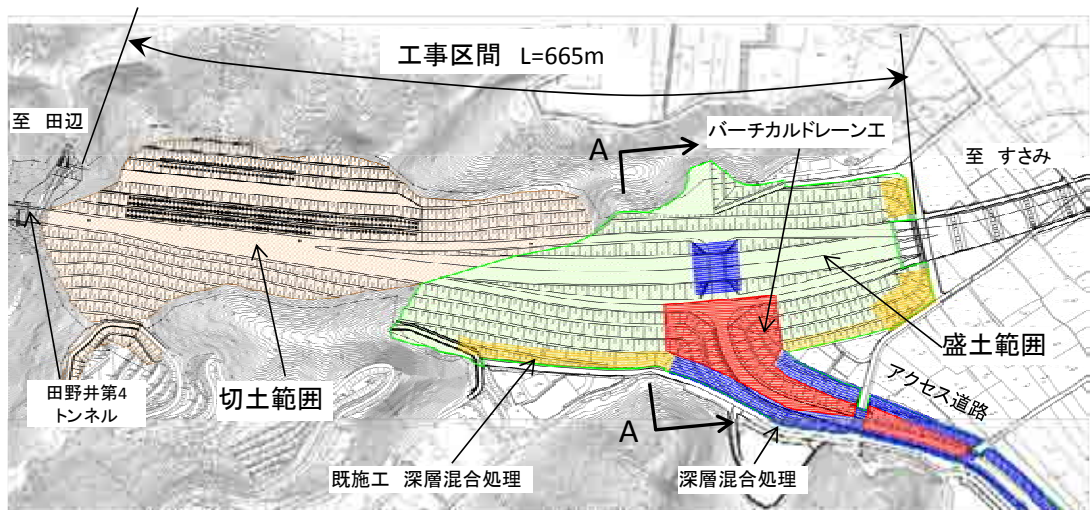


図-2 平面図

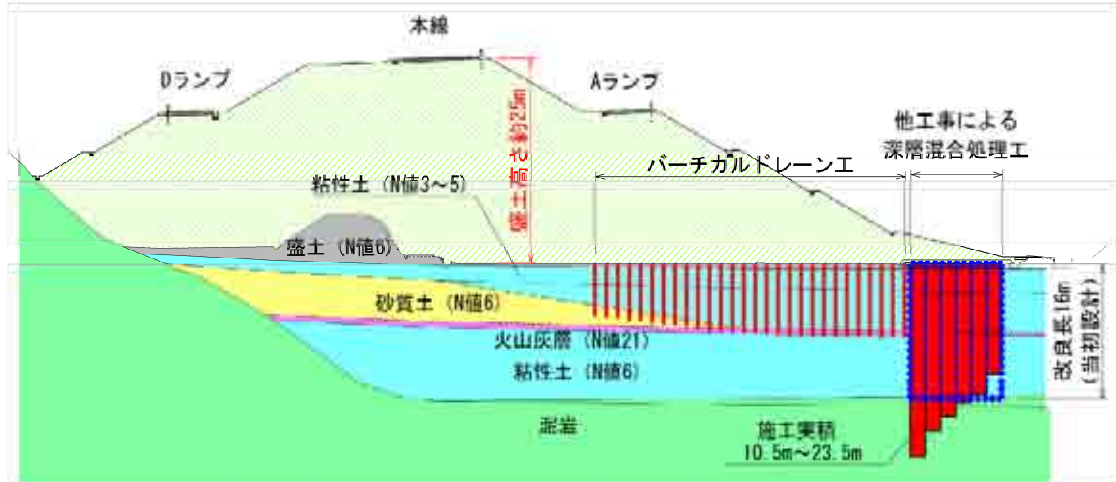


図-3 A-A 横断図 (No. 505+20)

らに、調査すると基盤層の深さが近接したところで大きく異なることから、軟弱層の厚さは、図-3に示すように一様ではなく、複雑に変化していることが推測された。

3. 追加地質調査

(1) 追加地質調査概要

圧密沈下対策において、軟弱地盤層の設定は重要である。当初計画に想定していた軟弱層厚と実際の層厚が異なると、工期内における残留沈下量の許容値10cm以内を確保できない。そこで地層構成の面的な把握と、地層の物理・力学特性を把握するために、追加の地質調査を行った。調査は浅層反射探査法、ボーリング、オートマチックラムサウンディングを行い、室内試験は物理試験一式、一軸圧縮試験、三軸圧縮試験、圧密試験を行った。調査位置図を図-4に示す。表-1に調査項目一覧を示す。

表-1 地質調査項目

	調査手法	得られる結果	結果の利用
①	調査ボーリング	N値 基盤層の標高 土質試料の採取	地層構成の把握 室内試験の実施
②	浅層反射法探査	反射波	線的な地層構成の把握 調査ボーリングの補間
③	オートマチックラムサウンディング	貫入抵抗 基盤層の標高	地層構成の把握 調査ボーリングの補間

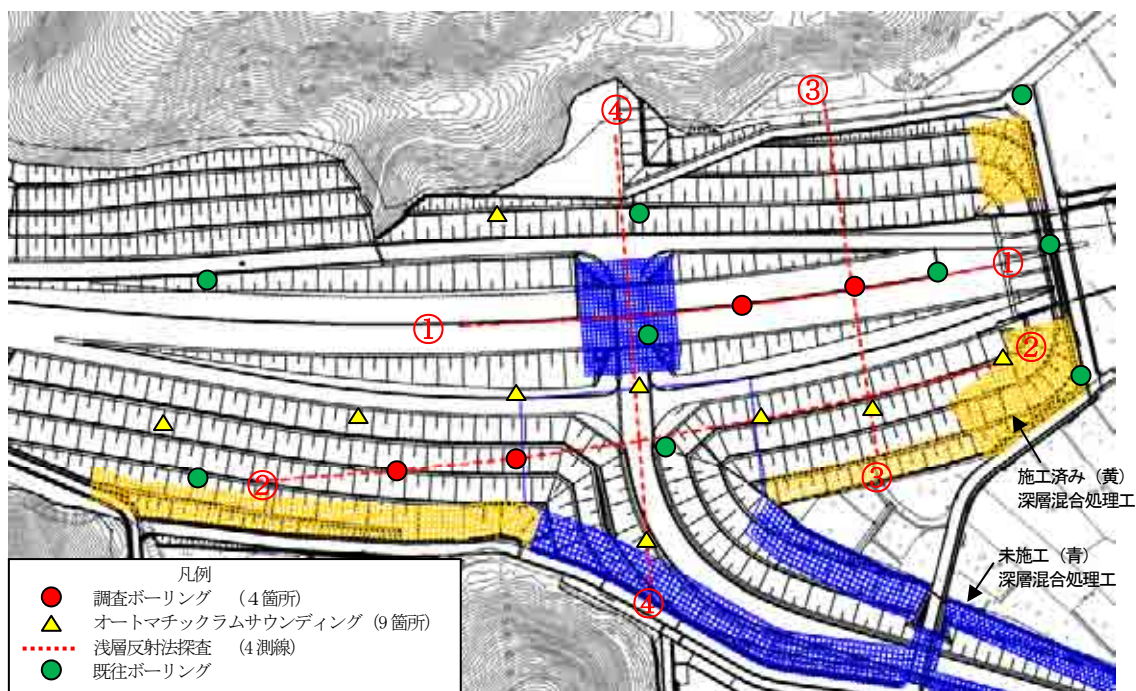


図-4 土質調査位置図

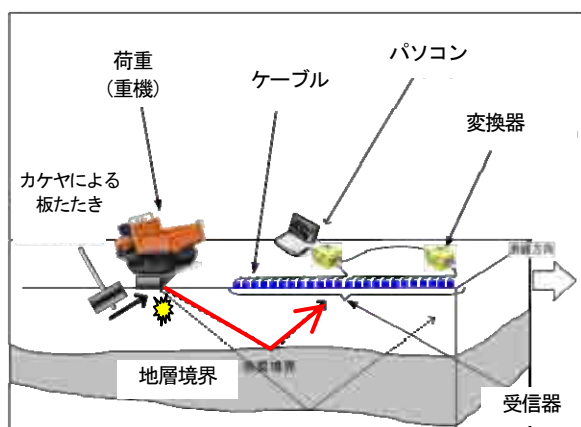


図-5 浅層反射探査法の測定概念図

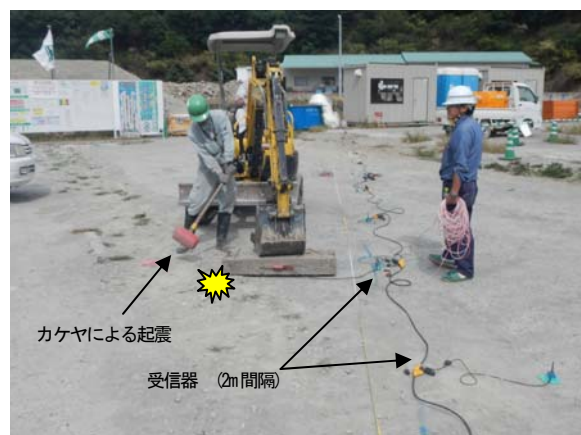


写真-1 浅層反射法探査 調査状況

(2) 浅層反射探査法

ボーリング調査は、調査地点における点の地層構成である。当該の軟弱地盤層厚は複雑に変化していることが予想できたため、地層構成や基盤層の深度を線的に把握するために浅層反射探査法を採用した。

浅層反射探査法は、地表にて人工的に発生された弾性波が地下に伝播し、地下の地質、地層境界、断層等で反射されて地表に戻ってくるとい現象を利用し、地下の構造を断面像として描き出す手法である。測定方法は測線の地表に受信機を2m間隔に展開し、カケヤによる人工震源で、弾性波を発生させて、その反射波を捉える方法である。図-5に浅層反射探査法の測定概念図を示す。

写真-1に調査状況を示す。

本調査では、盛土範囲を縦断方向と横断方向に網羅するように4測線選定して調査を行った。捉えた反射波を解析した調査結果の一例を図-6に示す。

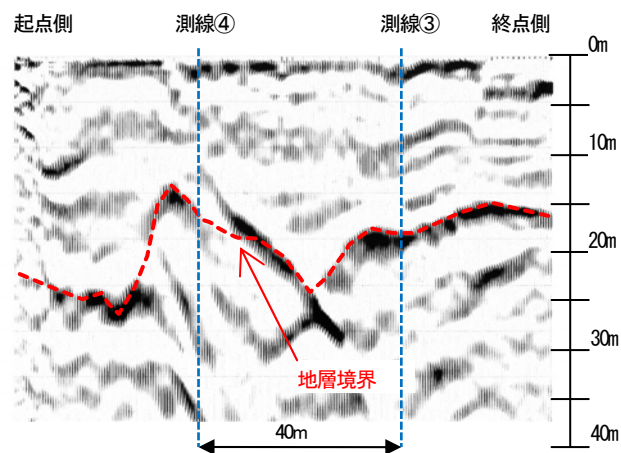
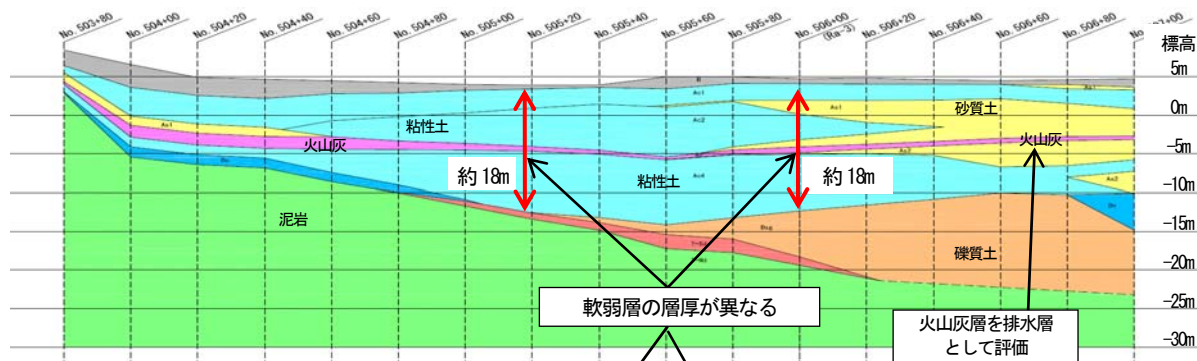


図-6 浅層反射法探査の結果 (縦断: ②-②測線)

濃い波形を示すところが地層境界を示しており、ボーリング調査の結果と対比させることによって、上下する

当初設計



地質調査結果

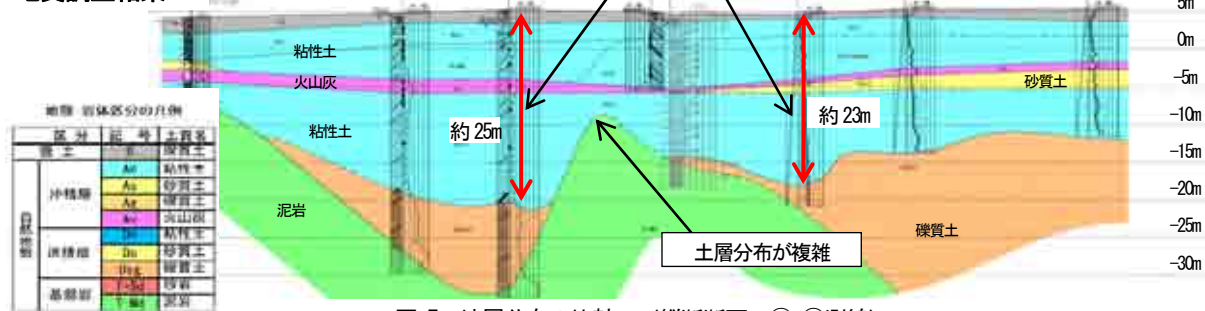


図-7 地層分布の比較 (縦断面：②-②測線)

基盤層の分布を捉えることができた。

表-2 火山灰層 (Av 層) の粒度試験結果

試料	粒度						細粒分含有率	分類名
	礫分	砂分	シルト分	粘土分	最大粒径	20%粒径		
						D ₂₀	F _c	
	%	%	%	%	mm	mm	%	
①	0.0	15.7	37.5	46.8	2.000	－	84.3	砂質シルト
②	0.0	1.8	46.0	52.2	0.250	－	98.2	シルト
③	0.0	7.6	51.4	41.0	0.425	－	92.4	砂まじりシルト
④	0.0	16.8	51.3	31.9	0.850	0.0018	83.2	砂質シルト

(3) 調査結果による地層構造

図-7に縦断方向の② - ②測線における当初設計の地層分布と追加調査により判明した地層分布を示す。

本調査により、軟弱層厚が異なっており、さらに土層分布が複雑に上下していることから、軟弱地盤層が当初設計の想定と大きく異なることがわかる。

(4) 火山灰層の透水性

当初設計では地質調査業務報告書のボーリング柱状図の記事で火山灰層 (Av層) を“微細砂～細砂サイズ”と記載していたため、排水層と評価していた。

追加調査による火山灰層 (Av層) の粒度試験結果を表-2示す。細粒分含有率は $F_c=83.2\sim98.2\%$ を示し、地盤材料の工学的分類によれば、粘性土 (シルト) に分類される。土の粒度より透水係数を推定する方法として、クレーガーによる D_{20} (20%粒径) と透水係数の関係 (表-3) が一般的に用いられている。この関係によれば、火山灰層の D_{20} は 0.0018mm で、表-3の D_{20} の下限値 (0.005mm) よりも小さい値であった。すなわち、火山灰層の透水係数は $k=3.00\times10^{-6}\text{cm/sec}$ よりも小さく、排水層としてみなせないことが判明した。

図-8に示すとおり、火山灰層を非排水層と設定すると、粘土層の排水距離 H が伸び、沈下時間 ($t = T_v H^2 / c_v$) は排水距離の2乗に比例することから圧密に非常に時間がかかることになる。単純計算で約4倍になることから、火山灰層の評価が圧密沈下に大きく影響する。

表-3 クレーガーによる 20%粒径 (D_{20}) と透水係数の関係

$D_{20}(\text{mm})$	透水係数 $k(\text{cm/s})$	土質分類
0.005	3.0×10^{-6}	粗粒粘土
0.01	1.05×10^{-5}	細粒シルト
0.02~0.005	$4.00\times10^{-5}\sim2.8\times10^{-4}$	粗粒シルト
0.06~0.25	$2.60\times10^{-4}\sim1.40\times10^{-2}$	微粒砂
0.3~0.5	$2.2\times10^{-2}\sim7.5\times10^{-2}$	中粒砂
0.6~1.0	$1.10\times10^{-1}\sim3.60\times10^{-1}$	粗粒砂
2	1.8	細礫

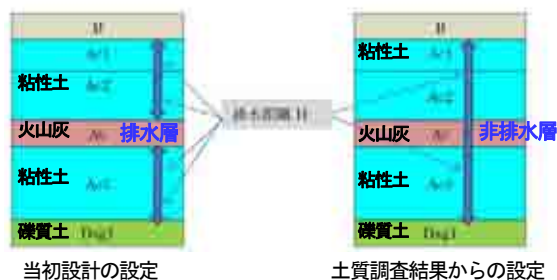


図-8 排水距離の設定

4. 圧密沈下の検討

土質調査結果を基に地層横断面図を 40m ピッチに作成し圧密沈下計算を行った。

(1) 当初設計の圧密沈下対策による圧密沈下検討

当初設計の圧密沈下対策では盛土期間 600 日において残留沈下量の許容値 10 cm以内を確保できない範囲のみバーチカルドレーン工を採用され、図-3 に示す様にバーチカルドレーン工の打設深度は排水層とみなしていた火山灰層までであった。

当初設計の圧密沈下対策に、地質調査結果で判明した土層分布を土層モデルに反映し、火山灰層 (Av 層) を非排水層として圧密沈下計算を行った。

圧密沈下計算結果の一例を図-9 に示す。当初設計の圧密沈下対策のみでは、すべての断面で、盛土期間内に残留沈下量 10 cm以内が確保できず、残留沈下量が 10 cm 以下には 2766 日 (約 7.5 年) の期間を要する結果となった。

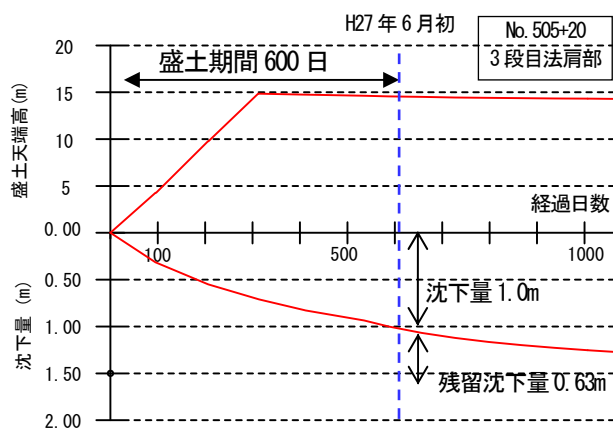


図-9 当初設計の圧密沈下対策による計算結果

(2) 追加の圧密沈下対策による圧密沈下検討

図-10 に示す様に圧密沈下促進工法の範囲と深さを広げ、追加の圧密沈下対策として全ての軟弱層にバーチカルドレーン工を打設した場合で、圧密沈下計算を行った。

圧密沈下計算結果の一例を図-11 に示す。追加の圧密沈下対策を行うことで、盛土期間内に全ての断面において残留沈下量 10 cm以内を確保できる結果になった。

5. 圧密沈下対策と盛土の動態観測結果

(1) 圧密沈下対策

バーチカルドレーンの配置は1.5mピッチの格子配置とし、打設深度は基盤層上部までの着底管理とした。バーチカルドレーンの打設では、N値21の火山灰層を打ち抜く必要があり、超大型バーチカルドレーン打設機を採用した。バーチカルドレーンの打設機の分類を表-4に、超大型打設機の全景を写真-2に示す。

図-10内に示す打設実績の分布をみると、地質調査により想定した基盤層の深度が反映されていることがわかる。

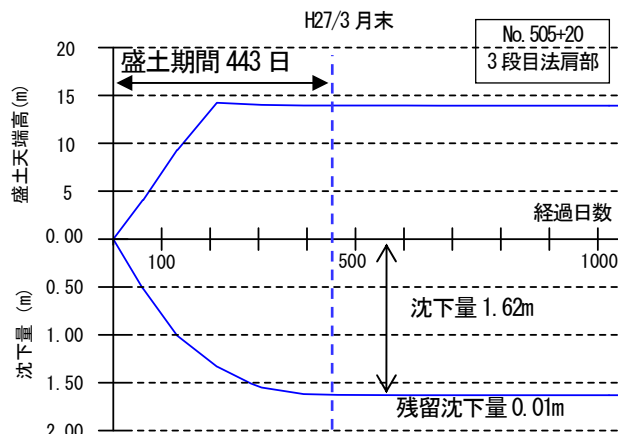


図-11 追加の圧密沈下対策による計算結果

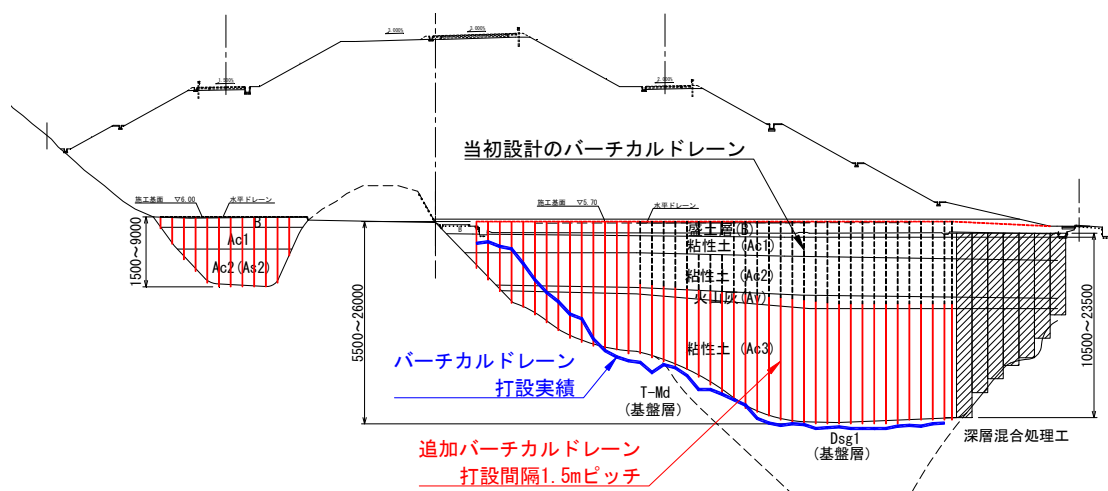


図-10 バーチカルドレーンの計画断面図

図-12にバーチカルドレーンの打設深度の記録から求めた軟弱層厚のコンター図を示す。この図からわかるように、本盛土工事は不規則に変化したおぼれ谷を有する軟弱地盤上の大規模盛土であったことがわかる。

バーチカルドレーン完了後の排水層は打設面積が広範囲であり、通常のサンドマット工では砂材の大量供給が必要であったため、経済性を考慮し、水平ドレーン材を用いることにした。また、外周の法尻に深層混合処理工が施工されているために、軟弱地盤からの排水促進の対策として、2000㎡に1箇所の間隔で釜場を設置し、水中ポンプによる強制排水を行った。盛土工事期間中は、軟弱地盤の圧密沈下の挙動を把握するために、検討断面毎に沈下板を設置し、1回/日の沈下量を把握する動態観測を行った。盛土は法肩位置が沈下することを考慮し、動態観測結果から、上越し盛土で施工した。

(2) 動態観測による圧密沈下結果

動態観測における盛土の進捗と結果の一例を図-13に示す。盛土の進捗に合わせて沈下が進行しているのがわかる。盛土完了後の沈下量の推移をみると1ヶ月の放置期間を得てほぼ収束している。計算結果の最終沈下量163cmと比較すると、5月末時点の沈下の実績は113cmになった。浅岡の方法で最終沈下量を求めると120cmになり、残留沈下量7cmで、許容値10cm以内に収まった。

その他の地点における沈下の実績においても、沈下量は圧密計算の30%~80%となり、全断面において、工期内に沈下が収束し、残留沈下量の許容値10cm以内に収めることができた。

6. おわりに

これまでの施工記録から軟弱層厚の複雑さを推測し、追加の地質調査と圧密沈下検討を行ったことで、設計基準の供用後の残留沈下10cm以内に収める軟弱地盤上の大規模盛土工事を行うことができた。

設計段階から複雑に変化する軟弱地盤層を推測することは困難であるが、日頃の施工で得られる様々な記録から、設計条件との差を検証することが重要であると考えられる。

謝辞：最後に、本盛土の沈下対策の調査から設計、施工をするにあたり、多大なる指導・ご協力を頂いた紀南河川国道事務所ならびに関係者の皆様へ、ここに感謝の意を表します。

表-4 バーチカルドレーン打設機の種類

	標準機	中型機	大型機	超大型機
本体重量	28t	28t	45t	70t
出力	81KW	96KW	147KW	162KW
最大打設深度	20m	30m	40m	55m
対象層N値	12以下	14以下	20以下	25以下



写真-2 バーチカルドレーン打設機（超大型機）

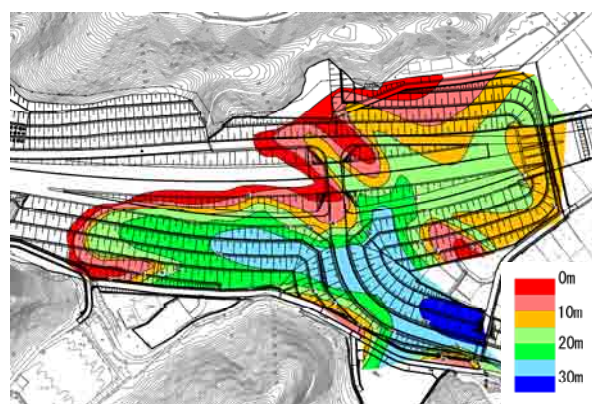


図-12 軟弱層厚のコンター図

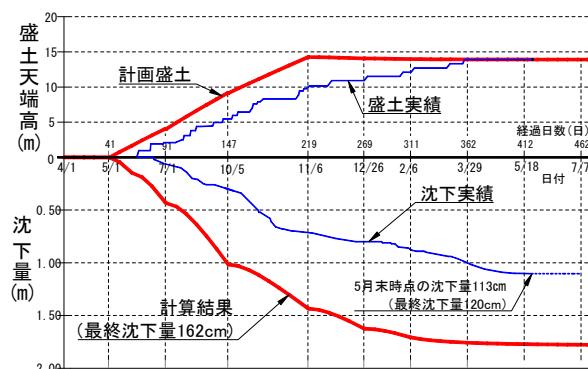


図-13 圧密沈下の観測結果 (No. 505+20 3段目法肩部)

柴山港の岸壁及び護岸における 裏埋砂の吸い出し防止対策について

松井 敦¹

¹近畿地方整備局 舞鶴港湾事務所 柴山港出張所（〒669-6431 兵庫県美方郡香美町香住区浦上75-2）

柴山港は兵庫県北部に位置し、冬季における日本海の厳しい海象条件に対し、沖合を通航する貨物船の緊急避難用の港として位置付けられ、防波堤と避難泊地の整備を行っている。防波堤の製作には同港内の掘込み式ドックと陸上ヤードを使用しているが、今般、ヤード内の複数箇所において、裏埋土砂の吸い出しが主因と考えられる空洞が確認され、ヤードの使用に支障が生じた。そこで、空洞への対策を目的として対応方針を検討した結果、セメント材を用いた地盤改良工法による対策工を実施したので、事例として報告する。

キーワード 柴山港，岸壁，吸い出し，地盤改良工法，維持管理

1. はじめに

兵庫県北部に位置する柴山港は、カニ等の水産資源が豊富な天然の良港である。また、近年においては、多様な地形・地質・風土と人々の暮らしが体験できる山陰海岸国立公園¹⁾として、京都府、兵庫県、鳥取県の民間団体や行政機関が連携³⁾し、ジオパーク活動を進めることによって、観光地としても脚光を浴びている。

柴山港が位置する日本海沿岸域は、北日本～西日本～九州を結ぶ重要な航路筋であり、航行船舶の多い海域である。一方、冬季は気象海象条件が非常に厳しい面もあり、柴山港は、突発的な荒天状況下において船舶が安全に避難する場所である“避難港⁴⁾”として位置付けられており、港内静穏度を確保するための防波堤や、船舶が港内で避難するための泊地の整備を行っている。図-1に柴山港の整備計画を示す。2015年現在、泊地の浚渫は完了し、防波堤の計画延長450mのうち、240mまで完了している。

柴山港の防波堤形状は、大水深かつ反射波を抑えて波浪を軽減することを前提とした、二重円筒という特殊なケーソン構造をしており、図-2に示すような掘込み式のドックを備えたヤードを使用して製作を行っている。

しかしながら、平成17年頃からヤード内の岸壁背後随所において、図-3に示すような陥没箇所が確認され、立入禁止措置により使用制限が必要な所も出てきた。近年、設置から年数が経過した岸壁や護岸等の港湾構造物背後において、同様の現象が全国でも報告⁵⁾されており、岸壁を安全かつ効率的に利用していくために、早期の対応が必要である。

本報告では、柴山港ヤード内に発生した陥没により形成された空洞について、発生原因の調査を行った後、その対応策として、岸壁及び護岸背後で起こる裏埋土砂の吸い出し現象に対して、再発を防ぐために、改良の必要性や適する工法等の検討を行った結果の報告を行う。



図-1 柴山港の整備計画



図-2 柴山港ケーソン製作ヤード



図-3 陥没発生箇所

2. 裏埋土砂の吸い出し

設置から年数が経過したケーソンやL型ブロック等の重力式構造物背後における埋立土砂地盤の局所的な陥没・沈下等による空洞の発生が報告⁵⁾されている。これらは放置すると事故につながる可能性があるが、実際に陥没が発生するまで気づきにくく、地中に形成されている空洞の規模も判別しにくい。

ここでは、空洞発生の一因と考えられる“吸い出し”と呼ばれる現象について、そのメカニズムから取り得る対策を考える。

(1) 吸い出しのメカニズム

構造物背後に空洞が発生する主原因の一つとして、構造物背後の埋立て土砂が海へ吸い出されることによって、地盤を形成する土砂が徐々に減少することが考えられる。

一般的な港湾構造物であるケーソンには、潮汐や波浪による押し波と引き波が交互に繰り返し作用することによって、背後の地盤から小さい粒径のものから順に吸い出されていく。通常はこれらを防ぐために、ケーソン間に目地板や裏込石背面に防砂シートを設置しているが、経年劣化や不等沈下によってその一部が破損した場合、図4に示すように、裏埋土砂が基礎捨石、あるいは堤体の目地間を通して吸い出され、局所的な陥没などが発生する⁶⁾。

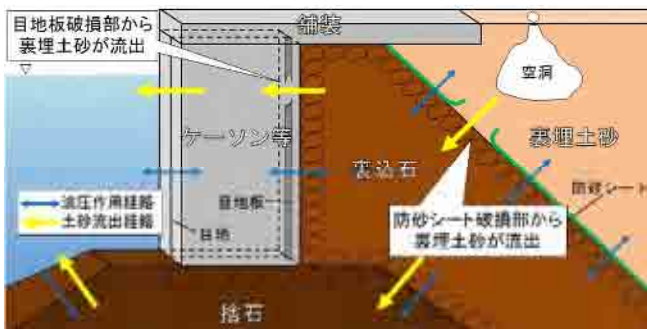


図4 吸い出し現象のイメージ

(2) 吸い出し防止対策

吸い出しを受けて空洞が発生した箇所において、単純に土砂を補充したとしても、一時的に空洞はなくなるが、時間が経てば再び吸い出しを受けて同じ箇所に空洞が発生する恐れがある。そのため、吸い出しの影響範囲を特定した後、土砂が再び流れ出さないような対策を行う必要がある。

具体的には、裏埋土砂を撤去した後、破れた防砂シートを取り替えてから埋め戻す方法、または、構造物背後の地盤改良を行うことにより、土砂が流出しない状態にする方法などが挙げられる。

3. 現場状況と課題

前章では吸い出し現象の一般論について記述したが、実際に対策を行うためには、現在の状況を十分に把握した上で、現場条件に合致した適切な方法を選択し、問題解決に臨む必要がある。

ここでは、柴山港ヤードで発生した空洞について詳細に調査を行った結果から、検討する必要が生じた課題について述べる。

(1) 柴山港ヤード状況調査

a) 目視調査

吸い出しが発生している箇所を特定するために、潜水調査による水中目視を行い、柴山港ヤードの岸壁構造物であるL型ブロックの目地部を確認した。その結果、図-5上部に示す箇所で防砂目地板の破断が確認できた。

図面右側の目地板が3ヶ所破断していた場所の前面には、80cm程の土砂が堆積しており、防砂目地板の破断箇所から裏埋土砂が流出したと考えられる。

b) 詳細調査

次に、岸壁及び護岸背後において、レーダーによる超音波探査を行った後、反応があった場所に対して、ハンマードリル削孔（G.L.-1.0m以浅）と簡易貫入試験（G.L.-1.0m以深）を行い、空洞の有無と規模を確認した。図-5下部に空洞が確認された位置を示す。

削孔によって確認できた護岸部（南側）と岸壁部（北側）の空洞のうち、護岸の一部には南北方向の幅が約2.0m、深さ約0.5mの空洞が、護岸直背後と岸壁法線から4m程離れた場所にある側溝の手前に存在していた。また、岸壁部については、最大で南北方向の幅が約10m、深さ約1.4mの縦穴ができており、周囲にも空洞が点在していた。これら岸壁背後の空洞は、目地板の破断が確認された場所から港の奥に向かって形成されていたため、吸い出しによる影響によるものと考えられる。

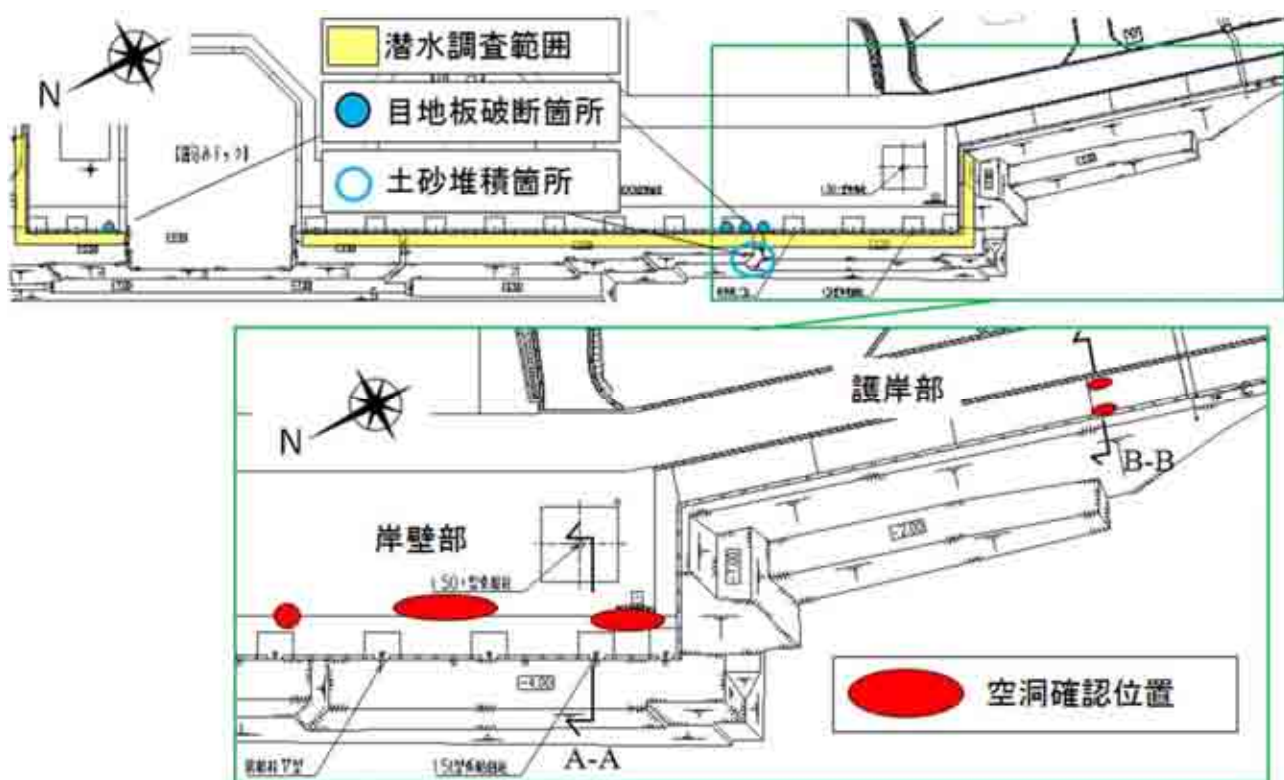


図-5 潜水調査による目視結果と削孔による空洞確認箇所

(2) 対策方針の検討

調査において空洞が確認できた北側の岸壁背後と南側護岸背後は、それぞれ断面構造が異なる。図-6に図-5中に示した位置の断面図を示す。

南側の護岸部については、波浪の影響は少なく、防砂シートの破損と潮位差による吸い出しが主原因であると考えられるため、防砂シートの設置と埋め戻しによって対応できると判断した。しかしながら、北側については、目地板はL型ブロック間の目地に沿うように配置されているが、破断箇所が構造の異なる物揚場と岸壁の中間部であり、原型復旧が難しいだけでなく、復旧しても再度同様の問題が発生する恐れがある。そのため、抜本的な改良による対策を行うこととした。

(3) 施工における課題

現在発生している空洞への対処と、吸い出しによる空洞発生を再び受けることを防ぐための抜本的対策を検討するに当たって、施工方法として満たすべき基準を以下に挙げる。

①既に発生している空洞への対応

→ 施工後にヤードを安全に使用できるようにすること。

②目地間からの吸い出し対応

→ 岸壁堤体間の目地を閉塞できること。あるいは、閉塞せずとも吸い出しを受けないようにすること。

③特徴的な構造体における対応

→ L型ブロック堤体の背後で使用できること。

④施工時の問題発覚等への対応

→ 現場条件の変更等にも柔軟に対応できること。

⑤コスト縮減、手戻り防止

→ 施工性・経済性に優れていること。

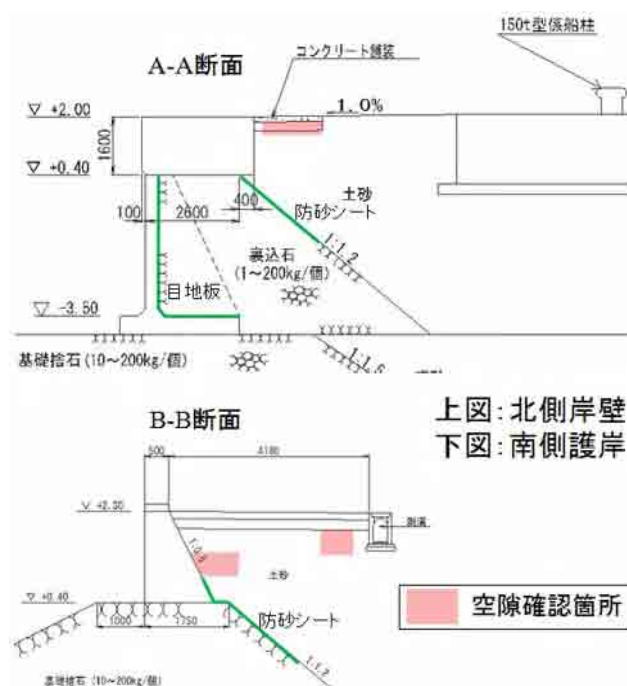


図-6 空洞発生箇所の代表断面図

4. 空洞・吸い出し防止対策の検討

(I) 対策方法の検討

柴山港ヤードの吸い出し対策工法については、前章で記述した課題を考慮した上で、施工条件に合う工法の検討を段階的に行った。

a) 第1次選定（施工工法）

最低限の吸い出し対策となりうる（課題①②③を満たす）工法として、裏埋土砂の流出を防ぐ防砂シート等を設置する工法と、裏埋土砂自体を流出しにくい固体に改良する工法について比較・検討を行った。

表-1に示すとおり、吸い出しに対して十分な効果が期待でき、耐久性に優れているため今後の維持管理が容易である地盤改良工法のうち、総合的に優れている機械攪

拌工法による地盤改良を採用した。

b) 第2次選定（地盤改良工法）

前節で選定した工法のうち、粉体噴射によるものと、スラリー攪拌による工法について比較・検討を行った。

表-2に示すとおり、円柱形の改良では難しい裏込石法面への確実な施工が可能であり、施工範囲の変更に対応可能であるため、課題④を満たしている中層混合系のスラリー攪拌工法を採用した。

c) 第3次選定（スラリー攪拌（中層混合）工法）

最後に、3種の中層混合系のスラリー攪拌工法について比較・検討を行った。

表-3に示すとおり、適用可能土質範囲が広く、攪拌翼が小型であるため、係船柱を撤去せずに施工が可能であり、かつ、エアーを使用しないため海洋汚濁の心配が少ないWILL工法を採用した。

表-1 施工工法の比較・検討

工法	第1案：防砂シート工	第2案：裏込石工	第3案：機械攪拌工法（地盤改良工法）	第4案：岸壁背面防砂シート設置工
工法概要	岸壁背面の目地部前面に防砂目地線を設置し、目地背面を水中マルチ等により充填	岸壁土砂部に裏込石を注入し、裏込め石層上部に沿って斜めに排水層を構築	岸壁土砂と改良材スラリーを均質に攪拌混合し、裏込め石層上部の土砂を全面的に改良	岸壁背面の土砂を一旦撤去した後、防砂シートを設置し、埋戻土の埋戻しを実施
施工イメージ				
当該場におけるメリット・デメリット	・岸壁目地部から背面土砂の流出防止 ・防砂目地部の劣化を抑制 ・裏埋土砂部の連続的な流出対策ではない ・漂流物の衝突等で防砂網が破損する恐れ ・防砂網の維持管理が必要	・土砂層下部からの吸出し防止効果 ・グラウトの硬結による恒久的な効果 ・目地部破損部分から裏込石の脱落 ・注入箇所が地盤が多少隆起する可能性	・土砂層全体の吸出し防止効果 ・改良土は地盤改良体であるため、半永久的な効果 ・土砂層の低下・流状化の抑制効果 ・既に空洞が発生した箇所への充填可能 ・目地部破損から改良材スラリーの流出の恐れ	・一般的な対策であり、信頼性が高い ・既に空洞が発生した箇所への充填、粘土等を詰める土砂である場合でも確実な施工 ・埋戻し後、地盤安定まで期間を要する ・埋戻土が発生 ・シート破損により吸い出し再発の可能性
経済性	◎	△	○	◎

表-2 地盤改良工法の比較・検討

工法	第1案：スラリー攪拌工（ローター系）	第2案：粉体噴射攪拌工（JAM工法）	第3案：スラリー攪拌工（中層混合系）
工法概要	スラリー状の改良材を吐出しながら攪拌翼を機械的に攪拌混合し、円柱状の改良体を作成	粉体状の改良材をエアーを用いて噴射しながら攪拌翼を機械的に攪拌混合し、円柱状の改良体を作成	リボンスクリュー型攪拌翼により、裏埋土と改良材スラリーを均質に攪拌混合
施工イメージ			
当該場におけるメリット・デメリット	・地盤改良面化による、吸い出し防止効果 ・土砂層の低下・流状化の抑制効果 ・円柱状改良であるため、裏込石への着床部に未改良部が残る可能性 ・対象土の玉石・粘土混入率が高い場合は、事前除去が必要	・地盤改良面化による、吸い出し防止効果 ・土砂層の低下・流状化の抑制効果 ・円柱状改良であるため、裏込石への着床部に未改良部が残る可能性 ・対象土の玉石・粘土混入率が高い場合は、事前除去が必要	・地盤改良面化による、吸い出し防止効果 ・土砂層の低下・流状化の抑制効果 ・周型の連続改良であるため、裏込石への着床部を確実に改良可能 ・対象土の玉石・粘土混入率が高い場合は、事前除去が必要

表-3 スラリー攪拌（中層混合）工法の比較・検討

工法	第1案：パワーブレンダー工法	第2案：ラインブレードミキシング工法	第3案：WILL工法
工法概要	バックホウタイプブレンダーの先端に取り付けた攪拌翼の先端より、固化材スラリー・エアーを吐出しながら、裏埋土と固化材スラリーを均質に攪拌混合	バックホウタイプブレンダーの先端に大型攪拌翼を鉛直方向に回転させるラインブレード攪拌翼の先端部より、固化材スラリー・エアーを吐出し、改良対象土を確実攪拌混合	バックホウタイプブレンダーの先端に取り付けた特殊なリボンスクリュー型攪拌翼により、裏埋土と固化材スラリーを均質に攪拌攪拌混合する工法
適用土質の目安	粘性土……… R100～150程度（施工実績R100～170） 砂質土……… R100～200程度（施工実績R100～250）	粘性土……… R100～150程度（施工実績R100～170） 砂質土……… R100～150程度	粘性土……… R100～150 砂質土・砂礫……… R100～400
当該場への影響	・スラリー吐出時のエアーにより、地下水帯に与える影響が比較的大きい ・騒動・騒音は非常に小さい	・スラリー吐出時のエアーにより、地下水帯に与える影響が比較的大きい ・騒動・騒音は非常に小さい	・スラリーを低圧で吐出するため、周辺地盤に与える影響が小さい ・騒動・騒音は非常に小さい

(2)WILL工法

WILL工法⁷⁸⁾とは、バックホウタイプベースマシンの先端に取り付けた特殊な攪拌翼により、スラリー状の固化剤や改良材を注入しながら、原位置土と攪拌混合し改良体を形成する工法である。図-7に示すような2種類の攪拌翼を使い分けることにより、粘性土からN値30超の砂礫地盤にまで対応可能であり、品質の安定性と経済性を両立している。



図-7 WILL工法で用いる攪拌翼形状

5. 施工

(1)施工方法

施工に先立ち、土質の把握と固化材配合量の確認のため、試料土の採取を行い、土質を判定した結果を表4に示す。改良前の土質は砂分が多かったため、攪拌翼はT型を使用することとした。

吸い出し対策としての土質改良指標は一軸圧縮強度と設定した。他港の実績報告⁹⁾¹⁰⁾を鑑み、一軸圧縮強度が45kN/m²以上あれば吸い出しの影響を受けないと判断し、今回は余裕をみて50kN/m²と設定した。なお、WILL工法において、現場強度(qu_f)と室内強度(qu_l)には $qu_f / qu_l = 1/1.5 \sim 1/3$ の関係があると報告¹¹⁾されているため、室内目標強度は150 kN/m²とし、セメント配合量は70kg/m³となった。事前に行った室内配合試験の結果を表5に示す。セメント量70kg/m³においても推定強度で目標値はクリアしているが、安全策として、1週間強度で近似値が目標を満たす80kg/m³配合での施工とした。

表-4 改良前土質試験の結果

含水比 ω_n (%)	湿潤密度 P_t (g/cm ³)	粒度分布(%)			pH	強熱減量 Li (%)
		礫分	砂分	細粒分		
32.5	1.8	24.3	65.0	10.7	8.9	14.3

表-5 室内配合試験の結果

改良仕様	固化材	配合量 (kg/m ³)	圧縮強度 qu (kN/m ²)	
			σ_7	σ_{28} (推定)
スラリー 揺動攪拌工	高炉 セメント B種	70	131	197
		120	226	339
		170	577	866

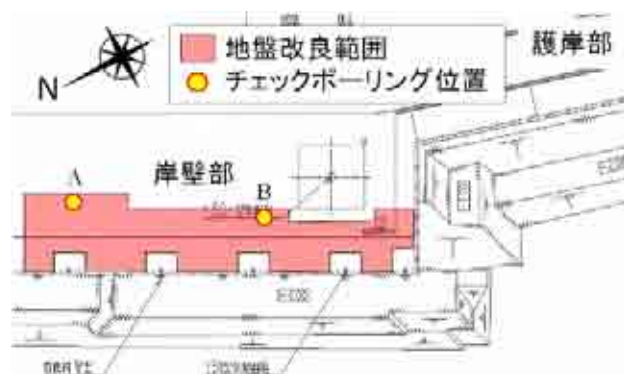


図-8 地盤改良施工範囲

地盤改良を行った範囲を図-8に示す。施工は事前調査によって設定した区割り範囲において、プラントにて作成したスラリーを吐出しながら区画の上下層全体を攪拌し、広範囲を均等に改良できるように配慮した。また、施工マシンの運転席に設置した管理システムにより、流量や回転数等をリアルタイムに監視しながら施工を行うことで、作業安定性の向上を図った。

図-5と図-6に見られるように、本工事の改良範囲においては、係船柱付近も施工範囲に含まれているため、施工は係船柱に影響を与えない位置取りで行った。また、施工時にセメント固化材が海に流出しないよう配慮し、万一の事態に備えて汚濁防止膜を設置した。

(2)施工結果

施工時と施工後の様子を図-9,10にそれぞれ示す。改良後の地盤には目立った隆起もなく、均一に改良ができた。改良前の地盤には大きめの石が多少混ざっていたため、除去してからの施工となったが、工程の遅延も発生しなかった。

図-8に示すA、Bの2地点においてチェックボーリングを行い、採取した供試体を図-11に示す。一軸圧縮試験の結果は、値が最も小さい所でも109 kN/m²であり、要求強度を満たしていた。



図-9 施工時(斜め施工)



図-10 施工後



図-11 供試体採取状況

参考文献

- 1) 環境省HP：山陰海岸国立公園
(<https://www.env.go.jp/park/sanin>, 2015.5)
- 2) 先山徹 他：山陰海岸におけるジオパーク活動―大地と暮らしのかかわり―（地質学雑誌, 118, pp.1-20, 2012）
- 3) 山陰海岸ジオパーク推進協議会HP：山陰海岸ジオパーク（<http://sanin-geo.jp/modules/geopark/index.php/info/index001.html>, 2015.5）
- 4) 港湾法第一章第二条 9 項，港湾法施行令第一章第一条
- 5) 佐藤徹 他：港湾施設の空洞化調査に関する報告（土木学会論文集, 70(2), pp.552-557, 2014）
- 6) 高橋重雄 他：護岸の吸い出しに関する水理模型実験（港湾技術研究所報告, 35-2, pp.3-63, 1996）
- 7) 市坪天士 他：揺動攪拌方式による新しい中層混合処理工法（地盤工学会誌, 60(6), pp.24-27, 2012）
- 8) 市坪天士 他：幅広い土質に対応可能とした高性能管理システムを用いた中層混合処理工法―スラリー揺動攪拌工（WILL工法）（基礎工, 42(8), pp.28-31, 2014）
- 9) 林健太郎 他：溶液型薬液注入工法による既設護岸背後地盤の液状化および吸出し対策（土木学会論文集, 728, pp.17-25, 2003.3）
- 10) 奥田聡 他：福井港海岸護岸の吸出し及び液状化対策の実証試験による設計について
- 11) 市坪天士 他：中層混合処理工法における混合性能および掘削性能の向上（建設の施工企画, pp.26-30, 2010.2）

6. おわりに

本報告では、柴山港ヤード内岸壁・護岸の背後において、裏埋土砂の吸い出しに起因する空洞の発生に対して、中層混合系の地盤改良工法であるWILL工法を用いて対策を行った。

その結果、柴山港ヤードにおける施工では、法面への対応や係船柱周辺等複雑な構造の施工が可能であるという利点があり、安定して施工を行うことができた。また、副次的な効果として液状化対策にもなることもあり、当該現場においては、他の工法と比較して総合面で優れていた。今回の工事実績より、WILL工法による吸い出し対策は、他の港湾構造物にも適応可能な工法であることが示唆された。

今後、施設の老朽化が進行し、柴山港と同様の問題が他施設でも発生する可能性があるが、今回の工事の教訓を元に、目的に合わせた適切な仕様と品質、かつ経済面についても十分に考慮して、安全・安心を意識した工事に取り組んでいきたい。

電気防食に用いる陽極材の長寿命化とLCC

山本 誠¹・佐野 清史²

¹日本エルガード協会 技術委員 (〒102-8465東京都千代田区六番町6番28)

²日本エルガード協会 LCM委員長 (〒541-0043大阪市中央区高麗橋4-1-1 東洋建設大阪本店)。

社会インフラの長寿命化計画等に基づくコンクリート構造物の有効な塩害劣化対策の一つに電気防食工法がある。電気防食工法は防食効果の信頼性が高く、その施工実績が増加しており、LCC的にも優れているが、近年の要求性能として、さらなる長寿命化を要望される場合が多々ある。本論文は、この要望に応えるため、電気防食に用いる陽極材の耐用年数を現状の40年から100年に延長する改良を実施し、この陽極材の耐用年数を2種類の促進試験において確認するとともに、改良した陽極材を用いた場合のLCCを試算した結果を紹介する。

キーワード 電気防食, 陽極材, 長寿命化, 促進試験, LCC

1. はじめに

現在、高度成長期に建設された多数の社会インフラは、供用開始から約50年が経過し、補修・補強の時期を迎えている。一方で、これら社会インフラの再構築は、社会情勢的にも困難な状況にあり、その対策として既存インフラ構造物の長寿命化が各方面で取り上げられ、長寿命化計画が構築されつつある。

社会インフラを構成する上で重要となるコンクリート構造物では、経年による変状に加え、中性化、塩害、ASR、凍害に代表される耐久性に影響を及ぼす劣化現象も十数年前から認められており、社会資本の維持管理上、より厳しい状況にある。中でも中性化や塩害による劣化は、コンクリート内部鉄筋の腐食に起因し、コンクリートかぶり部がはく離、はく落する劣化現象であり、構造物の耐久性に大きな影響を及ぼす。これら劣化対策では、表面ライニング工法に代表される外部からの腐食因子を遮断することで内部鉄筋の腐食を抑制する間接的な補修工法が従来から用いられてきた。しかし、塩害の厳しい環境では、補修後に既に蓄積された塩化物イオンに起因した再劣化も認められている。

近年では、その対策としてコンクリート内部鉄筋の腐食反応そのものを電気化学的に直接停止させる電気防食工法が注目を集め、その実績も増加している。

電気防食工法では、防食電流を供給するためにコンクリート表面へ陽極材が設置される。LCCの算定では、この陽極材の耐用年数が用いられることが一般的であり、NACE¹⁾による促進耐久性試験（以下、NACE法と称する）結果に基づき40年と設定されていることが多い。ま

た、NACE法の試験期間は、180日と長時間を要する。したがって、電気防食工法における長寿命化に向けた取り組みの一つは、長期耐久性に富む陽極材の開発と短時間での促進試験方法にある。

本論文では、この陽極材の長寿命化に取り組み、製作した長寿命型陽極材の促進耐久性試験について紹介するとともに、この陽極材を用いた場合のLCCを検討した結果を紹介する。

2. 長寿命型陽極材の製作と耐久性促進試験

(1) 長寿命型陽極材の製作

コンクリート構造物の電気防食工法の陽極材には、その基材として耐久性に富むチタンが用いられることが一般的である。チタンは、その表面が酸化チタンとなっており、非常に安定しているため、その表面での電気のやり取りができない。そこで、基材であるチタンに白金系貴金属を焼き付けコーティングすることにより、電気防食で供給される防食電流をコンクリート内部へ放出し易くすることで、電気防食用の陽極材とする。この白金系貴金属は、通電により徐々に消耗されるため、これが陽極材の寿命となる。つまり、陽極材の作製では、白金系貴金属が基材であるチタン表面にムラなく焼き付けコーティングされる必要がある。焼き付けコーティングの工程では、白金系貴金属が混合された溶液中に、幅が約12 mm、長さが76 mの細かいメッシュ状になったロール状のチタンを浸し、その後、オーブンで熱を加える。したがって、チタンを白金系貴金属溶液に浸す際に、隅々まで溶液がいきわたることが重要であり、この工程を見直

すことにより、より安定した焼き付けを行うことが可能となった。

(2) 促進試験による長期耐久性試験

a) NACE法の概要

NACE法¹⁾とは、米国腐食防食協会（NACE）で規格化される電気防食用陽極材の耐久性試験方法である。NACE法では、30 g/L塩化ナトリウム溶液、40 g/L水酸化ナトリウム溶液、珪砂に水酸化カリウム、水酸化カルシウム、水酸化ナトリウム、塩化カリウムからなる模擬細孔溶液の3種類を電解液として用いる。通電では、図-1に示すように電気防食用陽極と試験用陰極が直列になるように直流電源装置に設置し、積算電流密度が38,500 A-h/m²となるように試験片陽極に通電電流量17.8 mAを180日間供給し、通電時の極間電圧、陽極電位を測定する。この積算電流密度は、陽極表面積あたりに110 mA/m²の電流を40年間流し続けることと一致するため、本規格試験を満足する場合、40年間以上の寿命があると判断される。なお、判定基準は「初期陽極電位からの上昇量が4.0 V以内であること」とされる。この場合の積算電流密度は38,500 A-h/m²となる。本試験では、100年相当の積算電流密度96,250 A-h/m²となるように通電期間を450日間まで延長することで評価した。

b) 日本エルガード協会法

日本エルガード協会法²⁾とは、NACE法で用いられる通電電流密度を大幅に大きくし、通電期間を大幅に短縮させることを目的として、電解液として150 g/Lの希硫酸を用いる促進方法である。具体的には、通電電流密度1453 A/m²、通電期間が26.5時間であり、積算電流密度は38,500 A-h/m²である。図-2および図-3には、それぞれ試験装置と試験用電極の概要を示す。なお、判定基準はNACE法と同様である。そこで、本試験では、100年相当の積算電流密度96,250 A-h/m²となるように通電期間を66.3時間まで延長することで評価した。

(3) 促進試験による長期耐久性試験結果

図-4には、NACE法における通電期間中の陽極電位の経時変化を示す。なお、試験では、各電解液ごとに2試料実施しており、試験結果は、その平均とした。この結果から、いずれの電解溶液中でも陽極電位は、通電初期の電位と比較して大きな変化はなく、通電期間450日まで安定した電位（極間電圧）を示した。したがって、NACE法による耐久性評価として、100年間以上の通電能力を備えていることが確認された。

図-5には、日本エルガード協会法における通電期間中の極間電圧の経時変化を示す。この結果からも、先に示したNACE法と同様に、通電期間66.3時間での極間電圧が安定しており、陽極電位の急激な上昇は確認されなかった。したがって、本促進試験法でも100年間以上の通電能力を有する耐久性があるものと評価できる。

これら結果から、本試験では、電気防食用陽極材の促進耐久性試験として2種類の促進試験法を用いて評価し、いずれの試験でも、陽極の耐久性として100年以上を有するものと評価できた。

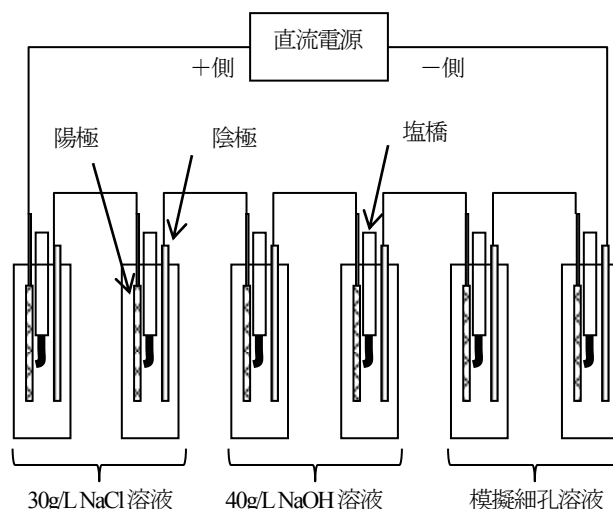


図-1 NACE法の試験装置概要

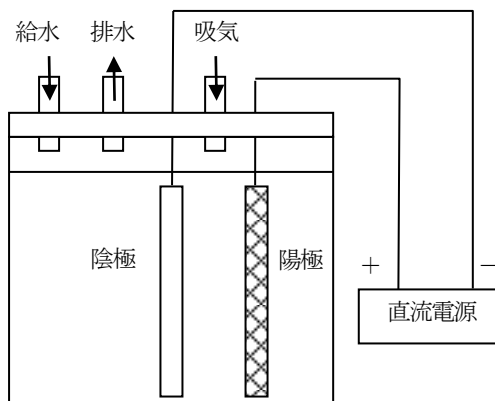


図-2 日本エルガード協会法の試験装置概要

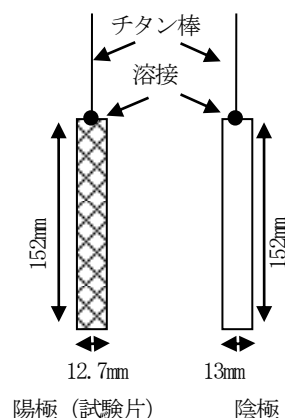


図-3 試験用電極の概要
（日本エルガード協会法）

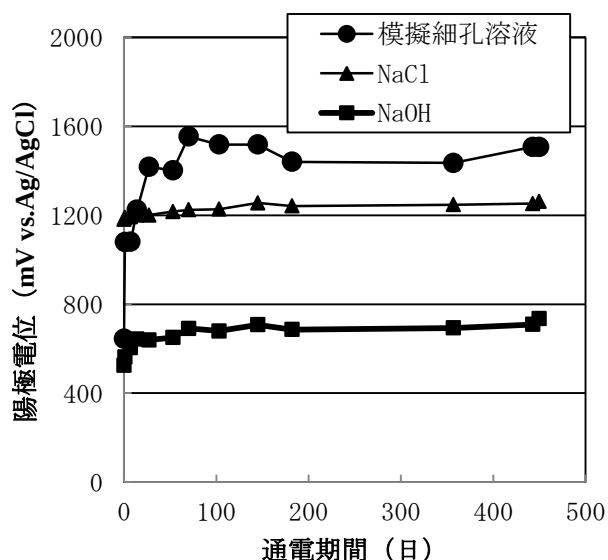


図-4 陽極電位の経時変化 (NACE法)

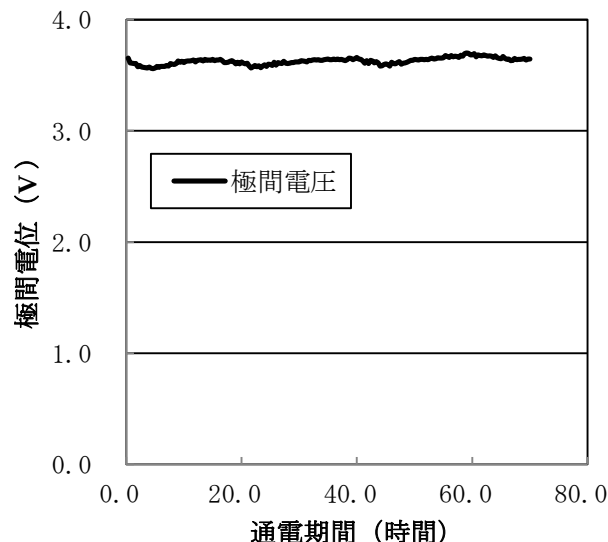


図-5 極間電圧の経時変化
(日本エルガード協会法)

3. 長寿命型陽極材を用いた場合のLCCの試算

上記によって製作し、その長期耐久性が確認された長寿命型陽極材を用いた場合のLCCを試算した結果について以下に紹介する。

(1) LCC算定ツールと算定の基本条件

LCCの算定に用いるツール (ソフト) は、日本エルガード協会のLCM特別委員会において作成したものである。このツールは、塩害による劣化過程期間の予測を拡散則および腐食速度の予測式³⁾に基づいて試算するとともに、試算結果から得られる各劣化過程ごとのLCCの試算が可能である。

長寿命型陽極材を用いるLCCの試算においては、陽極材の耐用年数に100年を想定しているため、PC構造物に対して予防保全的に対策補修工事を実施する進展期の最終時点、およびRC構造物に対する加速期の中間時点で対策を実施することとして試算した。進展期をPC構造物、加速期をRC構造物としたのは、PC構造物におけるはつりによるプレストレスの解放を考慮したためである。

図-6および図-7にLCC算定ツールを用いて試算したPCおよびRC構造物の劣化進行過程と構造条件を示す。この劣化進行予測過程に基づき、PC構造物では竣工後20.9年、RC構造物は18.1年後に対策を実施することとした。

LCC試算比較の算定期間は、対策工事实施後100年間とし、試算比較工法は、電気防食を陽極耐用年数2水準、即ち、①100年対応長寿命型陽極と②従来の40年対応陽極、③表面被覆工法 (進展期補修のPC構造物)、④断面修復工法 (加速期補修のRC構造物)、⑤脱塩工法+表面被覆工法とした。また、これらの各補修工法の算定条件として、以下の項目等を考慮することとした。

①および②の電気防食工法では、電気代および防食効果確認試験費や近年義務付けられた定期的な点検等の維持管理費、陽極システムや配線・配管および電源装置等の機器の更新費並びに補修時における浮き、はく落部の小断面修復の費用などである。

③の表面被覆においては、定期点検の費用を含み、表面被覆材の耐用年数を15年として、再補修を繰り返すことにした。但し、補修後供用期間100年を考慮した場合の表面被覆が繰り返しのみでの運用には疑問も残る。

④の断面修復では、③と同様に定期点検の費用を含み、補修後の耐用年数を75年として、補修時には、発錆限界塩化物イオンを含むコンクリートを深さ8cmで全てはつり取り、断面修復を実施し、③の表面被覆を併用することとした。

⑤の脱塩工法+表面被覆では、③、④と同様に定期点検の費用を含み、補修時における浮き、はく落部の小断面修復を実施し、劣化期での適用における脱塩性能のバラツキを考慮して劣化期のみ75年後に再度脱塩工法を適用することとした。表面被覆の耐用年数は③と同様である。

これらのLCC試算条件および試算に用いる費用の一覧を表-1に示す。なお、試算に用いた費用は、文献^{4) 5)}に準じ、実状に応じた変更と記載がないものについては、社会的常識の範疇での仮定とした。

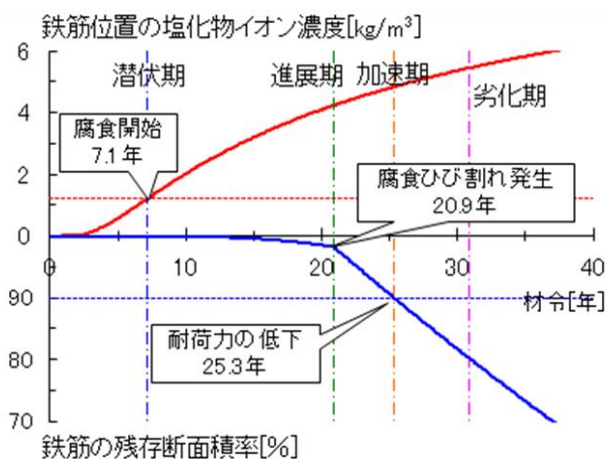


図-6 LCCの算定に用いたPC構造物の劣化進行予測過程

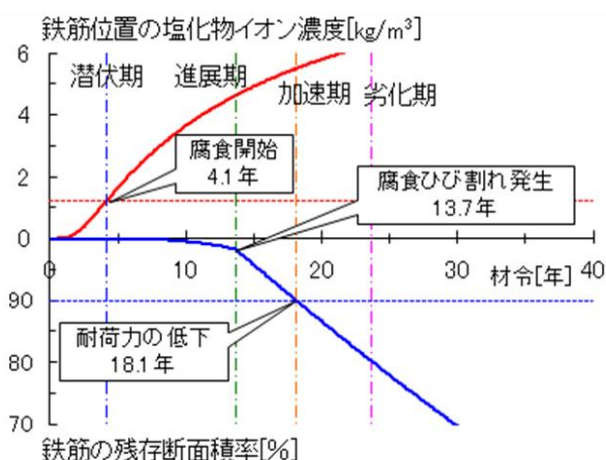


図-7 LCCの算定に用いたPC構造物の劣化進行予測過程

表-1 LCCの試算に用いた条件と費用^{3) 4)}

	耐用年数 適用頻度	対策工事費 (¥/m ²)	適用比率 (%)	
			進展期	劣化期
①電気防食	100	89,000	100	100
②電気防食	40	89,000	100	100
③表面被覆	15	17,600	100	—
④断面修復	75	150,000	—	100
⑤脱塩工法	75	80,000	100	100
他工事費				
仮設費	都度	11,000	100	100
⑤仮設費	都度	22,000	100	100
小断面修復	—	77,600	0	20
①②運転費				
電気代	回/年	30	100	100
効果確認費	回/年	800	100	100
①②補修費				
配線・配管	回/20年	8,000	100	100
電源装置	回/20年	11,000	100	100
点検診断費				
一般定期	回/5年	6,037	100	100
詳細定期	回/15年	12,770	100	100

(2) LCC算定結果とその評価

上記に基づき、進展期にPC構造物に対する対策を実施した場合のLCCの試算結果を図-8に示す。同様に劣化期のRC構造物に適用した場合を図-9に示す。また、それぞれの試算結果から対策工事実施後、40年、75年、100年間の対策工事費および点検費用の総額の対策工法別の比較を図-10および図-11に示す。

これらの試算結果によれば、PC構造物の進展期における対策では、全期間を通して表面被覆工法が最もLCCに優れている。また、対策後40年後では、電気防食工法の方が脱塩工法よりもLCCとしては優れているが、40年対応型陽極の電気防食は、この時点での陽極システムの交換費用がかさむため、その後のLCCでは、40年対応型の電気防食は、脱塩工法よりもLCC的に劣る結果になっている。一方、100年対応型の陽極での電気防食は、全期間を通じて脱塩工法よりもLCCに優れていることがわかる。また、これらの対策方法のLCCとしてのコスト比率の差は、40年対応型の電気防食を除き小さくなる傾向にあると判断できる。なお、本評価には防食効果の確実性等の工法的な評価が含まれていない。例えば、本LCCの試算のような発錆限界以上の塩化物イオンを含む構造物に対して表面被覆工法を長期的に適用することは、必ずしも適切な選択とはいえず、その意味で適正な比較対象となっていない一面がある点を考慮する必要がある。

一方、加速期におけるRC構造物への対策の実施において、対策実施後40年では①、②電気防食<⑤脱塩工法<④断面修復の順となっているが、一方で対策実施後75年では、①100年対応型電気防食<⑤脱塩工法<④断面修復<40年対応型電気防食となっている。これは、進展期における対策の場合と同様に対策実施後40年の時点での陽極システムの交換費用が影響しているためであり、同様な影響は、断面修復や脱塩工法の耐用年数を75年としたことで、対策後100年では、①100年対応型電気防食<⑤脱塩工法<②40年対応型電気防食<④断面修復となり、対策工法の耐用年数がLCCの試算に非常に大きな影響を及ぼすことが明らかである。なお、断面修復および脱塩工法の耐用年数を100年とした場合には、対策実施後75年の場合と同様なLCC試算結果の順序となる。

このように、塩害における対策工法のLCCの試算においては、適用される工法の耐用年数がLCCに対して大きな影響を及ぼすことが明らかであり、現在社会的に求められている社会インフラの更なる長寿命化に対して、防食効果の確実性に優れている電気防食工法の100年長期対応型が可能になることは、今後のインフラの長寿命化に応える有効な手段になると考えられる。

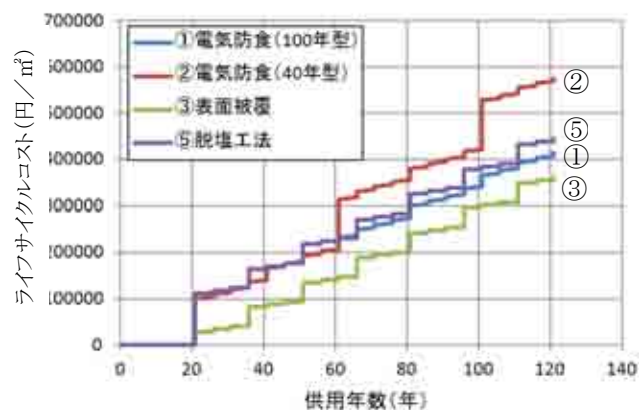


図-8 進展期 (PC構造物) におけるLCC試算結果

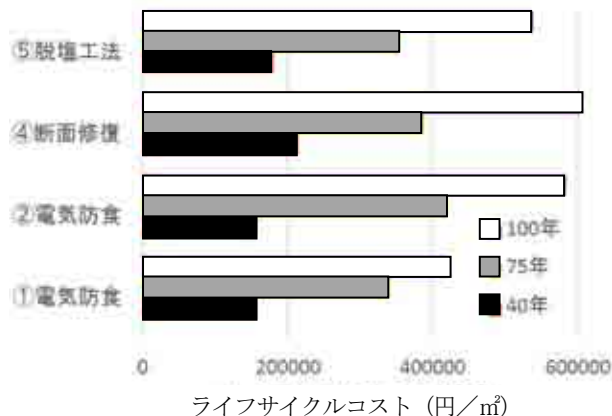


図-11 加速期における対策工法のLCCの比較

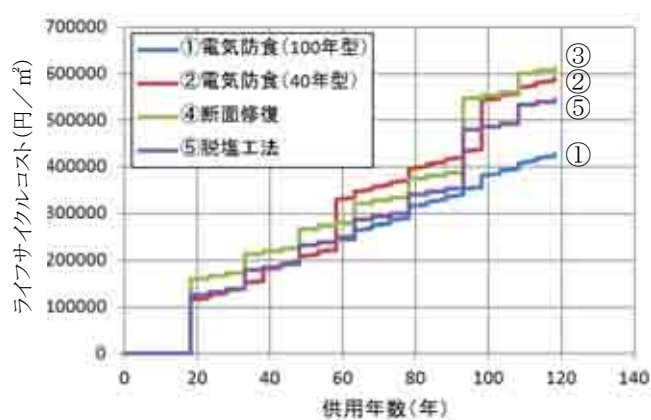


図-9 加速期 (RC構造物) におけるLCC試算結果

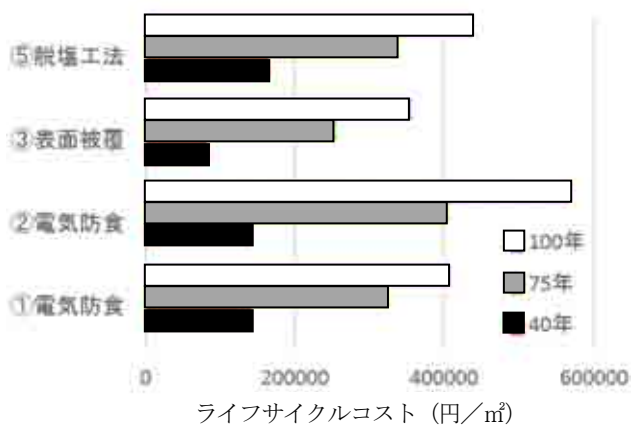


図-10 進展期における対策工法のLCCの比較

4. まとめ

電気防食工法の長寿命化に因るため、電気防食用陽極材の焼き付け工程を見直すことにより、陽極寿命が100年と設定可能な陽極材を作製し、その耐久性試験を2種類の促進耐久性試験で実施した。その結果、いずれの試験方法においても陽極寿命として100年以上を満足する評価が得られた。この結果と従来の陽極寿命40年耐用における電気防食工法およびその他補修工法によりLCCの試算を行った結果、電気防食工法におけるLCCでは、使用される陽極材の寿命により、LCC試算結果に与える影響が大きいことが確認されるとともに、100年耐用型電気防食用陽極材の有用性が確認された。

参考文献

- 1) NACE : NACE standard TM0294-94, Item No.21225, March 1994
- 2) 藤川孝文, 川俣孝治, 山本誠: 電気防食用陽極材の耐久性試験に関する検討, 土木学会第 57 回年次学術講演会, 57 巻, pp.1153-1154, 2002 年
- 3) 中川将秀, 壹岐直之, 羽瀧 貴士, 峰松 敏和, 福手 勤; 港湾コンクリート構造物を対象とした各種補修工法と LCC 試算, 日本コンクリート工学協会「コンクリート構造物のアセットマネジメント」に関するシンポジウム, 2006, 12
- 4) 加藤絵万, 岩波光保, 横田弘: 栈橋のライフサイクルシステムの構築に関する研究, 港湾空港技術研究所報告, 第 48 巻 第 2 号, 2009.6
- 5) 野上周嗣, 加藤絵万, 川端雄一郎, 佐藤徹: 栈橋上部工の維持管理シナリオに関する検討, 港湾空港技術研究所資料, No.1296, 2014.12

神戸港における中央航路に近接する 既設防波堤撤去について

前田 大輔¹

¹近畿地方整備局 神戸港湾事務所 建設管理官室 (〒651-0082兵庫県神戸市中央区小野浜町7-30)

近年、海上コンテナを用いた国際物流ではスケールメリットの追求による輸送船舶の大型化が進んでいる。このため国土交通省では、神戸港(阪神港)を国際コンテナ戦略港湾に位置づけて、基幹航路の維持・拡大を図っている。大水深高規格コンテナターミナル整備事業による大型船の円滑な入出港のために、航路等の拡幅・増深を行っている。この航路拡幅・増深事業の一環として、航路拡幅に支障となる既設防波堤(第六南防波堤)を撤去するものである。撤去作業にあたっては「安全確保」を前提とした上で、工期短縮・コスト縮減での検討が必要であった。

本稿では、既設防波堤撤去の実施に際しての課題と対応策を報告するものである。

キーワード 既設構造物撤去, コスト縮減, 現地破碎, 砕岩棒

1. はじめに

我が国の港湾は、海上コンテナを用いた国際物流スケールメリットの追求による輸送船舶の大型化への対応から、基幹航路の維持・拡大を求められている。この中で、神戸港は、大水深高規格コンテナターミナル整備事業による大型船舶の円滑な入出港のために、航路の拡幅・増深事業を行っている。

第六南防波堤は港内静穏維持のために1960年代～1970年代にかけて建設されたが、完成から約40年が経過し、神戸港ポートアイランド(第2期)及び神戸空港島などの埋立造成が進んだ事により、第六南防波堤がなくても港内静穏を確保出来る状況下にある。(写真-1)

このため、今般、航路拡幅・増深に際して支障となる既設防波堤(第六南防波堤)の撤去を行う事となり、2012年度から実施しているところである。(写真-2図-1)

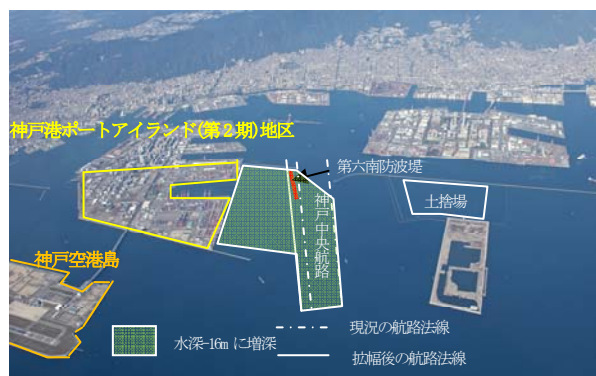


写真-1 神戸港全体図

本稿では、2012年度に引き続き実施した2014年度工事(砕岩棒による現地破碎)について、供用中の航路に隣接する区域における施工という条件の下「安全確保」を前提とした上で「コスト縮減」「工期短縮」の実現という課題とその対応策を報告するものである。

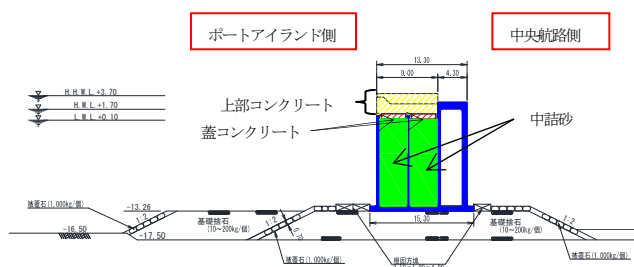


図-1 防波堤(スリットケーソン)断面図

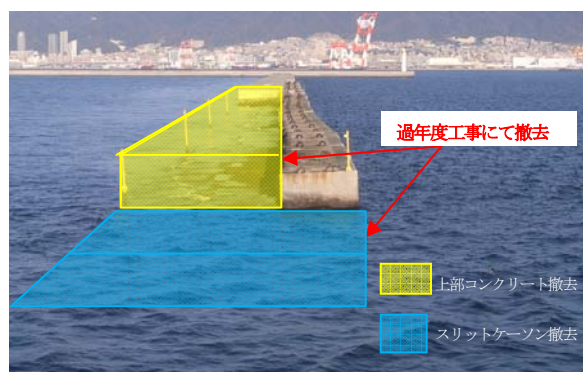


写真-2 第六南防波堤(現地破碎実施前)

2. 工事内容と施工条件

(1) 工事内容

本工事は、神戸中央航路の拡幅・増深事業の一環として、航路拡幅の支障となる既設防波堤(第六南防波堤)を撤去するものである。

- ・スリットケーソン撤去 6函 (3,156m³)
- ・上部コンクリート撤去 6函 (1,774m³)
- ・蓋コンクリート撤去 6函 (365m³)
- ・中詰砂撤去・流用 6函 (5,777m³)
- ・被覆石撤去・流用 1式 (861m³)
- ・基礎捨石撤去・流用 1式 (4,732m³)

なお、ケーソン内部の中詰砂及びケーソンマウンドの被覆石・基礎捨石は、撤去後、別件工事で施工している浚渫工事の土捨場の土砂流出防止対策として流用する。

(図-2、図-3)

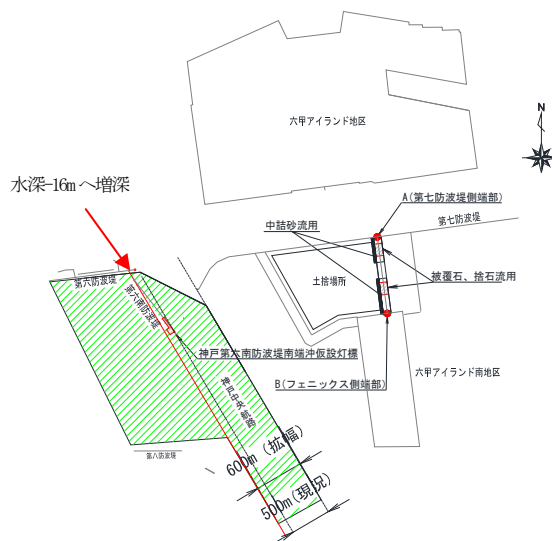


図-2 中詰砂、被覆石・基礎捨石の流用先

(2) 施工条件

第六南防波堤は神戸港の玄関とも言える神戸中央航路に隣接しているため、工事の実施に際しては、一般船舶の航行に影響を与えてはならないという制約があった。

このため、第六南防波堤の撤去作業に際しては、第六南防波堤西側から施工することを原則としているほか、撤去作業を行う作業船の本体およびアンカー等を航路内にはみ出して施工することが出来ない。

また、一般航行船舶への配慮から、大型起重機船による作業を実施する場合は、作業日を大型船の航行が比較的少ない土曜日及び日曜日に限定する必要があった他、施工実施に際しては日々、船舶の入出港情報を把握し作業船の航行を調整する必要があった。(写真-3)



写真-3 ポートアイランド2期地区入港中の大型船舶(船長316m)

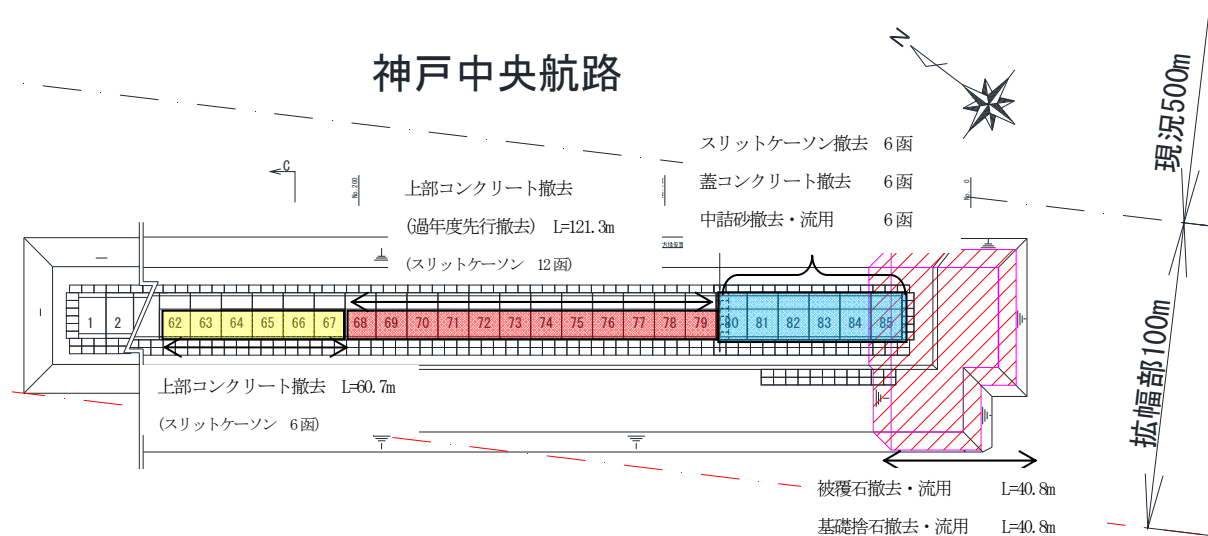


図-3 既設防波堤撤去平面図

3.2012年度工事実績

2012年度に実施した第六南防波堤撤去工事においては堤頭部ケーソン1函、スリットケーソン1函の撤去を実施しており、起重機船による「吊り上げ方式」により撤去を実施した。(写真-4)

「吊り上げ方式」により撤去を行う場合、撤去したケーソンを仮置きするための陸上ヤードが必要となるが、神戸港を含む大阪湾内の港湾において使用可能な陸上ヤードで、且つ、撤去するケーソン(1,288/函)に相当する耐荷力を有する陸上ヤードの確保が困難であった。2012年度工事の際には、期限付きで民有ヤードを有償借用することが出来たが、長期にわたる専属的な確保は出来ない状況にある。

また、撤去後のケーソンを現地調査したところ、ケーソンに甚大なクラックが確認された。今般、確認されたクラックの原因としては、埋立造成が進む前は、第1線防波堤として、厳しい条件下で、供用されていること、経年による劣化が進行したためだと考えられる。

このため、今回撤去したケーソン以外にも同様な損傷が見込まれることから、後続工事の実施にあたっては、「吊り上げ方式」に替わる撤去方法の検討のほか、安全面について再度検討を行う必要があった。(写真-5)



写真-4 ケーソン吊り上げ及び台船積込



写真-5 ケーソン底板部のクラック状況

4. 既設防波堤撤去における課題

(1) 撤去ケーソン現地調査結果

撤去されたケーソンを調査したところ、側壁下部からフーチングにかけて、ひび割れが、多数認められ、その幅も最大9.0mmであった。このことから、このクラックは、フーチング部を貫通するクラックであると想定された。また、スリットケーソンから試験体を取り出し、圧縮強度試験を実施したところ、19個の試験体の内、4個が強度不足であった。

前述のとおり、第六南防波堤撤去にあたっては、神戸港中央航路を航行する一般船舶に影響を与えない安全な施工方法とする必要があり、過年度工事と同様に、起重機船による「吊り上げ方式」により事業を継続した場合、クラック等の影響によりケーソン底板が崩落し、大規模な海上工事故につながる可能性がある。

(2) コスト面、工期面での課題

第六南防波堤は堤頭部ケーソン1函、スリットケーソン39函、標準部ケーソン47函の計87函から成り、2012年度に撤去した堤頭部ケーソン1函、スリットケーソン1函を除くと、残り85函のケーソンを撤去する必要がある。一方で2012年度工事においては堤頭部ケーソン1函、スリットケーソン1函計2函の撤去に工費6.3億円、工期11ヶ月を要している(上部工先行撤去20函分等含む)。

起重機船による「吊り上げ方式」により、事業を継続した場合、陸上ヤードの長期にわたる専属的な確保が不可能である。また、前述した施工条件により、「吊り上げ方式」による撤去作業には、制約があるため事業遅延が懸念されるところであり、航路の供用が遅れる可能性がある。

このため、残り85函のケーソン撤去に際しては、より効率的な施工方法による「コスト縮減」と航路早期供用のための「工期短縮」について検討を行う必要があった。

5. 既設防波堤撤去における課題への対応策

(1) 砕岩棒及び硬土盤グラブによる現地破碎

スリットケーソン撤去作業に際しては、起重機船による「吊り上げ方式」に替えて、グラブ浚渫船による「現地破碎方式」を採用することとした。

通常浚渫工事において使用されるグラブ浚渫船を用い、同船が装備する「砕岩棒」をスリットケーソン上で自由落下させることにより、これを破碎し、「硬土盤グラブ」を使用して海中からコンクリートガラを撤去する施工方法とした。

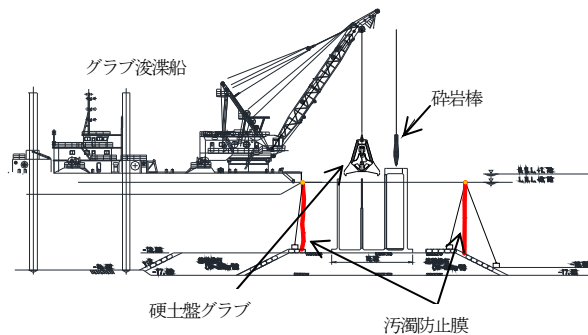
グラブ浚渫船を浚渫工事以外で使用することは極めて少なく、また、供用中の航路に隣接する場所において、

正立する構造物の破碎等を行った事例は国内において他にない。(図-4,写真-6,7,8,9)

「現地破碎方式」を採用することにより、起重機船によるケーソン「吊り上げ方式」に比べ、クラックによるケーソン崩落の危険性を回避し、グラブ浚渫船を用いるため、作業船が小型化し、かつ作業船船足が速くなるため、一般船舶による制約を受けずに施工を行うことができた。

また、現地破碎によりケーソンを仮置きする陸上ヤードを確保する必要がなく、長期にわたり専属的に作業ヤードを確保するという問題を解決した。

1. 砕岩棒及び硬土盤グラブによるスリットケーソン破碎・撤去



2. 瀬取り運搬(コンクリートガラ撤去→土運船積込→起重機船運搬)

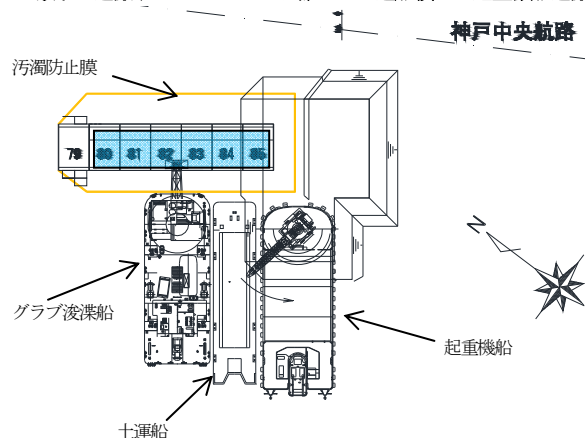


図-4 ケーソン現地破碎施工手順イメージ図



写真-7 砕岩棒による破碎状況



写真-8 硬土盤グラブによる撤去状況

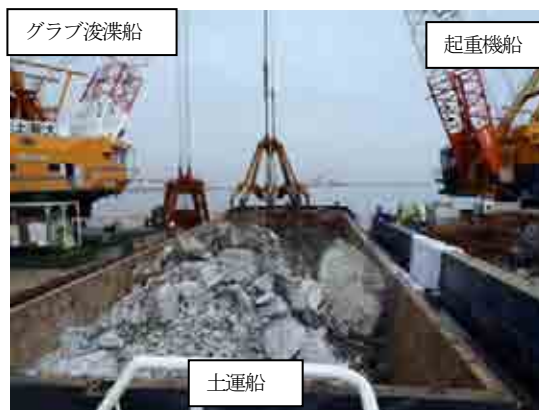


写真-9 コンクリートガラ積込状況



写真-6 グラブ浚渫船によるケーソン現地破碎の様子

(2) 現地破碎による周辺環境への影響対策

(a) 撤去ケーソン周辺に汚濁防止膜設置

現地破碎による周辺環境の影響として、周辺水域の濁りが懸念されたため、撤去するケーソン周辺に、汚濁防止膜の設置を義務付けた。これにより水域の濁り拡散を押さえるとともに、ケーソン撤去により発生するコンクリートガラが、供用中の航路へ飛散することの防止につとめた。(図-5)

(b) 施工箇所周辺での水質調査及び騒音調査

別件業務にて、ケーソン撤去作業時には施工場所周辺での水質調査および騒音調査を実施した。

水質調査及び騒音調査は、(図-6)に示す地点にて実施した。水質調査は、工事箇所を含め計4地点で、1地点毎に上層と下層での調査とし、ケーソン撤去作業日毎に実施する日調査と週1回に実施する週調査を実施した。日調査は、簡易濁度計を用いて現地測定し、事前調査にて定めたSS-濁度換算式により求めた換算SSにより現地においての濁り監視を行った。週調査は、バンドーン採水器により上層および下層の海水を採水し、室内試験によりSS等の分析を行った。調査に当たっては、C地点をバックグラウンド(以下B.G)として設定し、施工水域周辺の濁りを監視するため、B.G地点の測定値に対し、各監視地点(A,B,D)の測定値が、基準値(B.G地点測定値+10mg/L)を超えないか、監視を行った。

また、撤去作業に伴うコンクリート粒子のアルカリ成分の拡散がないかを確認するため、pH値の測定を実施し、各監視地点とB.G地点の比較を行った。

また、陸上騒音調査と水中部騒音調査を実施した。陸上騒音調査は砕岩棒でのスリットケーソン撤去作業時に8～18時まで毎正時10分間測定し、工事騒音による影響が、懸念される住宅地が多い六甲アイランド地区の工事現場近傍の岸壁際(敷地境界)で実施した。周辺海域の魚類等への影響が懸念されたため、海中での砕岩棒作業時に水中部の騒音調査を実施した。水中部騒音調査地点は、工事区域から離れた3地点で実施し、①は工事区域から200m、②は500m、③は800m離れた地点で測定を行った。

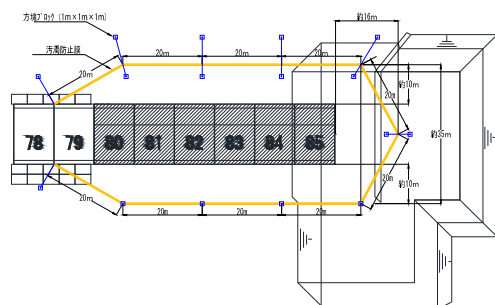


図-5 汚濁防止膜設置のイメージ図

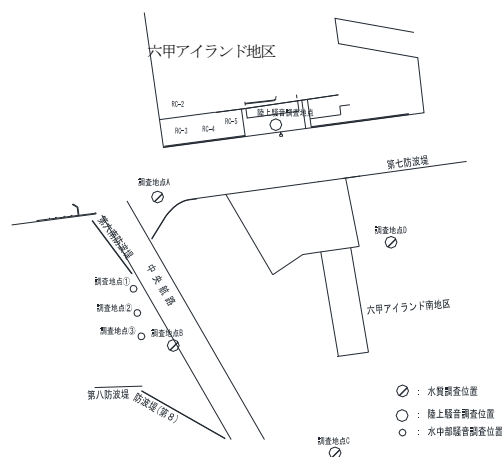


図-6 水質調査及び騒音調査位置図

6.現地破碎による成果

(1)コスト縮減、工期短縮の実現

現地破碎方式による施工方法を採用することにより、起重機船による吊り上げ方式に比べ、前述した大型一般船舶の入出港による制約を受けずに施工することができたため、工期を大幅に短縮することができた。

また、過年度工事における撤去費用と比較すると、大型起重機船及びケーソン運搬に必要な台船等の必要がないため、大幅なコスト縮減を達成することができた。

以上により、既設防波堤撤去において、砕岩棒と硬土盤グラブによる現地破碎は、優良な施工方法だと言える。(表-1)

表-1 工事費及び工期比較
(工期は2012,2014年度工事実績)

撤去工法	工事費/函	工期/函
①現地破碎方式	約35百万円	約5日
②吊り上げ方式	約83百万円	約39日
①-②	▲約48百万円	▲約34日

- ・工事費については、上部工撤去、中詰砂撤去等を除いた純粋なケーソン撤去・破碎の費用。
- ・工期については、吊り上げ方式は、3週連続の台風による延伸を含む。

(2)水質調査、騒音調査による結果

ケーソン撤去に当たり、周辺水域の濁り及び撤去コンクリートガラに含まれるアルカリ成分の影響によるpHの上昇が懸念されたが、調査の結果、濁りに関しては、換算SSの監視基準B.G値+10mg/Lを超えることはなく、また、pH値においても、B.G地点での測定値との差はなかった。これは、撤去作業時において、ケーソン周辺への汚濁防止膜で囲むことにより、濁り拡散やコンクリートガラ粒子の流出を防ぐことができたためであると考えられる。(図-7,8)

砕岩棒使用時における騒音が懸念されたが、基準を上回る騒音は検出されなかった。陸上騒音調査の結果、主な騒音源は、近傍のコンテナバースの作業音、航行する船舶の音であり、騒音の評価値は、55～68dBであった。規制基準値85dBを大きく下回っており、住宅地等に工事による騒音被害はなかった。これは、砕岩棒による作業において、気中部の破碎時は、落下高さを調整したことにより、騒音発生を抑えることができたためと考えられる。(表-2)

また、水中部騒音調査を実施したが、調査結果により工事音平均で、上述した①地点で、139dB、②地点で132dB、③地点で128dBとなっており、魚類が驚いて深みに潜るか、音源から遠ざかる反応を示す威嚇レベルである¹⁾140dB～160dBを下回っている。また、施工場所周辺

を航行する船舶航行音125dB～144dBと同程度の音圧であるため、工事による魚類等への影響はないと言える。
(図-9)

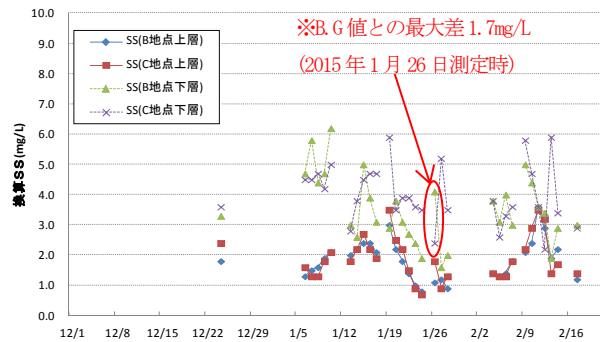


図-7 水質調査(日調査)におけるB地点とC地点の水質経時変化(換算SS)

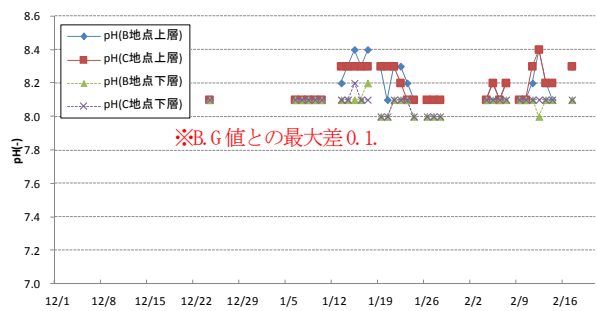


図-8 水質調査(日調査)におけるB地点とC地点の水質経時変化(pH)

表-2 六甲アイランド地区における陸上騒音調査結果
(2015年1月6日 砕岩棒による撤去作業時観測結果)

騒音 実測時間	作業騒音 レベル L_{Aeq}	時間平均騒音レベル				評価値	評価値 決定方法	確認された主な音源 (工事騒音以外の音)
		上層値 L_{A90}	中央値 L_A	下層値 L_{A10}	下層値 L_{A50}			
8:00～8:10	51.3	55	50	49	55	L_A	L_A	コンテナパース作業、航空機、風雨
9:00～9:10	60.6	68	55	53	68	L_A	L_A	コンテナパース作業、汽笛（放送）、風雨
10:00～10:10	55.2	58	55	53	58	L_A	L_A	コンテナパース作業、風雨
11:00～11:10	55.1	58	55	53	58	L_A	L_A	コンテナパース作業、風雨
12:00～12:10	66.2	68	49	48	68	L_A	L_A	コンテナパース作業、汽笛（放送）、航空機、風雨
13:00～13:10	54.3	56	54	52	56	L_A	L_A	コンテナパース作業、風雨
14:00～14:10	53.2	55	53	51	55	L_A	L_A	コンテナパース作業
15:00～15:10	53.3	57	52	50	57	L_A	L_A	コンテナパース作業、船舶
16:00～16:10	51.0	54	50	48	54	L_A	L_A	コンテナパース作業
17:00～17:10	49.2	53	48	44	53	L_A	L_A	コンテナパース作業、航空機、船舶
18:00～18:10	66.6	68	45	42	66	L_A	L_A	コンテナパース作業、汽笛（放送）

※各騒音レベル及び時間平均騒音レベルについては、除外音を除かず全ての音を含んでいる。

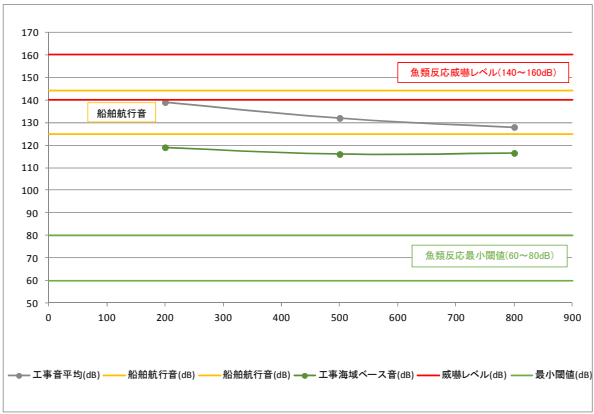


図-9 施工場所周辺の水中部騒音調査結果

7.まとめ

本稿では、供用中の航路近傍での既設防波堤の撤去にあたり、安全確保を前提として、「コスト縮減」、「工期短縮」の実現という課題と検討に基づく対応策及び成果について報告した。

既設防波堤撤去にあたっては「砕岩棒」「硬土盤グラブ」による現地破碎方式を採用することにより、供用中の航路近傍という現場条件に対して安全性を確保して施工し、作業ヤードの確保、撤去作業日による制約を解決することができたといえる。過年度工事で施工した起重機船による吊り上げ方式に比べて、大幅なコスト縮減、工期短縮を実現した。

また、現地破碎による周辺環境への影響が懸念されたが、汚濁防止膜設置による対策により、水質への影響を及ぼすことなく、施工することができた。騒音調査の結果からも、工事による騒音の影響は無いと言える。

上記により、本事例は、今後、継続して行う防波堤撤去作業において、優良な施工法であることが確認された。本事例は他の港においても既設構造物の老朽化、陳腐化が懸念され、撤去の必要があると考えられる場合において採用可能な施工方法であり、モデルケースになると考えられる。

早期航路供用に向けて、本事例を今後の防波堤撤去計画に活かしていきたいと思う。

参考文献

- 1) 社団法人日本水産資源保護協会：水中音の魚類に及ぼす影響
水産研究叢書 47

山陰近畿自動車道野田川大宮道路 (仮称) 野田川橋梁の架設について

森本 英夫

京都府道路公社建設事務所 建設第一課 (〒626-0003京都府宮津市宇漁師1775-26)

山陰近畿自動車道野田川大宮道路における(仮称)野田川橋梁については、下部工の着手から約5年の年月を経て今年6月に完成した。特に、鋼5径間連続開断面箱桁架橋工事(以下、上部(その2)工事とする。)の範囲においては、国道、府道(2路線)、二級河川及び鉄道が交差しており、それぞれの施設への配慮や交通管理者との調整を伴う中での工事であった。

今回は特に制約が大きかった上部(その2)工事における架設工法選定の経緯と、施工時に特に配慮した内容について報告を行うものである。

キーワード 手延べ式送り出し架設、一括架設、送り出しヤード、鉄道営業線近接工事

1. はじめに

山陰近畿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、「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」の各地域の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ある。野田川大宮道路(国道312号)は、その一部を構成する延長4.3kmの道路で、2016年度の供用を目標に整備を進めているところである。(図-1)

(仮称)野田川橋梁は野田川大宮道路の与謝天橋立ICに隣接する起点部に位置し、宮津市須津と与謝郡与謝野町弓木を結ぶ延長589mの橋梁である。



図-1 山陰近畿自動車道整備状況

2. (仮称) 野田川橋梁について

本橋梁は橋台2基と橋脚10基の計12基の下部工と、鋼構造で二種類の主桁形式の上部工から構成されている。

現地では二級河川野田川の河道をまたぐ形となっており、下部工については直接基礎形式のものと杭長が約30mに達する杭基礎形式のものが混在し、起伏の激しい基盤岩の上に堆積した沖積層の影響を大きく受けている。

上部工は主に経済性からA1橋台からP6橋脚までの区間(平均支間長約41m)が鋼6径間連続少数鉸桁形式、P6橋脚からA2橋台の区間(平均支間長約69m)は鋼5径間連続開断面箱桁形式を採用している。

両形式とも合成構造であり、床版については鋼・コンクリート合成床版を採用している。

それぞれの形式についての標準断面を(図-2)(図-3)に、橋梁全体の側面図を(図-4)に示す。

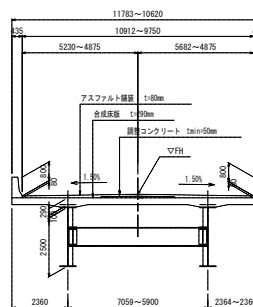


図-2 少数鉸桁標準断面

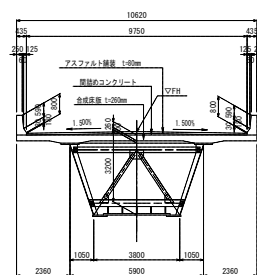


図-3 開断面箱桁標準断面

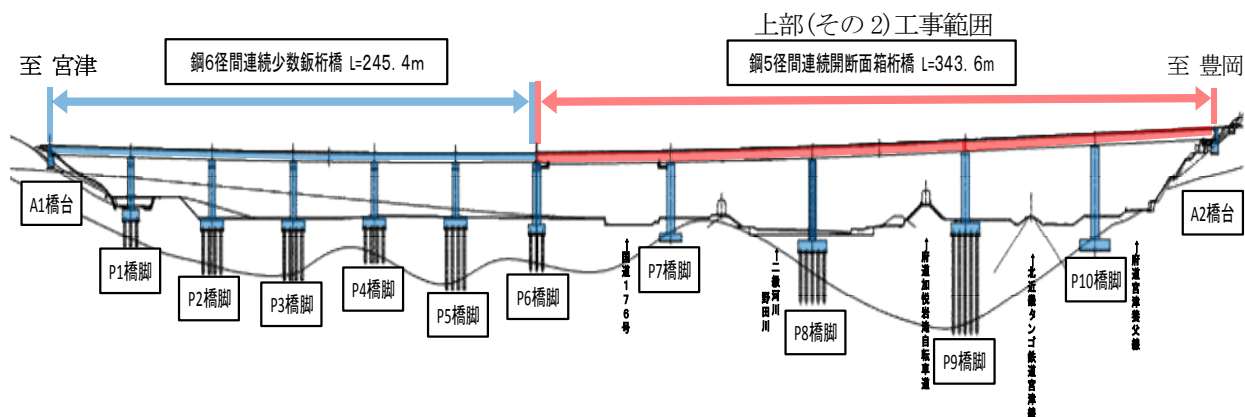


図-4 (仮称) 野田川橋梁全体側面図

3. 架設工法選定の経緯

上部(その2)工事の実施に伴う架設工法の選定を行うにあたり、特に以下の2つの条件について考慮する必要があった。

(1) 交差施設への配慮

今回施工する区間の工事範囲を(図-5)に示す。橋桁の架設範囲には起点側より国道176号、二級河川野田川、府道加悦岩滝自転車道線、北近畿タンゴ鉄道宮津線(京都丹後鉄道宮豊線)及び府道宮津養父線が交差しており、各施設への影響を最も小さくする必要があった。

また協議を進める中で、交通管理者より国道及び府道の同時通行止めは一時的でも同意出来ない旨の条件を付され、これについても考慮する必要があった。

(2) 野田川左岸の厚い軟弱地盤

野田川の左岸側(鉄道側)には、有機質土や粘土混じりシルト等の軟弱な沖積層が厚く堆積しており、北

近畿タンゴ鉄道に近接する箇所では基盤まで約35mもの厚さがあることが確認され、特に地表面から約11mの深さまではN値が4以下の非常に緩い層となっており、鉄道敷に近接しての作業は軌道の変位等を生じる恐れがあった。(図-6)

以上2つの条件から、道路への通行の支障や河川管理上の影響を可能な限り少なくし、鉄道近傍での大型重機での作業を極力減らすことができる工法として、P7橋脚からA2橋台の区間は多径間の手延べ式送り出し架設工法を、P6橋脚からP7橋脚の範囲は国道上空の一括架設を含むクレーン・ベント架設工法を採用した。

なお、当初はP3橋脚からP6橋脚の範囲をヤードとして全区間(343m)を手延べ式送り出し架設で施工予定であったが、交通管理者からの条件で2工法を併用することとなった。これに伴い、手延べ式送り出し架設で利用できる送り出しヤード長は最長径間(77.2m)よりも短い約53mしか確保出来ないこととなり、当初発注時から大幅な変更を伴う条件で施工を進めざるを得なくなった。

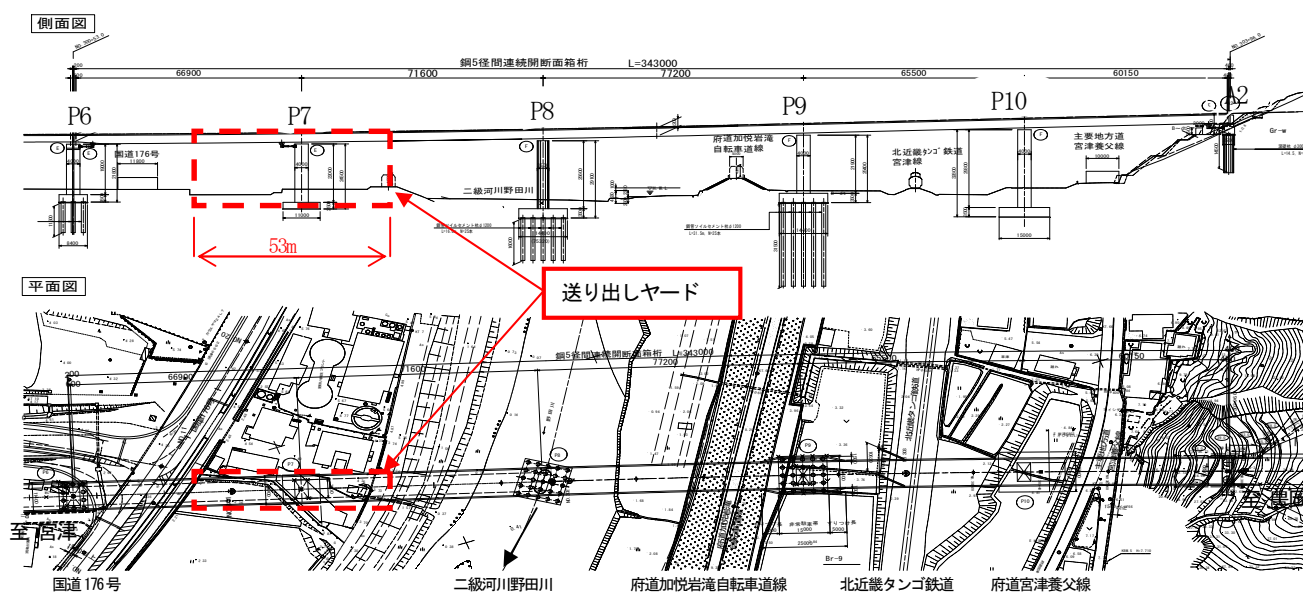


図-5 上部(その2)工事範囲(側面図及び平面図)

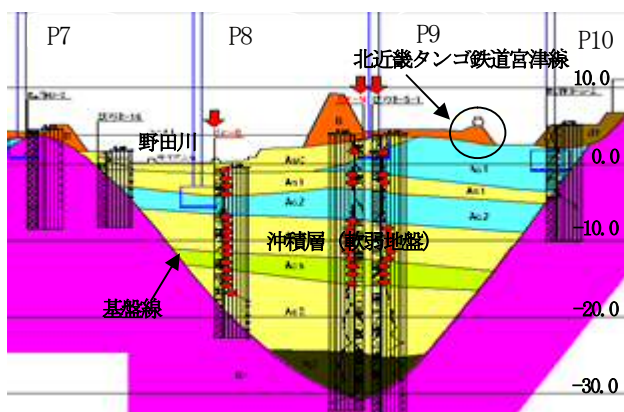


図-6 野田川左岸の厚い軟弱地盤状況



図-8-① 送り出しヤード

4. 工事の実施について

以下、各架設工法実施の際に、特に配慮して施工した点について記載する。

(1) 手延べ式送り出し架設

上述のとおり送り出しヤードが短くなったことから、1回に送り出す桁の延長が短くなり、送り出し回数が当初の8回から14回に増加した。(図-7)

特に以下の二点についてはヤード変更に伴う工事実施の際の課題となり、その解決に努めた。

(a) 手延べ桁のP8橋脚到達までの安全確保

P8橋脚に到達するまでの間については、手延べ桁が河川上に張り出した状態となることから、手延べ桁の転倒に対し安定を確保する必要があり、送り出し長の調整や送り出し直後にカウンターウエイトとなる桁を速やかに接合するなどの配慮が必要となった。

このため、送り出しヤード端からP8橋脚までの間(約45m)においては、転倒安全率1.2を確保するため細かに4回の送り出しを行い、直後にその都度本桁の接合を行うことで無事P8橋脚に到達することができた。



図-8-② P8橋脚到達直前の状況

(図-8)にその際の状況写真を掲載する

(b) 鉄道営業線近接工事における同意条件の遵守

鉄道事業者である北近畿タンゴ鉄道工務課(当時)からは、①手延べ桁先端を鉄道敷上空(線路敷の俯角75°影響範囲)でとどめない②手延べ桁は一夜間でP10橋脚に到達させ張り出し状態で存置しない、という2点を遵守することと、工事に必要な有資格者(工事管理者(線)等)を確保し配置することを条件に鉄道営業線近接工事として、当社が鉄道上空で橋梁架設工事を行うことについて同意を得ていた。

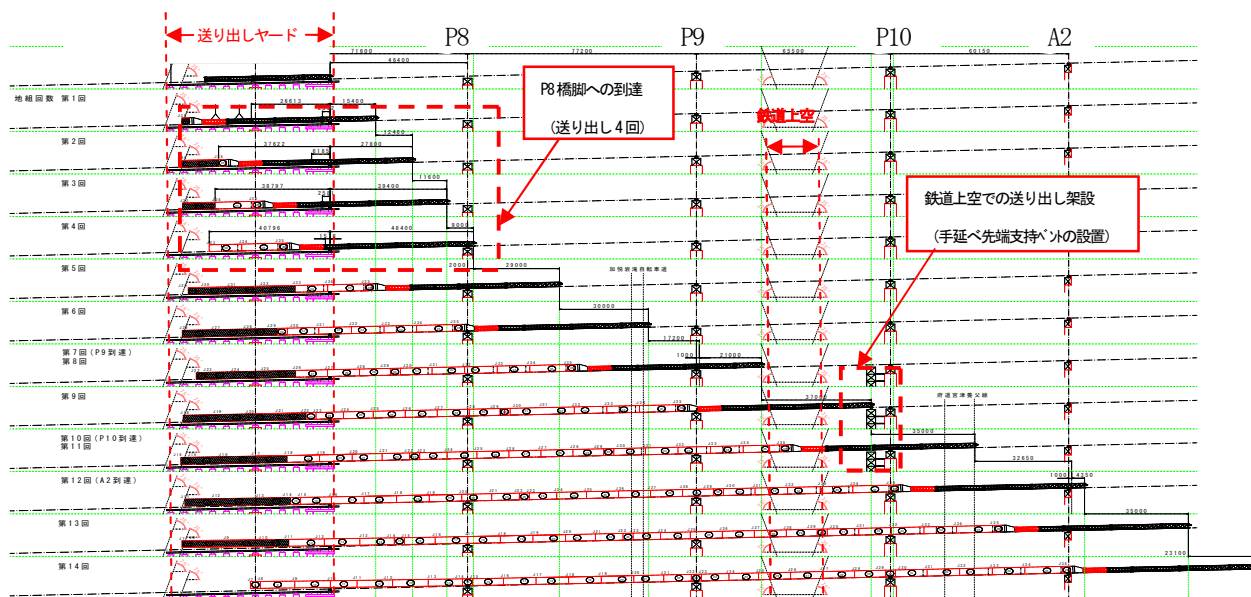


図-7 手延べ式送り出し架設(送り出しステップ図)

しかしながら1回で行える送り出し長が短くなったことから、一夜間で手延べ桁先端をP10橋脚位置まで到達させることができなくなったため、P10橋脚に隣接して手延べ桁先端を支持するベント（先端仮受けベント）を新たに設置し対応することについて鉄道事業者に協議を行い、了解を得て工事を進めることとなった。

なお、当該区間の送り出し速度を確保するための装置として、秒速約70cmで桁を推進できる能力のある交互推進ジャッキ（図-9）と各橋脚に設置した駆動式エンドレスローラー（図-10）を用いて作業をおこなうことにより、線路閉鎖時間（23時～翌朝5時30分）内に送り出しを完了することができた。（図-11）



図-9 交互推進ジャッキ



図-10 駆動式エンドレスローラー



図-11-① 手延べ桁仮受けベント到達状況



図-11-② 手延べ桁先端 仮受けベント到達状況

（2）クレーン・ベント架設（一括架設）

国道176号上空範囲の架設については隣接するヤードで地組を行い、国道上に550t吊りのオールテレーンクレーンを据えて一夜間で一括架設を行った。

一括架設を行う桁については端部ブロックを含めて3ブロックを接合するものであり、桁の延長は約25m、重量は約80tであった。

なお、桁の地組についてはクレーンの能力から極力国道に近接した場所で行い、当日の夜間における作業時間の短縮に努めた。（図-12）

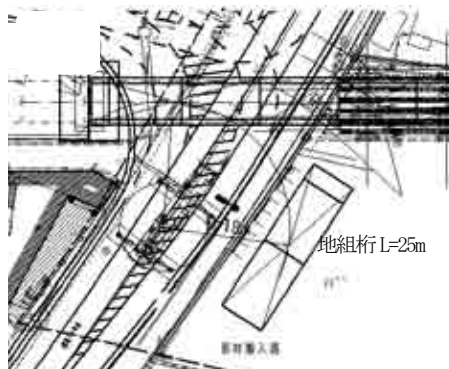


図-12-① 国道 176 号一括架設（平面図）

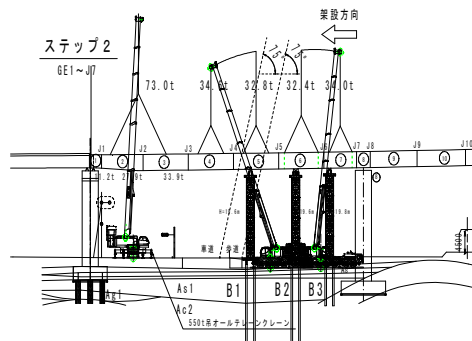


図-12-② 国道 176 号一括架設（側面図）

架設当日は国道を夜間全面通行止めにしての作業であり、規制時間である22時から6時までの一夜間で架設を

終える必要があった。特に時間を要する作業として、550t吊りオールテレーンクレーンの設置・解体に計4時間が必要となることから、この作業を予定どおり進めることが重要なポイントであった。

架設日当日は追い出し等交通規制を迅速に実施し、速やかに作業をおこなった結果、滞りなく架設を完了することができた。(図-13)



図-13 国道176号一括架設状況

5. おわりに

多くの関係機関との調整や、制約の多い条件の中での施工であったが、無事桁架設を完了することができた。

狭小なヤードしか確保出来ない状況で、かつ制約条件の多い中で行った今回の事例は、同様の条件下で工事を実施される場合の参考になればと考える。

しかしながら、カウンターウエイトが小さい状態での送り出し架設については、施工を行った時期が気象の影響が少ない春先であったことから、特に大きな問題が発生すること無く工事が進んだが、台風が襲来するような時期ならば施工を延期するなどの配慮が必要になったのではないかと考える。

また、今回は関係機関の理解が得られて工事が進められたものの、状況によっては工事が長期間中断しかねないものであったことから、早期からリスクについて十分把握し、対策を検討しておく必要性について感じた。

謝辞：本工事を進めていくにあたり多くの助言を頂いた川田・宮地特定建設工事共同企業体関係者の方々に深く感謝するとともに、この場を借りて御礼を申し上げます。

初瀬水路発電所設置工事の施工に関する 取り組みについて

原 博昭

独立行政法人水資源機構 琵琶湖開発総合管理所 機械課（〒520-0243滋賀県大津市堅田2-1-10）

初瀬水路発電所は、奈良県桜井浄水場へ室生ダムの水を『24時間、365日』お届けすることを目的に設置された初瀬取水施設において、要求取水量を用いて発電するもので2014年2月に完成した。この発電所は、設置環境等に検討課題が多く、設置計画を断念してきた経緯があったが水資源機構が取り組む「小水力発電の推進」の後押しを受け、機構が新設した小水力発電所では再生可能エネルギー固定価格買取制度認証の第1号となる水力発電所として運用している。

本稿は、初瀬水路発電所の概要と設置に至るまでの経緯、そして施工に関する取り組みと、クリーンエネルギー効果の検証について紹介するものである。

キーワード 小水力発電，地下施設，設置工事，クリーンエネルギー，CO2削減

1. はじめに

室生ダムは、淀川水系木津川支川名張川支川宇陀川の宇陀市（旧室生村）に建設された重力式コンクリートダムで1974年に管理を開始したダムであり、1986年には利水従属型として管理用水力発電所を開設した。ダムからの用水補給はこの他に、奈良県への水道用水補給のため初瀬取水施設を有している。

2. 初瀬水路発電所の概要

(1) 初瀬取水施設

初瀬取水施設は、室生ダム貯水池内上流約2.5km左岸に取水塔を設置し、地下30m、延長約5,500m（内径1.8m（馬蹄形））の初瀬水路を有している。



写真-1 初瀬取水施設（取水塔）

古くから水不足に悩んできた大和平野では、宇陀川の水を奈良県側に引く分水計画を切望しており、室生ダム建設の一環として1974年3月に初瀬取水施設は建設された。

取水塔から取水した室生湖の水は、初瀬水路を経て、奈良県営水道の接合井に接続したあと、奈良県桜井市にある浄水場で処理され、大和平野の水道用水として使用される。

要求取水量は、4月16日から10月15日までは最大1.6m³/s、その他の期間は最大1.2m³/sであり、年平均取水量は1.0m³/s程度である。その操作は、室生ダム管理所にて浄水場からの指示を受けて行っている。

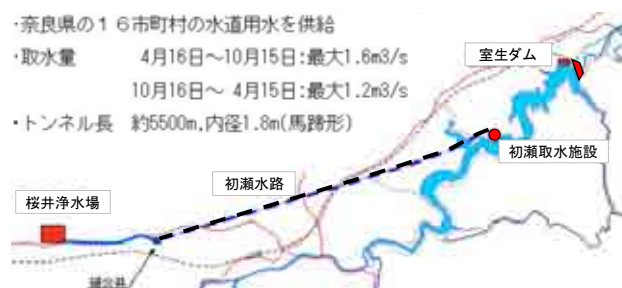


図-1 初瀬取水施設 一般概要図

(2) 目的

初瀬水路発電所は、初瀬取水施設の安定した取水量と取水塔での落差（総落差 28.3m）を利用して発電を行うものであり、その目的は当施設の管理用電力を賄うと共に、余剰電力は一般電気事業者に売電することで、ダム管理費の軽減及びクリーンエネルギーによる二酸化炭素排出抑制に寄与するものである。

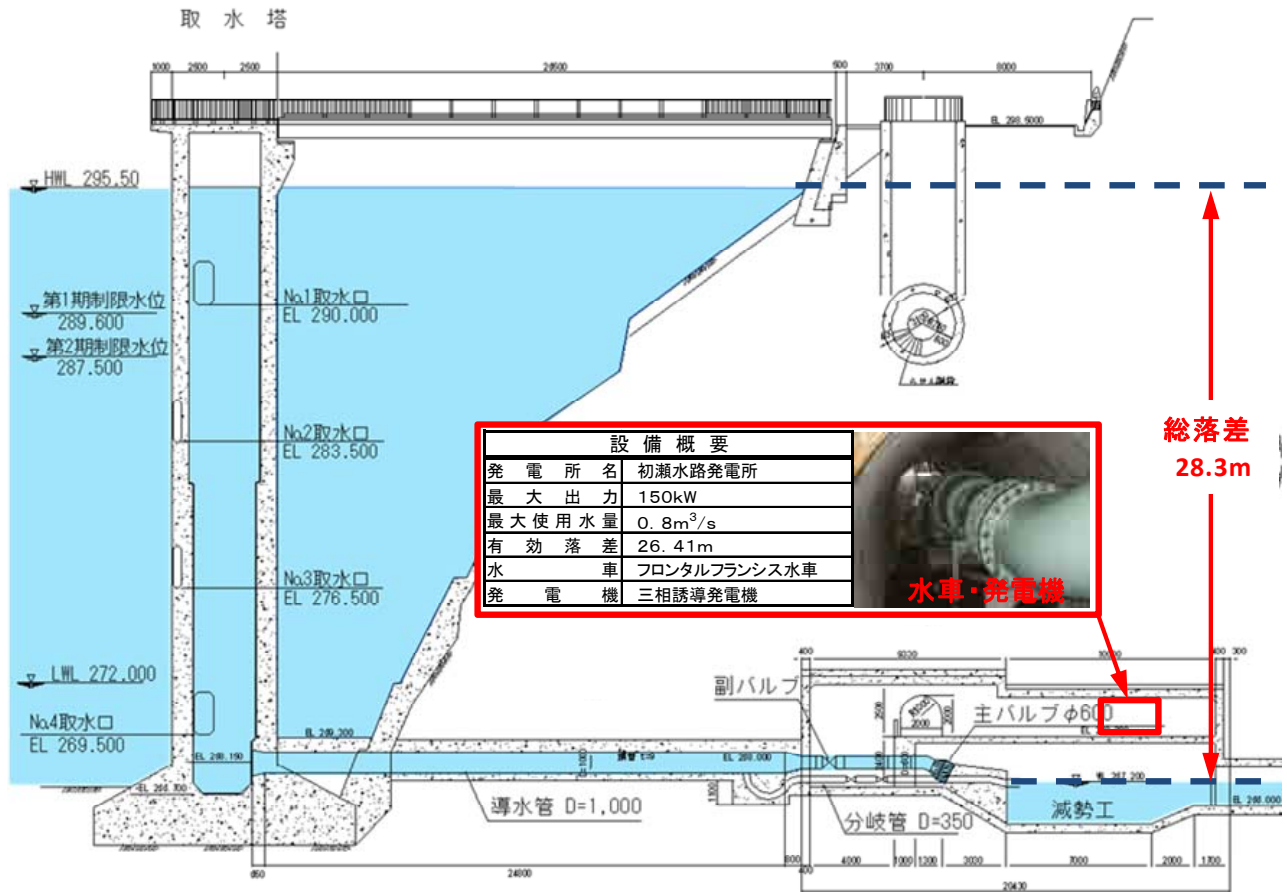


図-2 初瀬取水施設 構造図

(3) 構造

これまで取水塔から取水された水は、主管主バルブ（以下「主管バルブ」という）から減勢池へ放流していたが、今般、水力発電設備を設置したことにより取水された水は図-3のとおり、主管バルブより手前で分岐した導水管を経て水車を介し減勢池へ流すことを基本とした。

これにより発生する最大出力は150kW（最大使用水量0.8m³/s）であり、平成26年度の年間発電電力量は約1,080MWhであった。これは一般家庭の約300世帯に相当する。

また、分岐管主バルブ（以下「分岐管バルブ」という）の用途は、主管バルブの点検時等に使用するものであったが、今回、最大発電流量（0.8m³/s）以上の取水量を必要とするときに使用するものとした。

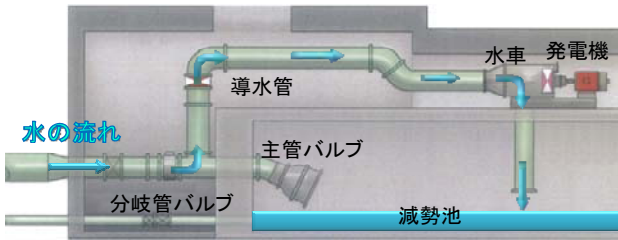


図-3 取水した水の流れ

3. 初瀬水路発電所設置までの経緯

初瀬水路施設への水力発電の設置計画は、1986年に設置したダム管理用水力発電の設置計画と同時にあったが、湿気が多い地下施設には当時の水車・発電機を設置できるスペースと、保守スペースがなかった。仮に設置してもごく小規模（30kW程度）な発電となってしまう、費用対効果、費用便益比（B/C）による検討でも評価が低いもので設置推進までには至らないものであった。

その後、地球温暖化などの影響を受けマイクロ水力発電などの開発も積極的に行われ、また「地域新エネルギー導入促進対策費補助金」による事業もあり、再検討した結果、B/Cも1に届くことが判明した。

設置への最大の契機となったのは2011年3月に発生した東日本大震災である。同年8月には「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」が制定され、同年11月に国土交通大臣から「持続可能で活力ある国土・地域づくり」（再生エネルギーの活用）の推進が指示された。また、自然エネルギーへの国民の関心、期待が一層高まっているという背景から、2012年1月には水資源機構としても理事長プロジェクトに位置づけられ、初瀬取水施設への小水力発電設備の設置が現実のものとなった。

4. 設置工事の特徴（課題）とその対応

(1) 劣悪な環境条件とその対策

a) 劣悪な環境条件

工事は、2012年9月から2014年2月までの期間で行われたが、実質は4ヶ月というタイトな工事であった。無事に無事故・無災害で工事を終えることができたが、その劣悪な環境条件から完成までの道のりは困難を極めるものであった。

水車・発電機といった機器は、堅坑より30m下にある地下施設に搬入し設置する必要があるが、全ての空間において非常に狭く、暗い環境である。また、地下施設内では、会話が出来ないほどの取水音が鳴り響くと同時に猛烈な湿気に覆われている状況である。

当然ながら、地下施設では携帯電話は使えず、地上との連絡手段はない。



写真2 施設状況（工事前）

b) 環境改善への取り組み

劣悪な環境下では労働災害が懸念されるため、工事が始まる前に環境条件を改善する対策を施した。

まず、地下施設内部には作業用照明を随所に追加した。照明は可動式にするなどし、各作業エリアを集中的に照らせるよう設置することで据付などの通常作業に支障を来さない程度の明るさを確保した。

湿気の主な原因は、減勢池へのバルブ放流による飛沫と壁からの漏水であるため、通路奥に飛沫防止用の扉を設置し、壁の漏水箇所にはモルタル塗装を施した。

また、堅坑の上下に連絡用インターホンを設置することで地上との連絡手段を確保した。



写真3 環境条件の改善策

狭い空間への対策については、当初は螺旋階段の撤去や既設構造物を削る等といった方法も考えられたが、結果として既設構造物には手をつけず、施工方法を工夫することで対応することとした。また、取水音に対しても対策がなく、入坑前に綿密な作業内容の確認を実施するなど作業員全員が意識して取り組んだ。

c) 安全管理

基本的に地下は二酸化炭素など空気より重いガスが溜まりやすい傾向にある。本工事においては、溶接作業など行うため有害ガス等による労働災害が懸念された。そのため堅坑入り口に換気ファンを設置し、地下施設内では定期的に酸素濃度測定を実施するなど安全対策を講じた。また、当然であるが発動発電機は地上に設置した。



写真4 安全管理への取り組み

(2) 施工事例の紹介

a) 水車・発電機の搬入据付作業

水車・発電機を地下施設に搬入するために堅坑中央部の空間を利用するが、その空間は幅 1.5m という非常に狭いものである。その限られたスペースに対応するため、機器は梱包材を外した最小サイズにより搬入することとした。その際、本来であれば既設構造物には緩衝材等を設置し養生することが基本であるが、搬入スペースを最大限確保することを優先に養生作業は行わないものとした。

地下施設への搬入後は据付位置まで運ぶ必要があるが、水車・発電機の重量物であるため、搬入直後に小回りが利く台車へ載せ、据付位置である通路奥まで運搬し、組立作業を行った。

地下施設内も堅坑と同様に狭い空間であり、機器の搬入順序を間違えると組立作業やその他並行作業の進捗に支障を来すため、細心の注意を払いながら順序良く慎重に搬入し運搬を行った。

なお、地下施設内の運搬においても、堅坑同様に狭い空間を少しでも確保するため既設構造物に対する養生は行わないものとした。



写真5 水車・発電機の搬入状況

b) 現地合わせによる三次元的な導水管の配置

主管バルブ手前から分岐した導水管は、地下施設の構造から三次元的な配置を要し、その曲がり箇所は現地合わせによる溶接作業を必要とした。しかし、作業用照明では品質管理が難しく、また、溶接後の塗装も必要であるため、地下施設では仮溶接のみとした。その後、一旦屋外へ搬出し本溶接と塗装を行った後に再度地下施設へ搬入し据付、という流れで搬入搬出作業が幾度なく行われた。それと同時に高低差 30m ある螺旋階段 (150 段) の往復運動は監督員にも辛いものであった。



写真-6 現地合わせによる導水管設置状況

なお、点検スペースの確保についても考慮した配置としている。水車・発電機の設置位置は内径 2,000mm の馬蹄形であり、水車・発電機は基礎を含めると 1,250mm ある。そのため、導水管を極限まで構造物に寄せて配置するなど受注者の高い技術力もあり、最大で 50cm 程度の点検スペースを確保した。

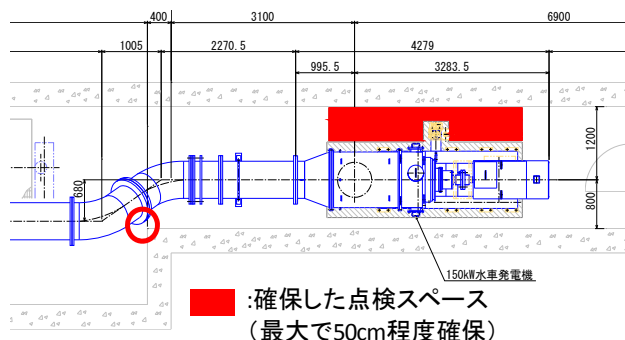


図-4 点検スペース確保に配慮した導水管の配置（平面図）



写真-7 極限まで構造物に寄せた導水管

c) 減勢池内作業

減勢池は、図-3 のとおり床スラブの下階に位置し、その役目は主管バルブから放流された水の勢いにより構造物が洗掘されないように貯めた池により受け止めて勢いを弱めることを目的としたもので、地下施設内に響きわたる取水音はその音である。

その空間は通常、人が出入りする場所ではないため照明設備はなく、高湿度である。また、減勢池の水深は 2m あることから、環境条件は地下施設の中でも最悪である。

今回、作業員が減勢池内に入って行う作業は水車の吸出管据付時であるが、労働災害防止のため、まず、奈良県へ 365 日水道用水を供給している取水を停止しなければならない。浄水場との協議を重ねた結果、1 日 2 回（2 時間/回）という時間限定での許可が得られた。

作業は、必要な養生と後片付けを含めて 2 時間以内というタイトな工程の中、綿密な準備と施工手順を何度も確認しながら実施された。中でも特に気を遣った作業は濁水防止等の養生である。スラブをはつる際に発生する濁水やコンクリート殻が減勢池に落とさないよう麻袋で受け止めたり、作業後も残骸等が減勢池内に取残されていないか再度確認を行うなど、工事期間中であっても奈良県へ安全で良質な水を届けられるよう心がけた。



写真-8 取水停止中の作業

(3) 今後の維持管理を見据えた検討

a) 導水管の配置計画

工事完了後は、水車発電機の維持管理を当然行っていく必要があるが、それは同室内にある主管バルブ等の機械設備においても同様である。狭い地下施設の限られたスペースに導水管どのように配置したら維持管理しやすいか検討した。

発注当初の考えは、図-5 のように主管バルブ手前で導水管を横方向に Y 分岐させ、減勢池のスペースに配置することで通路スペースを確保し、点検時には作業スペースとして活用する計画であった。この配置は、定期点検時の作業効率向上と併せて、水車・発電機を設置し

らに窮屈となってしまった地下施設に少しでも開放感をもたらしよう配慮したものである。

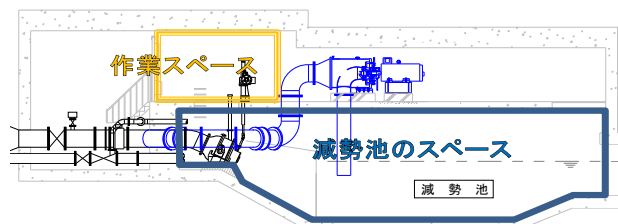


図5 定期点検を考慮した導水管の配置（断面図）

b) 長期整備計画に配慮した導水管の配置

工事契約後、維持管理計画について受注業者の経験等も参考にして再度検討協議した結果、図-6 のように主管バルブ手前で導水管を上方向にT分岐させ、作業スペースに導水管を配置するものとした。

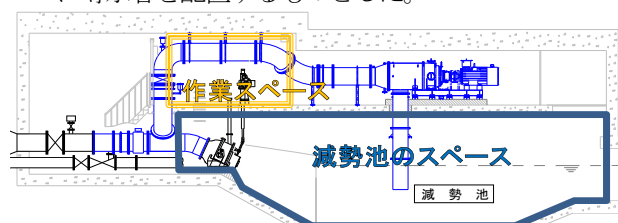


図-6 分解整備を考慮した導水管の配置（断面図）

この配置による効果は、分解整備時における浄水場への送水停止時間を短くできることである。

図-5の場合、主管バルブの分解整備時には導水管が作業の支障となり、導水管の一時撤去などの養生が必要で時間を要する。また、その撤去時は減勢池内作業となり、作業員の安全を確保するために、分岐管バルブからも減勢池へ放流もできない。つまり、浄水場への長期の送水停止が危惧されたのである。

図-6 の場合であれば、導水管が既に通路スペースに露出しているため、主管バルブの分解整備時は手早く撤去できる。結果として減勢池内での作業時間が短くなった分だけ、分岐管バルブからの代替放流も早く実施できるということである。

5. 初瀬水路発電所のクリーンエネルギー効果

初瀬水路発電所の目的の一つである「クリーンエネルギーによる二酸化炭素排出抑制」について、どれだけのCO₂の削減効果があるか算出してみる。一般に1kWhの発電に対し、どれだけのCO₂を排出しているかを表す値として「CO₂排出係数」がある。CO₂排出係数は、発表している団体で違いがあるが、ここでは環境省が公表するCO₂排出係数0.551 kg/kWh（2014年12月5日発表）を使用し、次の式より試算する。

年間発電電力量は、初瀬水路発電所が平成26年度に発電した電力量で表-1のとおり約1,080,000kWhである。

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{削減量 (kg)} &= \text{年間発電電力量 (kWh)} \times \text{CO}_2 \text{排出係数} \\ &= 1,080,000 (\text{kWh}) \times 0.551 (\text{kg/kWh}) \\ &= 594,000 (\text{kg}) \end{aligned}$$

この値は火力発電等と比較すると年間594トンのCO₂削減が出来ていることになるが、具体的にイメージしやすいものとして、身近な『杉の木』で考えてみる。大きく成長した杉の木（50年で高さが約20～30m程度のもの）は1年間で平均して約14kgのCO₂を吸収すると言われている。つまり、初瀬水路発電所は大きく成長した杉の木を、年間で『約4万2,430本分』の植樹していることになる。

平成26年度	積算電力量 (kWh)				発電日数 (日)
	発生電力量	管理用消費電力量	売電電力量	買電電力量	
4月	107,429	4,504	102,925	0	31
5月	104,301	4,454	99,847	0	30
6月	99,119	4,154	94,965	0	31
7月	74,816	3,754	71,062	8	30
8月	78,192	4,656	73,536	22	31
9月	73,503	4,614	68,889	3	31
10月	71,866	4,009	67,857	0	30
11月	76,367	4,150	72,217	0	31
12月	81,333	4,381	76,952	44	30
1月	105,178	5,393	99,785	0	31
2月	108,476	4,910	103,566	0	31
3月	97,695	4,172	93,523	0	28
合計	1,078,275	53,151	1,025,124	77	365

表-1 初瀬水路発電所の発電実績（平成26年度）

6. おわりに

2014年2月18日より本格的に運用開始した初瀬水路発電所は、これまで長時間の停止もなく、水車・発電機における障害もなく、浄水場への安定した送水と順調な発電を行っている。

過去を辿れば、初瀬取水施設における小水力発電の可能性については何度も検討されてきた。その劣悪な環境が故にその都度断念してきたこの一大プロジェクトであるが、30年以上の時を経て、今回、このような最高の結果で成し遂げることができた。この成功の裏には、受注者の技術力もさることながら、関係者の御協力、御尽力があってこそである。

今後もこれまでと変わらず浄水場へ『24時間、365日、安全で良質な水を安定して安くお届けする』ことをモットーに、水力発電設備の更なる安全と、信頼ある管理運営について引き続き取り組むことが重要である。

謝辞：本工事に全面的に御協力をいただいた奈良県水道局及び桜井浄水場の皆様、そして運用開始までに至る数多くの手続きに御尽力いただいた機構内の皆様に、厚く御礼を申し上げます。

近畿地方整備局における工事事故の現状と 事故防止対策のための支援について

木村 信雄

近畿地方整備局 企画部 技術調査課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

近年、近畿地方整備局管内における工事事故が増加傾向にあることから、これまで発生した事故データの収集及び分析により、工事における作業内容と事故の要因別に事故の重大性（重み付け）を加味、危険有害要素の大きな作業内容や事故の要因を判読、これらの作業時に起こりうる事故要因を事前に予測し、建設工事事故防止のための安全対策の策定に資するための支援について説明するものである。

キーワード 事故防止, 安全

1. はじめに

当課では工事等事故を起こした直轄工事等に対し、事実確認、事故要因の特定、事故措置（処分）を行い、事故の再発防止に取り組んでいます。

近年、工事事故が増加していることへの対策として、過年度から蓄積してきた工事等事故データを工事等事故防止に活用できないかと考え、この度、支援策を策定しました。

2. 工事等事故の現状と取り組み

(1) 工事事故発生状況

近畿地方整備局における工事等事故の発生件数は、平成24年度以降増加傾向にあり、平成25年度には過去最高となる211件の工事等事故（もらい事故除く）が発生しました。平成26年度においても201件発生し、平成25年度より10件減少したものの、以前、多発している状況であり（図-1参照）、特に12月以降年度末にかけて発生しています。

また、平成26年度の公衆災害事故（第三者事故、管理施設損害事故）の発生件数は152件であり、事故全体の約76%と高い割合を占めています（図-2参照）。

第三者事故については96件のうち、3件は人身事故、93件は物損事故となっており、第三者への事故は社会的影響も大きく、対策が必要です。

一方、工事関係者事故は49件発生しており、平成25年度とほぼ同じ割合で公衆災害事故と工事関係者事故が発生している状況です。

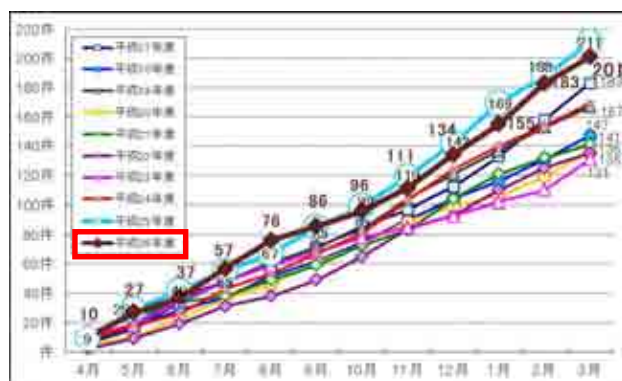


図-1 年度別工事等事故発生状況

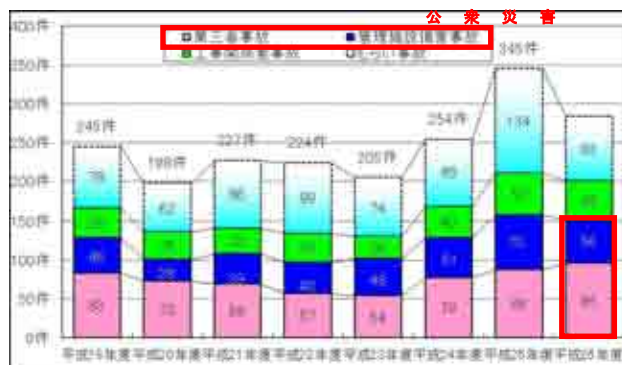


図-2 事故分類別工事等事故発生状況

(2) 今日までの事故防止の取り組み内容

一旦事故が発生すると重大事故（死亡事故や負傷者多数等）につながる事故及び第三者に影響を及ぼす事故に対して特に重点的に安全対策をすべく、工事等事故防

止重点対策項目（平成26年度は次項目3のとおり）を定め、これら工事等事故防止重点対策項目に該当する工事事故を起こした際は厳しく判定し、注意喚起を促しています。

また、毎月、事故予防対策の注意喚起や発生事故事例提供等、ニュースレター「あんぜん」を発刊し、現場における安全対策の徹底を促しています。



図-3 ニュースレター「あんぜん」

3. 工事等事故防止重点対策項目の事故発生状況

(1) 平成26年度工事等事故防止重点対策項目

平成26年度の工事事故等防止重点項目は以下のとおり7項目を定めました。

- ①地下埋設管及び施設ケーブルに対する事故
- ②架空線に対する事故
- ③高所作業箇所からの墜落事故
- ④資材・仮設材及び工具の飛来落下事故
- ⑤重機の転倒・接触事故
- ⑥草刈作業における飛び石事故
- ⑦吊り荷と作業員との接触事故

(2) 工事等事故防止重点対策項目別の工事事故発生状況

平成26年度の工事等事故防止重点項目に係る工事事故発生件数は7項目で計68件となり、全工事事故件数201件に対し、約33%と高い割合（平成25年度の約33%と同様）で発生しています（図-3参照）。

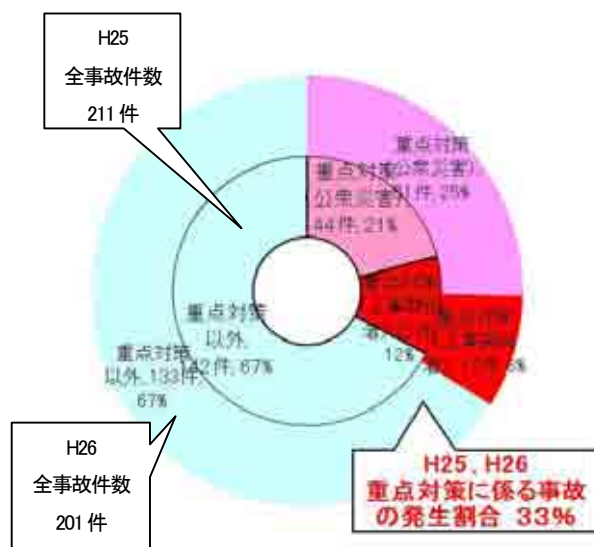


図-3 工事等事故防止重点対策項目の事故発生比率

平成26年度の工事等事故重点対策項目別の発生状況については、「①地下埋設管及び施設ケーブルに対する事故」の発生件数は25件と平成25年度より2件増加し、増加傾向にあります（図-4参照）。

また、「②架空線に対する事故」においても発生件数が13件であり、平成25年度同様、多く発生しています（図-5参照）。

地下埋設物事故と架空線事故の2項目は、他の5項目より特に多発している状況です。

一方、「③高所作業箇所からの墜落事故」、「④資材・仮設材及び工具の飛来落下事故」、「⑤重機の転倒・接触事故」及び「⑥草刈り作業における飛び石事故」の発生件数は昨年度と比較し、減少傾向にあります。

また、「⑦吊り荷と作業員との接触事故」は7件と多く発生しています。

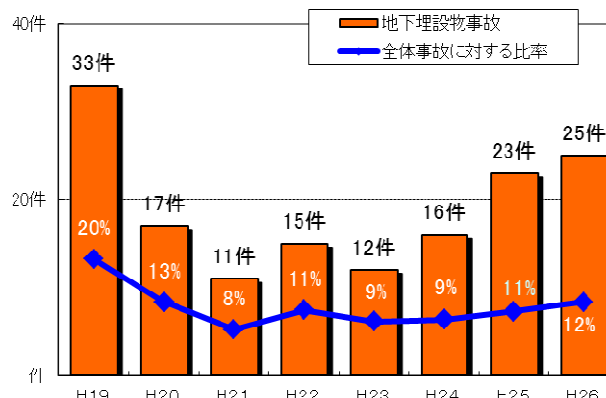


図-4 地下埋設物事故発生状況

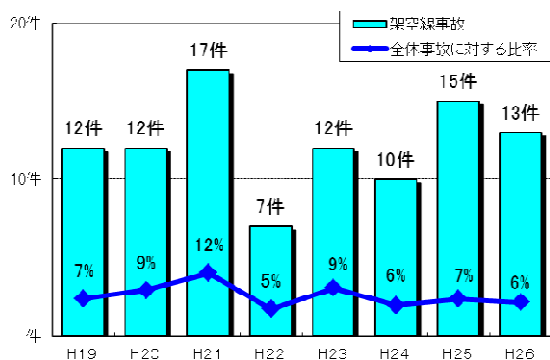


図-5 架空線事故発生状況

4. 安全対策策定のための支援について

(1)目的

平成19年度以降平成25年度まで発生した工事事故データにより、作業内容（作業名）と事故の要因別に事故の重大性（重み付け）を加味、危険有害要素の大きな作業名や事故要因を判読、これらの作業時に起こりうる事故要因を事前に予測し、建設工事事故防止のための安全対策の策定に資するため、資料を作成しました。

(2)資料

- ・「危険有害要因判定 総括表」（図-6 参照）

工事等事故防止重点対策7項目について、各項目毎に縦軸に作業内容（作業名）と横軸に事故の要因をならべ、各々に該当し発生した事故累計点数（発生件数に各々判定した評価点（10点 指名停止、6点 文書注意、3点 口頭注意、1点 措置無し指導有と条件設定）を掛けあわせたもの）を記載しました。

記載した点数が大きいものほど、重大な事故が発生する可能性が高くなると考えられます。

事故の要因

作業名・作業コード	事故の要因														
	1. 作業計画	2. 作業手続	3. 作業環境	4. 作業方法	5. 作業時間	6. 作業人数	7. 作業機械	8. 作業材料	9. 作業器具	10. 作業服装	11. 作業態度	12. 作業能力	13. 作業経験	14. 作業知識	15. 作業技能
1. 作業計画	1.1 作業計画の作成	1.2 作業計画の承認	1.3 作業計画の周知	1.4 作業計画の更新	1.5 作業計画の廃止	1.6 作業計画の保存	1.7 作業計画の取扱い	1.8 作業計画の廃棄	1.9 作業計画の再作成	1.10 作業計画の再承認	1.11 作業計画の再周知	1.12 作業計画の再更新	1.13 作業計画の再廃止	1.14 作業計画の再保存	1.15 作業計画の再取扱い
2. 作業手続	2.1 作業手続の作成	2.2 作業手続の承認	2.3 作業手続の周知	2.4 作業手続の更新	2.5 作業手続の廃止	2.6 作業手続の保存	2.7 作業手続の取扱い	2.8 作業手続の廃棄	2.9 作業手続の再作成	2.10 作業手続の再承認	2.11 作業手続の再周知	2.12 作業手続の再更新	2.13 作業手続の再廃止	2.14 作業手続の再保存	2.15 作業手続の再取扱い
3. 作業環境	3.1 作業環境の調査	3.2 作業環境の評価	3.3 作業環境の改善	3.4 作業環境の維持	3.5 作業環境の廃止	3.6 作業環境の保存	3.7 作業環境の取扱い	3.8 作業環境の廃棄	3.9 作業環境の再調査	3.10 作業環境の再評価	3.11 作業環境の再改善	3.12 作業環境の再維持	3.13 作業環境の再廃止	3.14 作業環境の再保存	3.15 作業環境の再取扱い
4. 作業方法	4.1 作業方法の調査	4.2 作業方法の評価	4.3 作業方法の改善	4.4 作業方法の維持	4.5 作業方法の廃止	4.6 作業方法の保存	4.7 作業方法の取扱い	4.8 作業方法の廃棄	4.9 作業方法の再調査	4.10 作業方法の再評価	4.11 作業方法の再改善	4.12 作業方法の再維持	4.13 作業方法の再廃止	4.14 作業方法の再保存	4.15 作業方法の再取扱い
5. 作業時間	5.1 作業時間の調査	5.2 作業時間の評価	5.3 作業時間の改善	5.4 作業時間の維持	5.5 作業時間の廃止	5.6 作業時間の保存	5.7 作業時間の取扱い	5.8 作業時間の廃棄	5.9 作業時間の再調査	5.10 作業時間の再評価	5.11 作業時間の再改善	5.12 作業時間の再維持	5.13 作業時間の再廃止	5.14 作業時間の再保存	5.15 作業時間の再取扱い
6. 作業人数	6.1 作業人数の調査	6.2 作業人数の評価	6.3 作業人数の改善	6.4 作業人数の維持	6.5 作業人数の廃止	6.6 作業人数の保存	6.7 作業人数の取扱い	6.8 作業人数の廃棄	6.9 作業人数の再調査	6.10 作業人数の再評価	6.11 作業人数の再改善	6.12 作業人数の再維持	6.13 作業人数の再廃止	6.14 作業人数の再保存	6.15 作業人数の再取扱い
7. 作業機械	7.1 作業機械の調査	7.2 作業機械の評価	7.3 作業機械の改善	7.4 作業機械の維持	7.5 作業機械の廃止	7.6 作業機械の保存	7.7 作業機械の取扱い	7.8 作業機械の廃棄	7.9 作業機械の再調査	7.10 作業機械の再評価	7.11 作業機械の再改善	7.12 作業機械の再維持	7.13 作業機械の再廃止	7.14 作業機械の再保存	7.15 作業機械の再取扱い
8. 作業材料	8.1 作業材料の調査	8.2 作業材料の評価	8.3 作業材料の改善	8.4 作業材料の維持	8.5 作業材料の廃止	8.6 作業材料の保存	8.7 作業材料の取扱い	8.8 作業材料の廃棄	8.9 作業材料の再調査	8.10 作業材料の再評価	8.11 作業材料の再改善	8.12 作業材料の再維持	8.13 作業材料の再廃止	8.14 作業材料の再保存	8.15 作業材料の再取扱い
9. 作業器具	9.1 作業器具の調査	9.2 作業器具の評価	9.3 作業器具の改善	9.4 作業器具の維持	9.5 作業器具の廃止	9.6 作業器具の保存	9.7 作業器具の取扱い	9.8 作業器具の廃棄	9.9 作業器具の再調査	9.10 作業器具の再評価	9.11 作業器具の再改善	9.12 作業器具の再維持	9.13 作業器具の再廃止	9.14 作業器具の再保存	9.15 作業器具の再取扱い
10. 作業服装	10.1 作業服装の調査	10.2 作業服装の評価	10.3 作業服装の改善	10.4 作業服装の維持	10.5 作業服装の廃止	10.6 作業服装の保存	10.7 作業服装の取扱い	10.8 作業服装の廃棄	10.9 作業服装の再調査	10.10 作業服装の再評価	10.11 作業服装の再改善	10.12 作業服装の再維持	10.13 作業服装の再廃止	10.14 作業服装の再保存	10.15 作業服装の再取扱い
11. 作業態度	11.1 作業態度の調査	11.2 作業態度の評価	11.3 作業態度の改善	11.4 作業態度の維持	11.5 作業態度の廃止	11.6 作業態度の保存	11.7 作業態度の取扱い	11.8 作業態度の廃棄	11.9 作業態度の再調査	11.10 作業態度の再評価	11.11 作業態度の再改善	11.12 作業態度の再維持	11.13 作業態度の再廃止	11.14 作業態度の再保存	11.15 作業態度の再取扱い
12. 作業能力	12.1 作業能力の調査	12.2 作業能力の評価	12.3 作業能力の改善	12.4 作業能力の維持	12.5 作業能力の廃止	12.6 作業能力の保存	12.7 作業能力の取扱い	12.8 作業能力の廃棄	12.9 作業能力の再調査	12.10 作業能力の再評価	12.11 作業能力の再改善	12.12 作業能力の再維持	12.13 作業能力の再廃止	12.14 作業能力の再保存	12.15 作業能力の再取扱い
13. 作業経験	13.1 作業経験の調査	13.2 作業経験の評価	13.3 作業経験の改善	13.4 作業経験の維持	13.5 作業経験の廃止	13.6 作業経験の保存	13.7 作業経験の取扱い	13.8 作業経験の廃棄	13.9 作業経験の再調査	13.10 作業経験の再評価	13.11 作業経験の再改善	13.12 作業経験の再維持	13.13 作業経験の再廃止	13.14 作業経験の再保存	13.15 作業経験の再取扱い
14. 作業知識	14.1 作業知識の調査	14.2 作業知識の評価	14.3 作業知識の改善	14.4 作業知識の維持	14.5 作業知識の廃止	14.6 作業知識の保存	14.7 作業知識の取扱い	14.8 作業知識の廃棄	14.9 作業知識の再調査	14.10 作業知識の再評価	14.11 作業知識の再改善	14.12 作業知識の再維持	14.13 作業知識の再廃止	14.14 作業知識の再保存	14.15 作業知識の再取扱い
15. 作業技能	15.1 作業技能の調査	15.2 作業技能の評価	15.3 作業技能の改善	15.4 作業技能の維持	15.5 作業技能の廃止	15.6 作業技能の保存	15.7 作業技能の取扱い	15.8 作業技能の廃棄	15.9 作業技能の再調査	15.10 作業技能の再評価	15.11 作業技能の再改善	15.12 作業技能の再維持	15.13 作業技能の再廃止	15.14 作業技能の再保存	15.15 作業技能の再取扱い

図-6 危険有害要因判定 総括表

参考例（架空線に対する事故）

- ・「類型別事故事例集」（図-7 参照）

作業内容（作業名）と事故の要因に該当する事故事例を事例集として整理しました。



図-7 類型別事故事例集

参考例（架空線に対する事故）

(3)活用方法（図-8、9 参照）

1.（当該工事で考えられる）事故項目の抽出

当該工事で考えられる事故について、「危険有害要因判定総括表」から該当する総括表を選択します。（7項目の中から当該工事に該当する項目を選択）。

2. 危険有害要因判定

当該工事に関係する「作業名」（図-6 赤枠内）縦軸から、「事故の要因」（図-6 赤枠内）を横軸から選択します。

3. 類型別事故事例

危険有害要因判定で選択した「作業コード」及び「事故の要因」に該当する事故事例を選択します。

4. 建設工事事故防止対策へ反映

選択した事故事例の事故内容、事故の原因及び事故後の対策を把握します。

把握した内容を参考に、自ら現場に即したリスクを事前予測し、現場におけるKY活動等の安全教育に活用し、事故防止の強化を図ります。

(4)資料提供先

- ・近畿地方整備局管内各事務所、及び事務所発注工事受注業者
- ・（一社）日本建設業連合会関西支部
- ・（一社）日本道路建設業協会関西支部
- ・（一社）日本橋梁建設協会近畿事務所
- ・（一社）プレストレスト・コンクリート建設業協会関西支部
- ・（一社）各府県建設業協会
- ・（一社）大阪府中小建設業協会



図-8 活用フロー

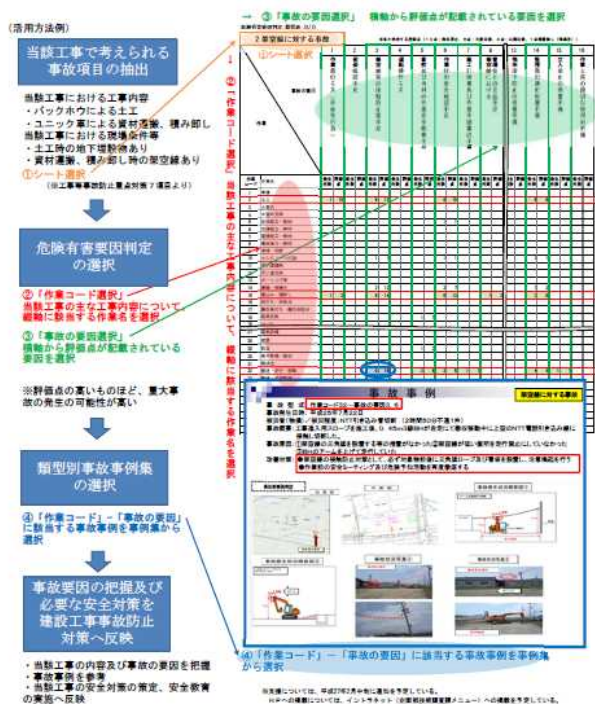


図-9 活用方法のイメージ図

5. 今後の課題

平成26年度以降の工事事故データについても継続してデータベース化し、追加活用を図り、新しい情報を提供していくことが重要です。

地下埋設物事故及び架空線事故については工事等事故重点対策7項目の中でも特に多発しており、更なる個別の取り組みの検討が必要です。

今後、支援に対する効果についての検証が必要であり、検証結果から、支援策の修正、また、新たに必要な支援

方法も含めた検討が必要です。

6. おわりに

公共投資については1990年代をピークに長い間厳しい状況にあり、工事事故の発生は工事関係者だけでなく、地域住民へ与える影響も大きく、公共事業のイメージそのものを低下させるものです。

中でも公衆災害事故は第三者の死傷や、所有物の破損となり、社会的影響も大きく、決して発生させてはならない事故です。

受注者（元請け業者）は下請け業者等工事関係者全てに対して、適切な安全教育及び安全点検が実施されているか適切な安全管理を行う責務があります。

事故データを分析する中で、作業中に限らず、準備・移動中の事故や、被災者本人の不注意が原因で、本人だけでなく、周辺の作業員がリスクを常に予測し、声掛けすることで防げた事故も多く発生しております。元請け業者の教育だけでなく、作業員全体の安全に対する意識向上が重要と考えられます。

すぐさま、工事事故の撲滅とは至りませんが、本支援が各現場における安全対策の策定、安全教育の際に反映され、1件でも多くの工事事故が減少することを期待し、今後も工事事故の撲滅に向け、より一層取り組んでまいりたいと考えています。

大和御所道路トンネル掘削土処理対策に関する 施工について

荘司 匡岐¹

¹近畿地方整備局 奈良国道事務所 工務課 (〒630-8115 奈良県奈良市大宮町3-5-11)、

京奈和自動車道路大和御所道路御所区間8工区の計画路線近傍には、鉍脈や変質帯、圧砕岩が分布している。そのため、自然由来の重金属がトンネル掘削土に含まれているおそれあり、対策や処理が課題となっている。平成24年に、奈良国道事務所は、専門家・学識者・関係機関との協議の結果を踏まえ、「大和御所道路トンネル掘削土処理対策に関する施工マニュアル（案）」を策定した。本論文では、トンネル掘削によって発生する重金属を含んだ岩石を適切に処分すべく、大和御所道路水泥トンネル工事での試験施工結果、変質岩判別方法の検討および今後の本施工への導入の改善点、取り組みについてとりまとめを行った。

キーワード 自然由来重金属、ヒ素、トンネル、施工マニュアル

1、はじめに

京奈和自動車道路 大和御所道路御所区間奈良県橿原市の橿原高田ICから奈良県五条市の五条北ICまでの延長13.4kmの高規格幹線道路である。平成24年3月に橿原高田ICから御所IC間（6工区3.7km）が供用し、平成27年3月には御所ICから御所南IC間（7工区2.5km）が供用された。御所南ICから五条北IC間（8工区7.2km）は、平成28年度供用予定である。8工区は、山間部であることから、区間の7割をトンネルが占めている。トンネル4カ所うち巨勢山トンネルは施工済みである。残りのトンネル（朝町トンネル、水泥トンネル、新田東佐味トンネル）については、既往の調査ボーリングコアを用いて重金属類を対象として分析した結果、2箇所のトンネル（新田東佐味トンネルと水泥トンネル）の岩石から土壌汚染対策法の溶出量基準値(0.01mg/L)を超過する自然由来のヒ素が検出された。改正土壌汚染対策法（以下、改正土対法）では、重金属含有岩であっても岩盤自体処理の対象外となっているが、事業者として、改正土対法に準拠し、トンネル掘削によって発生する重金属を含んだ岩石を適切に処分すべく、自主的な対応を実施することとなった。そこで、平成24年度に専門家・学識者・関係機関を交えた検討委員会での審議結果や、奈良県をはじめとした関係機関との協議結果を踏まえ、「大和御所道路トンネル掘削土処理対策に関する試験施工計画（案）（以下、試験施工計画）」を策定した。本論文では、試験施工の結果およびその評価、本施工へ導入にむけた改善点、取り組みについて紹介する。

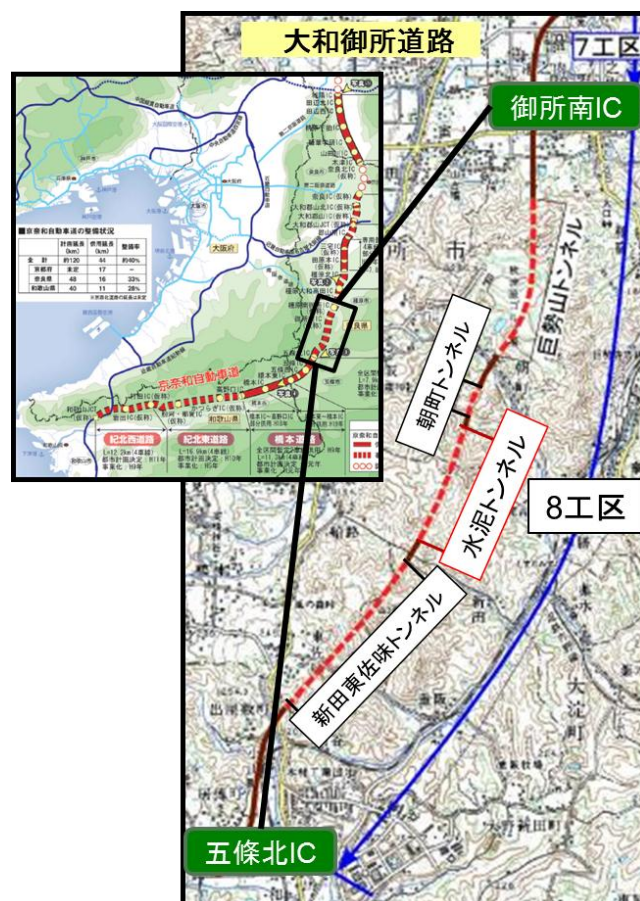


図-1 調査位置図

2、試験施工について

(1) 目的

既往調査の結果、基準を超過するヒ素を溶出する岩石は、花崗閃緑岩（かこうせんりょくがん）の変質帯（変質岩）と圧砕岩であった。試験施工は、トンネル掘削時に、花崗閃緑岩の変質帯（変質岩）の判別を確実に実施するため次の3点に着目しおこなう。

- ①変質程度によるヒ素溶出量、含有量の相違確認
- ②判定方法の施工性確認
- ③試料採取混合方法の妥当性の確認

それらの結果をもとに、施工関係者の間で岩石判別の認識を共有するための判別表を作成し、試験施工の実施結果の評価、掘削土処理マニュアル（案）を修正し、本施工へ導入にむけた取りまとめをおこなうことを目的とする。

(2) 対象

本論文では、現在掘削作業がおこなわれている大和御所道路水泥トンネル工事を対象に試験施工の結果を紹介する。水泥トンネルは、延長 1,172mのトンネルであり、全長にわたって、花崗閃緑岩、低速度帯や小規模な鉱山跡が点在している（図-2）。ヒ素が基準超過する可能性のある変質岩は、熱水により変質した岩石であり、熱水は岩石の亀裂に沿って流動する。そのため、変質岩は亀裂が多いと考えられる低速度帯の周辺に多く分布すると想定され、既往のボーリングコアの結果からも、基準値を超えたヒ素が検出されている。したがって、今回の試験施工の実施位置としては、掘削の初期段階で低速度帯を含む終点側坑口の付近で実施した。

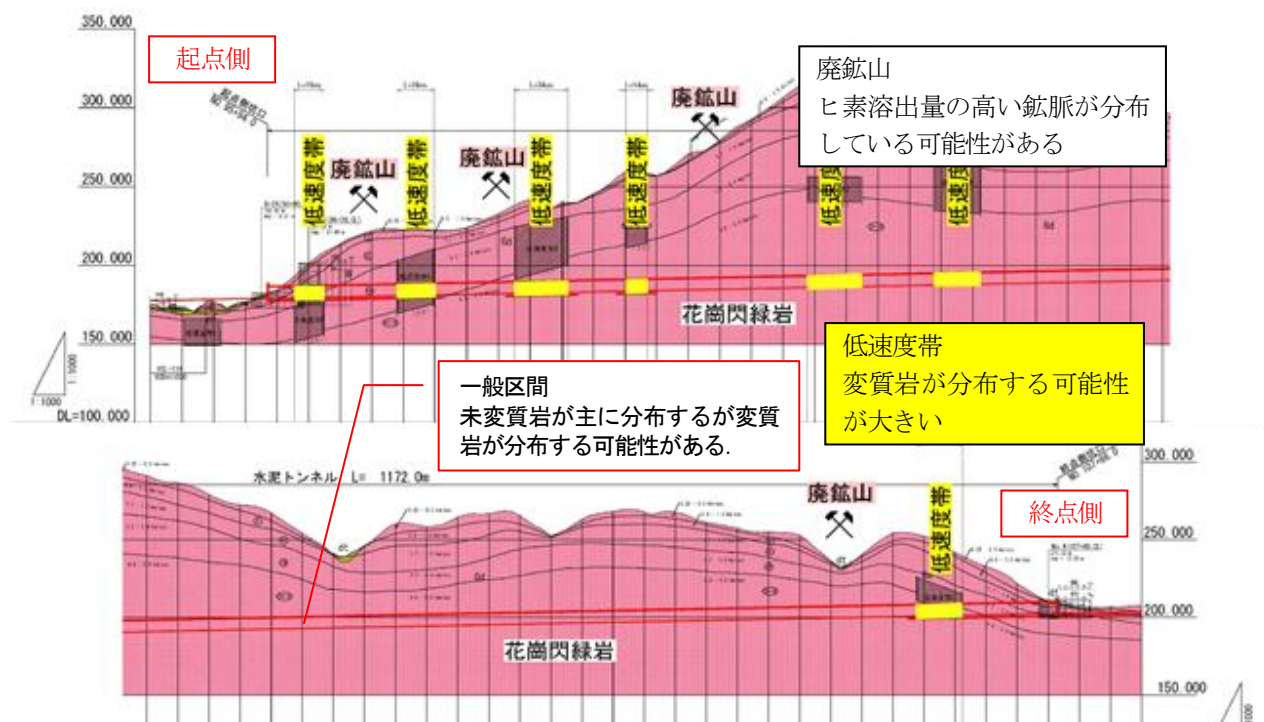


図-2 水泥トンネル地質縦断面図

(3) 方法

大和御所道路トンネル掘削土処理対策に関する試験施工は以下に示す手順で実施した。

- ①切羽スケッチ時に、風化程度を観察し、変質程度の判別が可能か判別した。
- ②切羽に出現する岩石の変質程度を未・微変質、弱・中変質、強変質(変質区分)に判別した。
- ③切羽内の岩石種の変質区分ごとの分布面積の比を集計した。

④判別した岩石を三通りの組み合わせ（表-1）で採取した。方法として、ブレーカーにより砕き落としたものを採取した。

⑤三通りの組み合わせで採取した岩石のヒ素溶出量と含有量を計量証明事業所にて分析した。

表-1 試料の組み合わせ

試料a	切羽全体で岩石種や変質区分ごとの分布面積比に応じて均等に採取し、混合した試料
試料b	変質区分毎の分布面積比に応じて均等に採取し、混合した試料
試料c	岩石種や変質区分でそれぞれ採取した試料

この3種の試料採取方法の考え方として、試料aは、切羽内に複数の岩石種が出現した場合、岩石種ごとに切り分けて搬出することが難しいことに基づいている。試料bは、変質岩にヒ素溶出量の高い岩石が多いことを考慮した採取方法である。工事区域外で盛土などに利用した場合に、後になって基準値以上のヒ素が溶出するようリスクをできるだけ下がるため、事前に変質岩に特に着目して分析し、ヒ素溶出が基準以上の岩石が混じる岩石は要対策土と判定すべきという考え方に基づいている。試料cは、岩石種や変質区分に応じたヒ素溶出量、ヒ素含有量の特性を把握するために実施するもので、掘削土の取り扱いを判別するためには用いなかった。また、試験施工の分析の頻度と記録については、岩石採取を毎切羽で試料採取と分析を実施した。また、本施工時の岩石判別表に利用するため、分析試料の記載と写真撮影を行う。なお、岩石の判定については、地質専門技術者がおこなう。なお、変質程度の区分は、

「大和御所道路トンネル掘削土処理対策に関する試験施工計画（案）平成25年3月国土交通省奈良国道事務所、試験施工開始時の判別表」を参考に肉眼で観察し、採取試料を決定した。

なお、上記③各変質区分の岩石の切羽内の分布面積の比を集計するために、本工事では、AR（拡張現実）技術とラインレーザー照射技術を組み合わせた方法でおこなった。3次元座標を高解像度カメラにて撮影した切羽断面画像をパソコンやタブレットの画面上で25点メッシュを重ね合わせ（図-3）、同時にラインレーザーにて実際の切羽断面にも25点メッシュを照射することで（図-4）、岩石を採取する際に、地質専門技術者やオペレーターが、採取する箇所を共有し、円滑に指示することが可能となった。これにより、安全かつ迅速に試料採取をおこなうことができ、サンプリングの精度向上にもつながったと考えられる。



図-3 AR（拡張現実）技術を用いた切羽断面写真



図-4 レーザー照射切羽断面写真

3、結果および考察

(1) 結果

1) 岩質

試験施工区間の岩質は、白亜紀領家帯の花崗閃緑岩が分布しており、全体として割目の発達が目立っていた。特に北東—南西系の割目が顕著で、次いで北西—南東系の割目が交差していた。また、割目に沿った熱水変質は強弱があるものの、区間内の大部分で確認できた。

2) ヒ素溶出量、含有量

はじめに、試料a、試料bの坑口からの距離とヒ素溶出量結果を示す（図-5）。試料a、試料bはともにほぼ連動して推移しており、基準値0.01mg/Lを超過する箇所が多く見られる。特に、低速度帯や廃鉱山付近では、既往のボーリング調査の通り、ヒ素溶出量が基準値を大きく上回っていることが分かる。溶出試験結果から要対策土と判定された基準値超過試料の割合は、84 試料中45 試料で53.6%であった。試料aで53%、試料bで60%の試料で、ヒ素溶出量の基準超過が確認された。

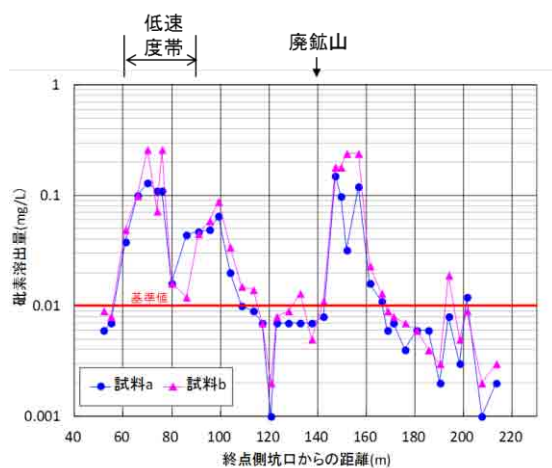


図-5 試料a、試料bの終点坑口からの距離とヒ素溶出量との関係

次に、試料a、試料bの坑口からの距離とヒ素含有量の結果を示す(図-6)。試料a、試料bはともに基準値を超えていないものの、低速度帯や廃鉱山の付近では、他の位置に比べ含有量が高いことが分かる。こちらも、ヒ素溶出量と同様に、試料a、試料bは、連動して推移していることが分かる。

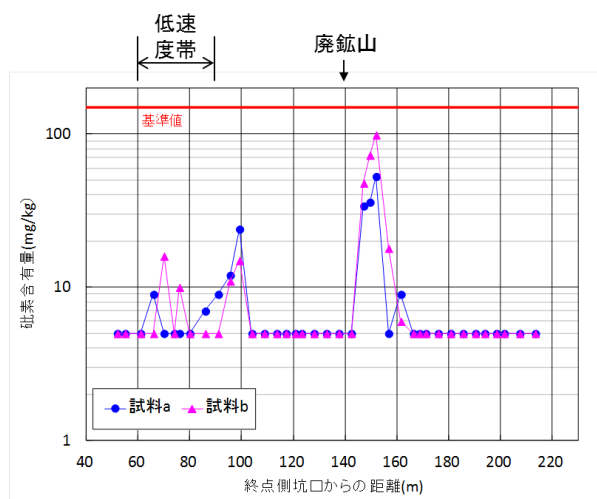


図-6 試料a、試料bの終点側坑口からの距離とヒ素含有量との関係

試料cについては、採取した試料を中～強質岩、弱変質岩、鉱脈、鉱化変質帯に分類し、他の試料と同様の分析をおこなった。ヒ素溶出量を図-7に示す。結果として、岩の変質程度に関わらず、多くのサンプルで基準値を上回っているものの、変質が顕著なものはヒ素の溶出量が多いことが分かる。基準値の0.01mg/Lを超過する検体が、100 試料中47 試料(47.0%)を占めた。変質程度別の溶出量基準値超過率は、未～微変質岩で27.2%、弱変質岩で47.5%、中～強変質岩で56.3%であった。なお、試料a、試料bと同

様に低速度帯、廃鉱山付近では、高濃度のヒ素溶出量が確認された。

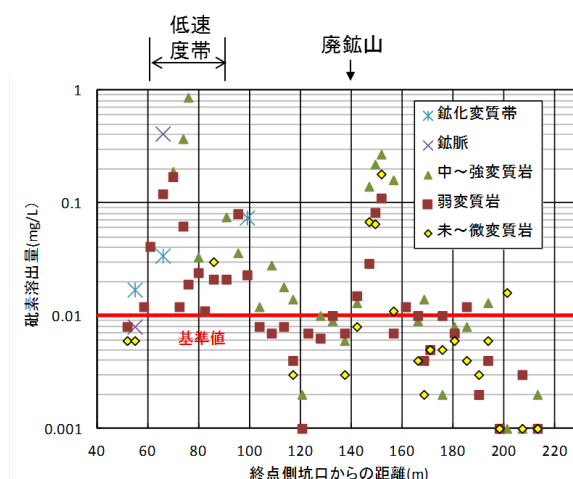


図-7 試料 c の終点側坑口からの距離とヒ素溶出量との関係

図-8 に示すとおり、試料 c のヒ素含有量は、5～110mg/kg の値が検出されたが、大半が定量下限値の5mg/kg 未満を示す結果となった。低速度帯、廃鉱山付近の変質の程度が大きいものについては、含有量が多い検体がみられた。

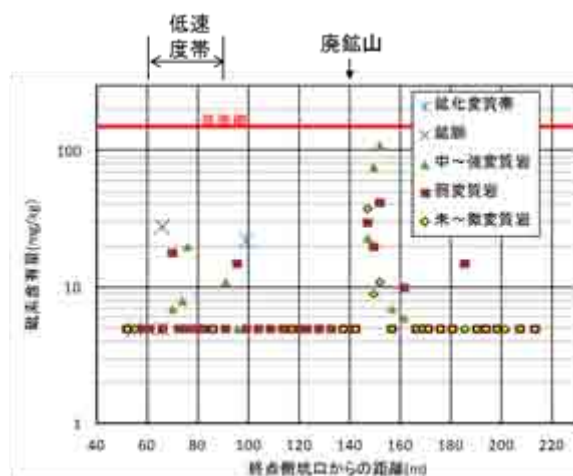


図-8 試料 c の終点側坑口からの距離とヒ素含有量との関係

3) pH、電気伝導度、酸化還元電位

現場において、試料 c の pH、電気伝導度、酸化還元電位を測定した結果を図-9～図-11 に示す。pH 試験値については、pH9～11 の範囲内で弱アルカリ側の値となったが、変質程度やヒ素溶出量、含有量別ではに対して明瞭な相違傾向は見出せなかった。電気伝導率と酸化還元電位についても、明瞭な傾向は見られなかった。いずれの分析でも明確な相関関係は確

認できなかったため、判定の補助手段として利用は現状難しいと思われる結果となった。

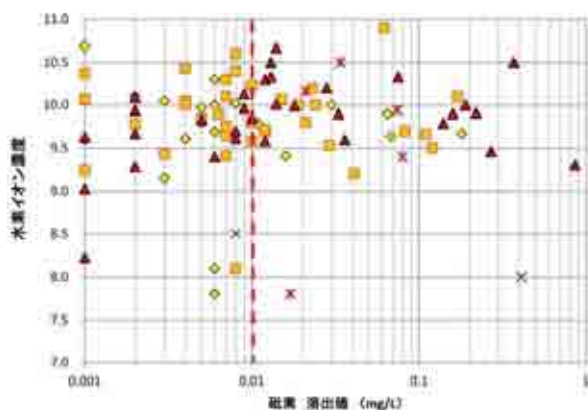


図-9 ヒ素溶出量と pH の関係

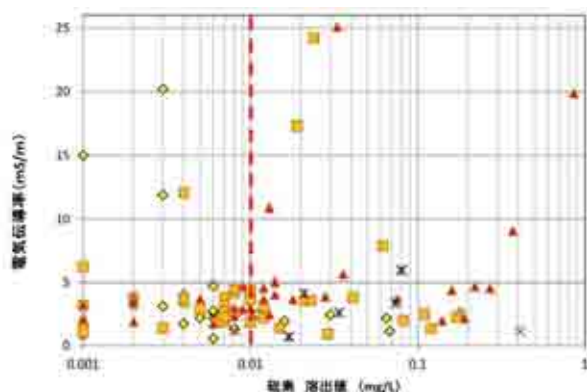


図-10 ヒ素溶出量と電気伝導度の関係

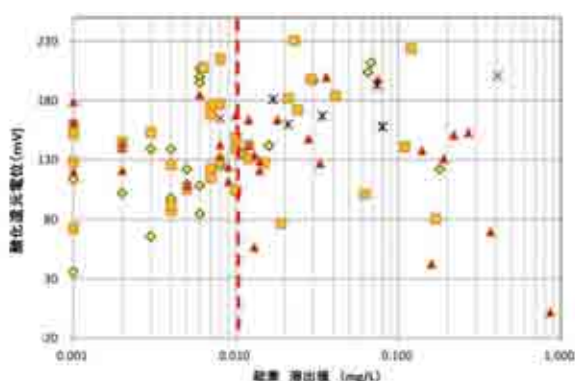


図-11 ヒ素溶出量と酸化還元電位の関係

(2) 考察

1) 高濃度のヒ素が検出された切羽の特徴

高濃度のヒ素が検出された切羽として、低速度帯、廃鉱山付近で相対的高濃度のヒ素溶出量、含有量が確認された。また、試料 c の分析結果より、低速度帯、廃鉱山付近では、変質程度に係らず、高濃度のヒ素溶出量、含有量が確認された。

高濃度のヒ素が検出された切羽の特徴として以下の点が挙げられる。

◎全体に灰白～灰緑色を帯びている。

◎未変質新鮮岩と比べると脆弱でハンマーの打診で鈍い音がする。

◎断層沿いの灰白色粘土または灰白色強変質岩に暗黒灰色の微細鉱物が散在して見られることがある。

図-12、図-13 に高濃度のヒ素が検出された代表的な切羽の写真を示す。

図-12 では、断層沿いの灰白色粘土または灰白色強変質岩に暗黒灰色の微細鉱物が散在して見られることがある。指圧で容易に砕ける程度の脆弱部が混じり、崩れ易くなっている。また、断層沿いは破碎され、土砂～粘土化が進んでいる。



図-12 ヒ素の高濃度溶出値を得た代表的切羽写真

図-13では、割目沿い暗茶褐色に変色している部分とその周辺は溶出量、含有量ともに高濃度となることがある。暗茶褐色部は水酸化鉄が生成しており、この水酸化鉄に地下水中に溶解しているヒ素が吸着していることで高濃度のヒ素が検出されるものと推定される。

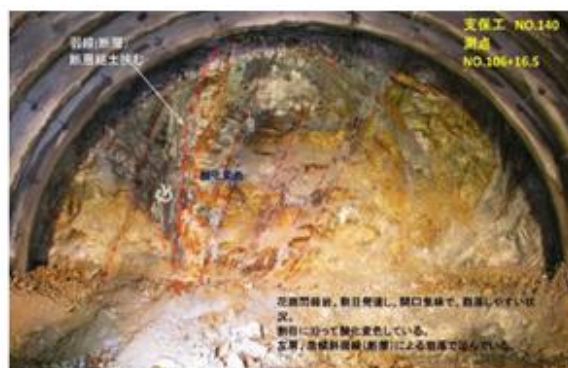


図-13 ヒ素の高濃度溶出値を得た代表的切羽写真

2) 施工業者から試験施工結果の報告についての評価、今後の取り組み

i) 切羽観察及スケッチによる変質程度の判別

切羽観察及びスケッチにより切羽で岩石の変質程度を判別する方法は、時間的な制約もあり、また切羽の観察と坑外の明るい場所での岩石の観察（岩を割って内部を観察）が必要であったため困難であった。実際の施工上での変質程度の判別は、切羽からできる限り均等に試料を採取し、坑外に試料搬出後、切羽観察結果と試料を照合の上、切羽の変質区分を行った。切羽観察の時間は、工程上及び安全管理上、短時間（約 10 分程度）作業を余儀なくされるが、現状の工程上可能である。今後、施工を進めていく中、当現場において変質程度の判別方法の具体的手法としては品質上もこの方法が望ましいと考える。



図-14 試料採取の様子

上記より、スケッチによる変質程度の判別については、トンネル内部の暗部では、見た目だけでの分類が難しく、時間的に制約もあることから、トンネル坑外に持ち出したうえでの判断が必要であることが分かった。また、この方法の方が工程に影響を及ぼすことなく、判別することが可能であった。よって品質確保の観点からも、変質程度の判断は切羽で行うより、この方法が適していると言える。

ii) 分析試料の採取方法及び手順

代表試料を得るためには、切羽の変質程度と各変質程度の分布割合を反映したものでなければならない。試料採取の工程としては、発破後、ズリ搬出し、ブレーカによるコソク終了後、吹付けまたは支保工設置までの準備時間の合間に行うことが無駄が少なく、工程上問題が少ない。ただし、試料採取手順としては、切羽の状態によっては崩落による危険を伴う。今回採取方法手順として切羽からの直接採取を

回避し、地質専門技術者が切羽観察中、変質区分の確認に必要と考える切羽上のポイント（5～7 点程度）をブレーカオペレータにその場で伝えた。ブレーカオペレータが各点毎に切羽（上半）から岩を砕き落とし、落とした試料を分析試料として採取した。なお、各採取ポイントの切羽上の位置を記録し、変質区分けに役立てることにした。なお、現在、本施工においても当手法を継続実施している。

分析試料の採取方法及び手順については、判別の統一性を確保する意味で、専任の地質専門技術者が継続して判別していく行が必要が望ましいと考えられる。

4、おわりに

本論文では、大和御所道路水泥トンネルを対象に、トンネル掘削土処理対策に関する施工について、試験施工の結果、考察および今後の改善点についてまとめた。試料採取の際の、各変質区分の岩石の切羽内の分布面積の比を集計方法として、AR（拡張現実）技術とラインレーザー照射技術を組み合わせる方法をおこなうことで安全性や精度の向上、サイクルタイムへの影響低減の一助となる可能性を示した。更に、この方法を用いて採取した試料を分析することで変質程度における相違や判別方法についての検討をおこなった。実際に施工業者にヒアリングすることで、現場での意見踏まえたマニュアルの修正の方向性を定めることができた。今後の課題としては、岩の変質程度の判別方法の精度向上が挙げられる。また、pH、電気伝導度、酸化還元電位以外の項目における変質程度やヒ素の溶出量、含有量との関係について引き続き、検討委員会の委員との協議のうえ、検討する必要がある。

謝辞：本論文の作成にあたり、大和御所道路水泥トンネル工事受注者である（株）竹中土木の皆様には、資料の提供および多大なご助言ご協力をいただきました。ここに感謝の意を示します。

（参考文献）

- 1) 奈良国道事務所（2013）大和御所道路トンネル掘削土処理対策に関する試験施工計画（案）
- 2) 奈良国道事務所（2013）大和御所道路トンネル掘削土処理対策に関する施工マニュアル（案）
- 3) 吉安 勇介（2014）「大和御所道路トンネル掘削土処理対策に関する施工マニュアルについて」平成 26 年度近畿地方整備局研究発表会

名塩道路八幡トンネル ～超近接無導坑めがねトンネルの施工について～

谷口 大樹¹・木村 圭吾²

¹近畿地方整備局 兵庫国道事務所 工務第一課 (〒650-0042 兵庫県神戸市中央区波止場町3番11号)

²(株)鴻池組 大阪本店 (〒541-0057 大阪府大阪市中央区北久宝寺町3-6-1)

名塩道路八幡トンネルは用地の制約から上下線の間隔が約1mで近接する超近接めがねトンネルであり、掘削方式には、経済性・工程短縮に有利な先進導坑の無い、無導坑方式を採用した。

本トンネルは市街地にあり、近接するマンション・神社への影響が懸念された。そこで、トンネルの施工に際しては、地山の緩みを抑制するため、FEM解析に基づいた補助工法や瞬結型高強度吹付コンクリートを用いた早期閉合を行うなど様々な工夫を採り入れた。

本論文では、市街地での特殊な断面のトンネル施工において、掘削による緩みを抑制するために採用した様々な対策に加え、工程短縮・品質向上のために採用した工夫について述べる。

キーワード 双設（めがね）トンネル、補助工法、環境対策、早期閉合

1. はじめに

国道176号は、京都府宮津市から阪神北部地域を経由して大阪市に至る延長約147kmの主要幹線道路である。名塩道路は、このうち西宮市山口町から宝塚市栄町の区間について、現道拡幅を主体として計画された延長10.6kmの道路である。

当該区間の現道は、カーブが多く幅員が狭小な2車線道路に1日当たり約2万台を超える交通量があり、慢性的な交通渋滞が生じている。

さらに、ほとんどの区間に歩道が無い歩道がある場合も幅員が極めて狭いため、交通安全の確保が求められている。

本報告では、国道176号の4車線化改築事業である名塩道路事業の一貫として、西宮市塩瀬町名塩地先において計画された延長L=242mの山岳トンネルである八幡トンネル工事の施工手法について報告する(写真-1)。

2. 名塩道路八幡トンネルの概要

名塩道路八幡トンネルは、中国自動車道及びマンションや神社に挟まれた地理的制約のため、上下線の最小離隔が約1mで近接した「超近接めがねトンネル」の構造を採用した(図-1)。

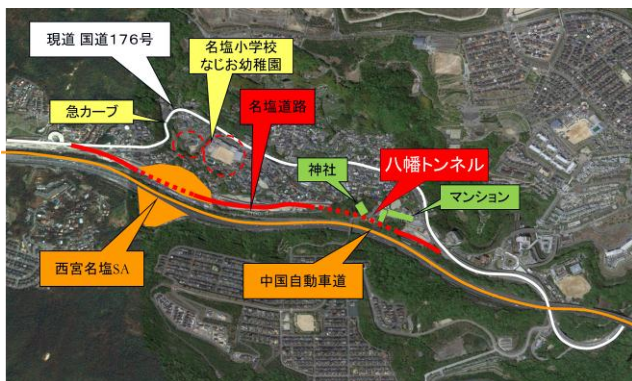


写真-1 八幡トンネル付近の周辺状況

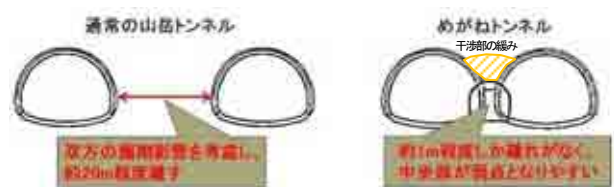


図-1 通常のトンネルとめがねトンネルの違い

めがねトンネルの施工方法には導坑方式と無導坑方式があるが、本トンネルでは経済性・工程短縮の観点から無導坑方式を採用した。無導坑方式は通常のトンネルと同様に掘削を行うが、採用にあたっては地山変

状を抑制することが要求される(表-1)。

しかしながら、名塩道路八幡トンネルは、全線にわたって小土被りであり、かつめがね構造となる特殊条件下でのトンネル施工である上に、マンション・神社の重要構造物が近接しているため、この地山変状を抑制することが最大の課題であった。

表-1 導坑方式・無導坑方式の比較

	導坑方式	無導坑方式
概要図		
特徴	・本坑掘削前に導坑を掘削し、中間部の補強(センターピラー)を実施	・通常のトンネルと同様に掘削する。 ・補助工法や早期断面閉合により、地山変状を抑制⇒【前提条件】
施工順序	①中央導坑(掘削→支保工→センターピラー) ②先進坑(掘削→支保工→インバート→覆工) ③後進坑(掘削→支保工→インバート→覆工)	①先進坑(掘削→支保工→インバート) ②後進坑(掘削→支保工→インバート) ※覆工は地山変位が収まってから施工
工期	△：導坑があるため長期 (概算工期：掘削～覆工：1.5)	○：短期 (概算工期：掘削～覆工：1.0)
安定性	○：中間地山・脚部の事前補強が可能のため、地山の変状(沈下等)に強い △：導坑掘削により地山を緩まず場合あり	○：補助工法により切羽の安定は確保可能 ○：早期閉合で地山の変状を最小限とする △：地耐力不足の場合、とも下がり懸念
経済性	△：割高(概算工費：1.05)	○：経済的(概算工費：1.0)

補助工法の有無等に左右されるが、特に干渉部に関しては、緩みを許せば、先進坑、後進坑の緩みが重なり合い、トンネル2本分の大きな緩み領域の拡大につながりかねない。

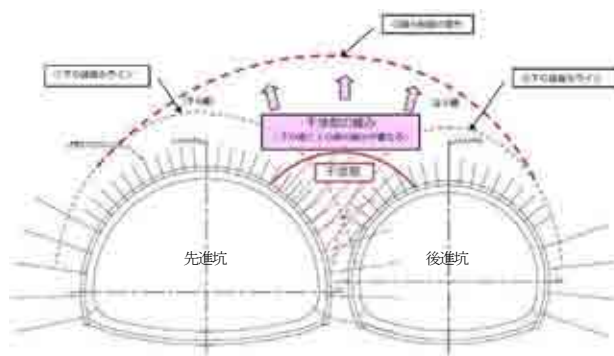


図-2 めがねトンネル緩みのメカニズム

(2) 硬質な地盤について

掘削機械は、早期閉合において適用事例が多いことから、当初ツインヘッダを採用したが、神戸層群の礫岩層には硬質な玉石が多く存在し、ビットの消耗が激しく、掘削が不可能となったため、大型ブレーカ(1.3t級)に変更した。その後全断面にさらに硬質な岩盤が出現し、大型ブレーカ(1.3級)による掘削でも進捗が思うように進まないため、工程短縮を図ることが課題となった。

3. トンネル施工における課題

(1) 干渉部の緩みについて

地山変状において特に問題になるのが上下線の干渉部の緩みである。緩みの程度は、地質状況、施工手順、

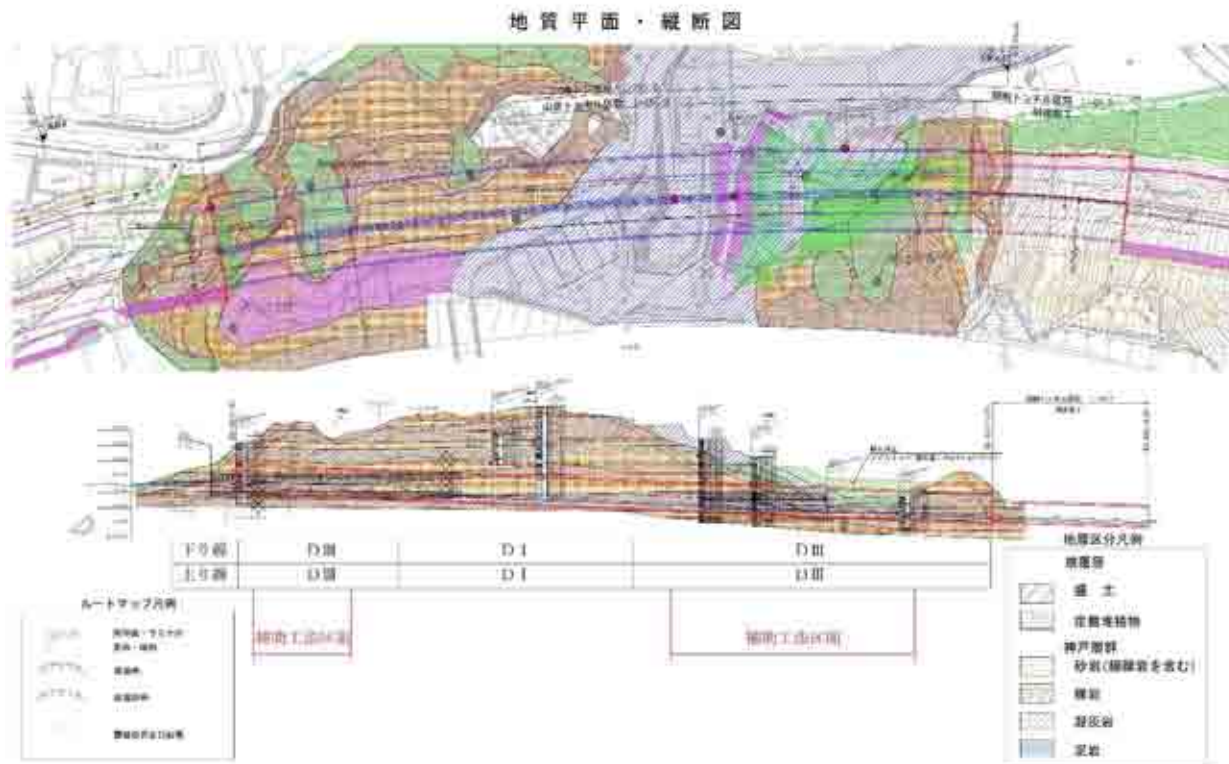


図-3 トンネル地質状況及び補助工法導入箇所

4. 施工における課題の解決方法

(1) 干渉部の緩みについて

緩み対策においては、主に補助工法と早期閉合を取り入れた施工を実施した。

a) 補助工法について

補助工法を実施した箇所及びその種類については、図-3の通りである。

検討手法としては、主にFEM解析を用いて実施した。神社・マンション等の重要構造物が近接している区間では既往設計にてFEM解析を実施し、補助工法を決定していた。しかし、起点側坑口部のNo.293+7.0断面においては図-4に示すように下り線側の土被りが小さく地山およびトンネル支保構造の安定性に関して不安があったため、追加のFEM解析を実施して補助工法の採用を検討した。

トンネルの安定性に対する評価基準として、解析結果による壁面変位と、限界ひずみより求められる基準変位との対比から切羽の安定性を評価した。トンネル切羽の安定性は、櫻井ら¹⁾の提案する『直接ひずみ制御法』を用いて評価した。

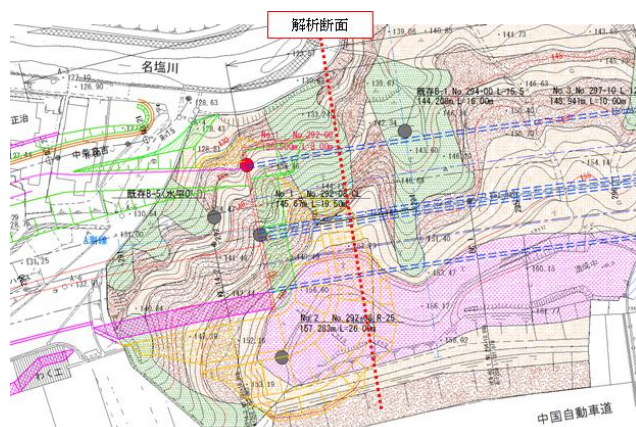


図-4 起点側坑口部解析位置平面図

追加のFEM解析を行った結果、図-5に示すとおり当初設計の補助工法を行わない無対策のケースでは、トンネル掘削により干渉部には大きな緩み領域を生じ、下り線側では地表部に達する緩み領域も生じる。FEMは連続体を対象に微小変形を扱う解析手法であり、無対策ケースのように非線形領域がトンネルと地表部や両トンネル間でつながった場合の大変形については追従していない懸念もあり、地山の緩みの進展によりトンネル施工に危険を及ぼす可能性がある。

このため、トンネルを連続体として扱えるよう対策工を行う必要がある。対策工としては、多段式長尺鋼管フォアパイルリングによる緩み抑制対策が効果的と判断した。

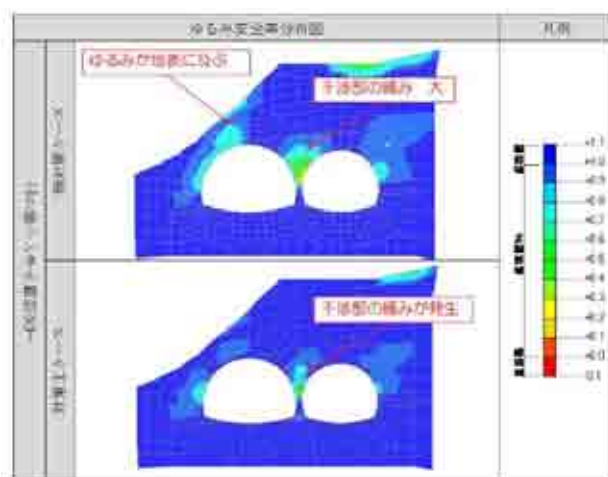


図-5 起点側坑口部におけるFEM解析事例

また、トンネル干渉部の緩みを許すと緩み領域が助長され、最終的には緩みが拡大し崩落の懸念があるため、トンネル干渉部に注入式フォアポーリングによる干渉部補強を実施した(図-6)。

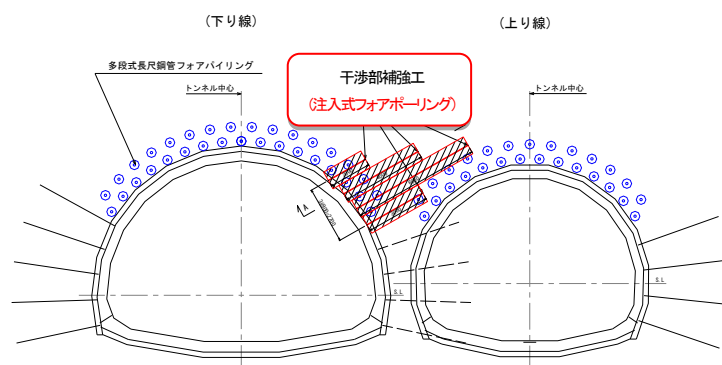


図-6 起点側坑口部において採用した補助工法

補助工法が必要な範囲の決定には、起点側坑口部の水平ボーリングデータを用いた。その結果、坑口より延長36.5mまでの区間は強風化した地山で脆く、部分的に粘土が挟在していた。36.5m以降の区間は、部分的に割れ目が発達、粘土を挟むものの全体的には地山は良好でコアは棒状を呈していた。

前述の解析結果によれば、補助工法を採用しないケースでは地表面にまで緩み範囲が及ぶことが想定されていること、当該箇所(36.5m地点:No.294+4.5)の下り線のセンターの土被りが8.463m(0.6D)であり、肩部の最小土被りは7.611m(0.54D)となるため、緩みの影響で地山の安定性が損なわれる可能性が高いと考えられたため、坑口部延長36.5m(No.294+4.5)までを目安に補助工法の採用が必要であると判断した。

また、補助工法の注入剤として当初はセメント系注入剤を使用する設計であったが、ウレタン系注入剤のシリカレジンへ変更した。変更した理由としては、表-

2の通りである。また、沢部地形であり、湧水の発生が予想されていたことも、湧水の影響を受けにくいシリカレジンへ変更した理由である。

表-2 セメント系材料とシリカレジンの比較

注入材料	セメント系注入材		ウレタン系注入材 (シリカレジン)
	超微粒子セメント +急硬性混和材	プレミックスモルタル	シリカレジン
硬化時間	30～300秒(ゲル化) (少しずつ粘性が高まり流動性がなくなる。) ○	60～120分(ゲル化) △	45～120秒(硬化反応終了時間) (急激に発泡し、地山の内部応力を高め、岩片間の結合力を高める。) ◎
材料強度	1日→ 10kgf/cm ² 注入後養生が必要となり、掘削サイクルにロス生じる △	1日→ 10kgf/cm ² 注入後養生が必要となり、掘削サイクルにロス生じる △	発泡後→30～ 40kgf/cm ² 早期強度が得られるため、注入後すぐに掘削が可能 ◎
総合評価			◎(採用)

b) 早期閉合について

本工事では、切羽から7m手前でインバートを含めた支保工と吹付コンクリートによる閉合を行い、地山の安定を図った(図-7)。

また、先行トンネルの補助工法採用区間では、吹付コンクリートに瞬結型高強度吹付コンクリート(Σショット工法:KT-130070-A)を活用した。瞬結型高強度吹付コンクリートは、高強度混和剤と急結剤を添加することで、吹き付け後10分で2～3N/mm²程度(標準の高強度吹付コンクリートの3時間強度相当)の強度が得られ、28日強度も36N/mm²を十分満足する配合とした。



○施工ステップ（1サイクル）

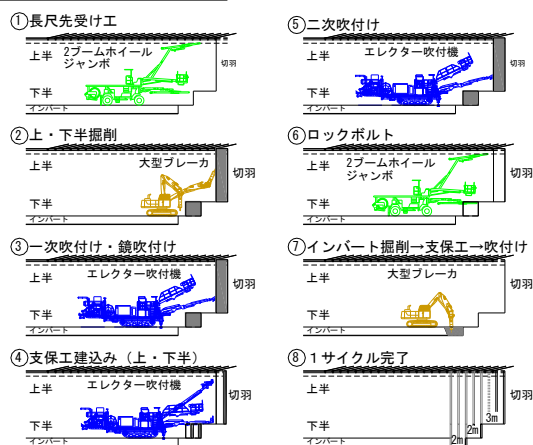


図-7 早期閉合説明図

c) その他の対策について

前述の対策以外にも、前方地山の緩みの抑制及びインバート施工時の安全性の向上によるトンネル相互の影響の低減を目的として、鏡安定対策(鏡ボルト・鏡吹付けコンクリート)を実施した。

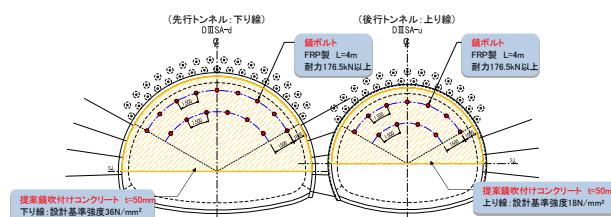


図-8 鏡安定対策実施図

また、上半脚部の沈下抑制と中間側壁部の改良効果によるゆるみ抑制によるトンネル相互の影響の低減を目的として、先行トンネル施工時における中間側壁部補強対策(レッグパイル)を実施した(図-9)。

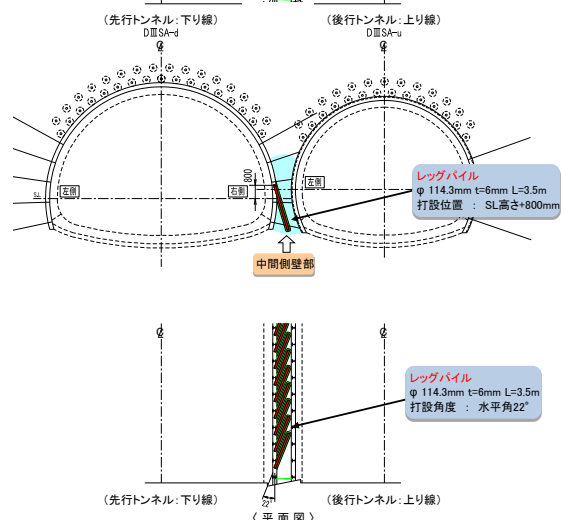


図-9 レッグパイル施工概要図

さらに、地山の緩みの低減及び、地表面沈下の抑制によるトンネル相互の影響の低減を目的として、プレロードシェル工法を用いて鋼製支保工による早期の支保効果の発現を図った。



図-10 プレロードシェル工法説明図

以上のように様々な対策を用い、緩み(変位)を極力抑制した施工を行った。

(2) 硬質な地盤について

機械掘削が進行するにつれ、トンネル深部では岩盤が硬くなり、掘削の進行が目標通り図れない恐れがあったため、大型ブレイカ（36級）に加え非火薬岩盤破砕剤（ガンサイザー（時間制限有））を採用した。ガンサイザーとは、薬剤の熱分解時に発生する水蒸気圧により岩盤を破砕できる非火薬の岩盤破砕技術である。特長としては、岩盤を瞬時に破砕する性能を有するとともに、発破工法と比較し、破砕時の振動、騒音が小さくできることが挙げられる。

また、さらに工期短縮を図るため、下記に示すユニット鉄筋の採用や、施工時期の見直しに伴いFRPフォームを型枠材料とした覆工コンクリートの施工を行った（下記a）、b）参照）。

a) ユニット鉄筋の採用

本トンネルの施工に関しては、配筋作業の機械化、合理化、作業改善を行い、鉄筋組み立て作業における工期短縮を図る目的で、二次覆工（インバート本体工）にユニット鉄筋を採用した（写真-2）。ユニット鉄筋には他にも表-3の様なメリットがある。

表-3 ユニット鉄筋特徴

	概要	詳細
①	高品質な製品で配筋制度が向上する	品質管理が行き届いた工場の自動溶接金網機で製造するため、高品質な製品の安定供給が可能
②	作業性が向上する	専用装置により鉄筋ユニットを把持し、所定の位置に設置（結束）する作業だけなので、苦渋作業がなく安全性が向上する
③	太径鉄筋も製作が可能	鉄筋径D29mmまでのユニット化が可能（当現場は最大径D22mm）
④	現場検査の簡素化を実現できる	ユニットごとの配筋ピッチは確実に確保できるため、継手部や端部の現場組み鉄筋の確認を行う（配筋検査の簡素化）

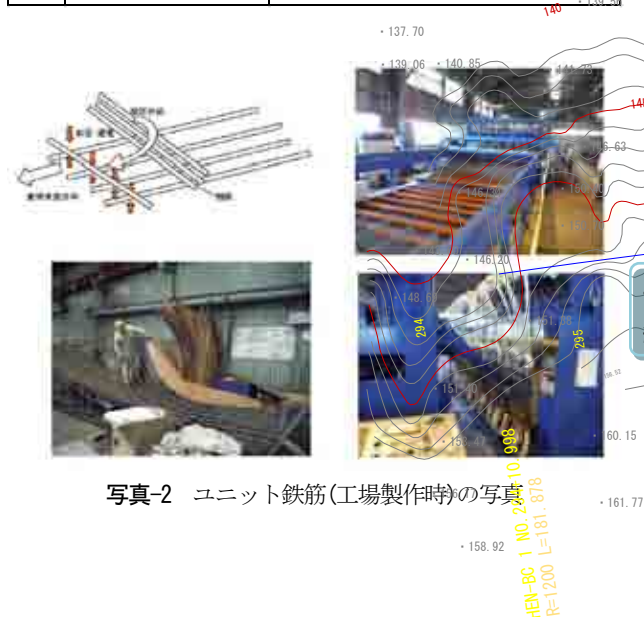


写真-2 ユニット鉄筋(工場製作時)の写真

b) FRPフォーム⁴⁾を型枠材料とした覆工コンクリートの施工

本トンネルでは、当初設計においては覆工コンクリートの型枠材料として鋼製を使用する予定であったが、FRPフォームに変更した。FRPフォームを採用した主な理由は、工事着手時期の見直しにより、硬質な地盤による掘削の遅れから、覆工コンクリートの施工時期が冬期となったためである。FRPフォームの特徴として構成材料と比較して熱伝導率が低いため、型枠内のコンクリートが外気温の影響を受けにくく、初期のコンクリート養生において有利となる。

また、離型性に優れ、自動ケレン装置が不要となることによる工期短縮、透過性を有する型枠なのでコンクリートの打設状況が確認できる等のメリットもある。

5. 地山変状の測定結果について

地山変状を把握するため、天端沈下・内空変位・地表面沈下等の測定（計測A）を行うとともに、坑内・ロックボルト軸力・支保工応力・吹付コンクリートの応力の測定（計測B）を行った。

計測Bでは他に、神社・マンション付近の沈下測定を自動計測システムにより実施した（図-11・図-12）。

その理由としては、前述のとおり本トンネルは重要構造物に近接しており、それらへの影響を連続かつリアルタイムに監視する必要があるためである。

最終的に、内空変位の変位速度が1mm/週以下となったことを2回程度確認できたら変位が収束したと判断し、測定を終了こととした。測定終了後、防水工及び覆工コンクリート工へ着手した。

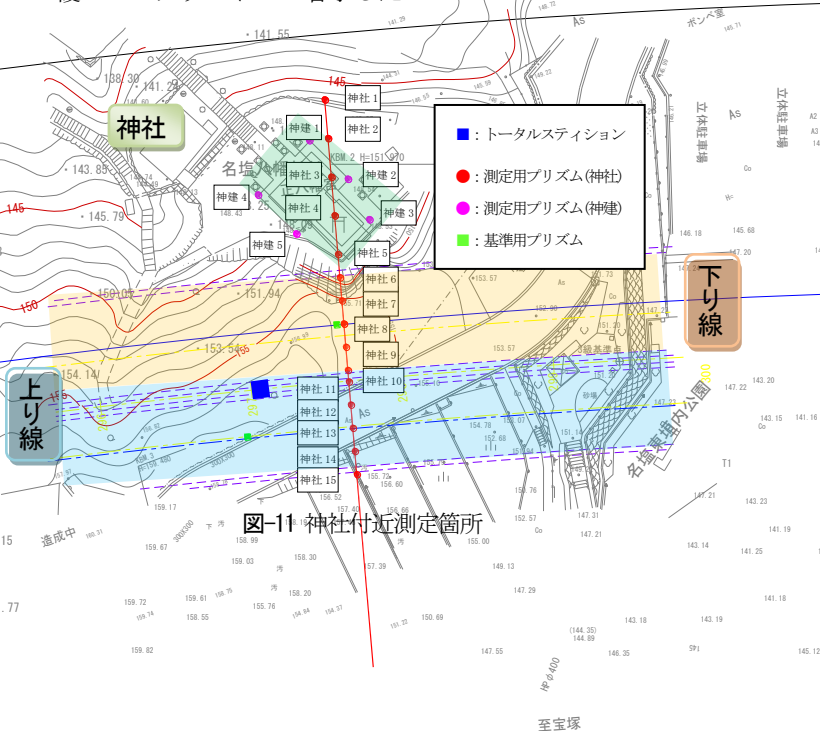


図-11 神社付近測定箇所

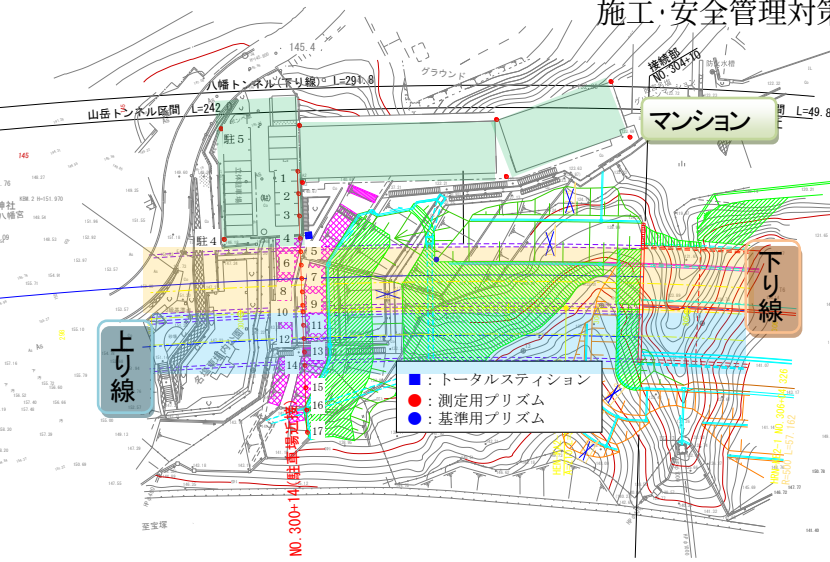


図-12 マンション付近測定箇所



写真-3 エキセントリックリッパによる施工状況

6. 環境に対する配慮について

本トンネルは市街地での施工となり、マンション・神社も近接しているため、周辺の環境（騒音・粉塵等）にも配慮した施工を行った。

（1）騒音に対して

前述した通り地盤が硬質であったことから非火薬岩盤破砕剤（ガンサイザー（時間制限有））を使用した。使用に際し、坑口を防音ハウスで覆っていたものの騒音・振動・低周波音の発生が懸念された。

そこで、施工に先立ち試験破砕を実施し、トンネル坑口付近と、近接する民家付近において、騒音・振動・低周波音を測定した。

測定した結果、特定建設作業（騒音）における規制値である85dBを下回り、低周波音についても発破騒音の昼間の管理提言値である130dBを下回った。また、振動レベルに関しても規制値である75dBよりも小さかった。

（2）粉塵に対して

終点側坑口（No.304+10～No.305+13付近）の切土の施工に際し、近接するマンションに対する騒音のため「大型ブレーカ」が使用できなかった。

よって、トンネル掘削に使用する「ツインヘッダ」により掘削を進めたが、予想以上に多くの粉塵が発生した。

その対応策として、「エキセントリックリッパ」を採用した（写真-3）。エキセントリックリッパの特徴は、第一に、掘削の機構が掘り起し方式で、本工事のように硬質の玉石混じりの地山では掘削騒音（振動）が小さく、住宅地域での使用が可能であること、第二に、法面整形において掘削箇所をピンポイントで傾斜に沿った掘削ができること、第三に、切削方式のツインヘッダに比べて、粉じん発生量が少ないことである。

7. おわりに

名塩道路八幡トンネルは、全線にわたって低土被りかつめがね構造となる特殊条件下でのトンネル施工であり、市街地で重要構造物が近接していたため、施工に際して通常のトンネル施工よりも地山変状に対して慎重に施工する必要があった。

その中で、通常のトンネル施工では行わない計測Bを取り入れ、トンネル構造及び周辺の挙動をリアルタイムに計測し、情報化施工を実施した。

また、既往設計においても、標準支保パターン（DIII, DI）を出発点としてFEM解析等によってトンネル構造を決定するという、通常のトンネル設計手法とは異なる方法が取られた。

以上述べたとおり、様々な工夫を採り入れた事により、特殊な条件下である名塩道路八幡トンネル工事は無事終了することができた。ここで得られた知見が今後同様のトンネル施工へフィードバックされ、技術発展に寄与することが望まれる。

謝辞

最後に、本工事にあたり国土技術政策総合研究所真下道路構造物研究部長には非常に貴重な助言をいただいた。また本論文作成にあたりご協力いただいた関係者の皆様に感謝を申し上げる。

参考文献

- 1) 櫻井春輔ら：都市トンネルの実際，鹿島出版会，1998.3
- 2) ジェオフロンテ研究会：注入式長尺先受け工法（AGF工法）技術資料（五訂版），2006.12
- 3) 日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針，2009.2
- 4) 瀬崎満弘，渡辺正，藤倉裕介，源石佳弘：FRP型枠を用いた覆工コンクリートの温度特性，トンネルと地下，第42巻9号，pp55-62，2011.9
- 5) 田中孝，谷口大樹：名塩道路八幡トンネルにおける無導坑方式の設計について，平成26年度近畿地方整備局研究発表会，施工・安全管理部門：No.02，2014.9

断層破碎帯における トンネル掘削の対策について

尾島 豊

大成建設(株) 関西支店 土木部 田野井第二トンネル工事作業所
(〒649-2532 和歌山県西牟婁郡白浜町安居字見ヶ川谷南側1191-2)

田野井第二トンネルは、近畿自動車道紀勢線の整備事業の一部としてNATM工法により施工した延長1,654mのトンネル工事である。本トンネルの終点坑口から約350m付近において、地表踏査から断層が3本確認されていた。また、ボーリング調査からも砂～礫質土状のコアを挟み軟質化しており、切羽の自立性が乏しいと共に地下水位がトンネル上部に位置することが想定された。そこで当該区間(約65m)に対しては、湧水対策として水抜きボーリングを実施し、同時に前方地山の削孔検層を行った。その得られた情報を活用しながら有効な補助工法を選択し、トンネル掘削を進めた。本稿ではこのプロセスについて報告する。

キーワード 断層破碎帯, 水抜きボーリング, 削孔検層, AGF, 長尺鏡ボルト

1. はじめに

近畿自動車道紀勢線は、紀南地域における災害時の交通確保かつ地域間の連携強化を目的として、田辺からすさみまでの延長38.0kmの高規格幹線道路として計画されている。

本工事は、そのうち施工延長1,694mの道路工事であり、延長1,654mのトンネルを含んでいる。トンネル内空断面は約63㎡の2車線道路であり、発破掘削方式によるNATM工法で施工を行った。現場位置図を図-1に示す。

終点側からの掘削については、断層破碎帯が想定されており、切羽の安定対策、天端の安定対策、及び湧水対策が不可欠であった。

本トンネルにおいては、掘削にあたり水抜きボーリングを行うと同時に前方探査を行い、地山状況の把握及び掘削における対策計画に反映することとした。

地質縦断面図を図-2に示す。



図-1 現場位置図

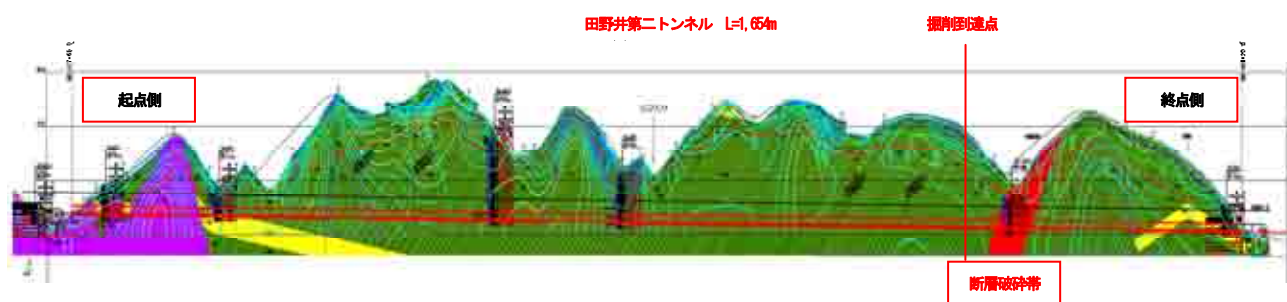


図-2 地質縦断面図

2. 地質概要

本トンネル施工区間の地質は、主に新第三紀中新世の田辺層群（泥岩、礫岩）が基盤岩を成しており、比較的安定して、湧水量も0.25m³/min程度と全体的には少ないと想定されていた。しかし、終点側から掘削する破砕帯想定区間に関しては、弾性波探査で幅15m程度の低速度帯が2箇所存在すると報告されていた。

また、地表踏査では、10～30cmの3本の断層が確認され、ボーリング調査においても約27mの層厚の破砕部と共に地下水位もトンネル天端より上部に位置することが確認されていた。

以上の結果より当該区間約65mの地質においては、亀裂が発達し、一部粘土化した部分があり地下水位も高いと想定されていた。

3. 水抜きボーリングの施工

(1) 施工計画

本トンネルの施工は、起点側から掘削を開始し約700m程度進んだ段階で、終点側からの掘削を始めた。

起点側の掘削において、切羽面及びその周辺より当初想定されていた湧水量より多量の湧水が発生し、吹付コンクリートの付着不良、作業能率の低下が見られた。その為、湧水対策の補助工法として、約120mの水抜きボーリングを計4本実施した。

終点側の掘削に際して、同様に破砕帯想定部では多量の湧水の発生が考えられ、破砕帯区間46.4m手前にて切羽面に対し左右1本ずつ延長120mの水抜きボーリングを計画した。

また、ボーリングマシンにはボーリングデータ取得用装置を装着し各種データを連続して記録した。測定項目を以下に示す。

- a. 回転トルク.....油圧ラインに圧力センサーを装着し算出
- b. 削孔深度.....ドリフターの移動距離より計測し算出
- c. 総進力.....油圧ラインに圧力センサーを装着し、前進圧、後進圧の差より算出
- d. 削孔速度.....深度変化と経過時間から算出
- e. 送水量.....送水ラインに流量センサーを装着し算出
- f. 送水圧力.....送水ラインに圧力センサーを装着し算出
- g. 打撃圧力・回数.....送水圧力に係数をかけ算出



写真-1 ボーリング状況

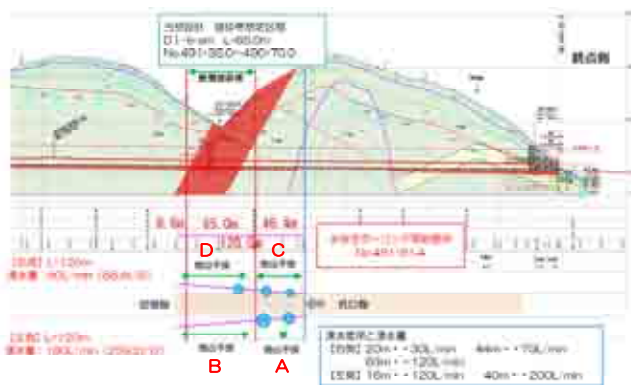


図-3 ボーリング施工箇所

(2) ボーリング結果

水抜きボーリングの結果は、左側の孔からの湧水量は180L/min(259.2t/日)で、右側の孔からの湧水量は、60L/min(86.4t/日)であった。(図-3、写真-1)

左側A区間(16m～24m)において、岩質が柔らかく、ボーリング孔の崩壊・閉塞が激しかった。湧水が120～200L/min見られ、割れ目が細かいことが想定された。B区間(60m～117m)においても、ボーリング孔の崩壊が激かった。

右側C区間(3m～48m)、D区間(63m～117m)においてもボーリング孔の崩壊・閉塞があり、湧水は20～120L/minであった。

ボーリング削孔時の打撃エネルギーについてはA、B、C、D区間に低下が見られた。(図-4)

打撃エネルギーが低い値を示すということは、地盤の強度が低く、軟弱な地山の存在が想定できる。ボーリング孔の閉塞状況、計測データの状況及び当初想定破砕帯区間との近接状況からこの箇所が破砕帯区間であると考えた。

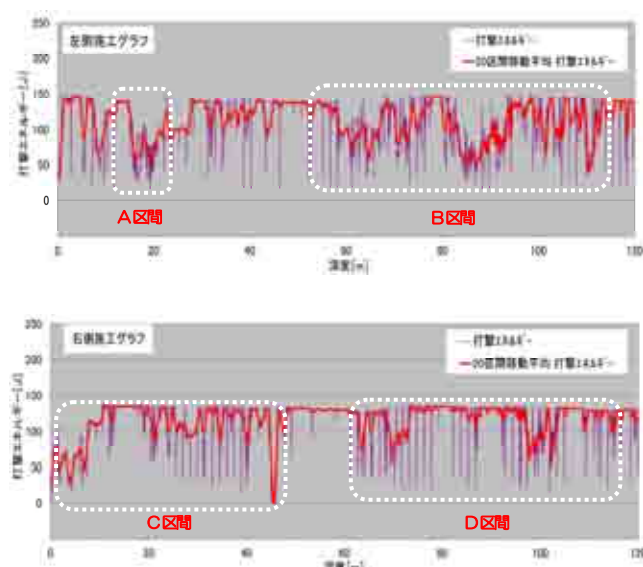


図-4 ボーリングデータグラフ(打撃エネルギー)

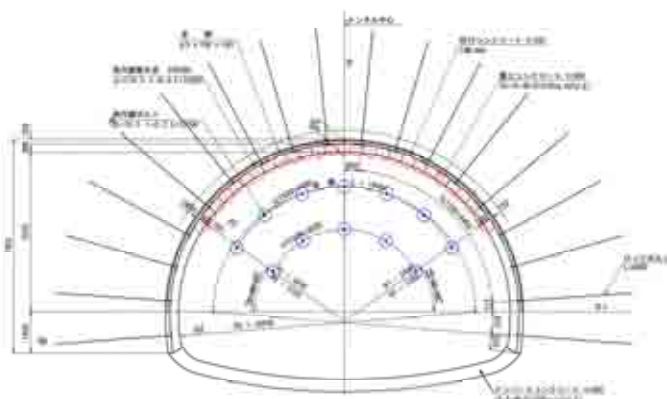


図-5 トンネル断面図

注入式長尺先受工法 $\phi 114.3$ $L=12,920$ 鏡ボルト $\phi 76.3$ $L=12,800$
27本/面 12本/面

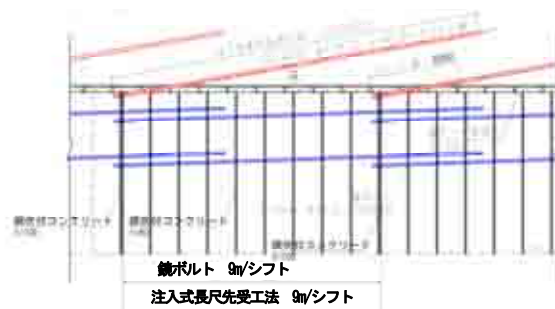


図-6 トンネル縦断面図

4. 補助工法

(1) 補助工法の選定

a) 天端の安定対策

前方探査結果より当該箇所は破碎層が断続的に続いていることが把握できた。その為、掘削に伴う地山の緩みや小規模な崩落が地表面まで達し、大規模な崩落に繋がる事が懸念された。掘削にあたっては地山の緩みを先行して抑制し、迅速な掘削が可能な天端安定対策が必要不可欠であった。先行緩み幅の大きい悪条件の掘削に対し、本設計である中尺鋼管先受工法(MS工法)は先受長(6m)が短く、先行緩みに対しての効果が乏しい。地山を安定させる縫地効果については理論上、長いスパンで地山を一体化させることでその効果を発揮する。そこで、中尺工法よりも高い効果を有する長尺鋼管先受工法(AGF工法) $L=12.5m$ 、有孔長 $L=9.0m$ を採用した。

b) 切羽の安定対策

前述のように本区間は著しく破碎した地山が断続的に続き、かつ水位も高く突発湧水が懸念される地山である。天端安定対策ではAGFを選定したが、トンネル掘削において核残しや鏡吹付コンクリートだけでは切羽が安定しないことが想定されることから、切羽前方の緩み及び崩落を防止する効果のある長尺鏡ボルトを採用した。

c) 注入材の変更

当初設計であるMS先受工法(注入材:ジェルフオー)はセメント系注入材料で、一般的に湧水等の水のある地山には注入材の劣化や流出等の可能性があり、不適材料とされている。したがって、使用する薬液は、湧水下でも固結性が問題なく、逸走しにくい特徴を有する必要がある。

昨今のトンネルの実情、及び紀勢線沿線の地質不良部の補助工法の注入材として標準となっているシリカレジンを採用した。

(2) 施工結果

No.491+35.0~No.490+70.0の65m区間を支保パターンは、D I-b-補助工法とし、AGF工法と長尺鏡ボルトを併用して掘削した。(図-5、図-6)

a) 注入結果

注入式長尺先受鋼管(有孔長 $L=9.0m$)27本/面、及び長尺鏡ボルト(有孔長 $L=9.0m$)12本/面を8シフト施工した。(写真-2)

注入量の設定はAGFが1本あたり149kg、鏡ボルトについては146kgとした。^{1),2),3)}

AGFの注入量については1シフトから3シフト及び5シフトは設計の100%以下であったが、4シフトと6,7,8シフトは設計の100%を超えた。鏡ボルトについては、6シフト、8シフト目が100%を超えた。AGFと鏡ボルトの平均注入量は91.7%であった。(図-7)

8シフト目以降は、地山も比較的安定しており、支保パターンは当初設計通りのCII-b-iで掘削した。



図-7 注入実績



写真-2 地山状況:割れ目も細かく軟弱な天端

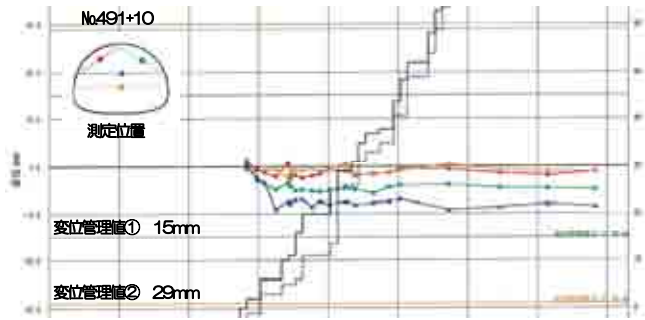


図-8 内空変位量

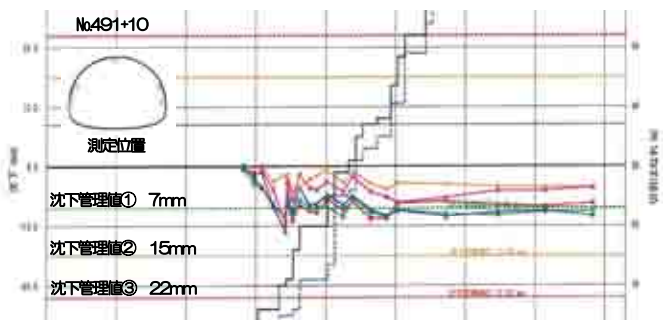


図-9 沈下変位量

b) 掘削時内空変位及び湧水状況

掘削に伴う周辺地山と支保部材の変位を把握し、工事の安全性、経済性を確保する為に内空変位、天端沈下測定を行った。

破碎帯部から約25m掘削した箇所の内空変位については、掘削初期に若干変位したものの-10mm程度に収まり大きな変位はなかった。(図-8)

沈下についても、右肩部が掘削初期時に若干沈下し、一次管理値(7.0mm)を超えたが、-10mm程度で推移した。(図-9)

湧水は、水抜きボーリングの施工以降、鏡面からは見られなかった。確実に水位低下の効果が確認できた。

7. おわりに

ボーリングマシンからの機械挙動測定データから断層破碎帯の脆弱性の顕著な地質性状が確認できた。また、目視によるボーリング削孔時のくり粉の状況、湧水量、ボーリング孔の閉塞状況から地山不良区間が想定することができた。

実際の掘削において、当該区間のトンネル切羽下半については比較的地山は安定していたが、トンネル切羽上

半の特に右肩付近にて、軟弱で細かい層が目立ち、割れ目も細かく、密着性の乏しい岩質が見られた。

事前の前方探査による地山性状の把握による適切な補助工法の選定及び水抜きボーリングによる湧水対策を行い、大きな崩落もなく破碎帯区間を掘削することができ、2014年11月25日に無事貫通を迎えることができた。

事前に切羽前方の地山性状を把握することが、安全にトンネルを掘削するためには重要であり、本稿が同種工事の参考になれば幸いである。

謝辞：最後に、本トンネルの施工ならびに論文作成にあたり、多大なるご指導、ご協力を頂いた関係者の皆様へ、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) ジェオフロンテ研究会：AGF 技術資料五訂版, 2006. 12
- 2) 山岳トンネル技術会：補助工法の効率的な設計施工法に関する調査検討報告書, 2000. 10
- 3) 土木学会：山岳トンネルの補助工法, 2009 版

河川維持管理における堆肥化・チップ化への 取り組みについて

山田 陽¹・安井 潤²

¹近畿地方整備局 姫路河川国道事務所 河川管理第一課 (〒670-0947 兵庫県姫路市北条1丁目250)

²近畿地方整備局 姫路河川国道事務所 龍野出張所 (〒679-4167 兵庫県たつの市龍野町富永1005-47)

揖保川・加古川では河川の維持管理のため年2回の堤防除草を行っている。除草によって発生した刈草は焼却処分が出来ないため、一般廃棄物として処理しており、処分費用が深刻な問題となっている。

一方、バイオマス資源の利活用推進の観点から、堤防の刈草等をリサイクル活用することは重要である。

揖保川流域では、刈草等を堆肥として活用するため、2012年度(平成24年度)から刈草の堆肥化に着手、2014年度(平成26年度)に堆肥として登録・配布を行った。また、揖保川・加古川において伐木のチップ化にも取り組み、配布を行ってきた。これらの結果を報告するとともに、今後の堆肥化・チップ化の取り組みについて、特に外来種対策・堆肥化の簡素化に焦点を当てて考察する。

キーワード コスト縮減, 堆肥化, チップ化, 環境, 外来種対策

1. はじめに

姫路河川国道事務所では兵庫県南西部を流れる揖保川・加古川の二つの河川を管理している。揖保川は全長約70km、流域面積約810km²。加古川は全長約96km、流域面積約1,730km²の兵庫県下最大の一級河川である(図1)。

各河川では日々の河川維持管理(堤防管理)のため、毎年出水期前・後の年二回堤防の草刈りと点検を行っている。また、高水敷においては樹木の成長が著しく、繁茂すると流下能力に支障を来すとともに、河道内の樹木が流失した場合樋門などの河川管理施設に支障を来すため、計画的な伐採が必要である。

さらには、刈草や樹木の処分に多大な費用がかかる。例えば、揖保川では、草刈りに要する費用のうち約34%が処分費用となっている(図2)。また、除草作業においては、特定外来植物が混入している

場合もあることから、処分場の受け入れ条件によっては通常の焼却処分より費用がかかり、維持管理費を逼迫してきている。



図1. 揖保川・加古川位置図



図 2. 刈り草処分費用の内訳

このような状況を踏まえ、処分費用の縮減と刈草や樹木の再利用・リサイクルによる資源の有効活用は、今後の河川管理を行う上で重要な取り組みである。その際に、特定外来植物の種子の拡散に留意することが必要である。

今般、堆肥化の簡素化手法の試行・結果を示すとともに、堆肥化による外来植物種子の死滅状況及び堆肥化とチップ化の今後の取り組みについて考察する。

2. 堆肥化の手法

揖保川の刈草を使用し、堆肥化を効率的に進めるため、兵庫県立大学講師の西山氏にご助言を頂き事業を進めている。西山氏は、姫路で「土の再生」に取り組んできており、現地での技術的な指導をいただいている。

2-1. 堆肥化の手順

まず堆肥化の手順を以下に示す。

1) 刈草を堆肥化ヤードに運ぶ

刈草は出来るだけ早く堆肥の生産場所に運び、ビニール・ペットボトル等のゴミは出来るだけ除去する。

締め固めや特別な施設等は不要で、水分を含ませて積み上げる (図 3)。

前年度の完成堆肥を 10~20% 程混ぜ込むと効率良く発酵する。

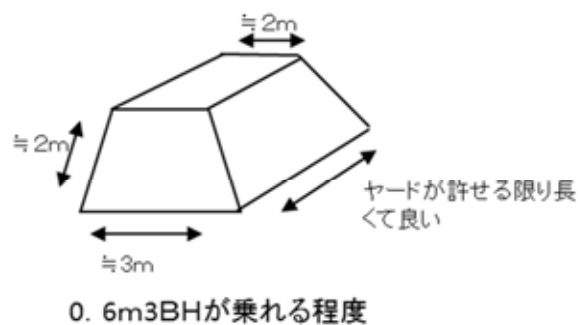


図 3. 刈草の積み上げ例

2) 水分・温度管理

刈草が乾燥している時は全体散水し、刈草を手で握り、少し湿り気がある程度に水分の補充を行う。

表面の草と内側の草を混ぜ合わせるにより、水分が適正に配分される (図 4・5)。



図 4. 現在の堆肥状況 (左図)

図 5. 水分管理状況 (右図)

3) 刈草を混ぜる

堆肥化するまで (3~4 ヶ月の間³⁾) に 3 回程度、「内側で良く発酵している草」と「外側の発酵していないもの」を混ぜ合わせる。混ぜるタイミングは、温度がピークを過ぎて下がり始めた時で、堆肥内部に空気が入り、発酵過程で内部の空気が無くなること無いうよう混ぜ込む (図 6)。

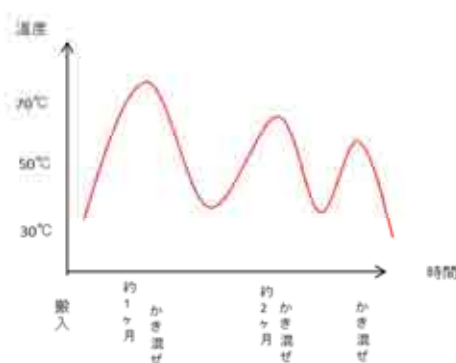


図 6. 発酵温度の推移と切り返し時期

2-2. 堆肥成分

作成した堆肥を兵庫県に登録して、一般の方々へ配布するために、堆肥の名称を「いいほのさと堆肥」と命名し、成分分析を行った。成分としては、一般的なパーク堆肥（樹木の皮だけで作った堆肥）と同等、又はそれ以上の分析結果となり、土壌改良材としての使用が適している結果となった（表1）。

表1. 成分分析表⁷⁾

項目	単位	いいほのさと堆肥	パーク堆肥	品質基準
水分	%	71.94	55 - 65	30 - 60
pH	—	7.7	5.5 - 8	5.5 - 8.5
C/N比	—	11	35以下	10 - 40
窒素全量（乾物当たり）	%	2.57	1.2以上	1以上
りん酸全量	%	2.28	0.5以上	1以上
加里全量	%	0.89	0.3以上	1以上

2-3. チップ化の結果

チップについては、揖保川・加古川両河川で配布を行った。（工事段階にチップ化の機械により？）

堆肥と同様、土壌改良材としての使用や、土壌の雑草の発生を抑えるためのマルチング材としての使用が見込まれている。チップを野外に積み上げて放置することで、内部で良好なキノコ菌の繁殖などが見られ、良質なマルチング材としての活用が期待できる結果となった。



図7. チップ キノコ菌繁殖状況（左図）



図8. マルチング材としての使用状況（右図）

2-4. 堆肥化の簡素化結果

上記2-1の手順で、約3ヶ月程度で堆肥としての使用が可能となり、適切な時期に刈草の攪拌・水分の管理を行っていれば特別なことをする必要は無い。なお、今回の堆肥化の発酵過程では、最高温度は72℃を記録した。

従来の堆肥化方法では、刈草の攪拌は1ヶ月に1

回など、定期的に行われてきたが、温度変化を詳細に観察することで、適切な時期だけに攪拌を行い、攪拌回数を減らすことが出来る。

また、堆肥化施設や締め固め、鶏糞などの混ぜ込みなども必要なく、従来の堆肥化方法から、簡素化が可能となった。

3. 外来種対策について

3-1. 外来種対策

特定外来植物対策で最も気をつけなければいけないのが、種子である。種子には環境条件により休眠する能力が備わっており、休眠状態であれば、過酷な環境条件でも生き残ることが出来る。

55℃以上まで上がれば種子・菌等が死滅すると考えられているが⁸⁾、特定外来植物（水生植物を除く）に指定されているアレチウリ・オオカワヂシャ・オオキンケイギク・オオハンゴンソウ・ナルトサワギク5種のうち、アレチウリのみ53～62℃程度の発酵温度があれば種子が死滅することがわかっている（図9）^{1) 2)}。

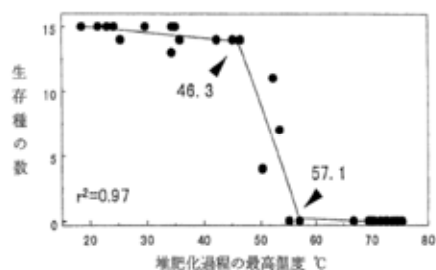


図9. 堆肥の発酵温度と雑草種子の死滅の関係（NISHIDA et al. 1996）

また、「外来雑草の遮断対策として、唯一堆肥発酵による種子の死滅が有効」といった記述も見られる²⁾。

3-2. 発芽試験結果

堆肥中に含まれる特定外来植物の生息範囲を広げないように留意する必要がある。

現在、特に注意を要する特定外来生物5種（オオカワヂシャ、オオキンケイギク、オオハンゴンソウ、ナルトサワギク、アレチウリ）の中でも、アレチウ

リに関しては、極力、刈草に混入しないように作業を行っているが、草刈り作業の中で、全ての外来生物をより分け、混入せずに堆肥化することは極めて困難である。

今回堆肥化した刈草の中にも多くの外来植物が含まれていると考えられるが、約 2 年間、野外で堆肥を管理した結果、外来植物の発生は見られなかった。

また、H26 年度に出来上がった堆肥を用いて、発芽試験を行ったが、その中でも外来植物の発生は見られなかった（図 10）。



図 10. 発芽試験結果

光周・温度ともに自然条件下での実験。

コマツナ種子を堆肥に散布し、正常に発芽するか野外にて実験を行った。外来種の発芽は見られず、散布した種子は良好に発芽した。

10 日間（10 月 3 日～13 日）で発芽率は 82%。

3-3. 外来種対策の問題点とその対応について

アレチウリ以外の 4 種に関しては「完全に死滅する」とした文献がないため、堆肥化過程の高温で完全に種子が死滅しているのか、高温環境によって、種子の休眠が誘導されるような種子特性を持っている植物が、短期間の発芽試験では種子が死滅しているかについては、確認できていない。

そのため、すでに作成済みの堆肥を用いて、堆肥の山の中心部・表面からランダムにサンプルを採取し（図 12）、種子休眠性などを考慮した発芽試験を行うこととした。

・実験方法

実験場所は兵庫県たつの市（東経 134 度 32 分、北緯 34 度 51 分）であり、日長条件は図 11. に示すとおりである。

北緯	地点名	1月	2月	3月	4月	5月	6月
34.69°	兵庫県神戸市	10:07	10:56	11:58	13:03	13:58	14:26

7月	8月	9月	10月	11月	12月
14:13	13:25	12:24	11:19	10:22	9:52

(時間)

図 11. 兵庫県たつの市の日長条件⁶⁾

神戸市の日長条件を実験地（たつの市）のもの見なし、神戸市の各月の日照時間を示す。

4 月～9 月を長日条件、10 月～3 月までを短日条件として扱う。

5 種（アレチウリ、オオキンケイギク、オオカワヂシャ、オオハンゴンソウ、ナルトサワギク）は春～夏、秋～冬にかけて、発芽～成長～開花する植物が混在している⁴⁾⁵⁾ことから、長日条件・短日条件下の両条件において実験を行う。

また、種子の発芽に際して、一定の温度変化や低温を必要とする種子もあるので、実験途中で擬似的に冷蔵庫にて冬期を経験させる。

- ① 堆肥を中心部・表面部からランダムに 5 箇所×2 から 10 サンプル採取する。（各地点 5 箇所のサンプル×1：サンプル①，残りのサンプル：コントロールとする）

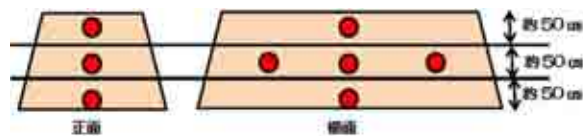
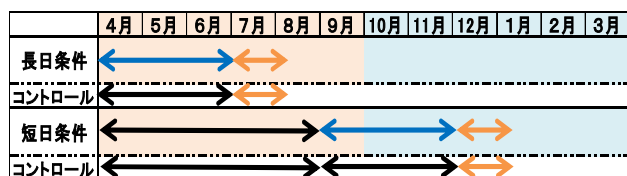


図 12. サンプル採取図

- ② サンプル①を 2 ヶ月間冷蔵庫にて低温保存する。コントロールは暗所にて常温保存とする。
- ③ 2 ヶ月後、試験地（野外）においてサンプル①，コントロールを 5 cm 程度の厚さで広げる。（乾かない程度に水分を散布する。）
- ④ 1 ヶ月程度を実験期間とし、外来植物の発芽の有無を確認する。

・実験経過

現在、図 13 のスケジュールで実験を進めており、冷蔵庫で堆肥を冷やしている状態である。今後 7 月から 1 ヶ月間発芽実験を行う。



←冷蔵期間
←発芽試験期間
←常温・暗所保存

図 13. 実験スケジュール

4. 考察

堆肥化において、手法を簡素化したとしても、堆肥化が可能であることは確認できたが、表層の堆肥に比べて、内部には刈草の原型が残っていることがわかった。これは刈草内部に酸素が不足したため、好気呼吸が抑制され、発酵が停止してしまっていると考えられる。

今後内部が酸素不足とならないよう攪拌方法、時期、積み上げ方（積み上げる高さ等）等の試行を重ね、3 ヶ月程度で完全に堆肥化する方法を検討し、堆肥化の簡素化手法を確立する。

また、チップ化に関しては、伐木作業時は葉が散った後に行うことが多く、その時期には多くの植物が果実や種子をつける時期であることから、外来植物種子混入に更なる注意が必要となると考えられる。

堆肥化時の外来種対策については、管理中に外来植物の発芽が見られなかったこと、発芽試験の結果では散布した種子は良好に発芽し、外来種の発芽等も見られなかったことから、堆肥中の種子は発酵過程の高温により完全に死滅したと考えられる。なお、今回の発芽試験に使用した堆肥は、堆肥の山の表層部分の1箇所のみである。

今回の堆肥化作業では、堆肥の発酵温度は最高72℃を記録したが、中心部の温度上昇を把握してお

らず、外来植物種子の死滅を確認するために3-3で示す追加実験の結果を整理する必要がある。

まとめ

堆肥化・チップ化ともに維持費用の軽減と共に課題の解決につながる良い結果が得られた。今後は刈草の完全な堆肥化及び特定外来植物対策を進めるため、攪拌時期・積み上げ高さ等の工夫を行い、堆肥化の簡素化手法を確立することにより、さらなる費用軽減が期待できる。

謝辞

本稿作成にあたり御教授いただいたすべての方々、そして、本事業に関わったすべての方から感謝いたします。

参考文献

- 1) 河川における外来植物対策の手引き(国交省 H25.12)
- 2) 清水矩宏(1998) 最近の外来雑草の侵入・拡散の実態と防止対策. 日本生態学会誌 48:79-85.
- 3) 岡崎正規・安西徹郎・加藤哲朗(2001) 新版 土壌肥料
- 4) 五箇 公一 F・3 侵入種生態リスク評価手法の開発に関する研究
- 5) Banovets,S.J.&SCHEINER,S.M.(1994) : The Effect of Seed Mass on the Seed Ecology of *Coreopsis lanceolata*:American Midland Naturalist 131(1),65-74
- 6) 国立天文台 HP <http://www.nao.ac.jp/>
- 7) 全国パーク堆肥工業会 <http://zmchip.com/bark/>

国道168号上庄バイパス椿井工区 交差点改良工事について

上田 篤司

奈良県 県土マネジメント部 道路建設課 (〒630-8501奈良県奈良市登大路町30番地) .

国道168号上庄バイパスは、生駒郡平群町椿井から生駒市小平尾町までの奈良県北西部の地域間交流を支援する南北の幹線道路であり、幅員狭小、線形不良の隘路区間を迂回し、安全な通行ルートを確認する2及び4車線のバイパス事業であり、事業開始年度は昭和48年である。椿井工区は上庄バイパスで唯一残っている未改良区間であり、生駒郡平群町椿井に位置する国道168号、県道椿井王寺線、平群町道川原路線が交差する交差点の渋滞解消を目的とした工事である。椿井王寺線の北行き車線は右折レーン、国道168号の南行き車線は左折、直進、右折の3レーンにして交通の流れをスムーズにする計画です。また道路工事とあわせて護岸工事を行う予定である。

この椿井工区について、工事前の協議事項から工事の施工に際する課題や問題点の解決方法、反省点等を整理し今後の仕事の参考にする。

キーワード 道路改良, 施工計画, 橋梁工事, 鋼床版箱桁橋

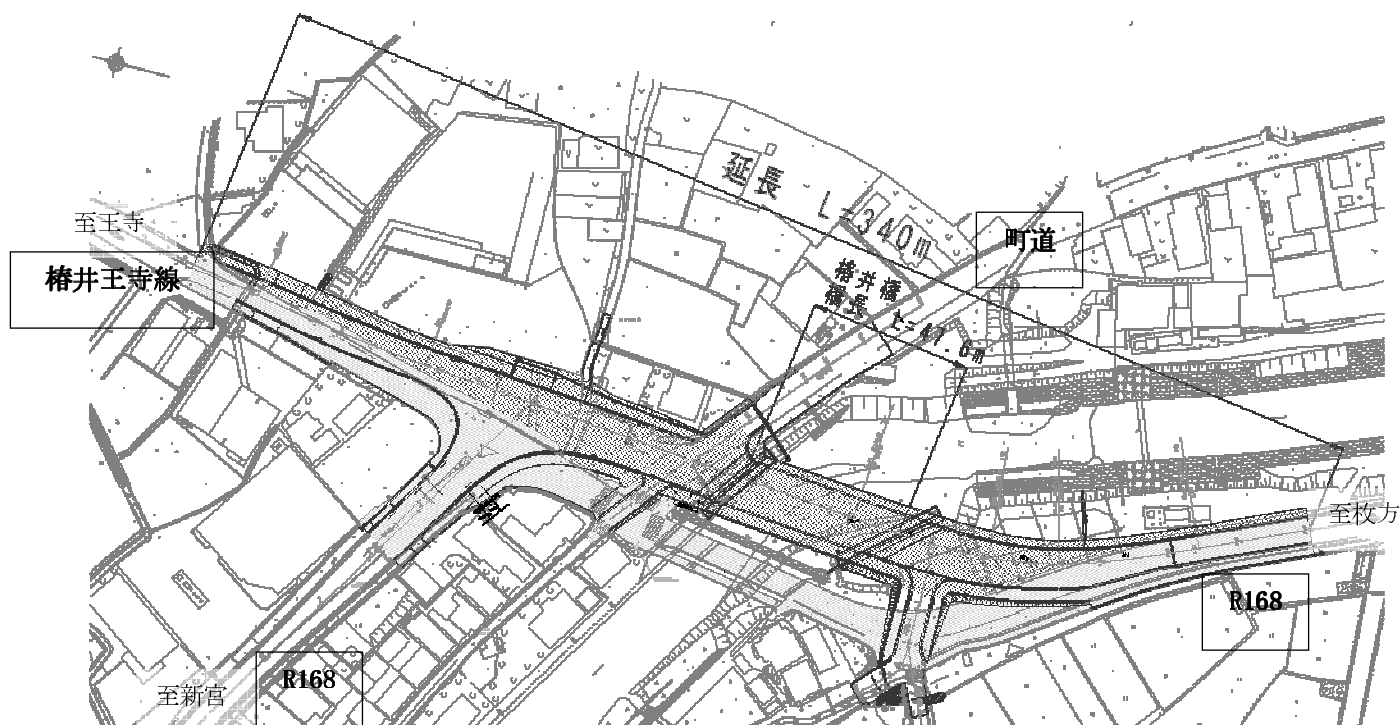


図1. 全体平面図

1. 施工

(1) 施工順序

本工区は長年用地交渉が難航していたことによりストップしていたが平成23年に買収ができたため工程および設計の見直しを行った。表. 1に当初の計画工程を示す。

道路工事の順序として、新橋架設→新橋前後の取付道路工事→車線の新橋への切替→旧橋撤去→現道区間の歩道工事の順になり、道路工事の完了後に護岸工事を行うこととする。



写真1, 550t オールテレーンクレーン

(4) 道路工事(新橋への取付道路)

橋梁工事完了後に新橋に交通を切り替えるために橋梁前後の取付工事を行った。本橋は河川断面を確保するため道路を上げており、本橋と直交している町道を最大1.5mの嵩上げが必要になる。この町道は近鉄竜田川駅へのアクセス道路であり大型車が通行できる迂回路がないため通行止めが困難な路線である。

町道についても交通量が多いため2車線を確保して施工が可能かどうか検討した。

図3に町道車線切替模式図、図4に町道嵩上工事の施工状況写真を示す。新橋から奥は幅員が14m程度あり2車線を確保して車線を切り替えることは可能だが交差点手前は電柱・信号柱が密集しており車線の切替ができない。

このため県警本部交通規制課および西和署と協議を行い信号柱を移設し交差点の間口を広くした。また車線の切替後も大型車が曲がれるように停止線を下げることにした。これにより前後の取付区間の施工時のみ片側交互通行で施工になり交通の影響を少なくすることができた。施工は現道の舗装を撤去し、盛土を行うものだが、施工直前に町道上の架空線が嵩上げ後に建築限界を確保できないことが判明し、占有者に至急協議し対応してもらった。

新橋への取付道路の完了後、平成26年10月30日に交通の切り替えを行った。交差点のそれぞれの車線に警察官が立ち、信号が点灯するまで警察官が交通誘導した。バイパス工事ではないため開通式等は行わなかったが、近隣の小学生が見学に訪れ、交通切替を見守った。

交通切替後はまだ正式な調査結果は出ていないが、全ての車線において概ね渋滞が解消され、整備効果を肌で感じる事が出来た。

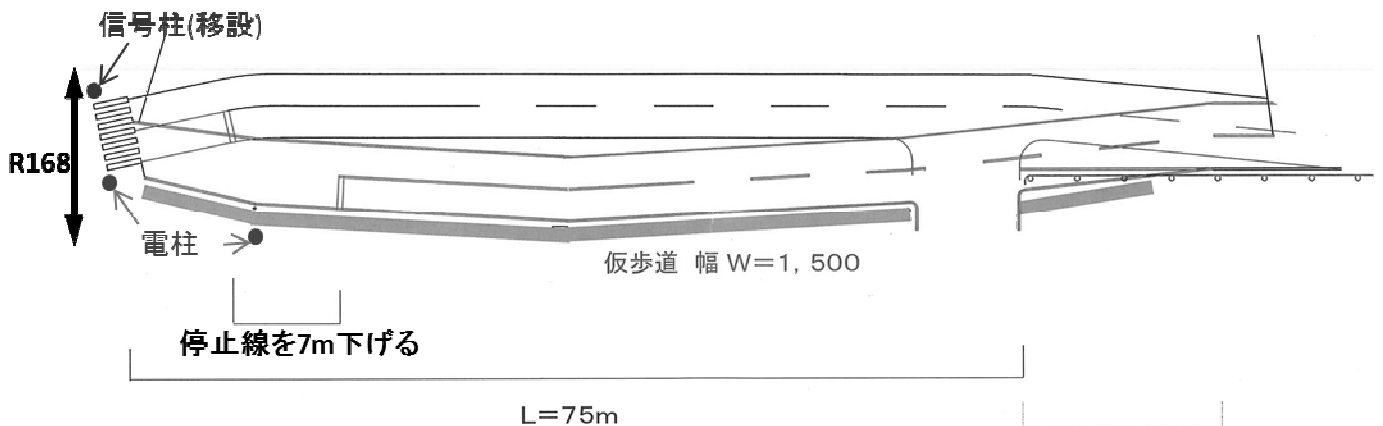


図3, 町道車線切替模式図



図4, 町道嵩上工事施工状況

(5) 旧橋撤去工事

交通切替後に旧橋撤去の工事に着手した、この旧橋は水管橋と民家が近接しているため、ワイヤーソーイング工法での撤去を行った。旧橋は車道橋と歩道橋に分かれており、車道橋は3径間連続RC T桁橋、歩道橋は3径間RC床版鋼単純桁橋である。

施工順序としては、径間毎に瀬替えを行い支保工で支えながら上部工を切断しその後橋脚、橋台の順番で切断撤去を行った。図5にワイヤーソー切断状況を示す。

水管橋の管理者である県営水道との協議では、防護布の設置、監視員及びクレーン旋回制限リミッターの設置などの措置を行う事になった。

切断撤去の工事時は、騒音・振動で苦情はなく、スムーズに施工を進めることができた。



図5、ワイヤーソー切断状況

(3) 今後の工事

今年度残りの歩道工事（北東側）を行い道路工事は完了になる。その後、今年度の非出水期から2カ年で護岸工事を計画している。護岸工事に関しても、旧橋撤去工事と同じように水管橋の下部に護岸を築造しないといけないため、重機の近接の対策が必要になる。

2. 考察

道路工事には施工前に行わなければならないことが多くあることがわかった。この工区で挙げると関係機関との協議だけで①平群町との協議②地元説明会③警察・信号協議④関電・NTT・上下水などの占有者協議⑤スーパー・薬局・工場への個別の工事説明などがありどれか1つでも疎かになると工事ができなくなります。

また工事においても橋梁工事や旧橋撤去工事など規模の大きな工事は受注者の技術力があり、比較的工程通り進めることができたが、擁壁工事や街渠工事は歩行者が多く、また隣接してスーパーがあるため細かい工程や施工箇所の打合せ、地下埋設物や架空線の移設工事との調整、通学路の切替による小学校への説明など発注者が調整しなければならないことがたくさんあった。

これらの要因により当工区は当初計画どおりに施工できなかったことが多くあった。ほとんど毎日受注者や隣接住民や交差する農道の利用者と協議を行い現地に合わせた方法で施工を進めていくことがとても難しかったが完成後には達成感を感じることができた。

工事の全体から個別の工事内容まで把握し関係機関との調整を的確に行い円滑な工事進捗を行うことがどれだけ難しく大事なことがよくわかった。

3. 今後の課題

この工区では設計段階での関係機関との協議や隣接地権者への十分な説明が不十分で工事着手前に急いでバタバタと協議を行ったために苦情や一部工事の着手が遅れるなどの問題が生じた。

今回の貴重な経験から設計段階から年度計画を踏まえた発注計画と施工計画を行うこと、計画的に関係機関との協議を行うことが重要だと痛感した。