

継続プロジェクトの進捗状況報告

新都市社会技術融合創造研究会

平成26年度 研究プロジェクト(継続)

区分		研究プロジェクト	プロジェクトリーダー	研究期間	フィールド提供事務所
防災	法面	(P.3) 1 降雨特性に応じた道路通行規制のあり方に関する研究	関西大学 社会安全学部 准教授 小山 倫史	H25～ H27	兵庫国道事務所
		(P.24) 2 ゲリラ豪雨に対応した道路のり面監視方法に関する研究	大阪大学大学院 工学研究科 准教授 小田 和広	H25～ H27	福知山河川国道事務所
	盛土	(P.34) 3 道路盛土における排水施設点検・管理手法に関する研究	神戸大学大学院 工学研究科 教授 澁谷 啓	H25～ H27	奈良国道事務所 豊岡河川国道事務所
管理	橋梁	(P.53) 4 橋梁の排水施設構造の改善に関する研究	大阪大学大学院 工学研究科 教授 奈良 敬	H25～ H27	和歌山河川国道事務所 大阪国道事務所 福井河川国道事務所
		(P.63) 5 鋼橋の疲労亀裂調査の効率化に関する研究	関西大学 環境都市工学部 教授 坂野 昌弘	H25～ H27	大阪国道事務所 姫路河川国道事務所 京都国道事務所
	舗装	(P.71) 6 環境に配慮した歩道舗装に関する研究	大阪市立大学 名誉教授 山田 優 近畿大学 客員教授 佐野 正典	H25～ H27	近畿技術事務所構内

降雨特性に応じた道路通行規制のあり方に関する研究

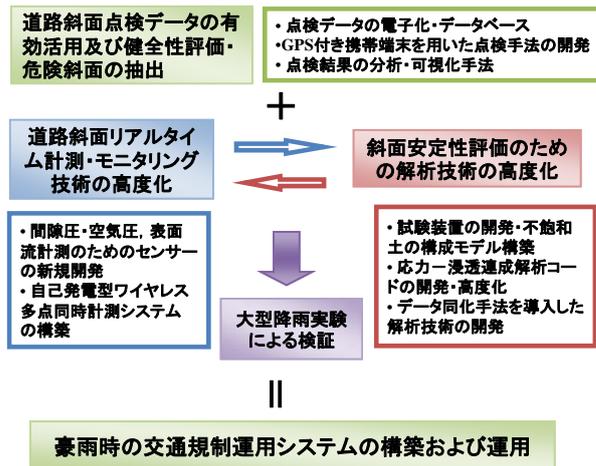
プロジェクトリーダー 小山倫史 関西大学・准教授

■ 研究の背景・目的

豪雨時における国道を対象とした道路通行規制の発令には、**事前通行規制区間**において**連続した時間雨量の累積を基準**としているため、**降雨特性に対応したきめ細やかな事前通行規制**ができないのが現状である。道路斜面は**多種多様な地形、地質構造、土質・岩質、地下水**を有しており、斜面への**豪雨時の雨水浸透・崩壊メカニズム**を考慮することなく、**降雨量の情報のみで、斜面安定性・崩壊危険度の評価・予測は困難**であり、交通規制を発令することは可能であっても、**降雨終了後の交通規制の解除を行うことはできない**。そこで、**降雨特性(降雨強度・降雨波形など)**や斜面の**地形・地質**などに応じた、「**きめ細やかで安全かつ最小限の事前通行規制**」を行うため、降雨特性と斜面安定性の関係を整理・分析・評価するなど、**降雨特性に応じた道路通行規制(発令から解除まで)**に関する研究を行う。

■ 研究の内容 ①

安定度調査表に基づいた道路斜面点検データの有効活用(点検記録の電子化を含めて)による**健全性評価および危険斜面の抽出**し、崩壊危険度の高い道路斜面に対して、**現場計測・モニタリング**(正確な斜面の現況把握)、**高精度な降雨観測情報(Xバンドレーダー)**による高精度な降雨外力の把握および**数値解析(斜面安定性評価)**を組み合わせた統合的な**道路斜面の崩壊・危険度予測**を行うことで、**豪雨時の交通規制運用システム(規制発令から解除まで)**を構築する。



降雨特性に応じた道路通行規制のあり方に関する研究

(研究内容・スケジュール・研究体制)

■ 研究の内容 ②

具体的には、以下の項目について詳細な検討を行う。

- 交通規制等に関する雨量基準の事例(道路管理者、鉄道管理者など)の整理
- **斜面安定度調査表**に基づいた**斜面点検データの分析**および**危険斜面の抽出**
- 過去の降雨特性と通行規制(斜面崩壊を含む)のデータ整理および分析
- **降雨特性と斜面安定度の検討**(室内実験, 大型降雨実験, 数値解析による)
- **降雨特性(降雨強度・降雨波形)**に応じた**通行規制のあり方**の検討
- **雨量通行規制運用システムの構築・試行運用**および改善点の検討

■ 研究期間

平成25年度～平成27年度

■ 参加予定メンバー(体制)

地盤材料の要素試験, 現場計測・モニタリング, 数値解析を専門とする**若手研究者・実務者**を中心に構成された産・官・学連携かつ横断的なグループで研究開発にあたる。

顧問 沖村 孝 神戸大学名誉教授((一財)建設工学研究所)

学 関西大学, 京都大学, 大阪大学, 立命館大学, 岡山大学, 鹿児島大学, 横浜国立大学 + 追加メンバー検討中
産 (株)建設技術研究所, (株)日本工営, (株)アーステック東洋, 計測技研(株), 水文技術コンサルタント(株), 日鐵住金建材, 環境総合テクノス + 追加メンバー検討中

官 国土交通省近畿地方整備局(近畿技術事務所, 兵庫国道事務所), 防災科学技術研究所

	H25	H26	H27
雨量通行規制に関する事例の整理	■		
斜面点検データの分析・危険斜面の抽出		■	
降雨特性・通行規制のデータ整理	■		
降雨特性と斜面安定度の検討		■	
降雨特性に応じた通行規制の在り方の検討		■	
雨量通行規制運用システムの構築および試行運用			■

雨量通行規制の発令・解除の判断支援システムの構築(1)

《従来》 降雨量の情報のみ(例えば, **連続雨量:160mm(発令)**, **無降雨継続時間:3時間(解除)**など)

斜面の特徴



+地質・地形
+雨水浸透挙動 など

数値解析と現場計測・モニタリングを組み合わせた統合的なシステム

数値解析: 崩壊予測, シナリオの分析(「想定外を想像する!」)

外力, 境界条件



マッチング ⇒ モデルの高精度化

現場計測・モニタリング: 斜面の現状把握

予測精度の向上には, **精緻な解析モデル**(地質・物性, 構成モデルなど)と**高精度な観測データ**(外力)が必要不可欠!

⇒「どの程度精緻なモデルを作るか」は斜面の重要度・危険度に応じて決定

雨量通行規制の発令・解除の判断支援システムの構築(2)

＜方法・フロー＞

- **雨量通行規制区間**内の斜面・法面のうち崩壊危険度の高いもの(あるいは, 区間を代表するもの)を抽出
 - **自己組織化マップ(SOM)**を用いた**安定度調査票**の分析.
- 抽出した斜面に対する**雨量通行規制基準線**の作成
 - **斜面のモデル化**(地盤物性, 境界条件の把握)(**地質調査・土質試験, 計測・モニタリング**)
 - **斜面崩壊シナリオ**(「どこで」, 「どのように」)の分析(**地質調査, 数値解析**)
 - **雨水浸透挙動と斜面安定の解析**(**飽和-不飽和浸透流解析 + 円弧すべ解析**)(**数値解析**)
 - **雨量通行規制基準線**の作成(一定降雨を与え, 「安全率が1を下回る」時点をプロット)(**数値解析**)

雨量通行規制の発令・解除の判断支援システムの構築(3)

＜方法・フロー(つづき)＞

□ 雨量観測データをもとに「スネークカーブ」を作成

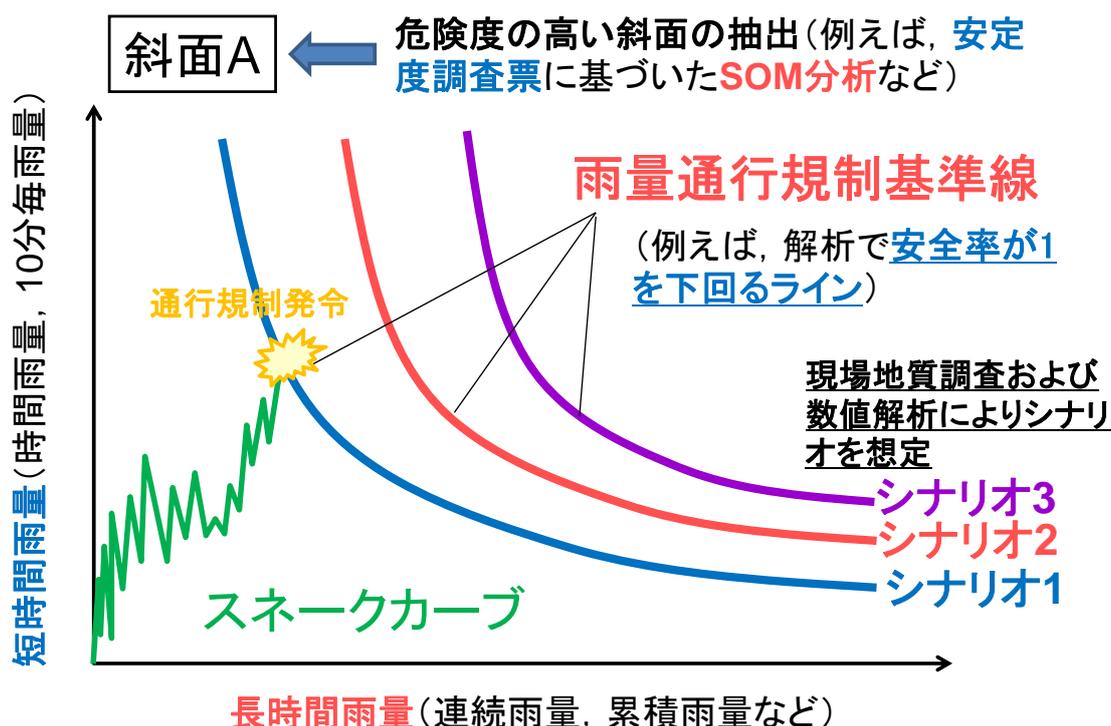
- ▶ **短時間雨量**(10分毎雨量, 時間雨量)と**長時間雨量**(連続雨量, 累積雨量など)をプロット(計測・モニタリング)
- ▶ **斜面内の地下水・雨水の状況**(土壌水分量, サクシオン圧など)の把握(計測・モニタリング)

□ 雨量通行規制の発令

- ▶ 雨量通行基準線とスネークカーブが抵触する時点を規制発令とする

※ただし、「安全率1」のラインを発令基準線とするかについては議論の余地あり。過去の崩壊事例の再現解析の結果などからセットするなどの方法も考えられる。

雨量通行規制の発令・解除の判断支援システムの構築(4)



雨量通行規制の発令・解除の判断支援システムの構築(5)

<方法・フロー(つづき)>

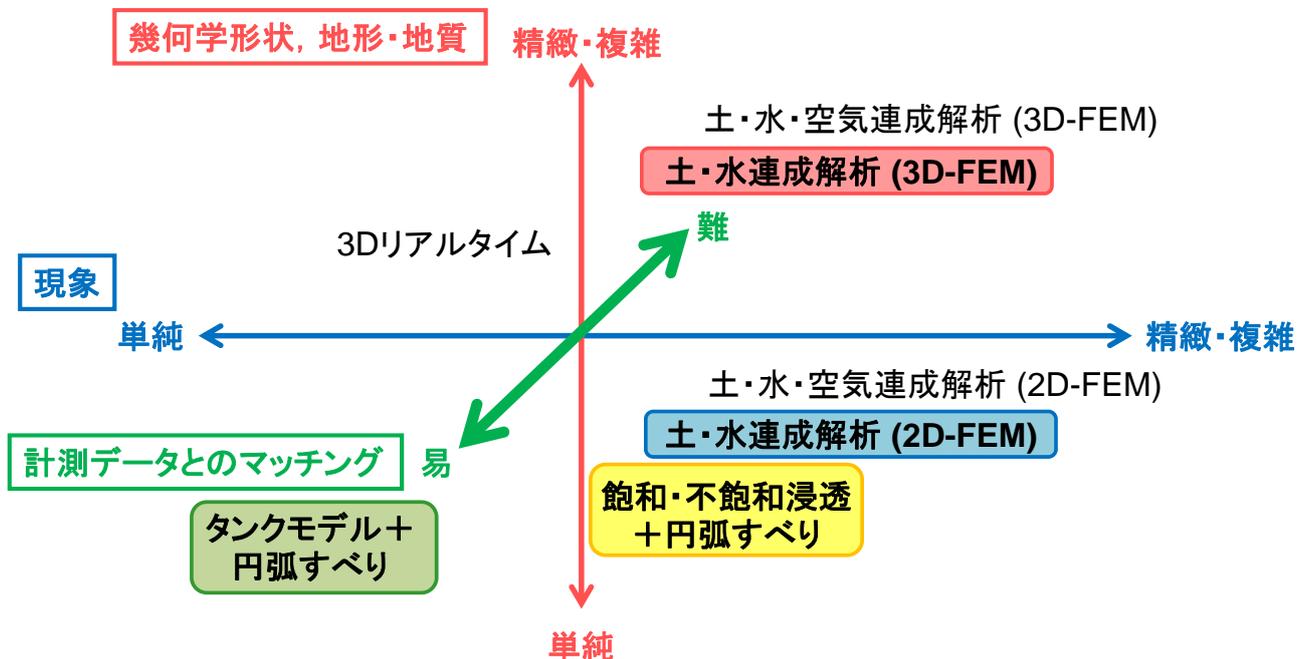
□ 雨量通行規制の解除

- スネークカーブをどのように「解除」に活用するか？
雨量通行規制発令と解除は同じ評価方法でできないか？
- 降雨量に代わり、斜面内の地下水(あるいは土中水分)の状態を指標として用いる必要がある(例えば、飽和度、地下水位、間隙水圧など)。
- これらは、現場計測・モニタリングにより計測可能。
- 数値解析などにより、土中水分と斜面安定の関係を把握する必要があり、降雨終了後、安全率が1に回復する時点の土中水分の状態を数値解析により把握することは可能。

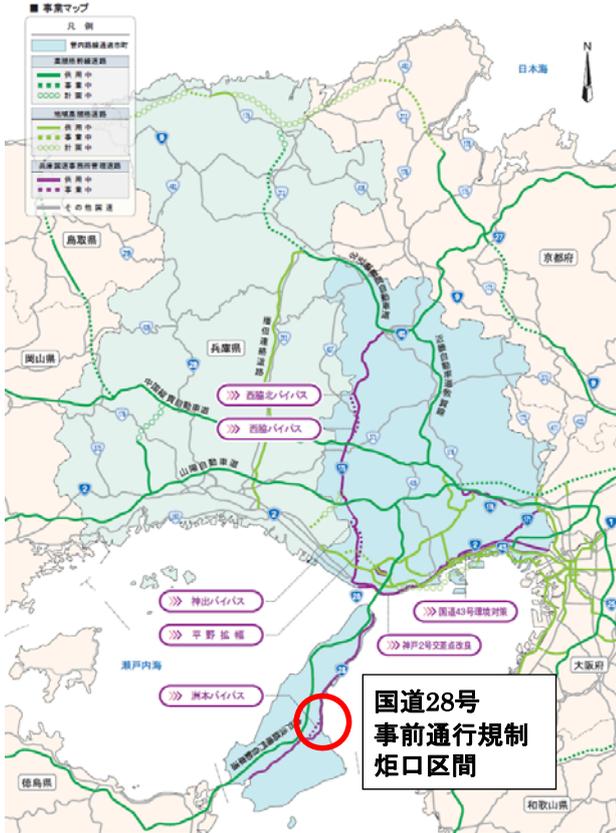
※安全率が1に回復するのに相当な時間を要するケースに対しては、他の指標との併用を検討する(安全率の上昇勾配など)

雨量通行規制の発令・解除の判断支援システムの構築(6)

「どのようなモデル化をし、どのような解析をするのか??」



対象区間：国道28号線「炬口区間」



路線	規制区間	延長 (km)	規制条件(通行止)	
			気象等基準値	気象等観測所
176号	西宮市塩瀬町名塩 ～ 西宮市塩瀬町生瀬	2.4	連続降雨量 160mm	名塩テレメーター
28号	① 兵庫県淡路市塩尾 ～ 洲本市安乎町平安浦	1.8	連続降雨量 160mm	塩尾テレメーター
	② 洲本市中川原町厚浜 ～ 洲本市炬口	2.9	連続降雨量 160mm	炬口テレメーター



国道28号線「炬口区間」の概要



年		厚浜～炬口間(炬口区間)		
		区間	基準雨量	防災対象
1969	昭和44年	事前通行規制区間制定 淡路町～南淡町 延長50km	120mm	落石・洗掘
1970	昭和45年	淡路町～炬口 延長30.5km	160mm	
1971	昭和46年	現行基準160mm	140mm	
1972	昭和47年			
1973 ～ 2010	昭和48年 ～ 平成22年	規制区間2.9km	160mm (S46年点検により変更)	

入力ベクトルと入力値(例)

のり面について

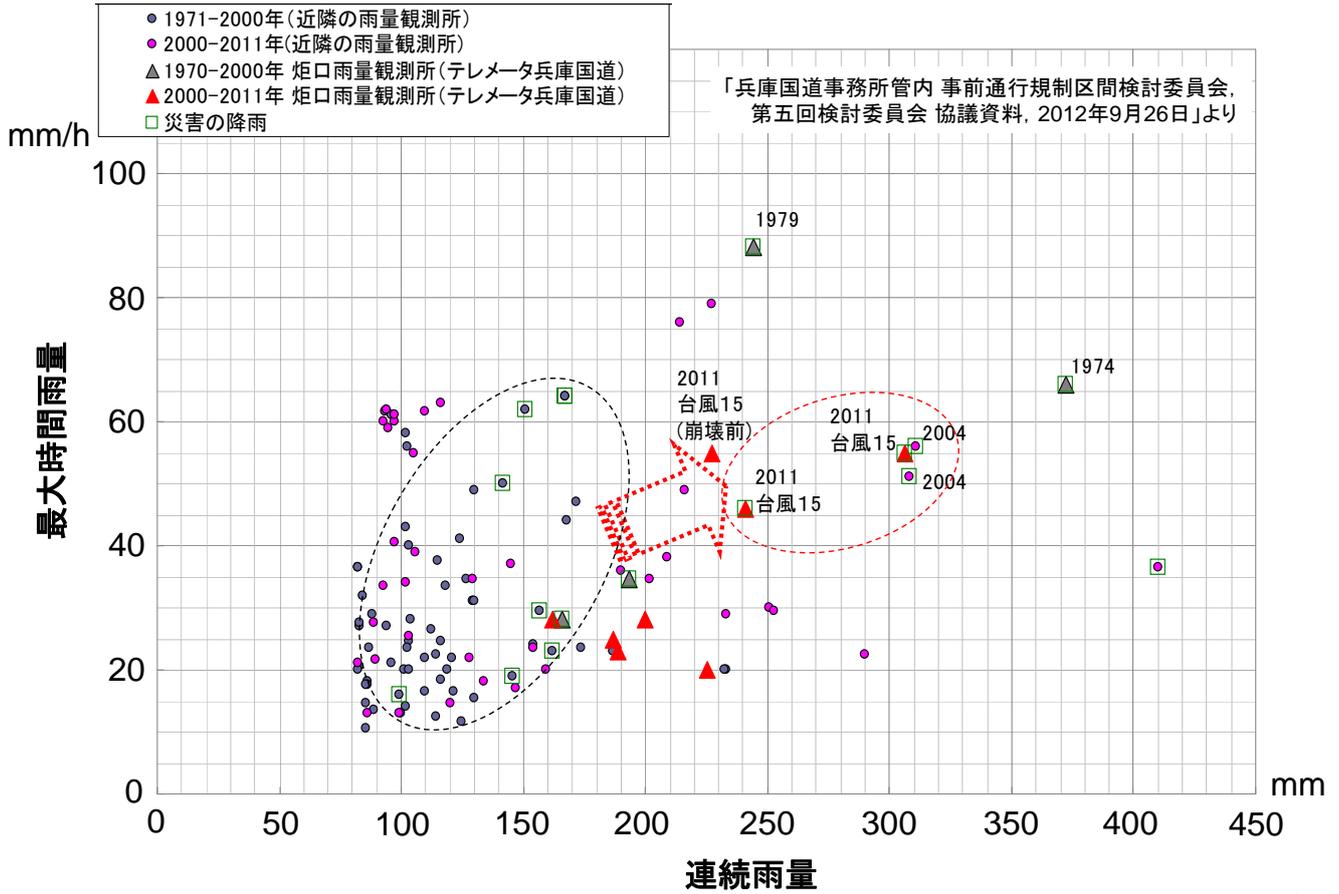
項目	入力ベクトル	入力方法
地形	X1: 崖錐地形	1: 該当する 0: 該当せず
	X2: 崩壊跡地, 遷急線明瞭or台地の裾部, 脚部侵食, オーバーハング	1: 複数該当 0.5: 1つ該当 0: 該当せず
	X3: 尾根先端など凸型斜面, オーバーハング	1: 該当する 0: 該当せず
土質地質	X4: 崩壊性の土質	1: 顕著 0.5: やや顕著 0: 該当せず
	X5: 崩壊性の岩質	1: 顕著 0.5: やや顕著 0: 該当せず
	X6: 崩壊性の構造(流れ盤)	1: 該当する 0: 該当せず
	X7: 崩壊性の構造(不透水性基盤乗の土砂上部が硬質, 脚部が脆弱)	1: 顕著 0.5: やや顕著 0: 該当せず
表層の状況	X8: 表土及び浮石・転石の状況	1: 不安定 0.5: やや不安定 0: 安定
	X9: 浮石・転石が不安定~やや不安定	1: 該当する 0: 該当せず
	X10: 湧水状況	1: あり 0.5: しみ出し程度 0: なし
形状 勾配i 高さH	X11: 表面の被覆状況	1: 裸地~植生主体 0.5: 複合(植生・構造物) 0: 構造物主体
	X12: 土砂	1: $H > 30$ 0.6: $H \leq 30, i > \text{標準}$ 0.3: $15 \leq H \leq 30, i \leq \text{標準}$ 0: $H < 15, i \leq \text{標準}$
	X13: 岩	1: $H \geq 50$ 0.6: $30 \leq H < 50$ 0.3: $15 \leq H < 30$ 0: $H < 15$
変状	X14: 肌落ち・小落石・ガリ浸食・洗掘・パイピング孔・陥没・はらみ出し・根曲がり・倒木・亀裂・開口・その他対策工の変状	1: 複数該当・明瞭なものあり 0.5: あり・不明瞭なもの 0: なし
	X15: 隣接するのり面・斜面等の変状(落石・崩壊・亀裂・はらみ出し・その他の変状)	1: 複数該当・明瞭なものあり 0.5: あり・不明瞭なもの 0: なし

入力ベクトルと入力値(例)

追加項目

項目	入力ベクトル	入力方法
現地状況	X37: 地質区分	1: 中・古生層 0.75: 火成岩 0.5: 新第三紀層 0.25: 段丘堆積物, 洪積層 0: 崖錐堆積物, 崩積土, 沖積層
	X38: 谷の次数区分	1: 0次谷なし 0: 0次谷あり
	X39: オーバーハングの程度	1: 割れ目間隔の1/3以上 0.5: 割れ目間隔の0~1/3 0: なし
	X40: 断層の有無	1: 対象個所内にあり 0.5: 近傍にあり 0: なし
	X41: 斜面方向	1: 南東・南 0.6: 南西・西 0.3: 北・北東・東 0: 北西
気象データ	X42: 降水量比率区分	1: 2.5以上 0.75: 2.0以上2.5未満 0.5: 1.5以上2.0未満 0.25: 1.0以上1.5未満 0: 1.0未満
	X43: 土壌雨量指数区分	1: 175mm以上 0.8: 160mm以上175mm未満 0.6: 145mm以上160mm未満 0.4: 130mm以上145mm未満 0.2: 115mm以上130mm未満 0: 115mm未満
	X44: 凍結融解比率区分	1: 4°C以上 0.8: 2°C以上4°C未満 0.6: 0°C以上2°C未満 0.4: -2°C以上0°C未満 0.2: -4°C以上-2°C未満 0: -4°C未満
	X45: 風速(10m/s)以上の年間日数区分	1: 20日以上 0.75: 10日以上20日未満 0.5: 5日以上10日未満 0.25: 1日以上5日未満 0: 1日未満

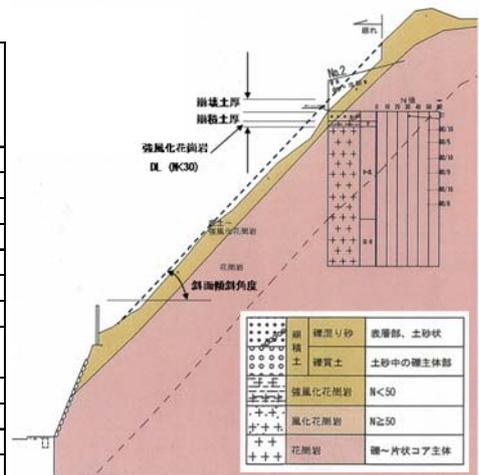
時間雨量・連続雨量および災害の有無



地層概要

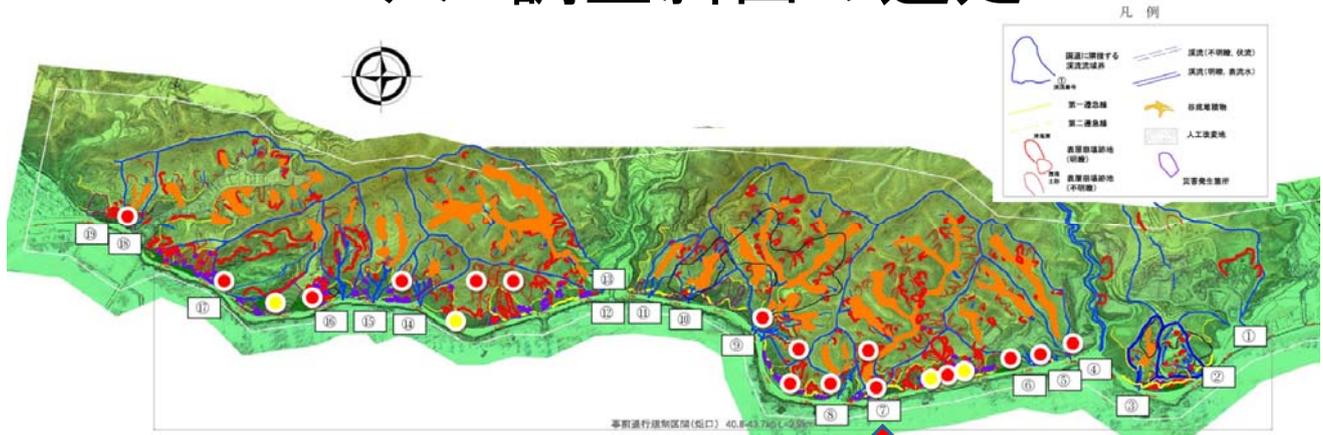
1. 既往調査ボーリングは崩壊範囲の内外で実施されているため、斜面傾斜角度や崩壊土の厚さは崩壊前の斜面地形から推定した。
2. 豪雨による斜面崩壊は、**30～52° 程度の比較的急峻な斜面傾斜角度で発生。**
3. 崖錐性堆積物や地すべり性堆積物の崩壊を除けば、
 - ・ 崩壊土と崩積土の層厚は、**2.0m程度。**
 - ・ **DL級(N<30、強風化花崗岩)の層厚は1.0m程度。**
 - ・ 斜面上に分布する**DL級(N<30、強風化花崗岩)以浅の層厚さは3.0m程度と推定される。**

孔番	位置 (KP)	層厚 (m)				斜面傾斜角度 (°)	備考
		崩壊土厚	崩積土	強風化花崗岩	層厚計		
		崩壊土	Dt	DL (N<30)	DL以浅		
No. 1	35.275	0.5	1.7	0.3	2.5	45	
No. 2	35.526	0.8	0.6	0.4	1.8	47	
No. 3-1	37.173	1.0	0.6	0.4	2.0	32	
No. 3-2	37.173	1.0	1.0	1.0	3.0	30	
No. 4	37.336	1.7	2.2	1.0	4.9	45	崖錐性堆積物の崩壊
No. 5-1	37.863		1.9	0.3	2.2	52	
No. 5-2	37.863	1.2		1.8	3.0	42	
No. 7-1	42.098	1.4	2.8	0.8	5.0	40	地すべり性堆積物の崩壊
No. 7-2	42.098		4.1	1.4	5.5	40	
No. 8	42.258	1.2		1.0	2.2	40	
No. 9	42.606	0.5	0.5	4.5	5.5	52	斜掘のため参考値
No. 10	42.784	0.3	1.5	1.0	2.8	40	
No. 11	42.895	2.0		1.0	3.0	44	



既往ボーリング調査結果のまとめ一覧表(「28号法面災害復旧設計業務」報告書(H17・3)より整理)

モデル調査斜面の選定



● 既往委員会による危険判定箇所
● SOM結果

モデル斜面候補地
溪流⑦: 41.6kp

1. 検討結果から危険箇所と判断されている。
2. 近年の被災履歴から、**20年以内に5回程度出水や土砂流出が確認され、対象箇所の周辺は崩壊箇所**となっている。
3. **流域面積が、河川部を除き、最も大きい溪流の流末に位置する。**
4. 地層概要として、**上層から表層は強風化花崗岩および花崗岩**からなると想定され、**層構成および層厚は概ね区間内で類似している(代表的な斜面)**と判断できる。

調査対象候補地の現地踏査状況(1)



現地踏査の状況写真



P-1 大師堂入口階段部の斜面 表層数十cmが強風化



P-2 大師堂奥の沢部 吹付工施工済みで国道が見える

調査対象候補地の現地踏査状況(2)



P-3 調査対象箇所の斜面状況
急傾斜を呈するが斜面下部はやや緩傾斜

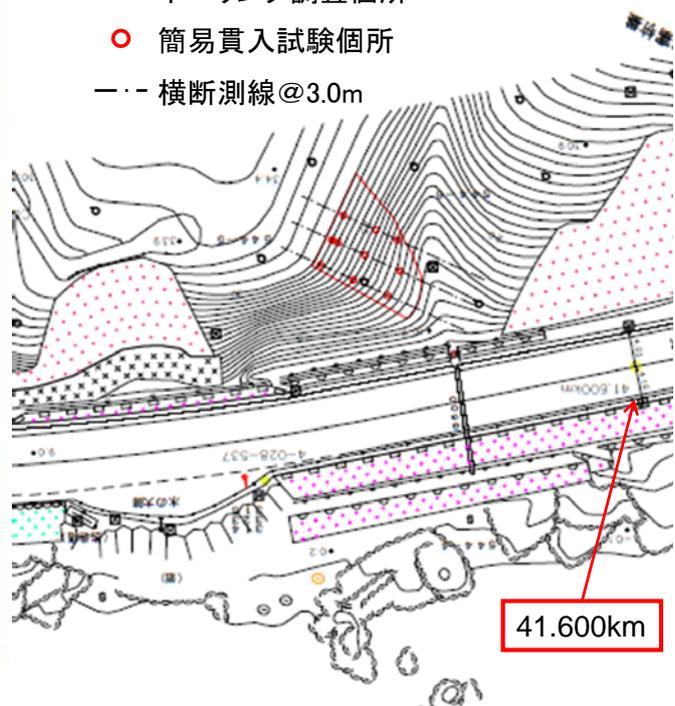


P-4 調査対象箇所直上の尾根部
表層部は風化進行し土砂状

調査対象候補地の現地踏査状況(3)



- 調査対象範囲
- ボーリング調査箇所
- 簡易貫入試験箇所
- 横断測線@3.0m



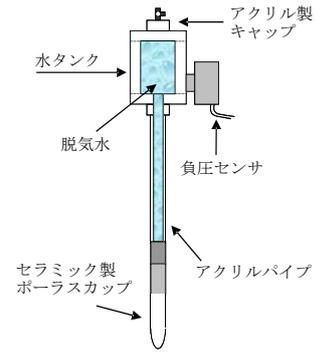
気象観測・地下水の計測・モニタリング

＜設置機器＞

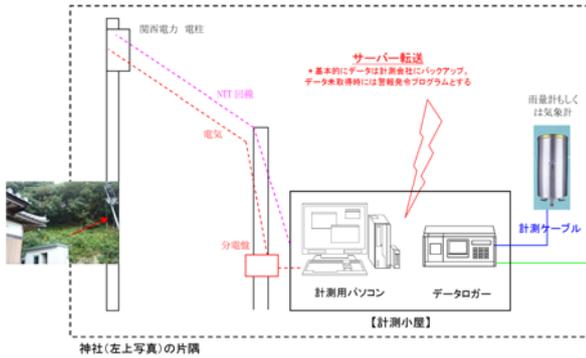
- ① 土壤水分計
- ② テンシオメータ
- ③ 水位計
- ④ 気象ユニット(雨量計測)



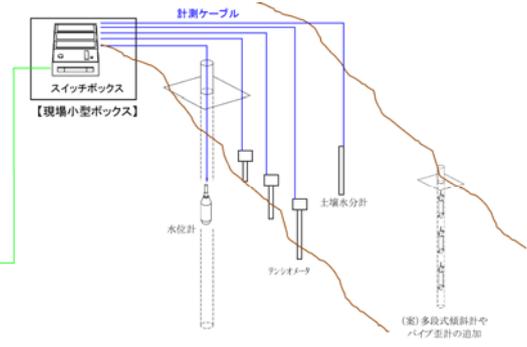
多深度型土壤水分計



テンシオメータ

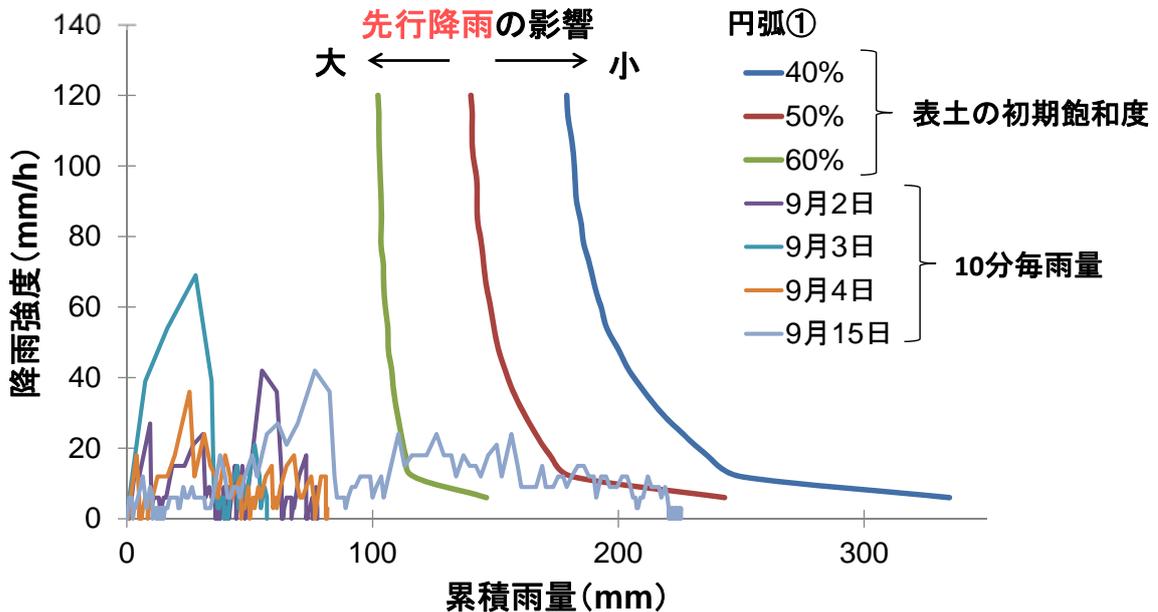


計測機器のシステム図



雨量通行規制の発令・解除に関する判断支援システムの適用事例

2013年9月の集中豪雨



□ **先行降雨の影響**を考慮するため、**表土の飽和度**(現場計測により取得)に応じて用いる**雨量通行規制基準線**を変更する。

土質調査結果

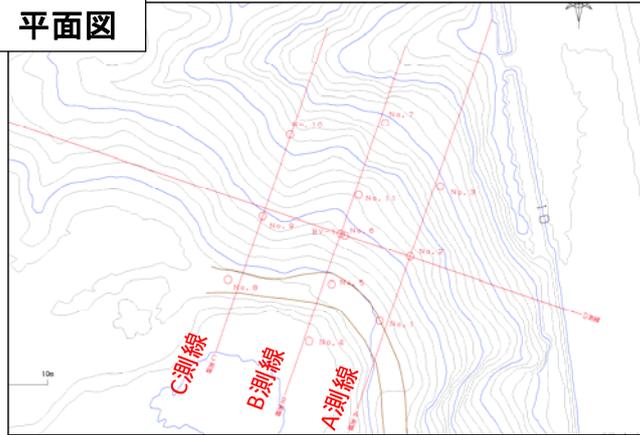
調査概要

ボーリング調査 1箇所
簡易動的コーン 10か所
(3測線)

調査箇所

41.600付近

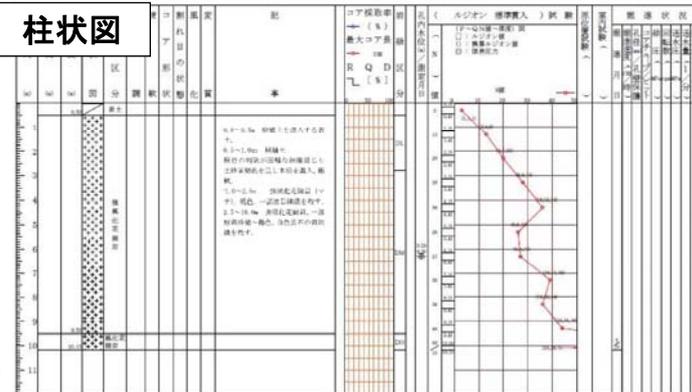
平面図



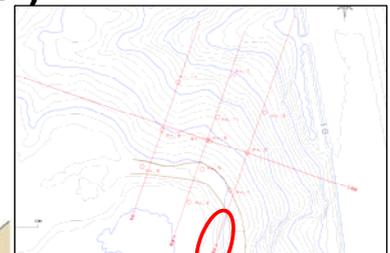
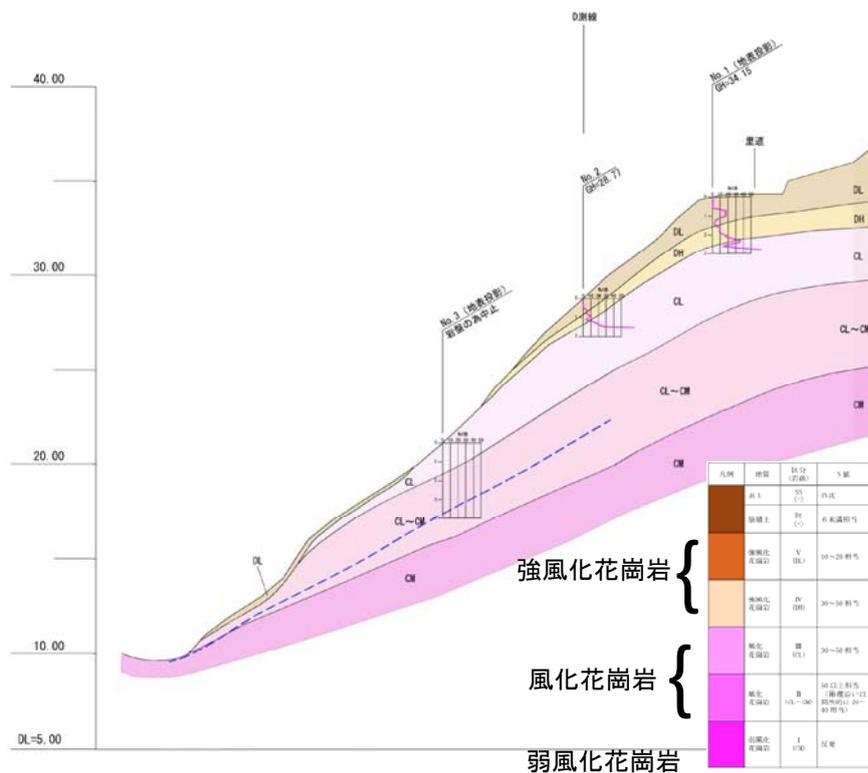
コア写真



柱状図



土質調査結果(A測線)

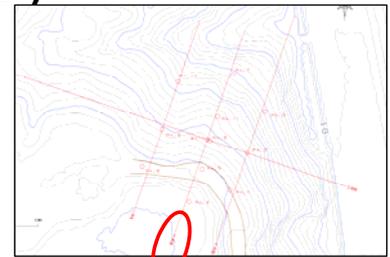
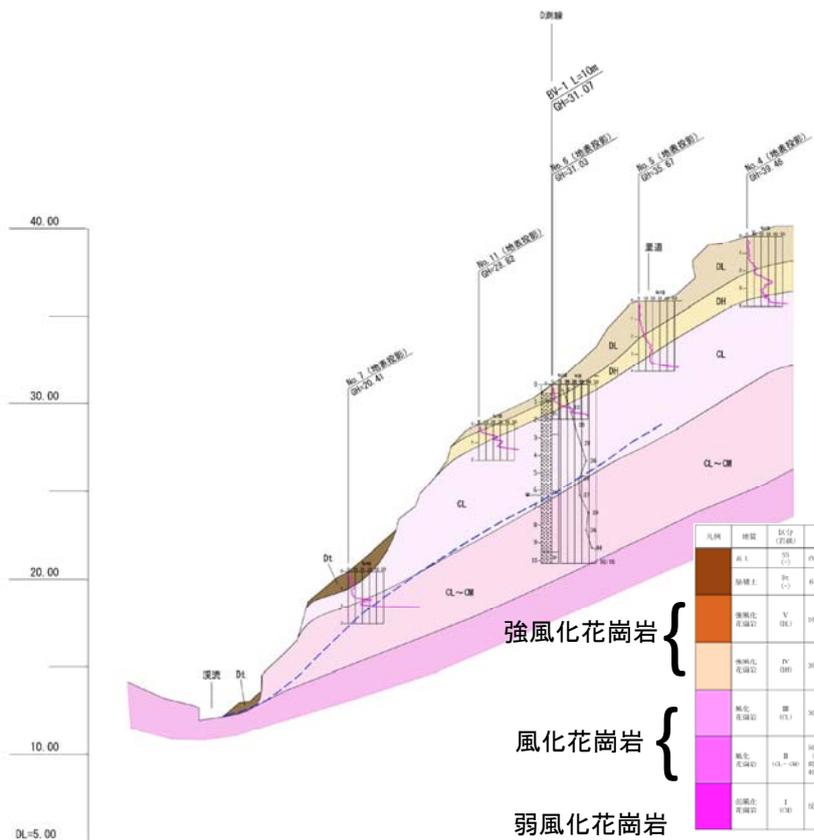


A測線

凡例

凡例	種類	区分(計測)	凡例	凡例	特 徴	想定される試験タイプ
DL	表土	DL	DL	DL	表土(強風化花崗岩)	表土
DH	強風化花崗岩	DL~20%	DH	DH	強風化花崗岩(強風化花崗岩を認めない。1層内には巨礫が認められる。)	表層部(計測点1)
CL	風化花崗岩	20~50%	CL	CL	風化花崗岩(風化花崗岩を認めない。1層内には巨礫が認められる。)	中間層(計測点2)
CM	弱風化花崗岩	50%以上	CM	CM	弱風化花崗岩(弱風化花崗岩を認めない。1層内には巨礫が認められる。)	中間層(計測点3)

土質調査結果(B測線)



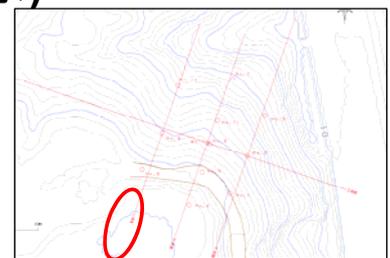
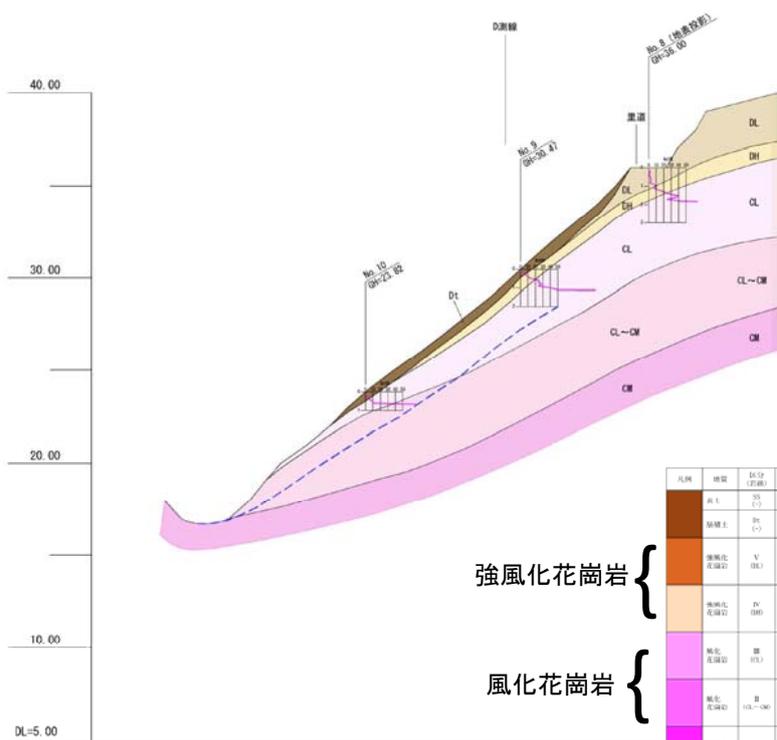
B測線

凡例

凡例	種類	区分 (打込)	γ値	γ ₉₀ 値	特 徴	想定される崩壊タイプ
高土	IV	25 (2)	作成	作成	高土	表層崩壊 内面サキ
砂礫土	III	20 (2)	6未満時当	10未満時当	異質な礫の混入、高剪断したコアで崩壊風化物と認定できないコア、ムラな砂礫土層	
強風化花崗岩	V	10 (1)	10~20時当	12未満時当	異質なコアが混入、剪断線と認定できない(1層内には剪断線と認識できる場合もある)コアで崩壊に陥る。	表層崩壊 内面サキ
風化花崗岩	IV	10 (1)	20~30時当	30以上	異質なコアが混入、剪断線と認定できる。	
弱風化花崗岩	III	10 (1)	30~50時当	30	異質なコアが混入、剪断線と認定できる。コアの大部分で剪断線は有している。崩壊が起き、崩壊面はコア崩壊となる。	中間層の岩盤崩壊
風化花崗岩	II	10 (1)	50以上時当	30	異質なコアが混入、剪断線と認定できる。コアの大部分で剪断線は有している。崩壊が起き、崩壊面はコア崩壊となる。	-
弱風化花崗岩	I	10 (1)	50以上時当	30	高剪断をとり、剪断線として認識できる。高剪断が確認し、崩壊面はコア崩壊となる。	
弱風化花崗岩	I	10 (1)	50以上時当	30	崩壊面が確認し、崩壊面はコア崩壊となる。	-

強風化花崗岩
風化花崗岩
弱風化花崗岩

土質調査結果(C測線)



C測線

凡例

凡例	種類	区分 (打込)	γ値	γ ₉₀ 値	特 徴	想定される崩壊タイプ
高土	IV	25 (2)	作成	作成	高土	表層崩壊 内面サキ
砂礫土	III	20 (2)	6未満時当	10未満時当	異質な礫の混入、高剪断したコアで崩壊風化物と認定できないコア、ムラな砂礫土層	
強風化花崗岩	V	10 (1)	10~20時当	12未満時当	異質なコアが混入、剪断線と認定できない(1層内には剪断線と認識できる場合もある)コアで崩壊に陥る。	表層崩壊 内面サキ
風化花崗岩	IV	10 (1)	20~30時当	30以上	異質なコアが混入、剪断線と認定できる。	
弱風化花崗岩	III	10 (1)	30~50時当	30	異質なコアが混入、剪断線と認定できる。コアの大部分で剪断線は有している。崩壊が起き、崩壊面はコア崩壊となる。	中間層の岩盤崩壊
風化花崗岩	II	10 (1)	50以上時当	30	異質なコアが混入、剪断線と認定できる。コアの大部分で剪断線は有している。崩壊が起き、崩壊面はコア崩壊となる。	-
弱風化花崗岩	I	10 (1)	50以上時当	30	高剪断をとり、剪断線として認識できる。高剪断が確認し、崩壊面はコア崩壊となる。	
弱風化花崗岩	I	10 (1)	50以上時当	30	崩壊面が確認し、崩壊面はコア崩壊となる。	-

強風化花崗岩
風化花崗岩
弱風化花崗岩

土質調査結果



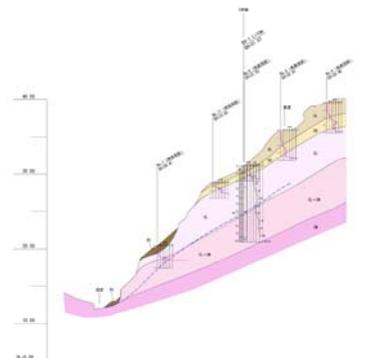
表土
湿潤である

強風化花崗岩
指圧で容易に崩せる。

強風化花崗岩
ハンマーで容易に削れる。

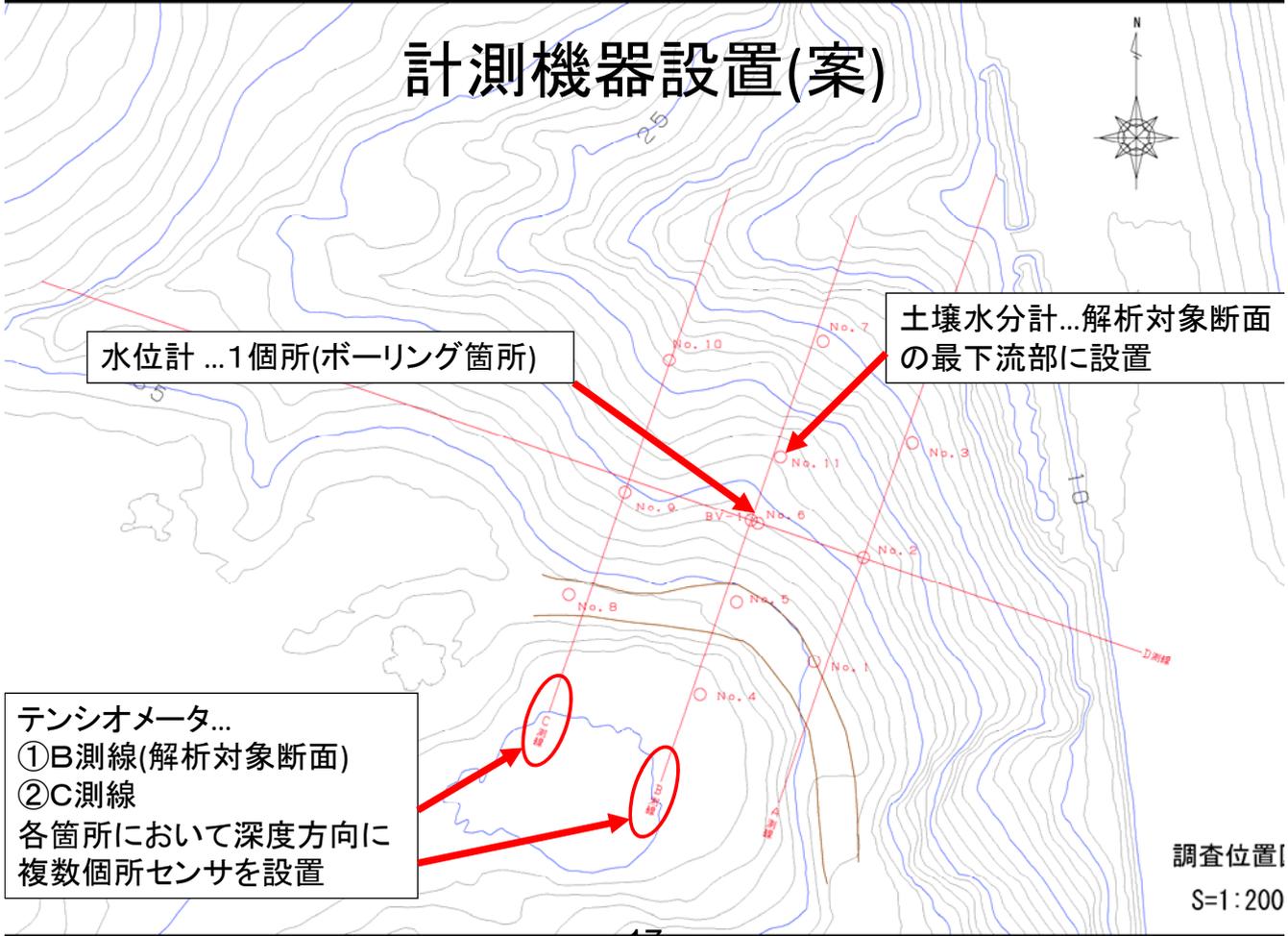
崩積土
写真では表層を覆う
崖錐堆積物

土層	種類	分布	厚さ	特徴	備考	調査方法
崩積土	崩積土	崖上	約10cm	崩積土層		
強風化花崗岩	強風化花崗岩	崖上	約10cm	強風化花崗岩層		
強風化花崗岩	強風化花崗岩	崖上	約10cm	強風化花崗岩層		
強風化花崗岩	強風化花崗岩	崖上	約10cm	強風化花崗岩層		
強風化花崗岩	強風化花崗岩	崖上	約10cm	強風化花崗岩層		
強風化花崗岩	強風化花崗岩	崖上	約10cm	強風化花崗岩層		
強風化花崗岩	強風化花崗岩	崖上	約10cm	強風化花崗岩層		
強風化花崗岩	強風化花崗岩	崖上	約10cm	強風化花崗岩層		
強風化花崗岩	強風化花崗岩	崖上	約10cm	強風化花崗岩層		
強風化花崗岩	強風化花崗岩	崖上	約10cm	強風化花崗岩層		



*撮影の前日に降雨あり。

計測機器設置(案)



水位計 ... 1箇所(ボーリング箇所)

土壌水分計... 解析対象断面
の最下流部に設置

テンシオメータ...
①B測線(解析対象断面)
②C測線
各箇所において深度方向に
複数箇所センサを設置

調査位置
S=1:200

設置機器(※7/18現在設置済機器)

テンシオメータ

地盤内の間隙水圧を測定するためセラミック製のポーラスカップ、塩ビパイプ、アクリルパイプから構成.



雨量計

転倒まず雨量計. 計測場所から南側に下った神社に設置.



水位計

圧力センサー、温度センサー、記録装置、電池を内蔵.



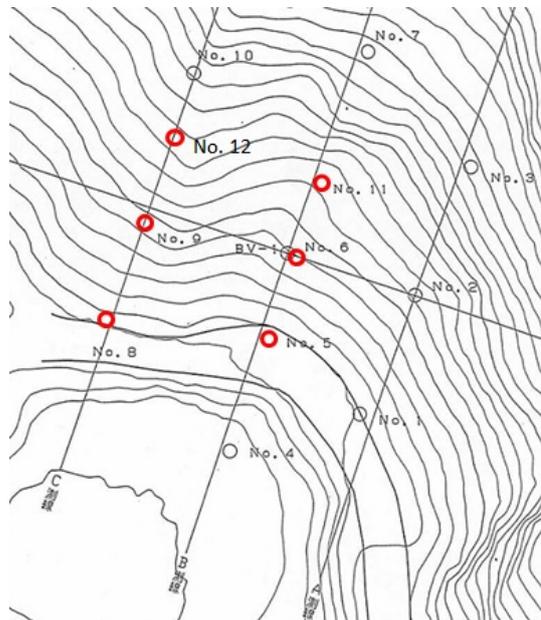
計測項目

計測地点

- ・B側線:3点
- ・C側線:3点

6地点計22箇所にてテンシオメータを設置

各地点のテンシオメータの計測深度を表の通り.



側線	計測地点	深さ (cm)
B	No.5	20
		40
		95
		194
		287
	No.6	20
		40
		95
		190
		190
	No.11	20
		40
95		
139		
139		
C	No.8	20
		40
		95
		194
		194
	No.9	20
		34
		34
	No.12	20
		40
		40
		60

計測機器設置状況



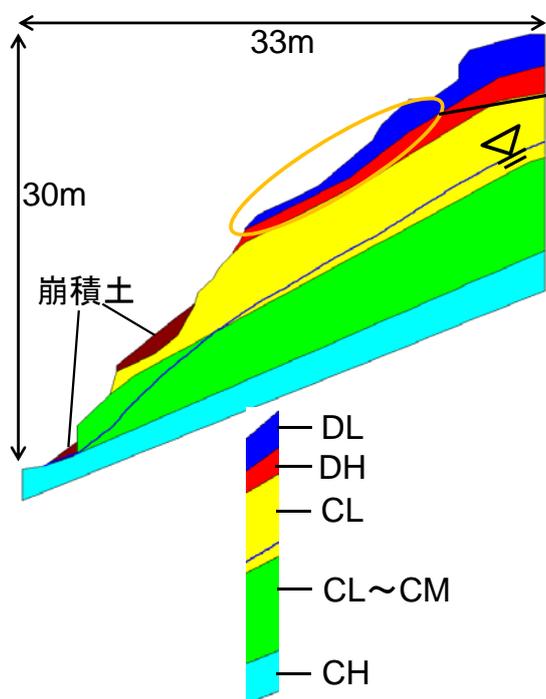
計測状況・予定

- 設置時にテンシオメータが破損した箇所があり、修理・交換対応を行う。
- 故障とは別にデータが異常値を示しているものに対してシステムの動作確認を行う。
- ボーリング孔の水位の計測を7月10日に開始。
- 遠隔でのデータ確認ができるようにシステムの設定を再度行う(現況で来ていない原因は不明)。

降雨特性と斜面安定度の検討(暫定)

現場概要

- 兵庫県洲本市中川原町厚浜～洲本市炬口の規制区間内の自然斜面(延長2.9km)
- 平成18年度安定度調査の結果より, SOMを用いて危険斜面を抽出
- 表層部(0～2.5m)はマサ状風化花崗岩, 表層以下(2.5m～)は弱風化花崗岩.



テンシオメータ, 水分量計を設置
地下水位の変動も観測



飽和・不飽和浸透流解析

支配方程式

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ K_r(\theta) K_{ij}^s \frac{\partial \psi}{\partial x_j} \right\} - q = \{c(\psi) + \beta S_s\} \frac{\partial \psi}{\partial t}$$

水の収支

間隙の排水/貯留

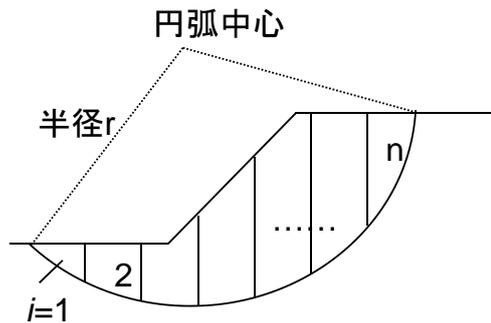
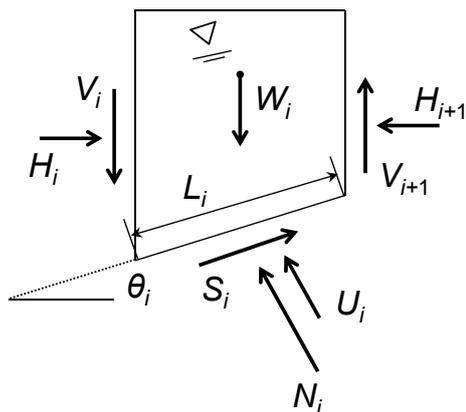
$i, j=1, 2$ (1:x, 2:y)

θ : 体積含水率, ψ : 負の圧力水頭(マトリックサクション)
 q : 単位体積当たりのシンク/ソース流量, K_r : 相対透水係数
 K^s : 飽和透水係数, S_s : 比貯留係数, $C(\psi)$: 比水分容量
 β : 飽和領域=0, 不飽和領域=1

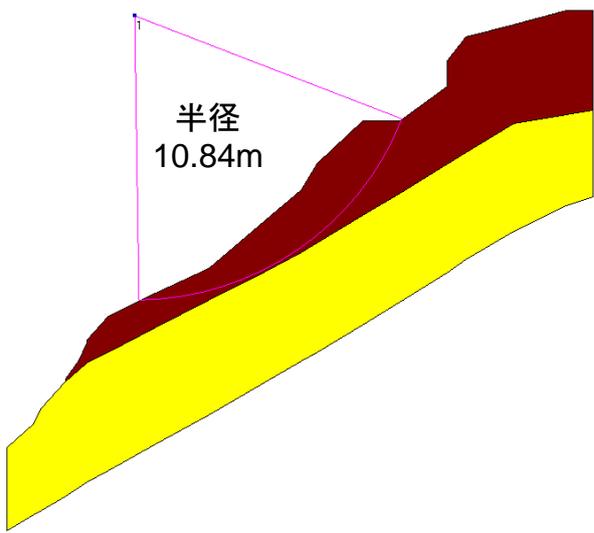
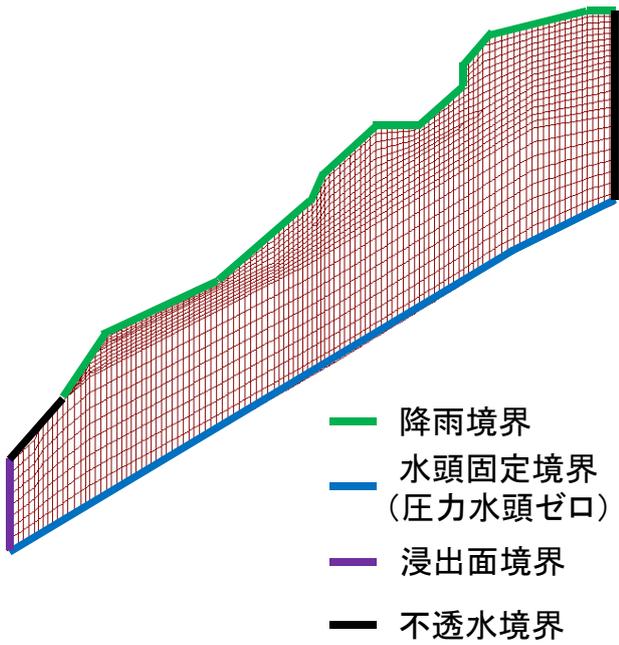
円弧すべり解析(フェレニウス法)

安全率の計算式

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i l_i + N_i \tan \phi_i)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i}$$



解析モデル

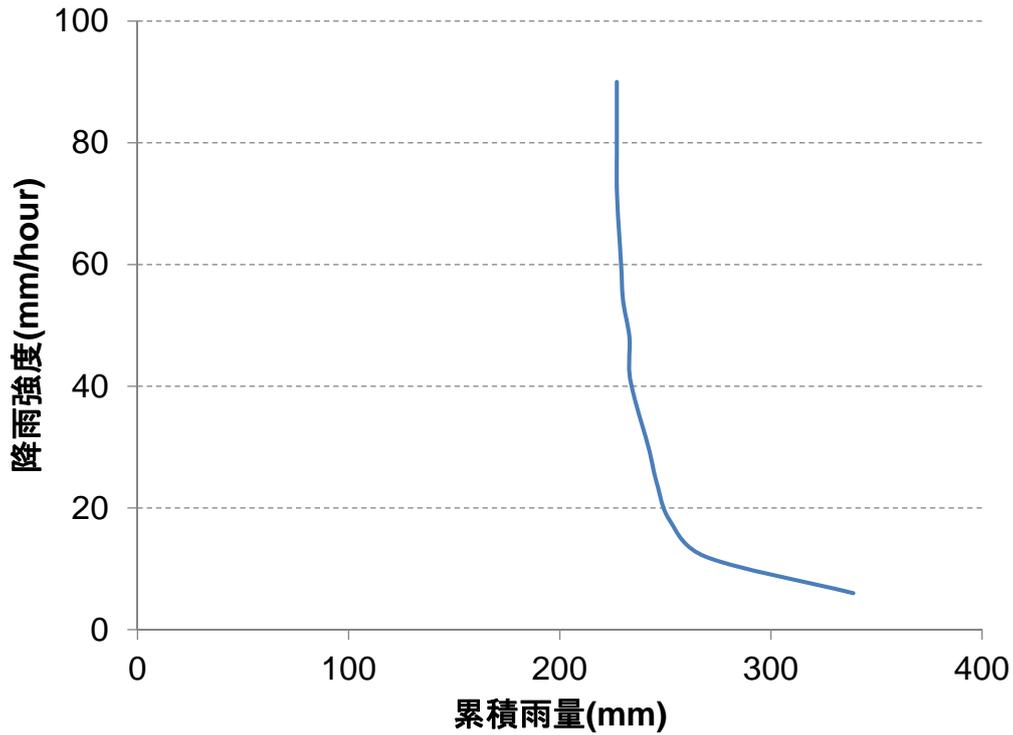


表層と岩盤層の境界付近にすべり面を想定

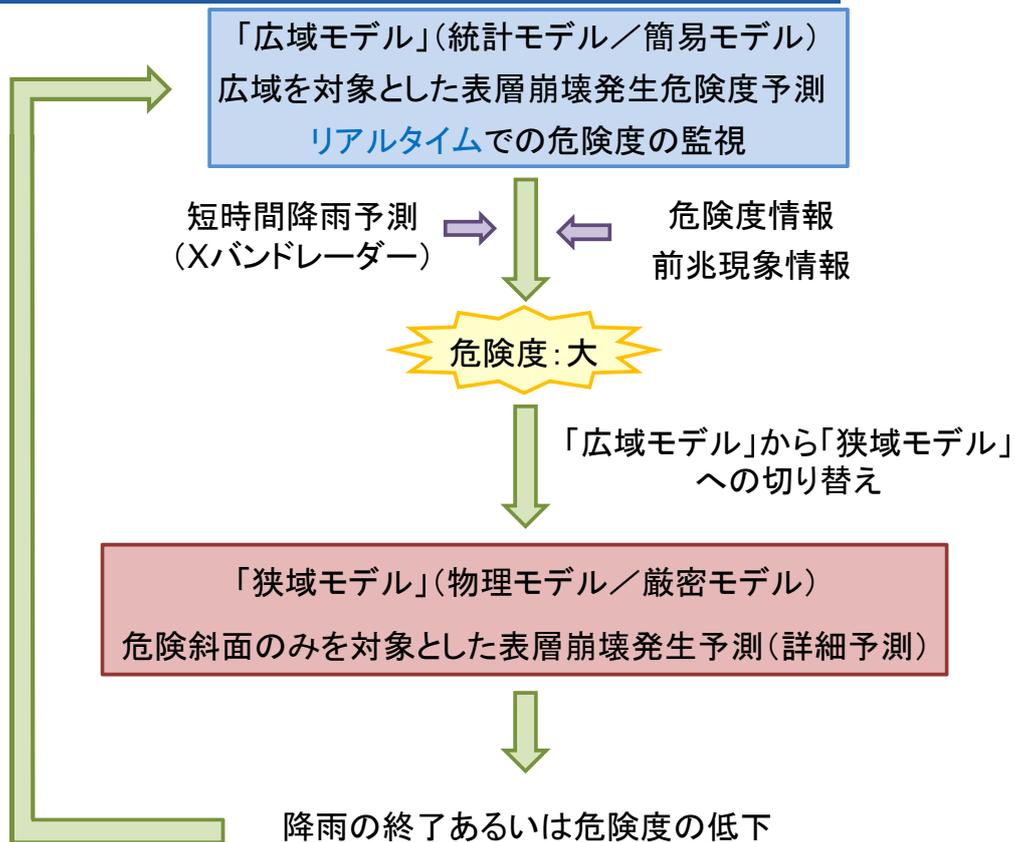
- 表層及びその下の岩盤層一層のみをモデル化(表層崩壊のみを対象としているため)
- 表層の飽和透水係数 $k=5.26 \times 10^{-4}$ cm/sec(定水位透水試験より)

解析結果(暫定)

通行規制基準線



解析結果の炬口区間全域への適用性について



降雨特性に応じた道路通行規制のあり方に関する研究
(今年度の研究内容)

■ 今年度の研究内容

- 追加調査・計測機器の設置
- 計測データの蓄積・整理・評価
- **降雨特性と斜面安定度の検討**(数値解析による)
- **降雨特性(降雨強度・降雨波形)に応じた通行規制のあり方の検討**

	H25	H26	H27
雨量通行規制に関する事例の整理	■		
斜面点検データの分析・危険斜面の抽出		■	
降雨特性・通行規制のデータ整理	■		
降雨特性と斜面安定度の検討		■	
降雨特性に応じた通行規制の在り方の検討		■	
雨量通行規制運用システムの構築および試行運用			■

■ 今年度のWG実施状況

5/8 本年度初回WG; 今年度の検討方針
ボーリングコア観察

6/12~13 現場WG; 計測機器設置
現地状況確認

7/10 第3回WG; 地盤モデルと計測機器設置状況の確認
検討条件に関する協議

ゲリラ豪雨に対応した道路のり面監視方法に関する研究

1. 概要

2. 平成25年度の研究成果

- 第1章 概要
- 第2章 既往の研究成果の収集・整理および情報の共有
- 第3章 ゲリラ豪雨事例の収集とその分析
- 第4章 豪雨時における道路パトロールの実態把握と実務上の課題抽出
- 第5章 崩壊パターン及びその予兆現象の検討
- 第6章 まとめと今後の課題

3. 平成26年度の研究計画

～新都市社会技術融合創造研究会～

ゲリラ豪雨に対応した道路のり面監視方法に関する研究

プロジェクトリーダー 小田和広 大阪大学准教授

■研究の目的又は背景

近年、様々なタイプの集中豪雨が多発している。これにより、道路通行規制区間(防災点検箇所)だけでなく、それ以外の箇所においても斜面災害が発生し、道路通行の障害となっている。

集中豪雨の中でもゲリラ豪雨に代表される**突発的かつ局所的な集中豪雨**は、空間的にも時間的にも発生予測が非常に難しい。このため、このような集中豪雨に対する道路のり面の監視方法を新たに策定する必要がある。

本研究では、①**過去の豪雨事例およびのり面災害の事例**を収集整理、分析する。②**道路パトロールの実態を把握**する。③のり面防災の観点からゲリラ豪雨を定義する。そして、ゲリラ豪雨によってもたらされる現象(崩壊パターンおよび予兆現象)を検討・整理する。④ゲリラ豪雨に対応した道路のり面のモニタリング監視システムを検討する。最後に、⑤ゲリラ豪雨を対象とした道路パトロールの着目点の検討を行い、道路パトロール要領(案)策定に資する技術資料を作成する。

■研究の内容

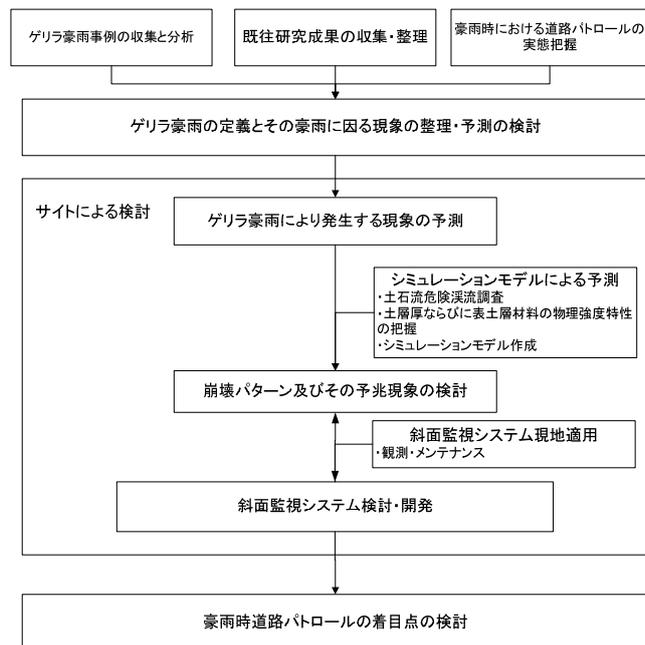
- 降雨と通行規制のデータ整理、分析
 - **過去の降雨と崩壊事例データの収集整理**、分析する。特に短時間雨量が強い場合に発生する現象に着目して整理を行う。また、最新の気象予測技術の動向に関する情報収集に努める。
- 豪雨時の道路パトロールの実態把握
 - 近畿地方整備局内道路パトロールの実態把握を目的に、パトロール日誌などの資料収集整理、ヒアリングならびに実際のパトロール状況を確認することによって、**道路パトロールの実態把握**を行う。
- ゲリラ豪雨の定義とその豪雨による現象の整理・予測(崩壊パターン及び予兆現象)の検討
 - 降雨と通行規制のデータ整理、分析ならびに豪雨時の道路パトロールの実態把握の結果をもとにサイトを限定して**ゲリラ豪雨時に発生する現象の整理**、**シミュレーション降雨による現象の予測**を行う。
- モニタリング監視システムの検討
 - 道路パトロール時に有効な指標について検討を加えて、**モニタリング監視システムならびにOSV技術との連携**について検討する。
- 豪雨時道路パトロールの着目点の検討
 - これまでの研究によって得られた知見をもとにゲリラ豪雨に関する道路パトロールの着目点について整理し、道路パトロール要領策定のための技術資料を作成する

■研究スケジュール

- 平成25年度
 - 降雨と通行規制のデータ整理、分析
 - 豪雨時の道路パトロールの実態把握
 - ゲリラ豪雨の定義とその豪雨による現象の整理・予測(崩壊パターンおよび予兆現象)の検討
- 平成26年度
 - ゲリラ豪雨の定義とその豪雨による現象の整理・予測(崩壊パターンおよび予兆現象)の検討
 - モニタリング監視システムの検討
- 平成27年度
 - ゲリラ豪雨の定義とその豪雨による現象の整理・予測(崩壊パターンおよび予兆現象)の検討
 - モニタリング監視システムの検討
 - 豪雨時道路パトロールの着目点の検討

■参加予定メンバー(体制)

- 【顧問】 沖村 孝 神戸大学名誉教授((一財)建設工学研究所)
- 【学】 小田和広准教授(PL), 小泉圭吾助教(大阪大学), 鳥居宣之准教授(神戸市立高専), 芥川 真一教授(神戸大学), 中谷加奈助教(京都大学) + 追加メンバー
- 【産】 国際航業(株), (株)ダイヤコンサルタント, ハイテック(株), パシフィックコンサルタンツ(株), 川崎地質(株), 東亜エルメス(株) + 追加メンバー



ゲリラ豪雨に対応した道路のり面監視方法に関する研究

1. 概要

2. 平成25年度の研究成果

- 第1章 概要
- 第2章 既往の研究成果の収集・整理および情報の共有
- 第3章 **ゲリラ豪雨事例の収集とその分析**
- 第4章 豪雨時における道路パトロールの実態把握と実務上の課題抽出
- 第5章 崩壊パターン及びその予兆現象の検討
- 第6章 まとめと今後の課題

3. 2014年度の研究計画

平成25年度の研究成果 ゲリラ豪雨によって発生する現象の特徴

●ゲリラ豪雨の事例整理

- 近年発生したゲリラ豪雨による気象，災害状況について10の事例を収集し，整理

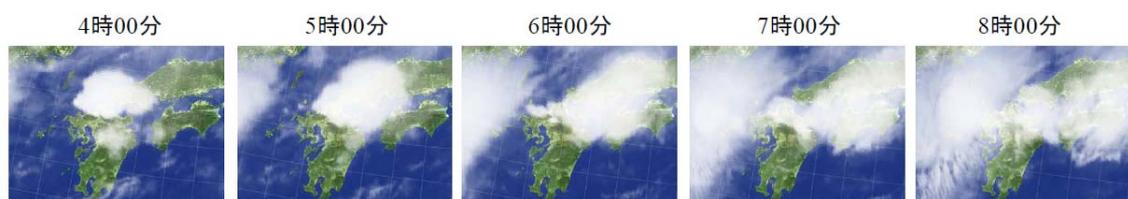
●ゲリラ豪雨によって発生する現象の特徴

年月	名称	地域	降雨形態	時間雨量	24時間雨量	主な被害
2013年10月	伊豆大島土砂災害	伊豆大島	集中豪雨	118.5	800	多数の表層崩壊→土石流として流下
2013年8月	秋田・岩手豪雨災害	秋田県	集中豪雨	108.5	293	土石流も含むがけ崩れが204箇所 がけ崩れ9件，土石流11件
		岩手県	集中豪雨	78	264	
2013年7月	山口・島根豪雨災害	山口東部と島根西部	集中豪雨	91.5	381	狭い範囲で数多くの土石流
2013年7月	山形豪雨災害	山形県	集中豪雨	70	249	堆積土砂が流下した土石流と斜面崩壊による土石流
2013年7月	新潟県で発生した土砂災害	長岡市			3日間で403mm	比較的大規模な崩壊や通行止め
2012年7月	九州北部豪雨	熊本県阿蘇市	集中豪雨	108	507.5	①表層崩壊→土石流 ②比較的大規模な斜面崩壊
		福岡県八女市	集中豪雨	91.5	486	
		大分県日田市	集中豪雨	85	396	
2011年9月	紀伊半島豪雨災害	奈良県南部	長雨	46	1808	深層崩壊が多数発生し河道閉塞
		和歌山県田辺市	長雨		1998	大規模崩壊が多数
		和歌山県新宮市	集中豪雨	132	832	崩壊土砂の流動化による土石流
2011年7月	高知県東部の土砂災害	高知県東部	長雨	64	755	狭い範囲で深層崩壊が3箇所
2010年9月	神奈川県北部豪雨災害	神奈川と静岡の県境	集中豪雨	70.5	495	表層崩壊や土石流
2010年7月	広島県庄原市の土砂災害	広島県庄原市	集中豪雨	72	3時間で173	狭い範囲で土石流が頻発

平成25年度の研究成果 ゲリラ豪雨によって発生する現象の特徴

●被害をもたらす豪雨の特性

- 単発のゲリラ豪雨では，1時間も経たずに降雨は終了する。
- 線上の降雨帯が停滞する(テーパリングクラウド)ことで，このゲリラ豪雨が繰り返し集中して発生し数時間の豪雨となる場合がある。



← テーパリングクラウド(にんじん雲)を確認できる時間帯 →

九州北部豪雨で確認されたテーパリングクラウド

平成25年度の研究成果

ゲリラ豪雨によって発生する現象の特徴

●ゲリラ豪雨の局所性と降雨予測

- 土砂災害の発生は局所的である.
- 降雨も局所的に変化している可能性が高い.
- 現在の気象予測では、突発的に発生し、急激に変化する局所的な豪雨の予測精度は低い.
- 現状では、独自に密に降雨観測を行うことにより、豪雨時における局所的な降雨特性の変化を解明することが必要である.
 - 現在、降雨観測に使用しているテレメータによる降水量を代表値として考えられる範囲.
 - 気象予報による降水量と実際の観測値との相関性.

平成25年度の研究成果

ゲリラ豪雨によって発生する現象の特徴

●ゲリラ豪雨による土砂災害の特性

- 単発のゲリラ豪雨では土砂災害が発生する可能性は低い
- ゲリラ豪雨が繰り返し発生することで、土砂災害が発生する可能性が高くなる.
- 土石流の被害が多数である. その中でも、斜面上部で表層崩壊が発生し、その崩壊土砂が多量の表面流によって流下する土石流の事例が多く、これらは大災害となる傾向がある.

ゲリラ豪雨に対応した道路のり面監視方法に関する研究

1. 概要

2. 平成25年度の研究成果

- 第1章 概要
- 第2章 既往の研究成果の収集・整理および情報の共有
- 第3章 ゲリラ豪雨事例の収集とその分析
- 第4章 豪雨時における道路パトロールの実態把握と実務上の課題抽出
- 第5章 崩壊パターン及びその予兆現象の検討
- 第6章 まとめと今後の課題

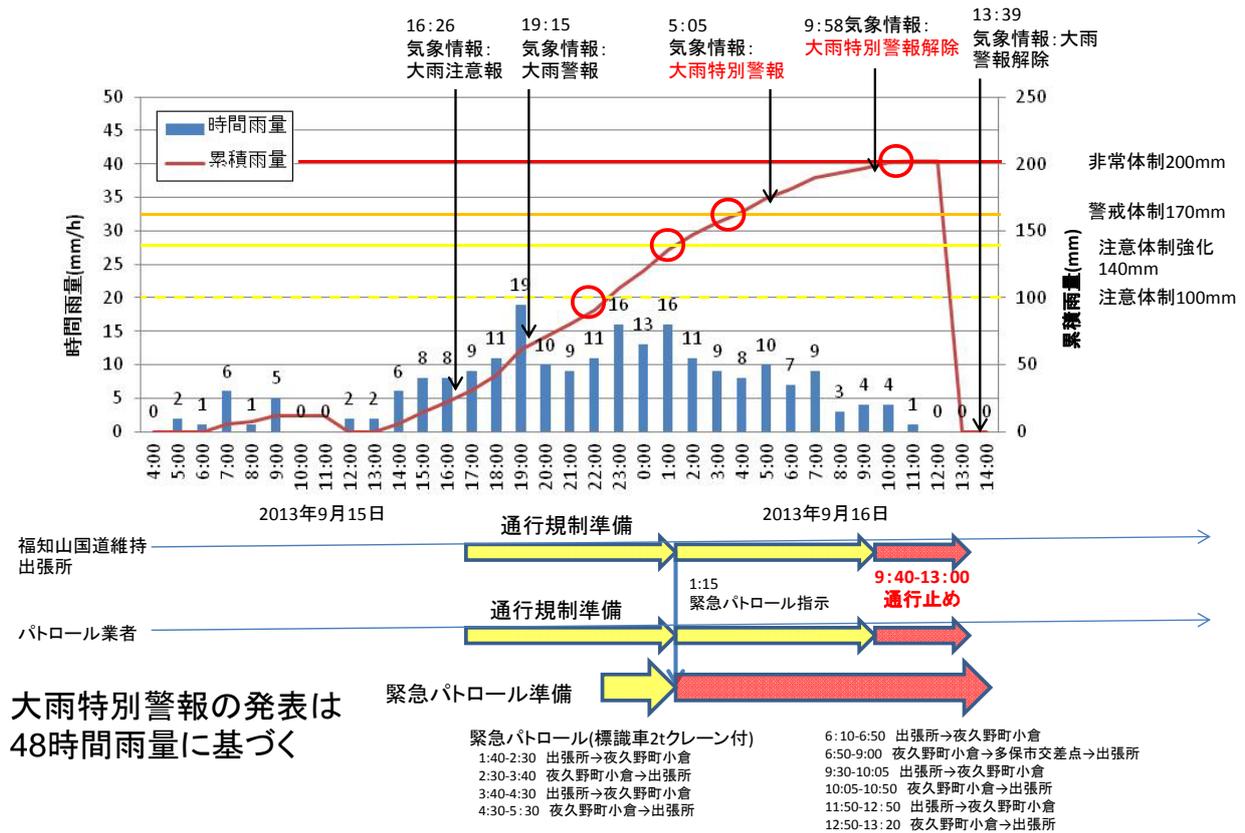
3. 2014年度の研究計画

平成25年度の研究成果

豪雨時における道路パトロールの実態把握と実務上の課題抽出

- 降雨と通行規制のデータ整理・分析
 - 福知山河川国道事務所 道路関係災害対策部運営計画の概要
 - 2013(平成25)年台風18号による道路通行規制対応事例
- 豪雨時の道路パトロールの実態把握
 - 2013(平成25)年台風18号による道路通行規制の対応におけるヒアリング調査の結果
 - ・ パトロール区分と実施概要
 - ・ 台風18号のパトロールの実態
 - ・ 豪雨時のパトロールの実態と実務者が抱える課題
- 課題の抽出(パトロールの着眼点)

テレメータ(日置)と体制・パトロール



平成25年度の研究成果

課題の抽出(パトロールの着眼点)

- ゲリラ豪雨の場合、テレメータ設置箇所に雨域の中心があるとは限らず、場合によっては降雨を過小評価するおそれがある(ゲリラ豪雨の局地性)。
- ゲリラ豪雨の場合は通行の安全を確保する時間的余裕がなく、通行規制区間以外での災害の危険性もあり、被害を未然に防止できない可能性がある。
- パトロールは、昼夜や降雨状態にかかわらず道路状況の把握を行うことが必要であるが、夜間に雨が降っているという状況であれば視界はライトが照らしている範囲程度であると推察される。そのため路面異常を発見することも、のり面の上まで確認するという事は困難である。

平成25年度の研究成果 課題の抽出(パトロールの着眼点)

- (平時)
 - 豪雨時の危険箇所および危険度の把握
 - ゲリラ豪雨時に生じる崩壊・土砂流出等の危険箇所の把握と対策
 - 危険箇所における対策の実施(ハード対策:防災対策工事, ソフト対策:検知センサなど)
 - センサー・パトロールによる変状の早期発見の仕組みづくり
 - 法面や流路の排水能力の維持, 強化
 - 日頃からの排水能力の維持強化
- (ゲリラ豪雨発生時)
 - 国道周辺の降雨状況の把握ならびに予測
 - パトロールによる変状の早期発見
 - 車上より豪雨時・夜間に変状を確認できる仕組みづくり
- (ゲリラ豪雨発生後)
 - 危険箇所の早期点検と通行の安全確認

ゲリラ豪雨に対応した道路のり面監視方法に関する研究

1. 概要

2. 平成25年度の研究成果

- 第1章 概要
- 第2章 既往の研究成果の収集・整理および情報の共有
- 第3章 ゲリラ豪雨事例の収集とその分析
- 第4章 豪雨時における道路パトロールの実態把握と実務上の課題抽出
- 第5章 崩壊パターン及びその予兆現象の検討
- 第6章 まとめと今後の課題

3. 2014年度の研究計画

ゲリラ豪雨の定義

項目	定義
概念	本研究における「ゲリラ豪雨」は、短時間に狭い範囲で生じる降雨現象で、道路パトロールを実施する上で課題となる豪雨と定義する。 なお、ここでのゲリラ豪雨は、気象庁による「局地的大雨」および「集中豪雨」に相当するものとする。
想定される災害現象	急激な表面流の増大を特徴として、これに伴い発生する土砂流出や崩壊である。その他、のり面排水施設のキャパオーバーや倒木の流出などが考えられる。
道路パトロール上の課題と留意点	【課題】 ①ゲリラ豪雨を検知したからではパトロールが間に合わない ②ゲリラ豪雨を検知できない可能性が高い 【留意点】 ①予め危険箇所を把握し、監視システム等による対策が必要。 ②パトロール中にゲリラ豪雨による危険に遭遇する恐れがあるため、車上から危険性を把握できる仕組みが必要。 ③地表面の浸透能を上回る降雨により土砂流出の発生が卓越することが予想されるため、用地外における検知センサの設置などの対策が必要。
雨量	特別警報の基準を参考として3時間雨量が50年に1回程度の雨量とする。

15

モデル地域の選定

過去に豪雨災害があり、詳細な地形モデル、モニタリング情報等のある地区を選定



16

崩壊パターンの概略



平成21年台風9号災害

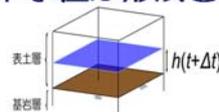
- ・106mm/3hの集中豪雨（レーダーアメダス解析雨量）
- ・表層崩壊は1箇所（幅10m、長さ12m、深さ1m程度）
- ・土砂流出の発生箇所が多い
- ・土砂流出の多い溪流では0次谷に著しいガリ侵食が確認される

予兆現象の概略検討

(1) 表層崩壊危険度評価モデルの概要

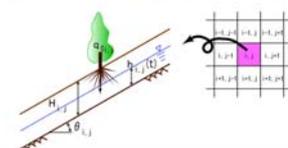
実用実績や外挿問題への対応を踏まえ沖村・市川(1985)による表層崩壊の予知・予測のための物理モデルを採用

表土層内の浸透水（降雨）が集まって、斜面内あるいは谷部で地下水位が形成される過程をシミュレート



・・・集水モデル

地下水位の上昇に伴う単位体積重量の増加，間隙水圧の上昇（有効応力の低下）に伴う安全率の変化を算定



・・・無限長斜面安定解析

予兆現象の概略検討

(2) 土石流危険度評価モデルの概要

国土交通省による、

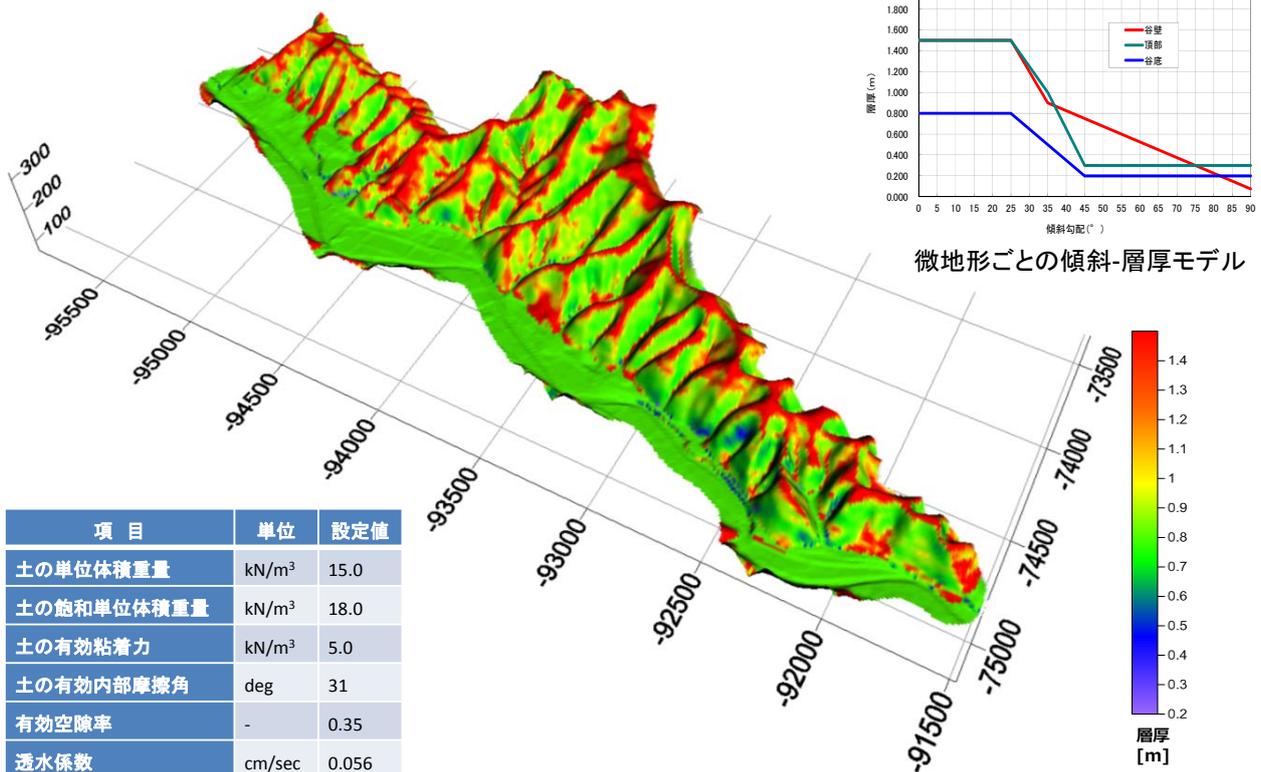
河川砂防技術基準H24.6

土石流危険渓流及び土石流危険区域調査要領(案)H11.4

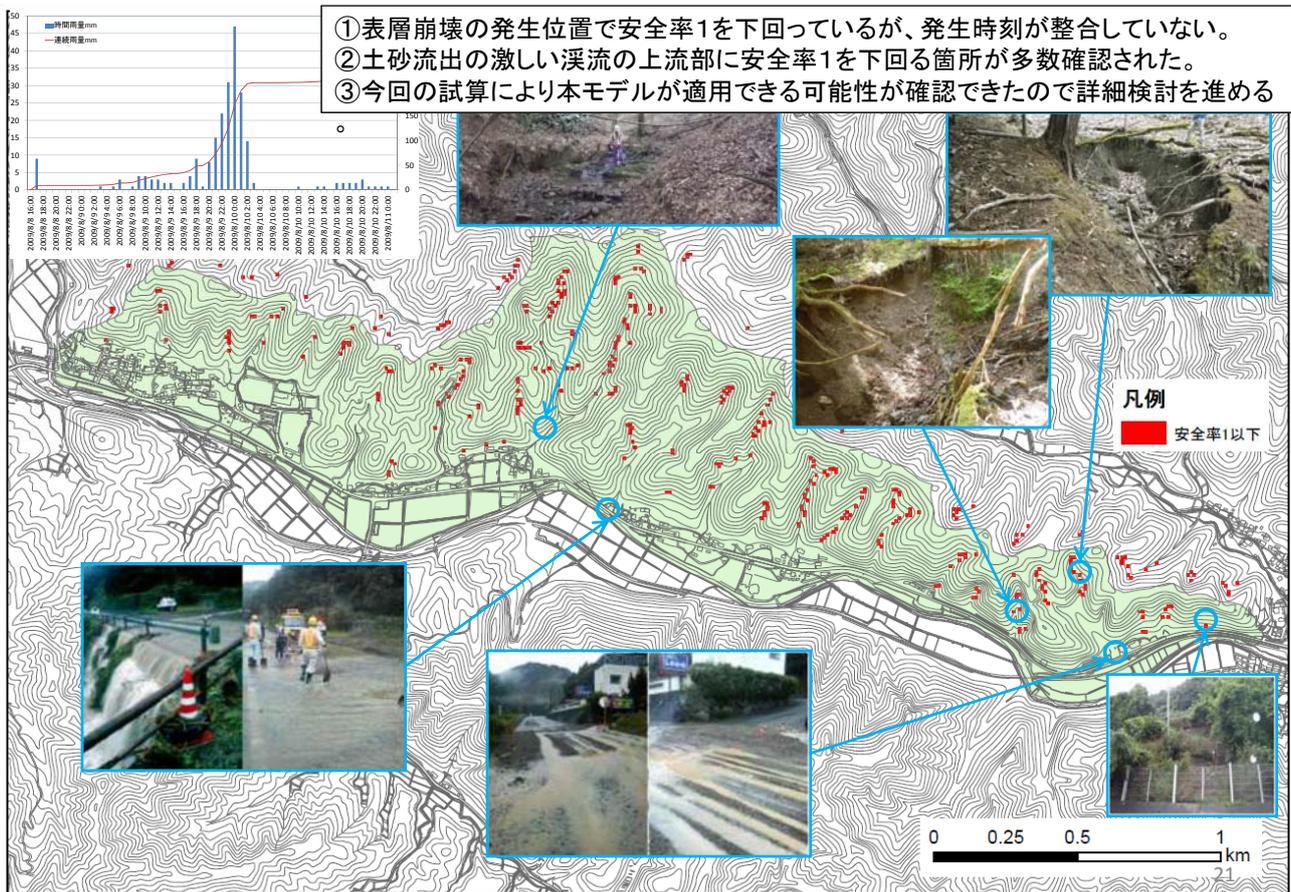
砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)H19.3

などにより複数の手法で検討する。

(3) モデル地区の三次元土層モデル



(4) 平成21年台風9号災害の崩壊再現計算(試算) 平成25年度の研究成果



平成25年度の研究成果 予兆現象の概略検討

- 課題はあるものの結果は妥当
 - － 表層崩壊発生した時刻は異なるものの発生場所を予見できている。
 - － 土砂流出の激しかった溪流の上流部に安全率1を下回る箇所が多数確認された
- 今後は、当該箇所の地盤の特性の調査、土石流の危険度評価やゲリラ豪雨による災害特性を踏まえ、より事例に近づくように、モデルのチューアップが必要

ゲリラ豪雨に対応した道路のり面監視方法に関する研究

1. 概要
2. 平成25年度の研究成果
 - 第1章 概要
 - 第2章 既往の研究成果の収集・整理および情報の共有
 - 第3章 ゲリラ豪雨事例の収集とその分析
 - 第4章 豪雨時における道路パトロールの実態把握と実務上の課題抽出
 - 第5章 崩壊パターン及びその予兆現象の検討
 - 第6章 まとめと今後の課題
3. 平成26年度の研究項目

平成26年度研究計画

- ゲリラ豪雨を対象としたハザードの検討とハザードマップの作成
 - 崩壊の危険度評価モデルの改善(解析モデルのチューンナップ)
 - 土石流溪流調査の実施
 - サンプルングと土質調査の実施
- ゲリラ豪雨を対象としたハザードに対応したモニタリング監視・OSV連携
 - モニタリング観測・メンテナンス
 - 斜面監視システム検討(OSV)
- パトロール着目点の整理

平成26年度の研究計画 ハザードマップ検討

崩壊危険度評価

- ① サンプルによる土質パラメータの確認
- ② 露岩箇所を表土層モデルへの反映
- ③ 有効雨量評価モデル等の適用による崩壊予測タイミングの適正化

平成21年台風9号災害、
非発生降雨(ゲリラ豪雨、その他)
による検証と最適化



想定ゲリラ豪雨による
ハザードマップ作成



モニタリング検討
パトロール要領の基礎資料作成

土石流危険度評価

- ① 溪床堆積土砂量の調査
- ② 流路断面の調査
- ③ 指針等に基づく土砂流出危険度検討

25

平成26年度の研究計画 モニタリング観測・メンテナンス

● 既往斜面観測モニタリング

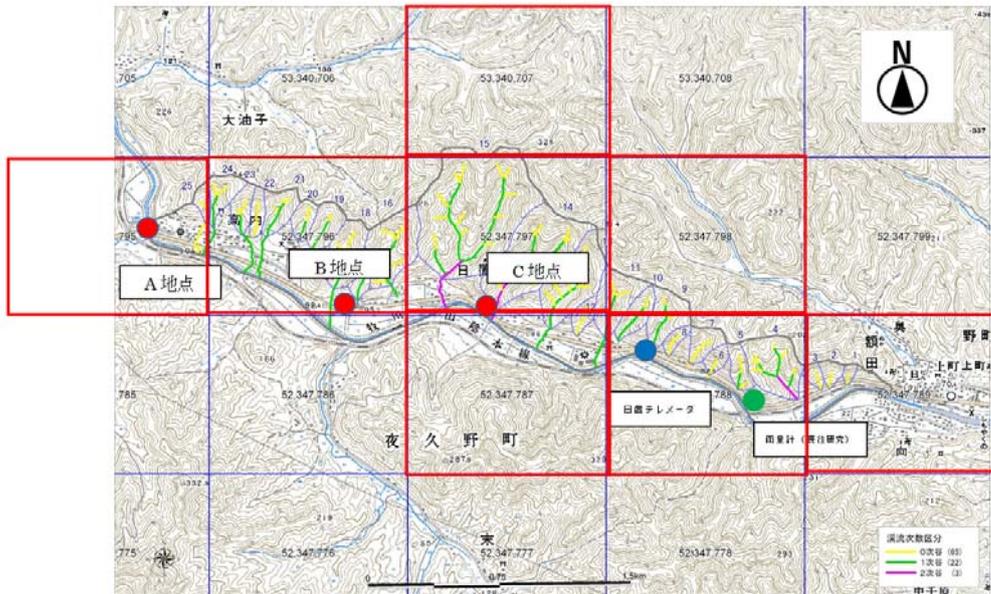
- シミュレーションモデルの検証のため、日置地区斜面監視を継続

● 降雨観測

- 従来型のCバンドレーダと地上雨量計を活用し、雨域を考慮した道路パトロールのあり方について検討するため、モデル地区で複数箇所に雨量計を設置し、観測

平成26年度の研究計画 降雨観測箇所

- 気象学的に降雨が発生しやすい箇所
- Cバンドレーダメッシュ考慮



平成26年度の研究計画 斜面監視システムの検討

豪雨に伴い道路沿いで発生する変状とその程度を車道から検出するための手法を検討することを目的とする。

○危険性を判断する現象と観測方法(何をどこで測るか)、閾値(どの状態が危険か)の検討
⇒ ハザードマップ, モニタリングなどで検討

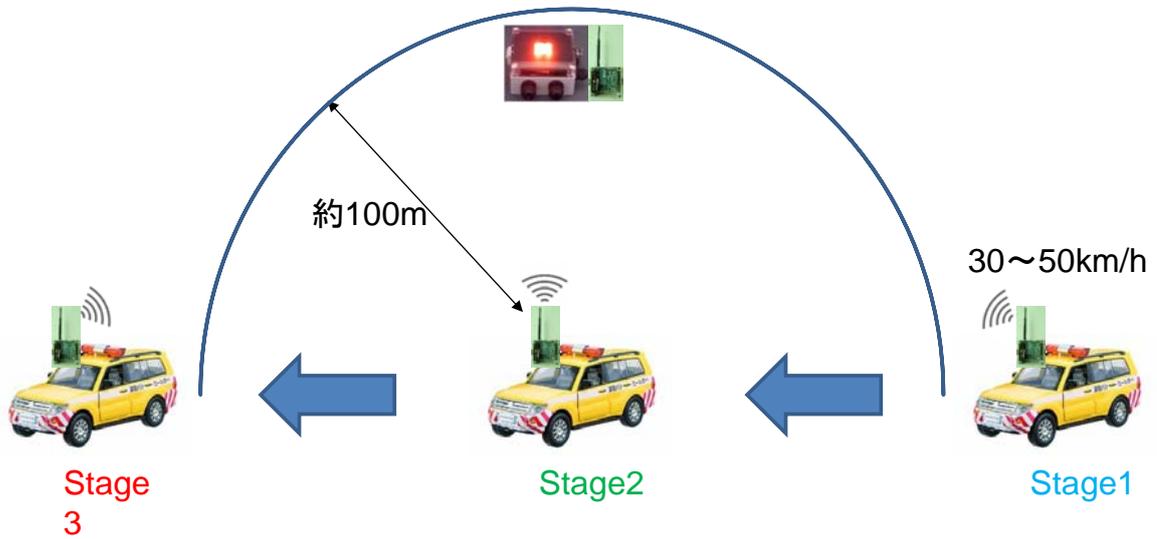
○危険性を知る、知らせる方法
⇒ 道路パトロール時に色で危険性を知る
光るコンバーターLEC-IIを利用し、検討

作動概要

Stage1. パトロール車が圏外にあるときLECは消灯状態にある

Stage2. パトロール車が圏内に入るとLECは点灯状態になる

Stage3. パトロール車が遠ざかり圏外へ出るとLECは消灯状態に戻る



新都市社会技術融合創造研究会

研究テーマ3：

道路盛土における排水施設点検・ 管理手法に関する研究

プロジェクトリーダー 神戸大学大学院 澁谷 啓

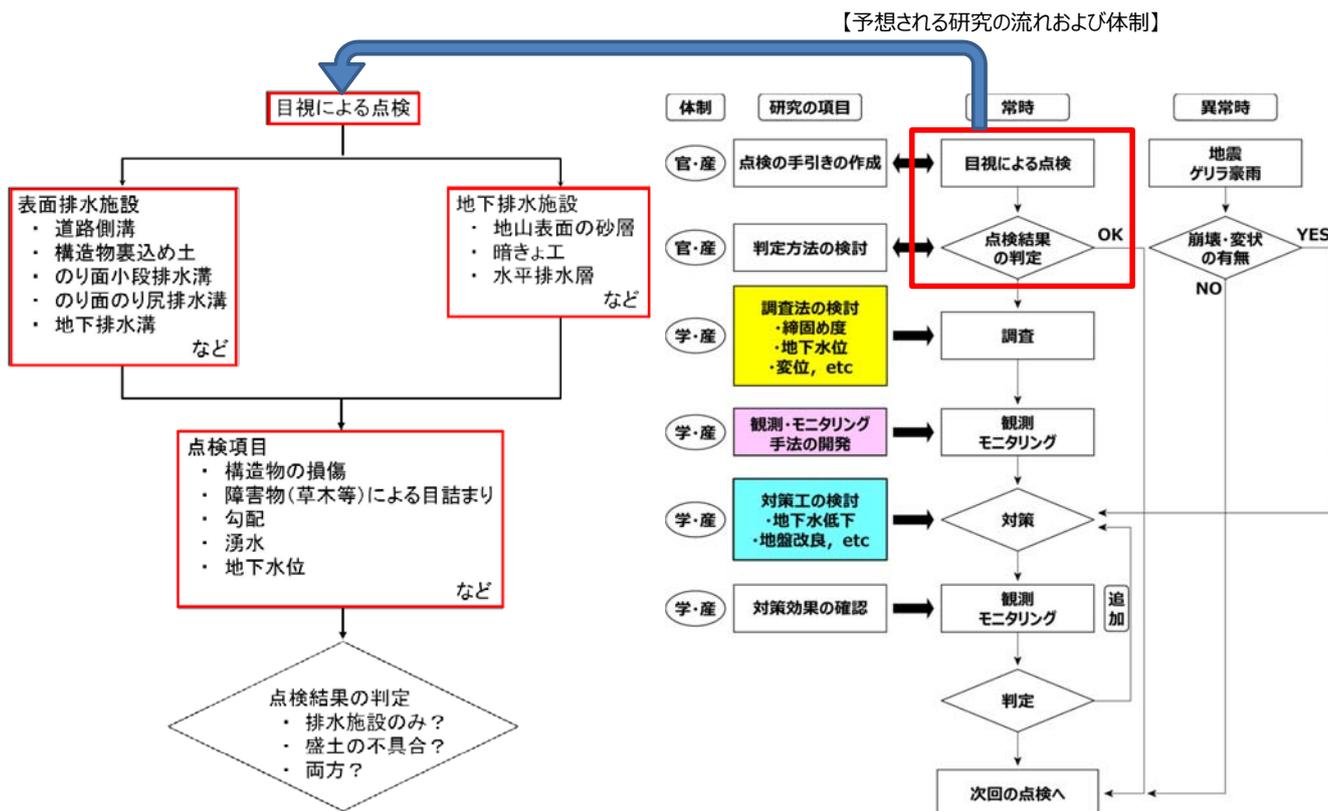
2014年7月18日

■ 研究の目的・背景

盛土の変状・崩壊のリスク低減→盛土内に水を入れないこと(表面排水処理, 等), 盛土内に侵入した水を速やかに排水すること(暗渠排水, 等)が重要. そのために, 管内の既存盛土を対象とした,

- 1) 設計・施工時の資料等による排水諸施設の実態調査
- 2) 現況における排水機能の点検調査
- 3) 点検により発覚した排水不良施設の維持管理・補修方法(修繕, 機能改善, 抜本的代替工法, 等)の検討

■ 研究の流れおよび体制



■ H27年度に向けての目標として・・・

4) 上記の事柄を踏まえて、大きな括りとして、以下の①～④の研究項目ごとにワーキンググループ（WG）を組織する。

①道路盛土における排水施設点検・管理手法に関する課題の抽出（WG 1）

②道路盛土に関する点検・管理手法の検討（WG 2）

③盛土の安定性・性能評価のための調査，実験，解析（WG 3）

④道路盛土に関する機能改善工法の検討（WG 4）

これら①～④の研究成果を網羅する形で、最終的には、
[「道路盛土の排水施設の点検・管理に関するマニュアル（案）（仮称）」](#)（WG 5担当）を提示する

5) 本研究に求められている社会的な要請を深く認識し、産・官・学が協働して、それぞれのWGからの情報発信を絶えず共有しながら、研究を進める。

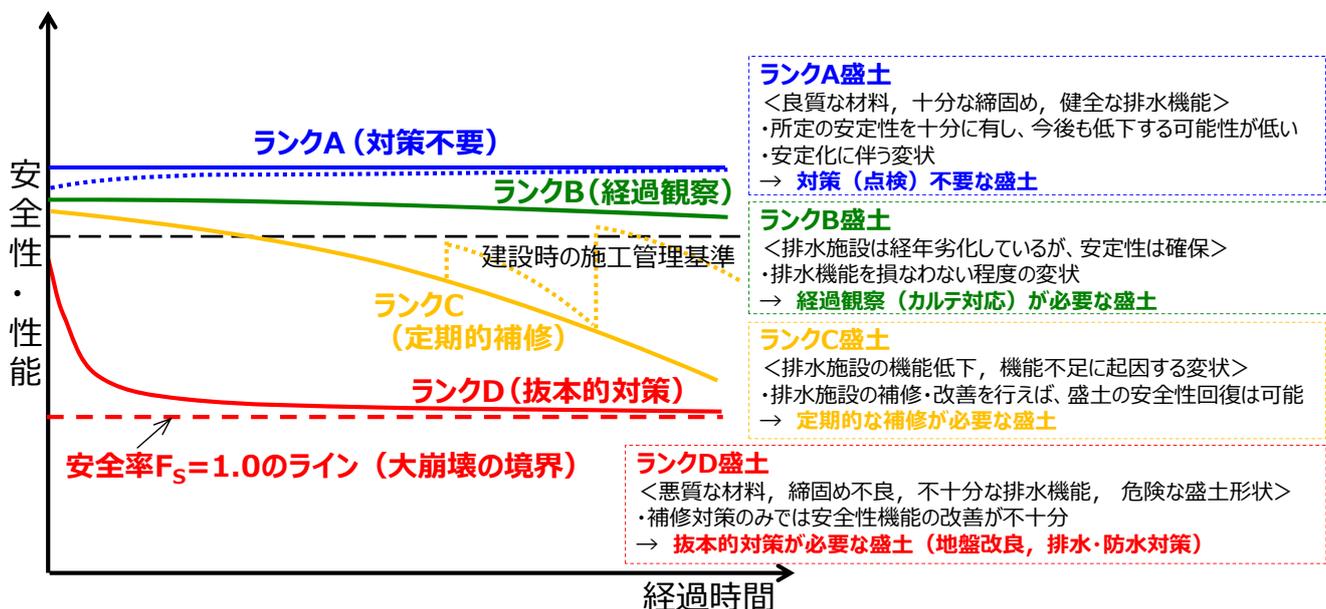
WGの構成

2014年5月12日現在（敬称略）

WG番号	名称	○リーダー サブリーダー (敬称略)	ミッション	備考
WG1	既存資料の整理・分析	○鍋島（明石高専） 眞弓（国土防災）	一斉・緊急点検資料の整理分析 排水施設の現状調査 点検・管理手法の提言など	点検・管理マニュアル（案）のベース作成
WG2	観測	○芥川（神戸大学） 野並（応用地質）	排水施設，盛土の安定性・性能評価のためのモニタリング，サウンディング手法の開発と適用	試験サイトでの事例研究 マニュアルの解説に記載
WG3	盛土の性能評価	○肥後（京都大学） 甲斐（ダイヤコンサル） 片岡（神戸大学）	盛土の安定性・性能評価のための調査・試験・解析法の開発と適用	同上
WG4	排水施設の機能保持・回復	○齋藤（神戸大学） 中西（復建調査設計）	のり面排水工や地下排水工の機能保持・回復および代替対策工の検討，事例研究	同上
WG5	点検・管理マニュアルの作成	○湊谷（神戸大学） 各WGリーダー，サブリーダー	現行関連マニュアル等の情報収集 → H25年度に実施 点検・管理マニュアルの作成	全てのWGの成果を集約

盛土の健全度評価のランキング

- ・良質な材料を良く締固め，排水が機能していれば，時間と共に安定化（ランクA）
 - ・バラツキの大きい自然材料を用いるため，品質管理がずさんになりがちで，立地の地形・地質も千差万別（ランクB, ランクC, ランクD）
- 盛土管理に関するライフサイクルコスト（LCC）の概念の導入



■ 試験サイトの選定

ランクD盛土

＜悪質な材料，締固め不良，不十分な排水機能＞

- ・築造後早い段階で盛土内の水位が上昇し、安全性が低下
- ・盛土材料の品質が低下
- ・**抜本的対策（地盤改良，排水・防水対策）**



盛土品質低下の大きな要因は、盛土内への**侵入水**



- ① 盛土内の地下水・排水施設のモニタリング手法の検討
- ② 盛土内への雨水や地下水の流入抑制手法の検討
- ③ 地下水滞水（宙水）が盛土の性能・安定に与える影響の評価

■ 既存盛土安定度調査票の仕分け結果（一部抜粋）

・仕分け結果から再度確認すべき現場を抽出。

地域・都道府県等	調査年度	【評点】	【総合評価】	【注】
紀南工事事務所	2010	0	危険	
	2011	0	危険	
	2012	0	危険	
	2013	0	危険	
	2014	0	危険	
	2015	0	危険	
	2016	0	危険	
	2017	0	危険	
	2018	0	危険	
	2019	0	危険	
紀南工事事務所（H20）	2008	0	危険	
	2009	0	危険	
	2010	0	危険	
	2011	0	危険	
	2012	0	危険	
	2013	0	危険	
	2014	0	危険	
	2015	0	危険	
	2016	0	危険	
	2017	0	危険	
紀南工事事務所	2010	0	危険	
	2011	0	危険	
	2012	0	危険	
	2013	0	危険	
	2014	0	危険	
	2015	0	危険	
	2016	0	危険	
	2017	0	危険	
	2018	0	危険	
	2019	0	危険	

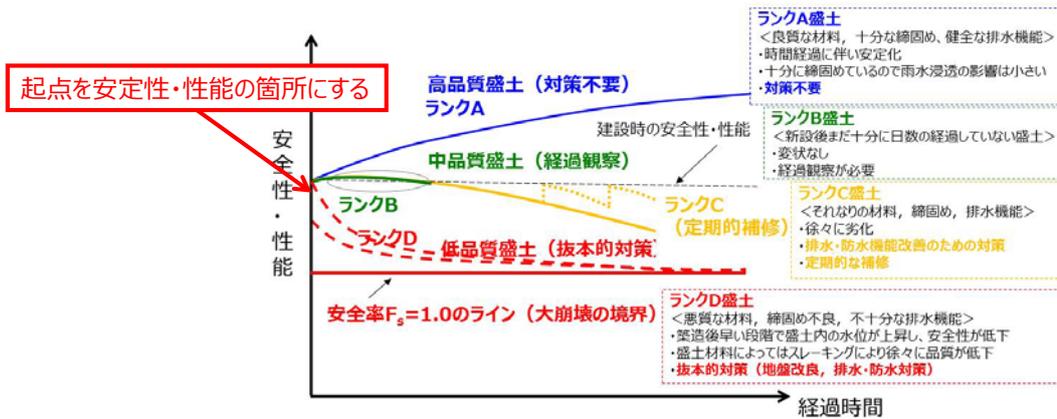
評点が0なのに
なぜ緊急の対策工を
要するのか？
評価方法に問題が
あるのか？

約10年経過した後に
評点が上がっているのに
なぜ緊急の対策工を
要さないのか？

約10年経過した後
評点が上がり
緊急の対策工を
必要としている。

■ 既存盛土安定度調査票の課題抽出

- ①同一現場で検証した箇所が紀南工事事務所分（H8及びH20）しかない。
 - ・単一データだと、データ取得時の盛土が行われてからどれぐらい経過しているかが不明。
- ②同じ評点でも対策工の必要性にバラツキがある。
 - ・現地調査した技術者によって、判断が大幅に変わる。
 - ・評点が0でも対策工が必要とされる箇所も数現場存在する。
- ③ランクB定義である「新設後まだ十分に日数の経過していない盛土」の十分な日数とはどれぐらいの期間をいうのか？（1年？5年？10年？）
- ④盛土の安全性・性能～経過時間の概念図のランクDについての見直し。
 - ・現状のランクD曲線は、初期時点で既に建設時の安全性・性能を満たしていないと読み取れる。



盛土の健全性評価 ～点検・管理手法の流れ～

1. 第1次スクリーニング
 （目視による判定）
 ※安定度調査票の評価項目の見直し
 ※第2次スクリーニングへの優先度判定
2. 第2次スクリーニング
 （地盤調査・シミュレーション）
3. 盛土のランク付け
 （ランクA、B、C、D）
 ※ランクA（健全）、ランクB（経過観察）、ランクC（維持・管理）、ランクC（抜本的対策）
4. ライフサイクルコスト
 （LCC）に基づいた維持管理

評価項目の再分離と追加(案)

素因 (外的)	基礎地盤	地すべり
		クリーブ
		圧密沈下
		即時沈下
		液状化
		谷埋め盛土
	地下水環境	地下水・表面水に起因した浸食(吸出し・ガリー)、強度劣化
		荒廃漂流
		河川水・波浪
		スレーキング/膨圧
素因 (内的)	盛土材料	施工不良に起因した不等沈下
		地すべり
		クリーブ
		圧密沈下
誘因	構造	液状化
		構造(高さ、幅、勾配、小段配置)
		横断工排水施設状況
		気象
リスク 評価要因	気象	降雨量(年間降水量/日降水量/降雨日数)が多い
		寒暖差が顕著
		活荷重
		設計交通量と実態との乖離
	変状形態	変状の連続性
	※地すべり(基礎)	変状の規模
	※クリーブ(基礎)	変状の多寡
	※圧密沈下(基礎)	変状の反復性
	※即時沈下(基礎)	変状の変位速度
	※液状化(基礎)	変状時期
※谷埋め盛土(基礎)		
※地すべり(盛土)		
※クリーブ(盛土)		
※圧密沈下(盛土)		
※即時沈下(盛土)		
※液状化(盛土)		
※浸食(吸出し・ガリー)		
※排水孔閉塞		
※集水不良		
※土石流による盛土流出		
※河川浸食		
※波浪浸食		

■ 現時点での研究状況 (WG 1)

● 安定度調査票評価項目の見直し

- ポテンシャル評価項目の見直し
- リスク管理項目の見直し
- 対策工評価項目の見直し

第1次スクリーニング項目
(目視による判定)

● 安定度評価表【改訂版】の検証

- 具体的な工事事務所管内の盛土について適用

● ランクD盛土の排水施設の実態調査及び長期観測

- 豊岡河川国道事務所 柴地区で長期観測の実施

■ 点検・管理マニュアル (案) 検証のための現場踏

調査期間 : 平成26年6月27日 (金) ~ 29日 (日)

・調査対象地 : 和歌山県南部

赤 : 2回の評価を行い, 2回目の評価が大幅に上がったことにより対策工を必要と判断した箇所 (ランクD)

黄 : 2回の評価を行い, 2回目の評価が大幅に上がっているにもかかわらず, 対策工を行わず防災カルテ対応と判断した箇所 (ランクC or D)

青 : 2回の評価を行い, 評価点が0~10点である箇所 (現状はランクBだが, Aの可能性もある)

緑 : 評価は0点だが, 対策工が必要と判断されている箇所 (ランクでの評価が困難)



調査対象箇所一覧図 (全17か所)

現地調査-ランクA盛土の例



路面に変状無し



盛土基礎護岸工に変状無し



縦排水工に変状無し



盛土法面に变状無し

現地調査-ランクD盛土の例 (1)



路面に円弧状の亀裂有り



盛土側部に崩壊が発生



縦排水工が途中までしか施工されていない



法面被覆工裏側の盛土材の吸い出し



朝来市山東町芝地区 定点カメラ 排水施設監視状況（速報）

平成26年6月13日 設置

平成26年6月26日 監視状況確認

現在も継続して監視中

※7月梅雨明けまで設置予定



6月20日の降雨（降雨量については確認中）による排水施設の状況について観測することができた。



その結果、**枯れ葉等の移動・堆積**により、排水機能が低下し、**排水施設に問題が生じる可能性**があることが確認できた。

■ H26年度活動計画（WG2）

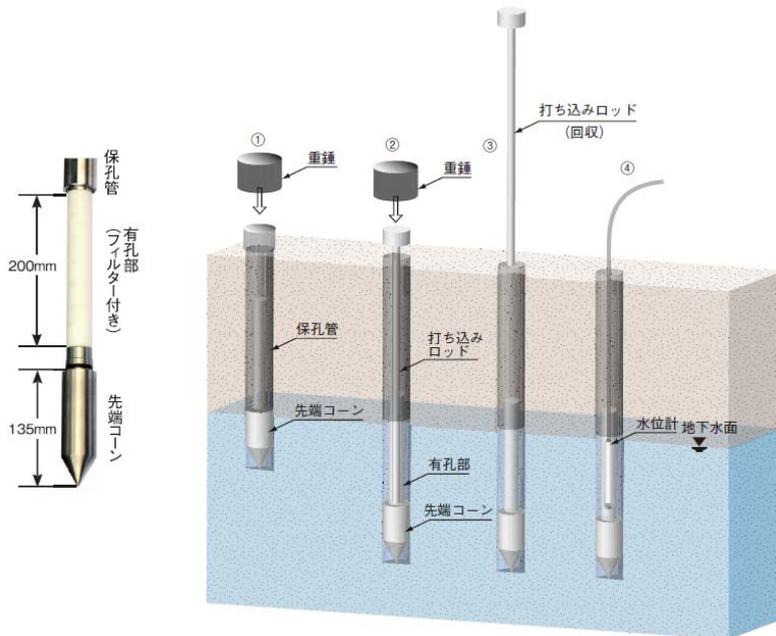
排水施設，盛土の安定性・性能評価のためのモニタリング，サウンディング手法の開発と適用

- ・ 従来より簡単、経済的に設置可能な間隙水圧計の適用性の検討
⇒国道483号柴地区で、人力で設置可能な小型間隙水圧計（深度～3m程度）を設置



・従来より簡単、経済的に設置可能な間隙水圧計の適用性の検討

⇒盛土防水工を検証するサイトで水位観測が必要となる場合は、小型間隙水圧計よりも深い深度で対応可能(～15m程度)な動的コーン貫入試験を用いた間隙水圧計の適用性を検証



■ 現時点での研究状況 (WG 2)

光ファイバーを用いた土粒子、地下水の動きの観察

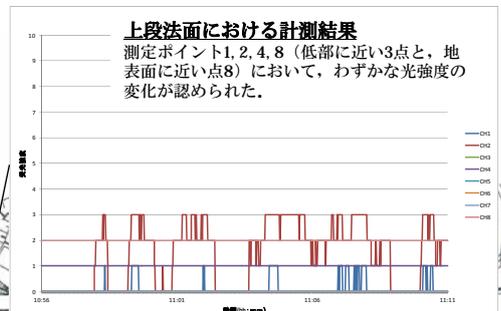
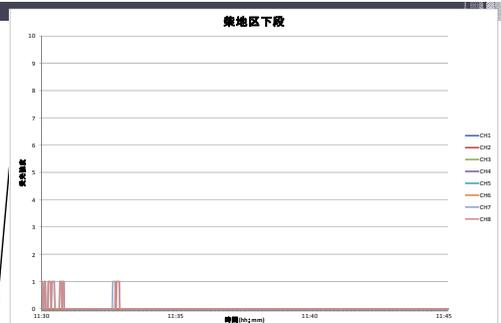
- 1本目の光ファイバーの先端で放射される光の反射を2本目の光ファイバーで観測し、土粒子や水の動きを定性的に探る方法。
- 想定される地下水面の上部、下部に測定装置を2014.3.18に設置。
- 初回の計測を2014.5.10に実施。状況確認が目的なので、測定時間は15分のみ。
- 今後も断続的に計測を実施するとともに、連続計測の仕様を検討予定。



長さ2mの測定棒を地盤に埋設した様子。



長さ2mの測定棒を2本用意し、それぞれ上段法面、下段法面に設置。測定棒には20cm間隔で光ファイバーのセンサユニットが8箇所(一番下が1番で、上が8番)ずつ装着されている。



上段法面における計測結果

測定ポイント1, 2, 4, 8 (低部に近い3点と、地表面に近い点8)において、わずかな光強度の変化が認められた。



光ファイバーによる測定用に開発されたLS³/digital測定器。この機種では2本の光ファイバー(1=光を送る、2=光を計る)をセットで実施する計測ユニットを同時に8セット接続することが可能



光ファイバーを用いた排水設備周辺の状態観察

- U字溝、排水マスなどの排水設備における落ち葉、土砂、植物などの状態を監視。
- 目詰まり、オーバーフローなどの原因となる堆積物の状態を光ファイバーで監視。
- 目視観察と、デジタル観察の両方が可能。



1段目の小段にあるU字溝合流ポイントのマスには大量の落ち葉が堆積している。



観測ポイントを複数取り付けけた装置（この場合は円柱）を落ち葉などが堆積すると思われる箇所に設置し、その状態を監視できる。棒に設置されている光ファイバーは上を向くように置き、そこに太陽光が入る状態にして用いる。電気を使わないエコな方法。



落ち葉の堆積状態を光ファイバーの端部で目視確認できる。これをパトロールの際にアクセスしやすい場所に設置すると作業が効率化



最低部のU字溝合流ポイントのマスには大量の土砂が堆積している状態。土砂堆積深さは50cm程度。



さらに下流につながる箇所にあるマスは掃除された状態。この状態が変化する様子を光ファイバーで観測可能。

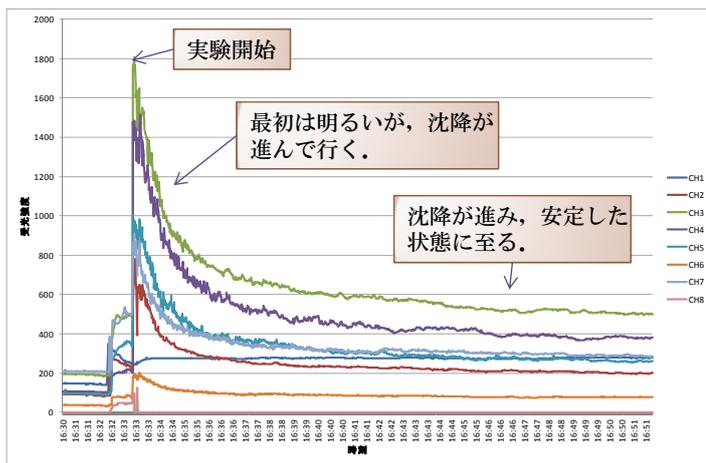
排水機能を低下させる要因（落ち葉、土砂、ゴミ、植物など）を監視する為に光ファイバーを効果的に適用することが可能。目視による観察（電気を使わないのでエコな手法）とデジタル方式の両方を目的に応じて適切に配置することができる。2014年度は土砂堆積などを重点的に監視する方向で装置の仕様などを絞り込んでゆく予定。



雨水が運搬する土砂でマスが次第に埋まってゆく。このような流出土の量や降雨時にマスに流れ込む排水の濁度が盛土の劣化過程についての有用な情報を与えるものとなっている。

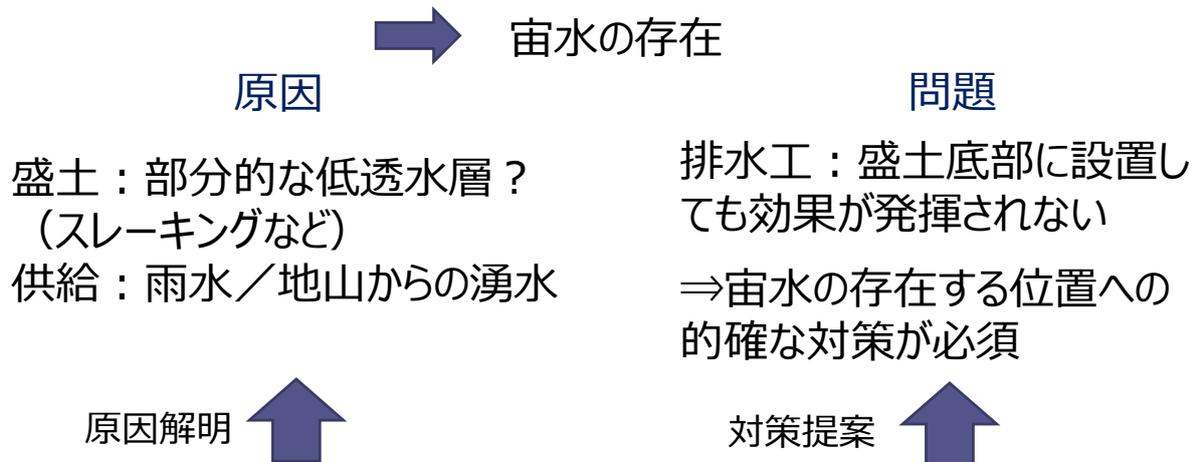


マスの中に装着予定の装置模型を使った模擬実験。泥水をメスシリンダーに入れ、土粒子が沈降してゆくプロセスをLS³/digital方式で計測。縦にセンシングポイントが8か所（8番が一番下）設けられており、それぞれの個所において浮遊する土粒子が多ければ、それらが光を反射する要因となり、結果的に受光強度が高くなる。また、それらの沈降が進むと受光強度が落ちてゆくプロセスを捉えることに成功。この様式で現場のマスにサイズを合わせた装置を製作予定。



■ H26年度の研究計画（WG3）

ボーリング孔内水・・・基礎地盤からの盛土内水位か？

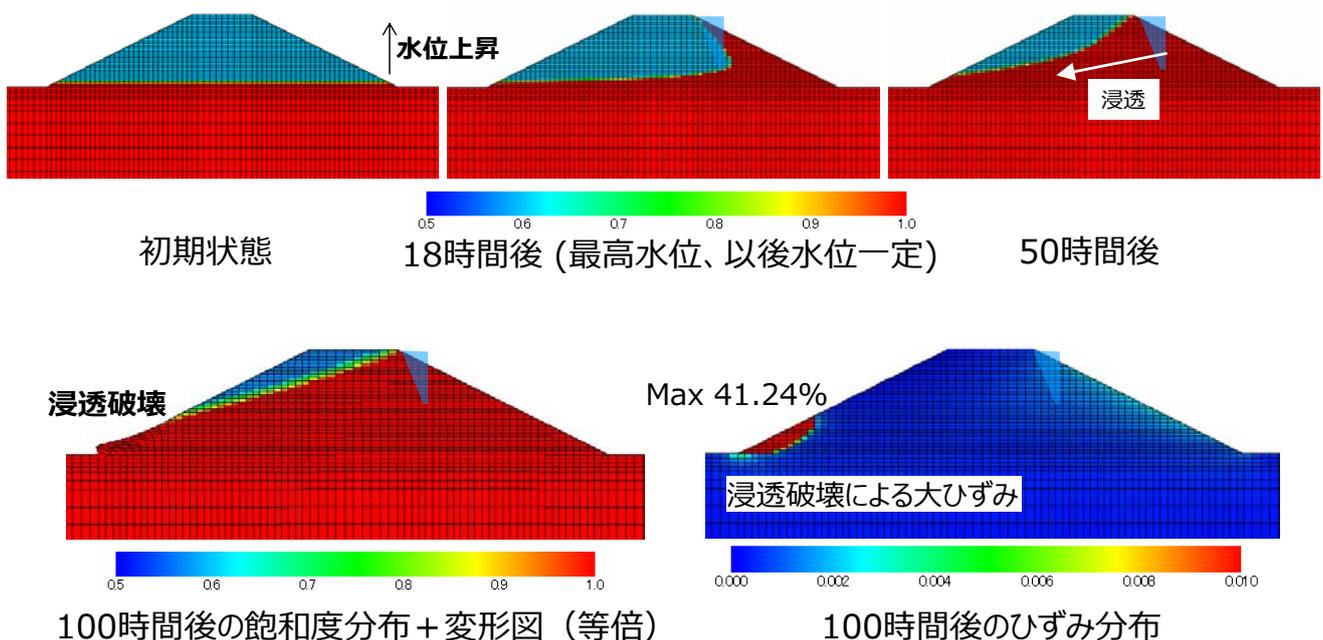


調査	実験	解析
<ul style="list-style-type: none"> • 表面波探査 ⇒低透水層の把握 (粘土化している層) 	<ul style="list-style-type: none"> • 透水試験 • 水分保持特性試験 • 粒度試験 ⇒物性の把握 	<ul style="list-style-type: none"> • 降雨時の浸透解析 ⇒宙水発生メカニズム解明 効果的な対策法の提案 ※降雨で再現できない場合、地山からの浸透を考慮

■ 浸透-変形連成解析事例

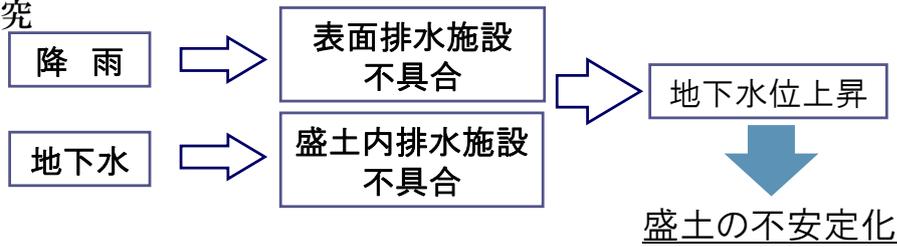
時々刻々と変化する水位、およびそれに伴う浸透と変形を同時に解くことのできる手法

堤防への河川水の浸潤の様子（飽和度分布）



排水施設の機能保持・回復 WG 4

のり面排水工や地下排水工の機能保持・回復および代替対策工の検討，事例研究



表面排水不具合と盛土変状(防災カルテより)

路線名	管理番号	のり面排水不具合	盛土変状
名阪国道	N025006	排水路破損	盛土洗掘
	25-3	縦排水土砂堆積	のり枠内浸食
		小段排水閉塞	
	25-11	小段排水閉塞	路面亀裂
	N25F086	側溝流入口閉塞	轍沈下
		縦排水閉塞	のり枠内浸食
	25-16	小段排水閉塞	擁壁背面浸食
		縦排水脇土砂浸食	のり枠内浸食
	25-17		路面亀裂
		縦排水破損	のり枠内空洞
25-21	縦排水閉塞	法尻はらみだし	
		路面亀裂	
N025F071	法尻排水路閉塞	変状なし	
	24号	K024F0009	縦排水破損
排水溝ズレ			路面亀裂
24-3		排水溝破損	擁壁変状



写真 5.3.1 縦排水の閉塞



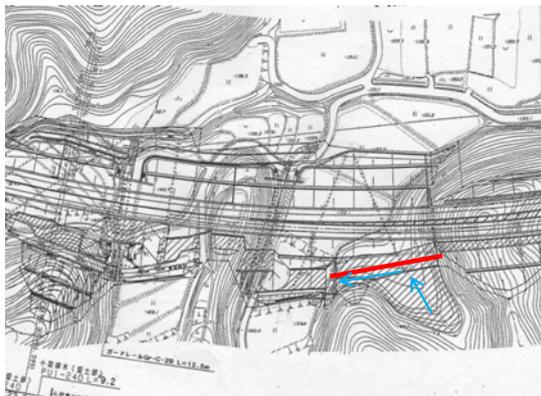
写真 5.3.4 法枠下空洞

法面排水の不具合と盛土変状は密接な関係

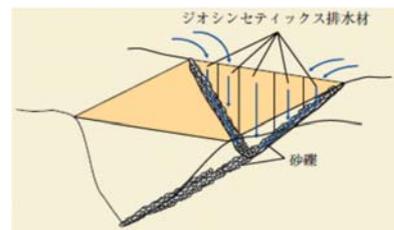
平成26年度の研究計画

☆地下排水施設の機能保持・回復

盛土内地下水排除→盛土内に入れない



横断面【その10】



☆課題

- ・排水材の地山への設置方法
- ・鉛直排水材で集めた水の導水
- ・目詰まりによる排水機能の低下

☆研究

- ・施工法(排水材設置法、導水法)
- ・実サイトでの排水機能長期計測

盛土防水工の既設盛土への適用

■ 平成26年度の研究計画

☆のり面排水施設の機能保持・回復

①調査

- ・排水施設破損原因の調査
- ・閉塞原因の調査
- ・施設の排水機能の調査

②整理、解析、検討

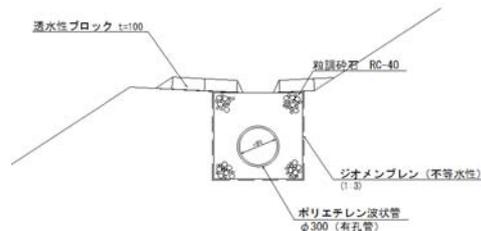
- ・盛土変形、盛土土質、構造、設置状況
- ・植生、形状、配置、接続方法、閉塞が起きやすい箇所
- ・流下能力と流入量の整合性

③対策検討

- ・柔構造への変更、構造、素材
- ・閉塞しにくい構造の検討
- ・維持管理頻度の検討
- ・流下能力向上手法

☆課題

- ・維持管理の容易な構造
- ・既存排水施設の機能保持はメンテを主体が良いか、構造改善が良いのか？
- ・容易なメンテナンス手法の提案
- ・重点監視箇所提案



柔構造排水施設案

進捗状況報告

1. 研究目的
2. 研究内容
3. 研究期間
4. 参加メンバー
5. 具体的な取り組み内容
6. 研究項目
7. 進捗状況

1. 研究目的

橋梁の主構造に期待される寿命に比較して、主構造の耐久性に大きな影響を与える**伸縮装置や排水設備の機能的寿命は著しく短い**のが現状である。供用開始後のこれらの不具合が、主として腐食をはじめ材料劣化という現象により、橋梁の耐久性を損ねていることは、周知の事実であるが、**未だ抜本的な対策が十分ではない**のが実状である。

この現状に、きちんと科学のメスを入れ、橋梁が主構造や床構造などの構造部材、舗装や地覆などの道路構造、さらに伸縮装置や排水設備などの、寿命や機能の異なるパーツから構成される橋梁システムと考えて、**システム全体で健全性を一定レベルに維持することを目指す視点**から、**橋梁の耐久性向上に資する排水構造と排水設備に関する技術開発**に取り組む。

2. 研究内容

上述した背景と研究目的から、次のような内容を提供できる研究を目指したい。

- a) 滞水や漏水のない排水構造と排水設備の維持・更新戦略
- b) 排水設備の機能的長寿命化に資する排水構造と架設精度
- c) 橋梁の耐久性向上に資する定期点検手法
- d) 既設橋梁の耐久性向上に資する改善手法

本研究では、モデル橋梁を選定する実際的な研究課題であることから、主として架設数の多い桁橋を対象としている。しかし、床版上の雨水の排水が大きな課題となることから、桁橋に限らず他の橋梁形式においても、研究成果の適用が可能になると考えている。

3. 研究期間

平成25年度から平成27年度まで。

3. 研究期間

・昨年度(平成25年度)の活動

- | | |
|---|--------|
| 1) 研究方法の検討と利用できるデータの把握
武庫大橋(10/29)、温泉大橋(11/27) | 10月～ |
| 2) 研究計画の方針と進め方の検討
実施可能な研究計画、進め方と具体的構成メンバーの検討 | 12月18日 |
| 3) 研究計画ならびに進め方の決定
WG構成による具体的な進め方の決定と全体会議の準備 | 12月27日 |
| 4) 第1回準備会議
全体会議の資料確認 | 1月16日 |
| 5) 第1回全体会議
具体的な研究計画と方針、進め方の説明、WG構成と役割分担 | 1月17日 |
| 6) 第1回幹事会
利用可能なデータの周知と、持ち寄りデータの確認 | 1月29日 |
| 7) 現場見学会
大和川大橋(国道26号)、山田橋(国道2号) | 3月11日 |

・昨年度(平成25年度)の活動

- | | |
|---|-------|
| 8) 第2回幹事会
今年度のまとめについて討議 | 3月13日 |
| 9) 伸縮装置メーカー工場見学
中外道路(株)豊中配送センター、サクラ産業(株) | 3月14日 |
| 10) 報告書提出原稿最終打ち合わせ
提出原稿の最終確認 | 3月20日 |

・今年度(平成26年度)の活動

- | | |
|--|-------|
| 1) 第1回代表幹事会
昨年度の総括と今年度の研究計画 | 4月11日 |
| 2) 第2回全体会議
昨年度の成果報告と今年度の取り組み内容と役割分担 | 4月23日 |
| 3) 第2回代表幹事会
今年度の後半の取り組み内容と全体スケジュール | 5月 8日 |
| 4) 第3回全体会議
各WGの取り組み内容の報告と課題についての討議 | 6月18日 |

4. 参加メンバー

橋梁全般にわたって、対象が多岐にわたることから、出来るだけ**多様な分野の技術者**の参画を促し、次のようなメンバーで構成している。

- ・橋梁の維持管理に実績ならびに意欲のある若い**学識経験者**
- ・橋梁の維持管理を担当する**国交省**近畿地方整備局のベテランならびに若手技術者
- ・**日本橋梁建設協会(橋建協)**、**プレストレスト・コンクリート建設業協会(PC建協)**ならびに**橋梁メーカー**の技術者
- ・**近畿建設コンサルタンツ協会**ならびに**建設コンサルタント**の技術者
- ・**建材メーカー**団体ならびに**建材メーカー**の技術者
- ・**橋梁付帯設備**や**素材メーカー**の技術者

5. 具体的な取り組み内容

主として、橋梁において、

イ) 水を溜めない構造

ロ) 水を通さない構造

ハ) 水による材料劣化を抑制する構造

ニ) 排水設備の維持管理し易い構造

という4つの視点から、技術開発研究に取り組む。

これらの4つの視点毎に、構造の役割ならびに既往構造の欠陥と改良点について議論し、改良方法について検討を進める。

該当する構造としては、次のようなものが挙げられる。

・橋面勾配、橋面防水工、橋面排水構造、舗装内雨水の排水構造

・地覆、壁高欄等の強制目地

・伸縮継手、支承

・桁端、鉄筋

これらの構造について、腐食や材料劣化の抑制と機能の持続性を念頭に置き、維持管理がより容易となるような技術開発に取り組む。

6. 研究項目

長期安定な金属組織を有する鋼ならびに精選された材料によりきちんと養生されたコンクリートは、劣化が促進される環境でなければ長期の耐久性が確保できることは、劣化環境が厳しくない橋梁において実証されている。

本研究では、このことを踏まえて、排水機能を長期間制御して、耐久性を実現できるように、次の研究項目に取り組む。

A) 地覆、壁高欄等の強制目地、ひび割れ内に浸透、流れる雨水の止水、排水の対策に資する技術開発

B) A)に基づき、橋面勾配、橋面防水工、橋面排水構造、舗装内雨水の排水構造の技術開発

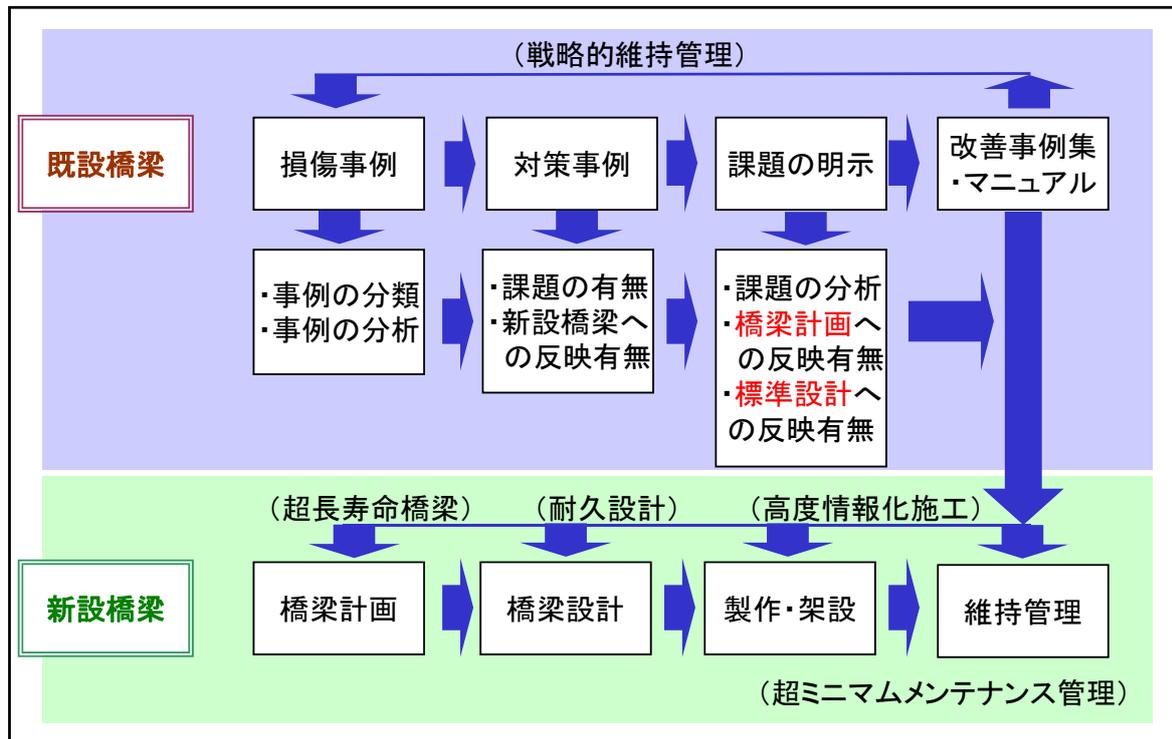
C) 劣化し易い構造をもち、止水材の劣化が顕著な伸縮継手構造の技術開発

D) 伸縮継手全面での滞水、漏水対策の技術開発

E) 支承回りの滞水、支承の腐食の抑制技術開発

F) 桁端の部材のかぶり損傷、鉄筋の腐食、鋼桁の腐食の抑制技術開発

研究内容と目指す方向



7. 進捗状況

7.1 昨年度(平成25年度)

(1) 概要

図-1に示すスケジュールにおいて、今年度は、

1) 腐食による**損傷データの収集と現場の把握**

に努めた。研究会メンバーで認識を共有するために、大和川大橋(国道26号)と、山田橋(国道2号)の調査を兼ねた現地見学を行った。それ以降の調査項目である、

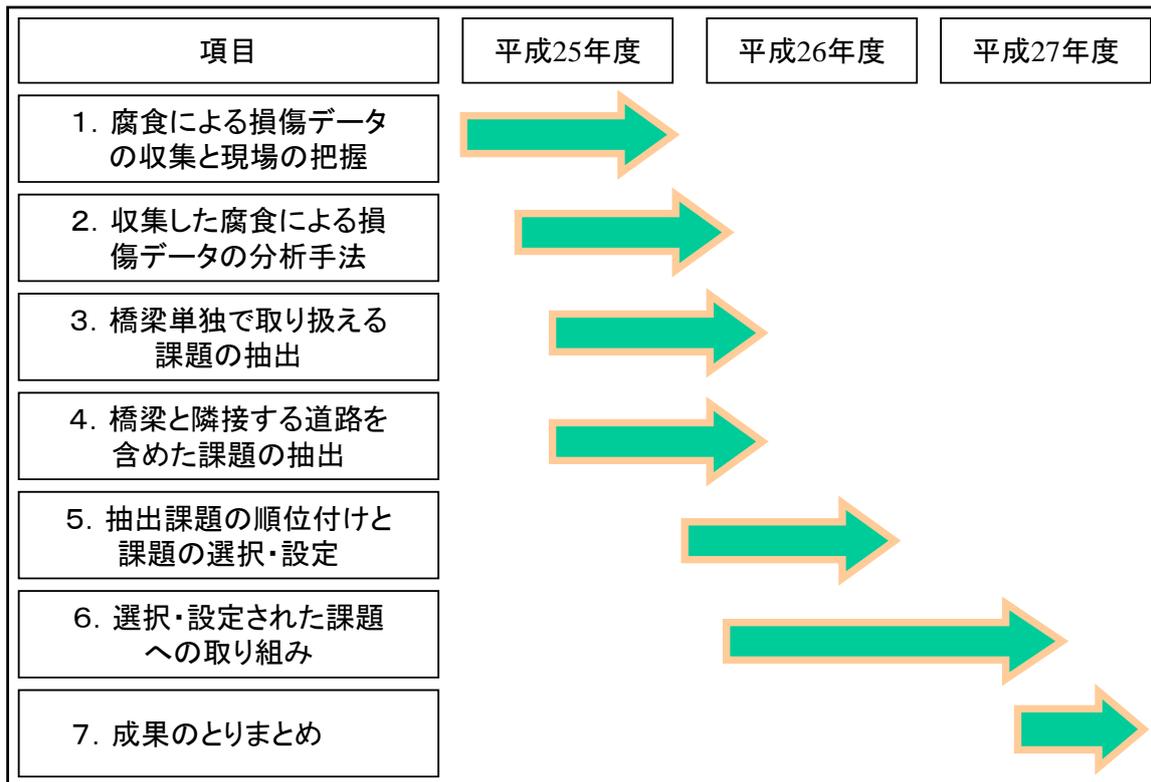
2) 収集した腐食による**損傷データの分析手法**

3) **橋梁単独**で取り扱える**課題の抽出**

については、1)と並行して開始した。また、

4) **橋梁と隣接**する道路を含めた**課題の抽出**

については、項目だしを行った。



図－1 調査項目と予定スケジュール

(2) 詳細報告

構成メンバーは別表の通りである。今年度は、課題抽出のための情報収集を中心とすることから、構造対象別に、次の3WG構成として、主として桁橋を中心に活動を進めた。

- 1) 鋼橋WG
- 2) コンクリート橋WG
- 3) 排水構造WG(伸縮装置を含む)

また、すべてをWGによる現地調査に基づくことは研究期間を考えると不可能であることから、主として次のデータを持ち寄り、分析を進めた。

- a) 近畿地整管内の3,884橋のうち、点検調書がある約3,500橋
- b) 参加メンバーが所属する各業界団体等で蓄積された提供可能なデータ
- c) これまでに公表された学術研究データ

・参照データ

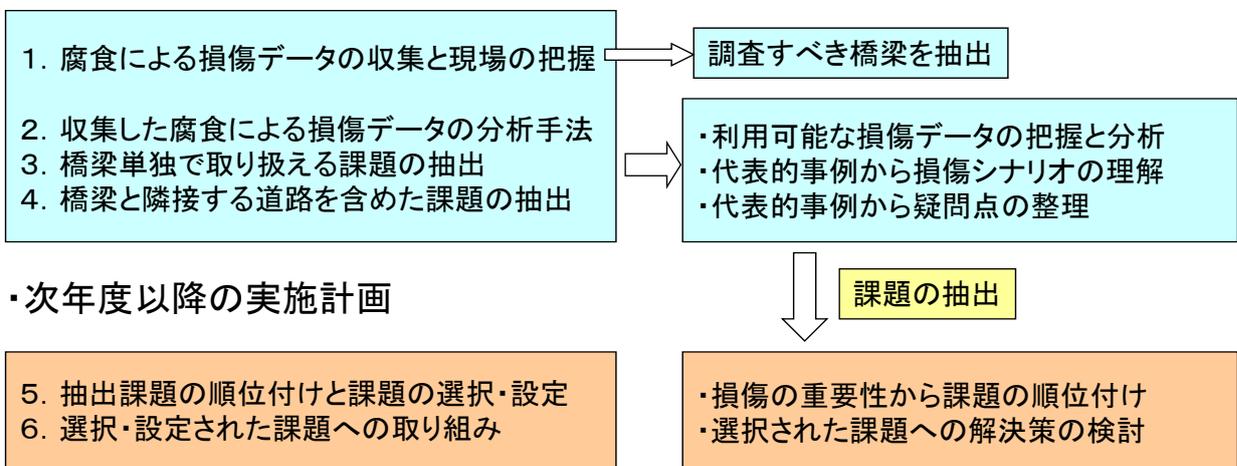
- a) 近畿地整管内の3,884橋のうち、点検調書がある約3,500橋
- b) 参加メンバーが所属する各業界団体等で蓄積された提供可能なデータ
- c) これまでに公表された学術研究データ

・その他のデータ

- d) 国土技術政策研究所資料
道路橋の定期点検に関する参考資料 ー 橋梁損傷事例写真集
- e) 耐候性鋼橋に関する調査研究データ
主として、2000年以降の調査データ

(3) 次年度に向けて

・今年度の成果参照データ



7. 成果のとりまとめ

7. 2 今年度(平成26年度)

(1) 概要

昨年度の調査に基づき、次のように取り組むことにする。

- ・前半:モデル橋梁の抽出
- ・後半:腐食損傷の優先課題と解決策の検討

(2) 前半の取り組み内容

鋼橋、コンクリート橋、排水3WGにより、次の点を明らかとする。

- 1)腐食損傷事例のうち、すでに現在の対応技術で改善しているもの。
すなわち、解決策が新設橋に適用済みで、既設橋に問題が生じていないもの。課題は、既設橋の改修方法となる。
- 2)腐食損傷事例のうち、すでに現在の対応技術で改善しているものの、既設橋での評価が未確定のもの。
課題は、類似の橋梁の損傷事例の有無となる。
- 3)腐食損傷事例のうち、未解決であるが、橋梁構造や伸縮装置、排水装置など、総合的な取り組みで改善が可能と判断されるもの。
各WGで損傷原因の提案が可能である。

- 4)腐食損傷事例のうち、未解決であり、改善方法の検討が十分になされていないもの。解決策の議論の対象となる。

- 5)上述の調査に基づきモデル橋梁を抽出する。

(3) 後半の取り組み内容

前半の取り組み結果に基づき、次の事柄に取り組む。

- 1)抽出したモデル橋梁に基づき、損傷原因の確認ならびに究明。
- 2)解決策の検討。新設橋には標準設計への反映、既設橋には改修方法の検討。

4. 次年度以降

- 1)試験施工の検討
- 2)排水に関する技術標準の検討

参考資料

■研究の目的又は背景

橋梁の主構造に期待される寿命に比較して、主構造の耐久性に大きな影響を与える伸縮装置や排水設備の機能的寿命は著しく短いのが現状である。供用開始後のこれらの不具合が、主として腐食をはじめ材料劣化という現象により、橋梁の耐久性を損ねていることは、周知の事実であるが、未だ抜本的な対策が十分ではないのが実状である。

この現状に、きちんと科学のメスを入れ、橋梁が主構造や床構造などの構造部材、舗装や地覆などの道路構造、さらに伸縮装置や排水設備などの、寿命や機能の異なるパーツから構成される橋梁システムと考えると、システム全体で健全性を一定レベルに維持することを目指す視点から、橋梁の耐久性向上に資する排水構造と排水設備に関する技術開発に取り組む。

■研究の内容

上述した背景と研究目的から、次のような内容を提供できる研究を目指したい。

- a) 滞水や漏水のない排水構造と排水設備の維持・更新戦略
- b) 排水設備の機能的長寿命化に資する排水構造と架設精度
- c) 橋梁の耐久性向上に資する定期点検手法
- d) 既設橋梁の耐久性向上に資する改善手法

本研究では、モデル橋梁を選定する実的な研究課題であることから、主として架設数の多い桁橋を対象としている。しかし、床版上の雨水の排水が大きな課題となることから、桁橋に限らず他の橋梁形式においても、研究成果の適用が可能になると考えている。

■研究期間

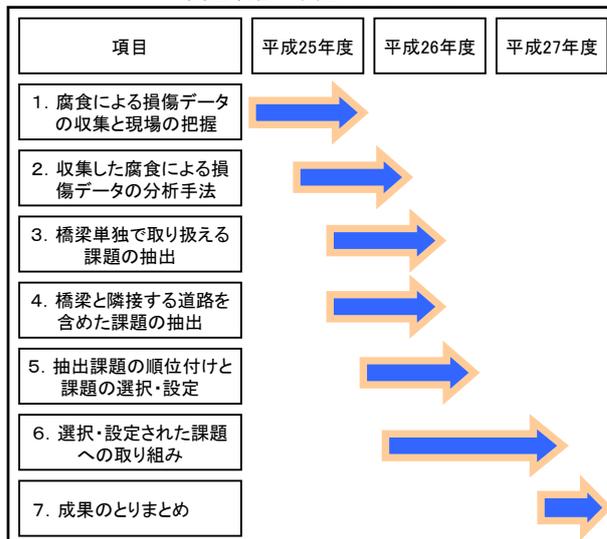
平成25年度～平成27年度

■参加予定メンバー(体制)

橋梁全般にわたって、対象が多岐にわたることから、出来るだけ多様な分野の技術者の参画を促し、次のようなメンバーで構成する。

- ・ 橋梁の維持管理に実績ならびに意欲のある若い学識経験者
- ・ 橋梁の維持管理を担当する国交省近畿地方整備局のベテランならびに若手技術者
- ・ 日本橋梁建設協会ならびに橋梁メーカーの技術者
- ・ 近畿建設コンサルタンツ協会ならびに建設コンサルタンの技術者
- ・ 建材メーカー団体ならびに建材メーカーの技術者
- ・ 橋梁付帯設備や素材メーカーの技術者

調査項目と予定スケジュール



～新都市社会技術融合創造研究会～
橋梁の耐久性向上に資する排水構造と排水設備に関する技術開発研究

■具体的な取り組み内容 主として、橋梁において、

- イ) 水を溜めない構造
- ロ) 水を通さない構造
- ハ) 水による材料劣化を抑制する構造
- ニ) 排水設備の維持管理し易い構造

という4つの視点から、技術開発研究に取り組む。これらの4つの視点毎に、構造の役割ならびに既往構造の欠陥と改良点について議論し、改良方法について検討を進める。

該当する構造としては、次のようなものが挙げられる。

- ・橋面勾配、橋面防水工、橋面排水構造、舗装内雨水の排水構造
- ・地覆、壁高覧等の強制目地
- ・伸縮継手、支承
- ・桁端、鉄筋

これらの構造について、腐食や材料劣化の抑制と機能の持続性を念頭に置き、維持管理がより容易となるような技術開発に取り組む。

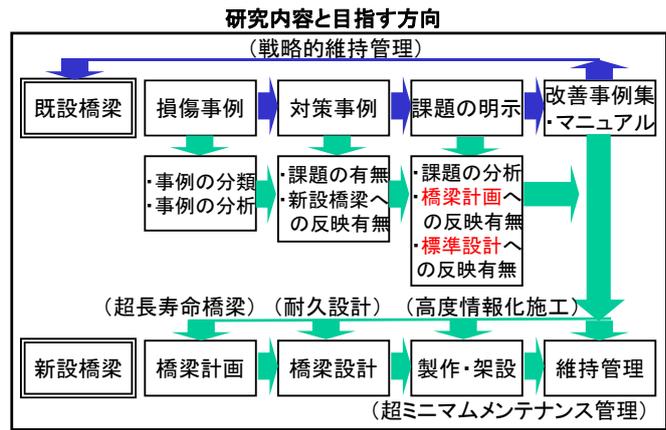
■研究項目 長期安定な金属組織を有する鋼ならびに精選された材料によりきちんと養生されたコンクリートは、劣化が促進される環境でなければ長期の耐久性が確保できることは、劣化環境が厳しくない橋梁において実証されている。本研究では、このことを踏まえて、排水機能を長期間制御して、耐久性を実現できるように、次の研究項目に取り組む。

- A) 地覆、壁高覧等の強制目地、ひび割れ内に浸透、流れる雨水の止水、排水の対策に資する技術開発
- B) A)に基づき、橋面勾配、橋面防水工、橋面排水構造、舗装内雨水の排水構造の技術開発
- C) 劣化し易い構造をもち、止水材の劣化が顕著な伸縮継手構造の技術開発
- D) 伸縮継手全面での滞水、漏水対策の技術開発
- E) 支承回りの滞水、支承の腐食の抑制技術開発
- F) 桁端の部材のかぶり損傷、鉄筋の腐食、鋼桁の腐食の抑制技術開発

G) 伸縮継手、支承、桁端の維持管理のし易い構造の技術開発

■実施計画 上述した7つの研究項目を、4つの視点で整理分析し、提供しようとする4つの内容にまとめることを目標とするため、橋梁をシステムとして全体を把握することが重要である。すなわち、橋梁全体の健全性を担保するために、個々の構造について考えるというスタンスから、対象を限定した研究項目毎のWGメンバーが共通の問題意識を共有することが必要である。このことから、次のような7つの過程で技術開発を進めることにする。

- あ) 腐食による損傷データの収集と現場の把握
- い) 収集した腐食による損傷データの分析手法
- う) 橋梁単独で取り扱える課題の抽出
- え) 橋梁と隣接する道路を含めた課題の抽出
- お) 抽出課題の順位付けと課題の選択・設定
- か) 選択・設定された課題への取り組み
- き) 成果のとりまとめ



■研究の背景と目的

疲労亀裂対策は発見された亀裂の状況に応じて講じられることから、**疲労亀裂に対しては全数調査が原則**である。しかしながら、調査箇所数が膨大な場合には全数調査に時間がかかることから、現実的には何らかの方法で**優先順位付け**を行い、**効率化**をはかる必要がある。

本研究では、荷重条件や各部位の応力の状況、FCM等の部材の種類、構造詳細、材料特性等に注目して**優先順位付け**を行い、**効率化**をはかるとともに、同時に**高い信頼性**も確保できるような**疲労亀裂調査方法**を提案し、さらに**予防保全も含めた補修方法**も提案する。

■研究の内容

1. **疲労亀裂調査手法の現状把握と課題抽出**
対象橋梁に対して**現地調査**を行い、疲労亀裂等に関して**現状**を把握し**課題**を抽出する。
2. **疲労亀裂調査のスクリーニング方法の検討**
荷重条件や各部位の応力状況、FCM等の部材の種類や構造詳細、材料特性等に注目し、解析や実験により、調査個所の**優先順位付け**を行う。また、提案する優先順位付けの**妥当性**を実橋での亀裂調査や応力計測等によって**検証**する。
3. **疲労亀裂調査後の補修方法の検討**
亀裂発見後の**応急対策と恒久対策**、亀裂発生が予想される部位に対する**予防保全**等を含めた補修方法を解析や実験を行って検討する。また、提案する補修方法の**妥当性**を実橋での応力計測等により**検証**する。
4. **効率的な疲労亀裂調査方法等の取りまとめ**
上記の検討結果を取りまとめ、**効率的で信頼性の高い疲労亀裂調査方法と補修方法**を提案する。

鋼橋の疲労亀裂調査の効率化に関する研究

■研究期間:平成25年度～平成27年度

年 度	研 究 内 容
平成25年度	○ 疲労亀裂調査手法の現状把握と課題抽出 ：対象橋梁に対して 現地調査 を行い、疲労亀裂等に関して現状を把握し課題を抽出する。 ○ 疲労亀裂調査のスクリーニング方法の検討 ：荷重条件や各部位の応力状況、FCM等の部材の種類や構造詳細、材料特性等に注目し、 解析や実験 により調査個所の優先順位付けを行う。
平成26年度	○ 疲労亀裂調査のスクリーニング方法の検証 ：提案する優先順位付けの妥当性を 解析や実験、実橋での亀裂調査や応力計測等 によって検証する。 ○ 疲労亀裂調査後の補修方法の検討 ：亀裂発見後の 応急対策と恒久対策 、亀裂発生が予想される部位に対する 予防保全対策 等を含めた補修方法を 解析や実験 により検討する。
平成27年度	○ 疲労亀裂調査後の補修方法の検証 ：提案する補修方法の妥当性を 解析や疲労実験、実橋での応力計測等 によって検証する。 ○ 効率的な疲労亀裂調査方法等の取りまとめ ：上記の 検討結果を取りまとめ 、 効率的で信頼性の高い疲労亀裂調査方法と予防保全も含めた補修方法 を提案する。

■参加予定メンバー(体制)

産： 橋梁調査会、日本非破壊検査工業会、建設コンサルタンツ協会、日本橋梁建設協会、
阪神高速道路、本州四国連絡高速道路、西日本高速道路

学： 関西大学、京都大学

平成25年度の活動状況

- 準備会：7月12日；研究計画について
- 第1回研究会：8月12日；各フィールドの紹介
- 第2回研究会：10月3日；調査方法の提案、事例紹介
- 第1回フィールドワーク：11月19日；現地視察
- 第1回幹事会：12月6日；調査方法の詳細検討
- 第2回フィールドワーク：1月22日；現地調査
- 第2回幹事会：2月20日；調査結果の検討
- 第3回研究会：4月18日；25年度の研究成果
- 第4回研究会：6月27日；26年度の研究計画

平成25年度の研究計画

下記の内、③の橋梁を研究対象とした

- ①淀川大橋(単純鋼トラス橋6連、単純鋼非合成鈹桁橋24連、1926年供用開始、88歳)
 - ・トラス橋横桁端部の予防保全
 - ・鋼桁部の調査
- ②木津川大橋(3径間連続鋼合成鈹桁橋3連、1966年供用、48歳)
 - ・塗膜割れ(約1000か所)
- ③姫路大橋(単純鋼合成鈹桁橋6連、1972年竣工、42歳)
 - ・塗膜割れ(約4000か所)

研究の進捗状況(1)

- ①非破壊検査手法のレビューを行って
今回適用な可能な手法を絞り込み、
現地での疲労亀裂調査方法を決定した。
- ②現地調査を行って、
10パターンの塗膜割れに対して、
優先度の高い2パターンを選定した。

研究の進捗状況(2)

- ③渦流探傷法(ET)で亀裂調査を行い、後に実施した磁粉探傷法(MT)の結果と比較して
的中率や見逃し率、空振り率について
詳細に検討した。
- ④ETとMTの実際の作業日数から、
ETでスクリーニングを行った場合の作業日数の
短縮化について検討した。

研究の進捗状況(3)

- ⑤ 疲労実験を行い、横桁貫通構造の疲労挙動について詳細に検討し、他の亀裂パターンとの違いを明らかにした。

- ⑥ 拡張有限要素法 (XFEM) による亀裂進展シミュレーションを行い、疲労亀裂の進展挙動や進展寿命が予測可能であることを示した。

スリット付き横桁下フランジ貫通構造の疲労挙動

関西大学 学生会員 ○吉田 直人, 正会員 坂野 昌弘
 日本橋梁建設協会 正会員 小西 日出幸, 姫路河川国道事務所 非会員 藤井 隆

1. はじめに

名阪国道山添橋では主桁ウェブの横桁下フランジ貫通部から長さ 1m のき裂が発生した¹⁾。このき裂は主桁を破断させる恐れのある極めて危険なき裂である。このタイプの貫通構造を有する道路橋は国内に相当数存在すると考えられることから、これらの疲労強度特性を把握することは火急の課題である。

しかしながら、横桁下フランジ貫通構造の疲労実験例は非常に少ない^{2),3)}。そこで、本研究では主桁ウェブのスリット付き横桁下フランジ貫通構造を有する桁試験体の疲労実験を行い、それらの疲労挙動を明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法

(1) 試験体の設計・製作

図 1 に試験体の形状・寸法とひずみゲージ貼付位置を示す。主桁ウェブ中央下フランジ側にスリットを有し、スリットの上部に横桁下フランジがすみ肉溶接で取り付けられている。鋼材は全て SM490YA を用いた。溶接方法はウェブとフランジ間はサブマージアーク溶接、それ以外は CO₂ 溶接である。

(2) 静的荷重試験

貫通部周辺の応力性状を把握することを目的として、両端支持の中央 1 点荷重で静的荷重試験を行った。横桁下フランジ貫通部の応力集中の影響

を避けるため、横桁下フランジ縁端から水平方向に 100mm 離れたウェブの表裏両面に 3 軸ひずみゲージを貼付した。また、上フランジ上面と下フランジ下面にも、ウェブの 3 軸ゲージ貼付位置と同じ断面に 1 軸ひずみゲージを 3 枚ずつ（フランジ幅方向の中央と両縁端から 10mm の位置に）それぞれ貼付した。下フランジの最大引張応力が 50MPa 程度となるように、荷重荷重は 100kN に設定した。

(3) 疲労実験

疲労実験は静的荷重試験と同様に両端支持の中央 1 点荷重で行った。荷重繰返し速度は 6Hz とした。荷重の大きさは $P_{max}=300kN$, $P_{min}=200kN$ とし、 $\Delta P=100kN$ とした。2 箇所試験部の一方のき裂が進展した場合、ストップホールと HTB 締付によるき裂進展防止対策を行い、疲労試験を続行した。き裂の検出は渦流探傷法と磁粉探傷法を用い、横桁下フランジ両縁の回し溶接部 4 箇所に対して行った。

3. 実験結果

(1) 静的荷重試験結果

図 2 に静的荷重試験の結果を示す。計算値については横桁下フランジや補剛材を無視し、一様断面の I 型ばりと仮定して曲げモーメントとせん断力から求めた。疲労き裂の発生進展に対して影響の大きい最大主応力範囲 $\Delta \sigma_1$ を比較すると、

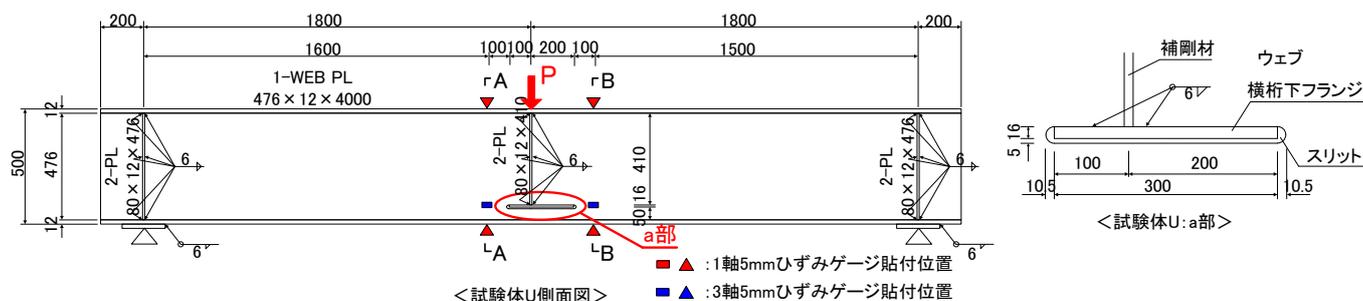


図-1 試験体の形状・寸法とひずみゲージ貼付位置

キーワード：スリット付き横桁下フランジ貫通構造, 疲労実験, 疲労き裂発生進展挙動, 疲労寿命
 連絡先：〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35 鋼構造デザイン研究室 Tel：06-6368-1111 (内線 6506)

最大で 8%程度の差はあるもののゲージ位置ではほとんど梁理論通りの主応力が生じていることが確認できた。

(2) 疲労実験結果

図 3 に载荷回数とき裂長さの関係を示す。载荷回数 20 万回の時点で、横桁下フランジ縁のすみ肉回し溶接止端部に沿って長さ 8mm 程度のき裂が検出された。その後、しばらくき裂長さに変化がなかったが、载荷回数 80 万回時点で A 断面表と裏、120 万回時点で B 断面表、230 万回時点で B 断面裏においてき裂がウェブへ進展しているのが確認できた。その後き裂は最大主応力方向とほぼ垂直にウェブを斜め上に進展した。また、载荷回数 250 万回時点で A 断面のき裂の進展を止める為 (写真-1)、ストップホールと HTB による締付けを行った。なお、A 断面のき裂が進展するにつれて荷重伝達が途切れるため、B 断面のき裂の進展が遅くなっている。

図 4 に最大主応力範囲で整理した S-N 関係と設計曲線⁴⁾を示す。試験体の疲労寿命は、疲労き裂発見寿命 N_d で評価すると H'等級の 1/4~1/6, ウェブへのき裂進展寿命 N_w で評価すると H'等級以下, き裂長さ 30mm の時の繰返し回数で定義した破断寿命 N_{30} で評価すると H'等級となる。

4. おわりに

(1) 疲労き裂は横桁下フランジ縁端部のウェブ側溶接止端に沿って発生し、最大主応力方向とほぼ垂直にウェブを斜め上に進展した。

(2) 試験体の疲労寿命は、疲労き裂発見寿命 N_d で評価すると H'等級をはるかに満たさず、ウェブへのき裂進展寿命 N_w で評価すると H'等級以下, 破断寿命 N_{30} で評価すると H'等級となる。

参考文献

1) 奈良国道ホームページ

<http://www.kkr.mlit.go.jp/nara/>

2) 坂野, 三上, 村山, 森脇: フランジ貫通型鉄道橋床組連結部の疲労強度, 構造工学論文集, Vol.41A, pp.965-973, 1995.3.

3) 坂野, 宝角, 下良, 三上: 主桁-横桁接合部ウェブガセット溶接継手の長期疲労強度, 鋼構造論文

集, 第 5 巻第 18 号, pp.31-40, 1998.6.

4) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 (I 共通編・II 鋼橋編), 2012.3.

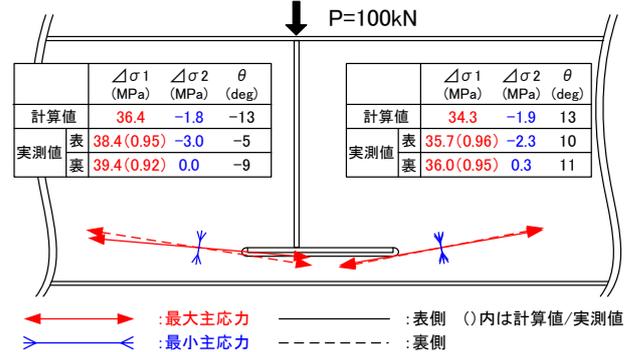


図-2 横桁貫通部付近の主応力図

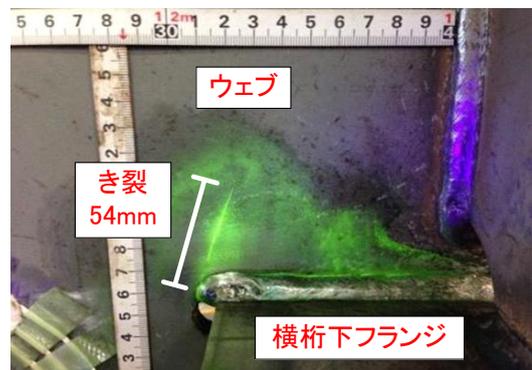


写真-1 A断面表側き裂進展状況 (250万回)

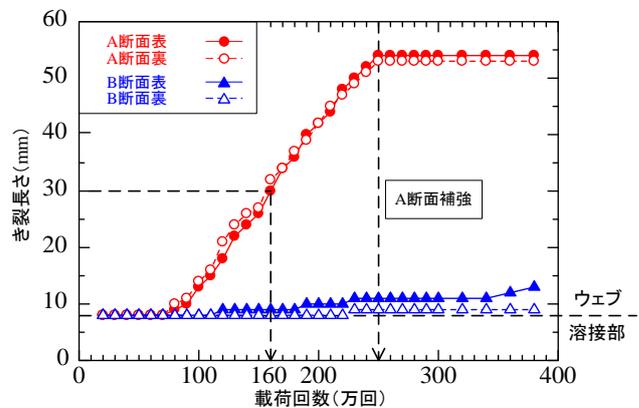


図-3 载荷回数とき裂長さの関係

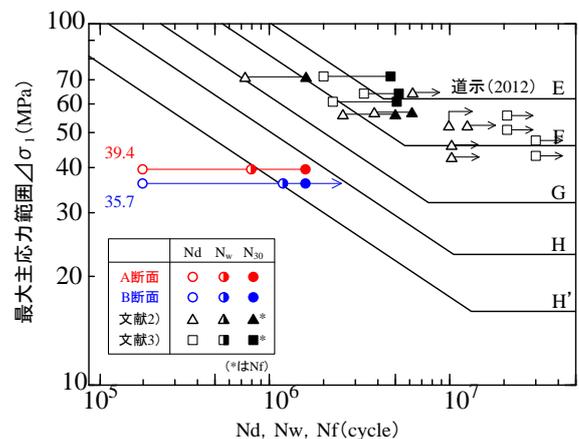


図-4 最大主応力範囲で整理した S-N 線図

渦流探傷試験を用いた鋼橋の疲労き裂調査の効率化に関する検討

日本非破壊検査工業会 正会員 ○ Luiza H. Ichinose
 近畿地方整備局 非会員 水江 正弘
 関西大学 正会員 坂野 昌弘

1. 概要

近年、鋼橋の疲労損傷が多数報告されており、その数は年々増加傾向にある¹⁾。発見された疲労き裂の状況に応じて適切な対策を実施するためには、き裂の疑いがある全個所でのき裂調査が必要となる。調査個所数が膨大な場合には全数調査に時間がかかるため、き裂調査に対して効率化が求められている。

本稿では、国土交通省近畿地方整備局に設置された「新都市社会技術融合創造研究会」の新規プロジェクトとして立ち上げられた「鋼橋の疲労亀裂調査の効率化 PJ」の一環として、渦流探傷試験と磁粉探傷試験を実施し、それらの結果を比較して、効率化に関する検討を行った。

2. 対象橋梁

フィールドワークの対象橋梁として、1972年に竣工された単純鋼合成鈹桁橋（支間：6@41.2m，幅員：18.8m）の第6径間を選定した。平成22年度のセンサスで、1日の交通量が約12万台（大型車両混入率=21.2%）であった。対象橋梁では、目視点検の結果、約4000個所の塗膜割れが検出された。本調査では、検出された損傷パターン①および⑩（図1）に着目し、渦流探傷試験を実施した。

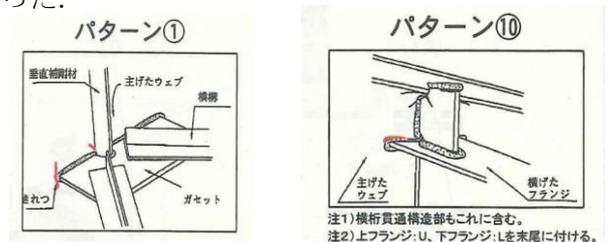


図1-調査対象の損傷パターン

3. 調査の流れ

調査は、図2の流れに従い、実施した。渦流探傷試験は、定期点検で塗膜割れが検出された個所の中で磁粉探傷試験未実施の個所（211個所）、および塗膜割れが検出されなかった個所（18個所）の合計229個所に対して実施した。渦流探傷試験は、検査個所の塗膜を除去せず、携帯式渦流探傷装置を用いて実施した。渦流探傷試験結果の検証にはその後実施された磁粉探傷試験の結果を用い、両者の比較を行った。

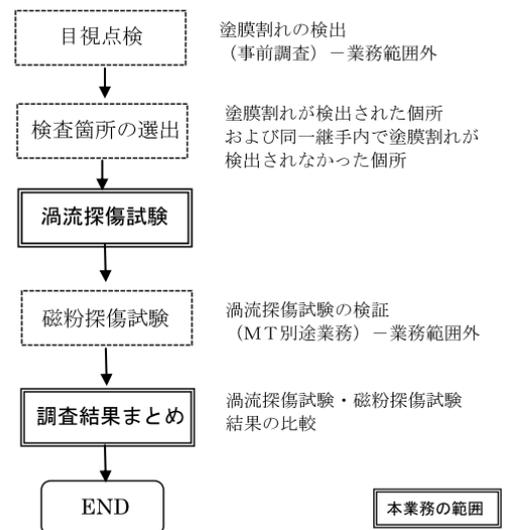


図2-調査の流れ

4. 渦流探傷試験および磁粉探傷試験結果

4.1 渦流探傷試験結果

渦流探傷試験は、前述のように磁粉探傷試験未実施の個所（合計229個所）に対して実施した。渦流探傷試験結果の総括を表1に示す。

表1-渦流探傷試験結果

損傷パターン	渦流探傷試験 (ET) (個所数)		
	き裂の疑いの反応有り	き裂の疑いの反応無し	合計
上下線合計			
パターン①	11 (14%)	69 (86%)	80 (100%)
パターン⑩	30 (20%)	119 (80%)	149 (100%)
合計	41 (18%)	188 (82%)	229 (100%)

4. 2 磁粉探傷試験結果

渦流探傷試験の検証には、別途調査で実施された磁粉探傷試験の結果を用いた。磁粉探傷試験は渦流探傷試験を実施した全箇所に対して実施された。その結果を表2に示す。

表2—磁粉探傷試験結果

損傷パターン		磁粉探傷試験(MT) (箇所数)		
		き裂有り	き裂無し	合計
上下線合計	パターン①	8 (10%)	72 (90%)	80 (100%)
	パターン⑩	15 (10%)	132 (90%)	147 (100%)
合計		23 (10%)	204 (90%)	227 (100%)

4. 3 渦流探傷試験および磁粉探傷試験結果の比較

渦流探傷試験と磁粉探傷試験結果の比較を表3に表す。

表3—渦流探傷試験 x 磁粉探傷試験の比較

まず、調査箇所全数の189箇所で見ると、MTとETの評価結果が一致した箇所は、有7箇所と無143箇所の合計150箇所での中率は79.4%、MTで有なのにETで無とした(見逃し)箇所は5箇所なので見逃し率は2.6%、逆にMTで無なのにETで有とした(空振り)箇所は34箇所で見逃し率は18.0%となる。

		ET調査結果					
		有	(%)	無	(%)	合計	(%)
M T 調 査 結 果	有	7カ所 「一致」	ET有りの 17% MT有りの 58% 全カ所の 4%	5カ所 「見逃し」	ET無しの 3% MT有りの 42% 全カ所の 3%	12カ所	100%
	無	34カ所 「空振り」	ET有りの 83% 全カ所の 18%	143カ所 「一致」	ET無しの 97% 全カ所の 76%	177カ所	
	合計	41カ所	100%	148カ所	100%	189カ所	100%

次に、MTで亀裂有と判定された12箇所で見ると、ETでも有りと判定された箇所は7箇所なので的中率は58%、ETで無と判定された箇所は5箇所なので見逃し率は42%となる。

また、ETで亀裂有と判定された41箇所について見ると、MTでも有は7箇所だから的中率は17%で、MTで無は34箇所なので空振り率は83%となる。一方、ETで亀裂無と判定された148箇所で見ると、MTでも無は143箇所だから的中率は96.6%で、MTで有は5箇所だから見逃し率は3.4%となる。

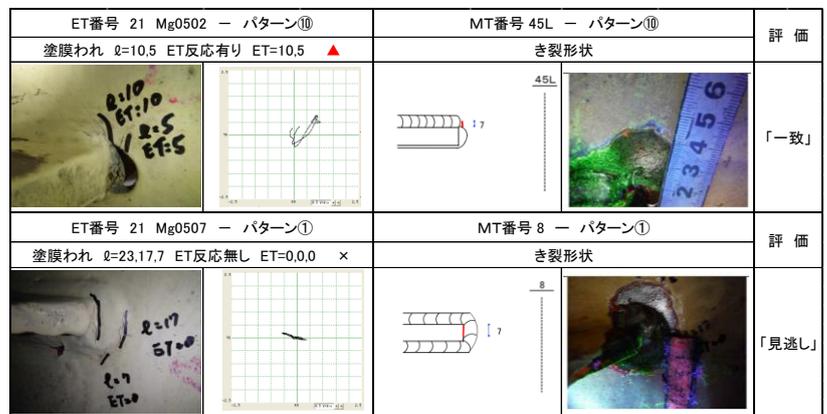


図3—渦流探傷試験 x 磁粉探傷試験「一致」・「見逃し」の一例

図3に的中したき裂と見逃したき裂の例を示す。き裂の大半は回し溶接部に位置し、そのき裂長は「的中」の場合、L=3mm~10mm、「見逃し」の場合がL=5mm~10mmであった。

5. まとめ

ここで、MTの前にETでスクリーニングを行う場合を想定すると、189箇所の内148箇所(78%)は亀裂無なので、亀裂有と判定した残りの41箇所(22%)についてMTを行えば良いことになり、MTの実施箇所数を1/5に減らすこともできそうであるが、その場合、148箇所のうちの5箇所(3.4%)の亀裂は見逃してしまうことになる。3%という数字は小さいように思えるが、亀裂の数12箇所で見ると4割(半分近く)を見逃してしまうことになるので、この数字が大きい小さいかは、亀裂の危険度(発生位置や進展性)を考慮して判断すべきと考える。

作業日数を比較する(ET=延べ6日;MT=延べ11日)と、作業効率の観点からは、塗膜を除去せず、塗膜上から実施可能な渦流探傷試験の方が、塗膜の除去・復旧が必要となる磁粉探傷試験に比べて作業工程の短縮化が期待できる。

参考文献

1)国土交通省道路局国道・防災課監修,鋼橋疲労対策技術検討会編:実務者のための鋼橋疲労対策資料,2012.3

環境に配慮した歩道舗装に関する 研究プロジェクト（H25-27年度）

共同代表 山田 優（大阪市立大学名誉教授）
佐野正典（近畿大学）

研究の目的

歩道等の舗装に適用可能な種々の工法・材料について、
環境に係る性能および強度・耐久性の評価方法を検討し、
適用場所の条件に応じた必要性能案を作成する。

参加メンバー

学 山田優（大阪市大名誉教授）、佐野正典、東山浩士（近畿大学）
産 大林道路(株)、奥村組土木興業(株)、鹿島道路(株)、大成ロテック(株)、
東亜道路工業(株)、(株)NIPPO、住友大阪セメント(株)
鉄鋼スラグ協会、(株)地球環境技術研究所、
官 近畿地方整備局道路部、近畿技術事務所
オブザーバ 大阪府、兵庫県、大阪市

1

研究内容とスケジュール

項目	内容	H25 年度	H26 年度	H27 年度
現状の 調査・分析	・これまで実施あるいは提案されている歩道舗装 の調査	—		
	・それらの特徴を検討し、適用条件別に分類	—		
室内試験	・検討対象とする工法・材料を抽出	—		
	・試験施工に採用した工法・材料の室内試験		—	
試験施工	・構内における小規模な試験施工	—		
	・国道等の歩道における試験施工		—	
試験結果 の分析	・室内性能評価試験および小規模試験施工の結果 の分析		—	
	・適用条件別、必要性能案の検討		—	—
	・試験施工ならびに室内試験結果の分析		—	—
報告書の 作成	・歩道舗装の分類、必要性能(評価指標と基準値) の提案			—
	・研究成果の取りまとめ、報告			—

すでに多くの工法・材料が開発され、施工事例がある。
 開発中のものも含め、それらを分類・整理すると、
 以下のとおり：

施工事例（工法・材料）の整理結果

バインダーの種類と使用法		主骨材	砕石・砂利	土 (まさ土等)	木質 (チップ等)	
アスファルト系	加熱混合		○		○	
	常温混合		○			
樹脂系	現場締固め		○	○		
	既製ブロック				○	
セメント系	コンクリート	版	○			
		ブロック	○			
	安定処理	現場締固め			○	
		既製ブロック			○	
石灰・石膏系（現場締固め）				○		

3

H25年度、それらの一部について、小規模試験施工を実施

小規模試験施工前の状況

近畿技術事務所構内

『小規模試験施工予定地』



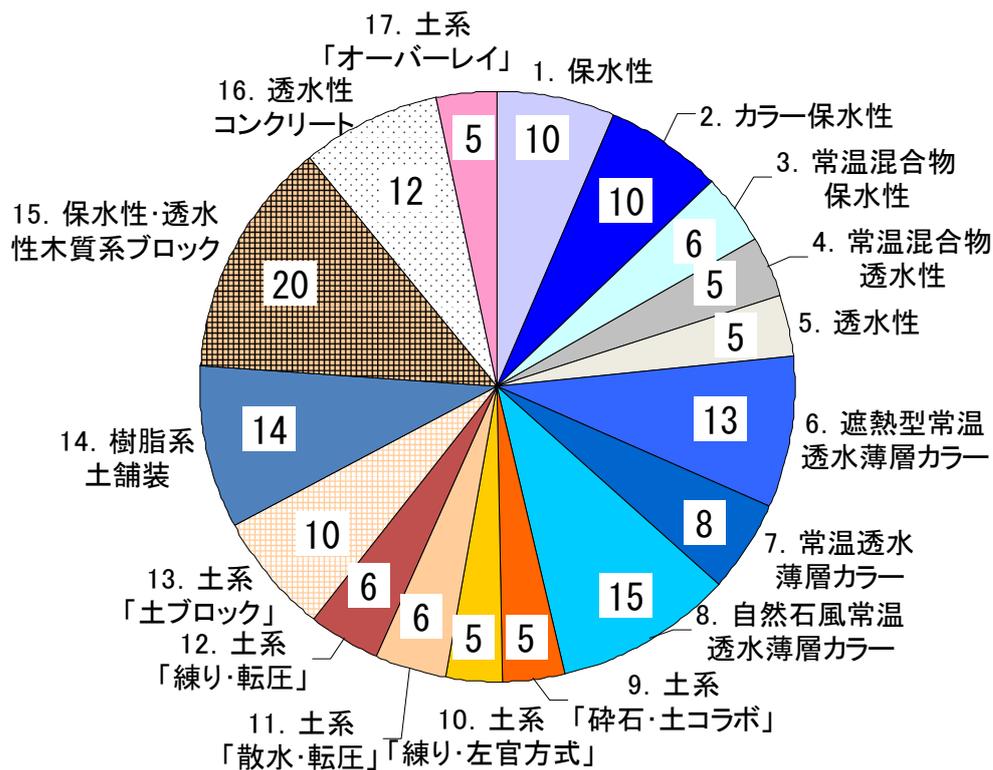
小規模試験施工予定

小規模試験施工（H25. 11. 5-14）後の全景 （計17種類x約2～3mx2m＝約90m²）

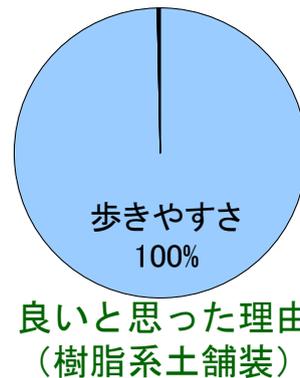
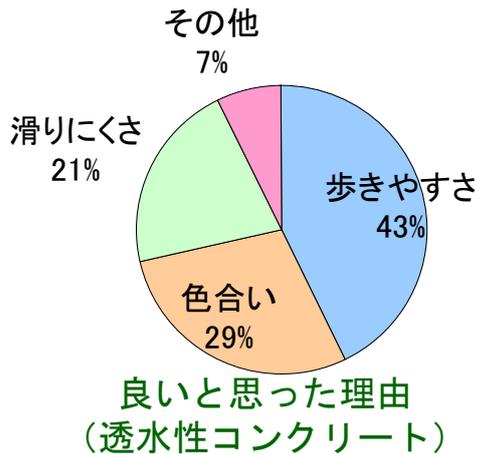
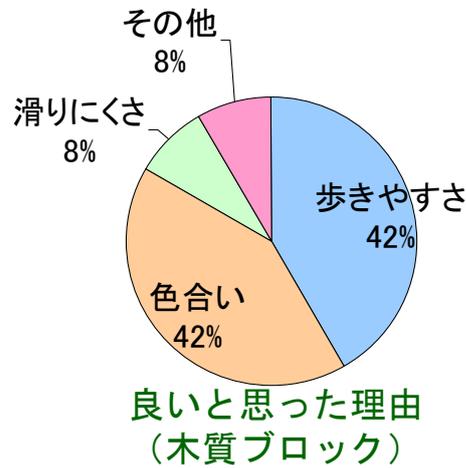
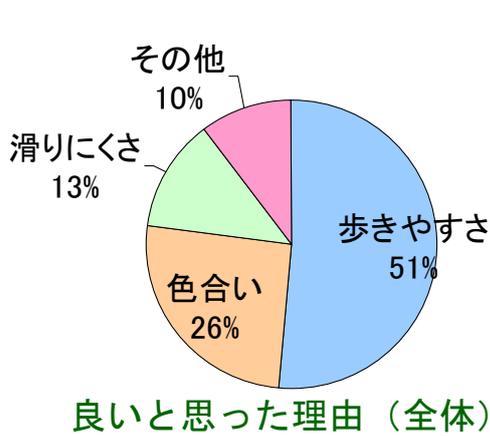


5

ふれあい土木展でのアンケート結果 「良いと思った舗装」得票数（投票総数：155）



6



7

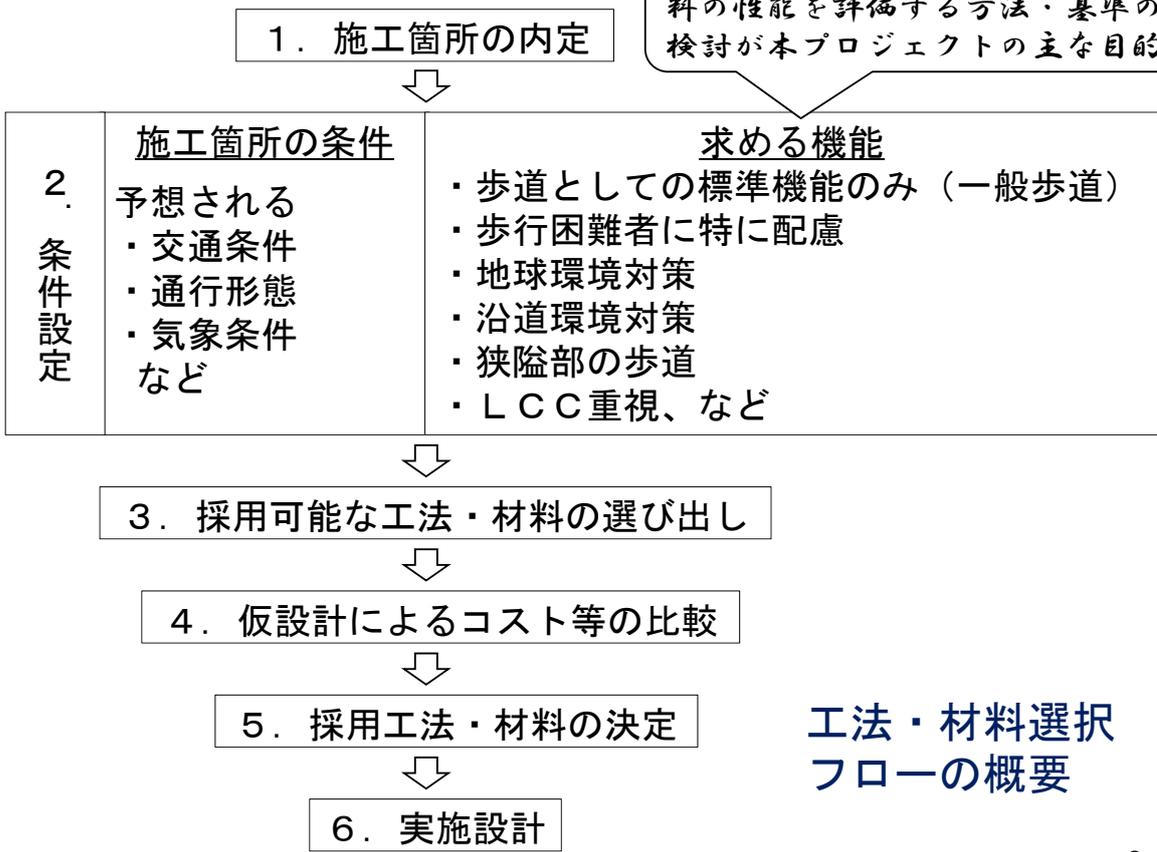
環境歩道舗装の機能・性能・評価指標例 (現段階でのまとめ)

歩道の機能		舗装の性能・特徴 (評価指標例)
歩道として必要な機能	歩行の安全性 (歩道として必須)	平坦(段差量)、すべらない(すべり抵抗)、水たまり無し(浸透水量、路面排水性)、凍らない(凍結しやすさ)*
	強度・耐久性 (必須となる安全性の持続)	すり減り抵抗(すり減り量)、泥濘化抵抗(水中強度)、ひび割れ抵抗(強度、下面支持力)、凍結融解抵抗(損失量)*
環境の保全・改善に有効な機能	歩行の快適性	衝撃吸収・弾力性(反発係数)、温度上昇緩和(路面温度)、防塵(遊離微粉量)、美観・景観調和(色彩、テクスチャ、模様)、耐候性(変色、色むら速さ)
	その他、沿道・地域環境への影響・効果	地下水涵養・雨水流出抑制(浸透水量)、車両の騒音・排気の吸収(吸収量)、緑化(緑化率)
その他、管理者として必要な機能	日常監理のしやすさ	清掃(ごみ、土砂の蓄積量)、雑草対策(雑草生育量)、部分補修(補修材料の調達可能性)、埋設物工事(部分掘削の容易性)
	施工性	材料調達・地産・リサイクル材活用(市場性、品質安定、価格)、品質管理(基準の存在)、通行規制(規制時間)、使用機械(規模、人力可否)、施工時環境(騒音・振動、臭い)

* 寒冷地でのみ、適用

8

これらの機能をもたらす工法・材料の性能を評価する方法・基準の検討が本プロジェクトの主な目的



歩道舗装の性能と求められる機能例

歩道の機能	歩道として必要		環境保全改善				管理者として必要																					
	安全性		強度		快適性	沿道環境		日常管理			施工性																	
舗装の性能・特徴	平坦 (段差小)	すべらない	水たまり無し	凍らない	すり減り抵抗性	泥濘化抵抗性	ひび割れ抵抗性	凍結融解抵抗性	衝撃吸収・弾力性	温度上昇緩和	防塵	美観・景観との調和	耐候性	地下水涵養	雨水流出抑制	車の騒音・排気の吸収	緑化	清掃がしやすい	雑草対策がしやすい	部分補修がしやすい	埋設物工事しやすい	材料調達が容易	地産・リサイクル活用	品質管理が容易	通行規制(規制時間等)	使用機械(調達容易)	施工時環境(臭い等)	
求められる機能例	一般歩道	○	○	○	○	○	○	○										○	○	○		○	○	○				
	歩行困難者	○	○	○	○	○	○	○	○	○						○												
	地球環境対策	○	○	○	○	○	○	○			○			○	○								○					
	沿道環境対策	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						○	○
	狭隘部歩道	○	○	○	○	○	○	○											○	○							○	○
	LCC重視	○	○	○	○	○	○	○					○						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

上記、○印ごとに性能評価の指標・基準を検討