

新都市社会技術融合創造研究会
各プロジェクトの活動報告等

1. 各プロジェクト参画一覧・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P.2

2. 各プロジェクトの活動報告
 - 舗装用骨材資源の有効利用に関する研究・・・・・・・・ P.4

 - アンカー工設置のり面の健全性評価に関する研究・・・・・・・・ P.5

 - 物理探査の連続計測による斜面地盤の工学的評価手法に関する研究・・・・ P.7

 - 橋梁の延命化シナリオ策定の実践・検証に関する研究・・・・・・・・ P.8

 - 排水、透水性舗装の沿道環境機能改善に関する研究・・・・・・・・ P.12
(都市環境改善舗装の普及に向けた維持管理手法に関する研究)

 - 走行型計測技術による道路トンネル健全性評価の実用化検討に関する研究・・ P.15

 - 高齢化を迎えた長大橋梁の診断と長寿命化に関する研究・・・・・・・・ P.18

 - ナノセンサデバイスを活用した道路管理手法に関する研究・・・・・・・・ P.20

 - ゲリラ豪雨時における道路斜面安定性評価に関する研究・・・・・・・・ P.21

 - 道路付帯施設・情報管理施設のアセットマネジメントに関する研究・・・・ P.32

 - 橋梁細部における海塩粒子の付着量推定と腐食劣化予測手法の開発に関する研究
・・・・・・・・ P.35

 - アーチカルバートを連続的に含む景観性に優れた盛土構造の
耐震性能評価と災害復旧に関する研究・・・・・・・・ P.36

プロジェクトチーム	研究期間	学	産	官 (整備局除く)	備考
1 排水、透水性舗装の沿道環境機能改善に関する研究 (都市環境改善舗装の普及に向けた維持管理手法に関する研究)	H22～ H24	・京都大学 大西有三 副学長 ・京都大学大学院工学研究科 西山哲准教授 ・京都大学大学院工学研究科 技術専門員 矢野隆夫	・大林道路(株)大阪支店 ・(株)NIPPO関西支店 ・(社)近畿建設協会 ・大成ロテック(株) ・東証道路工業(株) ・奥村組土木興業(株) ・昭和瀝青工業(株) ・(社)セメント協会	・近畿技術事務所 ・大阪国道事務所 ・京都国道事務所	
2 高齢化を迎えた長大橋梁の診断と長寿命化に関する研究	H22～ H24	・関西大学環境都市工学部 坂野昌弘教授 ・京都大学大学院工学研究科 宇都宮智昭准教授	・(社)日本橋梁建設協会 ・片山ストラテック(株) ・(財)海洋架橋・橋梁調査会近畿支部 ・阪神高速道路(株) ・(株)エイト日本後術開発 ・協和設計(株) ・中央復建コンサルタンツ(株)	・近畿技術事務所 ・大阪国道事務所	
3 ナノセンサーデバイスを活用した道路管理手法の研究	H22～ H24	・京都大学大学院 工学研究科 西山哲准教授 ・京都大学大学院工学研究科 宇都宮智昭准教授	・(株)地層科学研究所 ・(株)可視化ビジョン ・サンコーコンサルタント(株) ・ワイマテック(株) ・(株)熊谷組 ・日本綜合建設(株) 松本支店 ・明治コンサルタント(株)	・紀南河川国道事務所	
4 ゲリラ豪雨時における道路斜面安定性評価に関する研究	H22～ H24	・京都大学大学院 工学研究科 小山倫史助教 ・立命館大学 酒匂一成 准教授 ・名古屋工業大学 菊本統 助教 ・大阪大学 小田和広 准教授	・(株)建設技術研究所	・福知山河川国道事務所	
5 橋梁細部における海塩粒子の付着量推定と腐食劣化予測手法の開発に関する研究	H22～ H24	・京都大学大学院 工学研究科 白土博通教授 ・京都大学大学院工学研究科 八木知己准教授 ・京都大学工学研究科 山本貴士准教授 ・京都大学工学研究科 服部 洋助教	・(株)IHIインフラシステム ・(株)大林組 ・三井造船(株)	・紀南河川国道事務所	
6 走行型計測技術による道路トンネル健全性評価の実用化検討に関する研究	H22～ H24	・京都大学大学院 工学研究科 大西有三 副学長 西山哲准教授 小山倫史助教 ・金沢工業大学 環境土木工学科 木村定雄教授	・(株)ニュージェック ・パンフィックコンサルタンツ(株) ・NTTインフラネット(株)関西支店 ・(株)アーステック東洋 ・三菱電機(株) ・(株)ウエスコ ・綜合計測(株) ・計測検査(株) ・関西工事測量(株) ・(株)鴻池組 ・中電技術コンサルタント(株)	・福井河川国道事務所	
7 アーチカルバートを連続的に含む景観性に優れた盛土構造の耐震性能評価と災害復旧に関する研究	H22～ H24	・京都大学大学院 工学研究科 岸田潔准教授 川崎雅史教授 山本貴士准教授 ・京都大学産官学連携本部 木村亮教授 ・大阪工業大学工学部都市デザイン工学科	・ジオスター(株) ・日本ヒューム(株) ・日本コンクリート工業(株) ・日本ゼニスパイプ(株) ・(株)地域地盤環境研究所 ・ヒロセ(株) ・JFE商事テールワン(株)	・滋賀国道事務所	
8 道路付帯施設・情報管理施設のASETマネジメントに関する研究	H22～ H24	・京都大学経営管理大学院 ・大阪大学大学院工学研究科	・大林道路(株)技術研究所	・滋賀国道事務所	
9 橋梁の延命化シナリオ策定の実践・検証に関する研究	H22～ H24	京都大学 杉浦邦征教授 京都大学 河野広隆教授 京都大学 服部篤史准教授 京都大学 塩谷智基准教授 京都大学 山本貴士准教授 京都大学 大島義信准教授	・(株)ソーキ、(財)道路保全技術センター、(財)先端建設技術センター、阪神高速(株)、(株)エイト日本技術開発、(株)オリエンタルコンサルタンツ、鹿島建設(株)、橋梁技術塾、極東興和(株)、清水建設(株)、(株)修成建設コンサルタント、中央復建コンサルタンツ、(株)ニュージェック、パンフィックコンサルタンツ(株)、(株)宮地鐵工所、八千代エンジニアリング(株)、(株)国際建設技術研究所、(株)IHIインフラシステム、(株)安部日鋼工業、オリエンタル白石(株)、(株)計測リサーチコンサルタント、(株)鴻池組、駒井鉄工(株)、昭和コンクリート工業(株)、(株)東京測器研究所、(株)ピーエス三菱、ピーシー橋梁(株)、日立造船(株)、三井住友建設(株)、大鉄工業(株)、青木あすなろ建設(株)、(株)大林組、鹿島建設(株)、川田工業(株)、極東興和(株)、(株)鴻池組、大成建設(株)、東急建設(株)、飛鳥建設(株)、(株)ハルテック、三菱重工鉄工エンジニアリング(株)、NTTインフラネット(株)、佐藤工業(株)、(有)さくら情報ネット	・近畿技術事務所 ・姫路河川国道事務所	

※赤字は第17回委員会(平成22年7月)以降に追加。

「舗装用骨材資源の有効利用に関する研究」プロジェクト活動報告

1. 研究期間

平成 20 年 4 月～平成 23 年 3 月（終了）

2. 研究の背景と目的

コンクリートだけでなく舗装にも大量の骨材を必要とする。しかし、2007 年以降、輸入砂が入手できなくなり、従来から天然砂不足の近畿では、九州産の海砂と砕砂などの人工砂に頼らざるを得なくなった。その九州産海砂も採取規制が強化される可能性が高い。そこで、近畿に存在する種々の骨材資源の活用を検討し、舗装用骨材の安定供給・品質管理策を提案するため、本研究を実施した。

3. 研究の内容と結果

近畿における天然砂不足を補う方策は、

- 1) リサイクルの増進
- 2) 砕砂の使用
- 3) 副産物の活用

であると考え、各種骨材資源の舗装への適用性について室内試験と現場試験施工により検討を進めた。

その結果、

- ・リサイクルについて心配されている排水性舗装等からの発生材は、細骨材も含め、骨材としての再利用が可能であり、アスファルト混合物のリサイクルを今後も進めていくことができる。

- ・細骨材として種々の副産物を利用することができる。近畿地方における供給可能量は、現状の天然砂使用量に匹敵する。

- ・砕砂の増産を促すために、砕石粉の有効利用も可能である。

などを、確認することができた。

ただし、各骨材の供給体制の整備、アスファルト混合物事前審査制度での取り扱い方、骨材および混合物の品質評価方法などに、今後の課題は残る。

4. 研究成果の公表予定

(1) 報告書

研究成果を、全 12 章、A4 版 571 ページの報告書にまとめた。CD での配布を予定している。

(2) 報告会

新都市社会技術セミナーでの報告のほかに、プロジェクトメンバーによる下記の報告会開催を予定している。

日時：平成 23 年 8 月 10 日（水）13：15～17：30

場所：大阪合同庁舎第 1 号館第 1 別館 2 階大会議室

プログラム：別紙のとおり

(3) 学協会での発表

これまでも中間報告として学協会誌や講演会で発表してきたが、最終成果を本年度開催の土木学会年次講演会と日本道路会議に分割して講演を予定している。

舗装用骨材資源の有効利用に関する研究 研究成果報告会のご案内

主 催：新都市社会技術融合創造研究会「舗装用骨材資源の有効利用に関する研究」プロジェクト
(プロジェクトリーダー：大阪市立大学名誉教授 山田 優)

日 時：平成23年8月10日(水) 13:15～17:30

会 場：大阪合同庁舎 第1号館第1別館2階 大会議室
〒540-8586 大阪市中央区大手町1-5-44

定 員：150名

参加費：無料

プログラム：

司 会	(近畿大学理工学部講師 麓 隆行)
13:15～13:20 開会の挨拶	(研究会委員長 京都大学理事 副学長 大西有三)
13:20～13:30 研究プロジェクトの概要	(大阪市立大学名誉教授 山田 優)
13:30～13:50 排水性舗装・各種環境舗装のリサイクルについての検討	(大林道路㈱ 有賀公則)
13:50～14:10 鉄鋼スラグのアスファルト混合物用骨材としての検討	(鉄鋼スラグ協会 浜崎拓司)
14:10～14:30 ごみ熔融スラグのアスファルト混合物用骨材としての検討	(奥村組土木興業㈱ 五反田宏幸)
14:30～14:45 コンクリート再生細骨材のアスファルト混合物用骨材としての検討	(日本道路㈱ 小宮正俊)
14:45～15:10 ダム堆積土砂の舗装用骨材資源としての検討	(大成ロテック㈱ 瀧口 高) (住友大阪セメント㈱ 前田恵佑)
15:10～15:25 (休憩)	
15:25～15:40 砕石粉のアスファルト混合物用フィラーとしての検討	(奥村組土木興業㈱ 五反田宏幸)
15:40～15:55 各種副産物骨材を利用しやすくするための改質アスファルトの検討	(昭和瀝青工業㈱ 児嶋輝栄)
15:55～16:15 コンクリート舗装の普及と再生骨材・砕石粉等の有効利用についての検討	(鹿島道路㈱ 田中耕作)
16:15～16:30 国道28号における試験施工の概要	(大林道路㈱ 有賀公則)
16:30～16:45 国道28号における試験施工追跡調査の概要と結果	(近畿地方整備局 近畿技術事務所 近藤康由)
16:45～17:00 河川堤防における試験施工と追跡調査の概要	(世紀東急工業㈱ 鈴木 徹)
17:00～17:10 研究成果のまとめと今後の課題	(大阪市立大学名誉教授 山田 優)
17:10～17:25 質疑応答	
17:25～17:30 閉会の挨拶	(研究会副委員長 近畿地方整備局 道路部長 茅野牧夫)

※プログラムの内容は一部変更する場合がございます。当日の資料配付は行いませんので、
下記 URL よりダウンロードのうえ資料をご持参下さい。(資料は7月20日以降、順次掲載いたします)

<http://www.kkr.mlit.go.jp/road/shintoshikenkyukai/project15.html>

※本報告会は、CPDS(施工管理技士会)の認定プログラムとなる予定です。(申請中)

申込方法：参加の申込は、会社名・所属、申込代表者、所属、連絡先、および参加者氏名(フリガナ)等を明記のうえ、
下記の E-mail アドレスまたは FAX へお申込み下さい。奮ってご参加下さいますようお願い申し上げます。
(申込書ファイルは上記 URL からダウンロードできます)

申 込 先：大林道路株式会社 有賀 E-mail: kiminori-ariga@obayashi-road.co.jp FAX: 06-6360-7120

申込期限：平成23年8月1日(月) 17:00(定員になり次第締め切らせていただきます)

案内地図：



地下鉄谷町線天満橋駅3番出口より徒歩2分
(合同庁舎第1号館横をまわり第1別館2階へお越し下さい)

アンカー工設置のり面健全性評価に関する研究

■研究概要

切土のり面の安定化工法としてアンカー工が導入されから50年近く経過し、アンカーの腐食や法面の劣化等の問題が発生している。

本調査により、アンカー工設置法面の健全性の評価手法の確立に向けて検討し、適切な法面の維持管理を行うことを目的とする。

■研究の内容

- ①アンカー工設置法面の課題を明らかにし、適切な法面点検手法の検討を実施
- ②法面の変状や既設アンカーの緊張力を簡便にモニタリングする手法の開発
- ③上記の成果を活用したアンカー工設置法面の健全性評価

■H20年度研究の成果

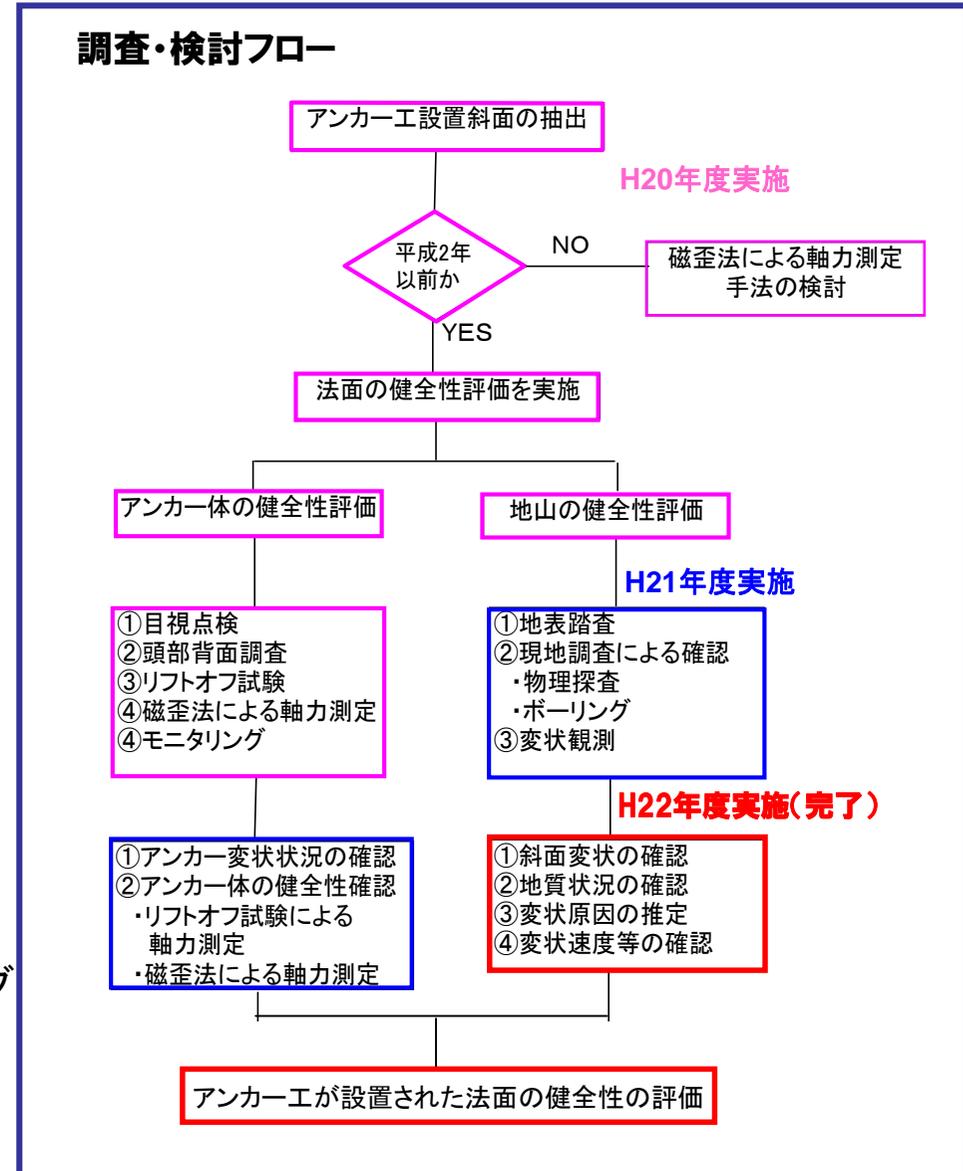
○アンカー工設置法面の健全性評価指標の抽出

■H21年度研究の成果

○アンカーの引き抜き試験、既設アンカーのモニタリング手法および結果の検討および地山からの検討

■H22年度研究の成果

○アンカー工と地山から見たアンカー工設置法面の健全性評価検討



アンカー工設置のり面健全性評価に関する研究

■研究会の成果

①アンカー工設置法面の課題の抽出とアンカー工設置法面点検の手引きの作成

近畿地整内におけるアンカー設置法面の実態調査は、施工記録がほとんど残されていないため、29号、9号で調査して施工現場を抽出した。調査の結果、平成2年2月に「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」が発刊される以前のアンカー(「旧タイプアンカー」)は、アンカーが引き抜ける現象などが見られ、旧タイプアンカーにおいて問題点が明らかとなった。また、のり面の健全性は、アンカーの点検のみならず、のり面の点検が重要で、両者の状況から総合的に判断する必要がある事が判明し、それぞれの点検の手引きを作成した。これに基づいて、3段階で判定し、変状が認められると判定された場合は、リフトオフ試験や詳細調査を実施して健全性を評価し、その評価に応じた対策を実施する。

②既設アンカーの緊張力を簡便にモニタリングする手法の開発

磁歪法を用いて簡易にアンカー軸力を測定する手法は、初期残留応力の大きさとばらつきや、荷重増分に対する電圧変動感度などを把握した上で、リフトオフ試験と効果的に併用して使用すれば、実用的な測定手法である事がわかった。
また、アンカーの軸力を経時的に測定できるセンサーの実証実験を行って、実用性を確認した。

③上記の成果を活用したアンカー工設置法面の健全性評価指標

○アンカー荷重低下の問題

再緊張を行うことで機能を回復できるかどうかの判断を必要とする。

○アンカー荷重増大の問題

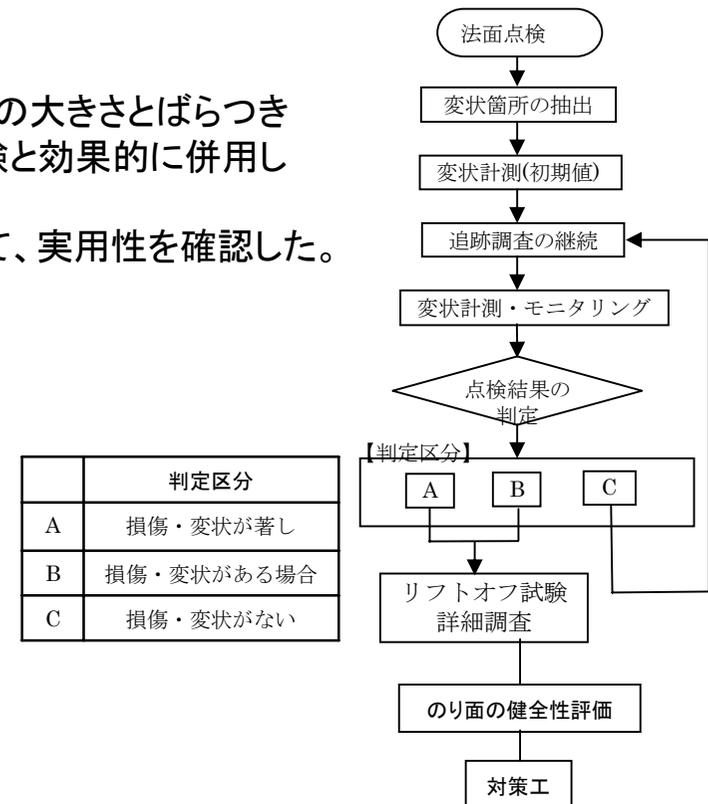
荷重増大の根本原因を特定するための、地山調査を必要とする。また、荷重が許容の範囲(極限引張り力の60%or降伏荷重の75%以下)以上の場合は、重大な問題がある。

○アンカーが破断している場合

原因を調査し、すぐ対策工(補助アンカーの打設等の)を実施する必要がある

○アンカー荷重に変状は無いが支圧構造物、のり面に変状がある場合

早急に、現地調査に伴う変状原因究明が必要



アンカー工設置法面の健全性評価のフローチャート

物理探査の連続計測による斜面地盤工学的評価手法に関する研究

■研究のコンセプト

本研究は、地震、豪雨などに対する斜面防災と斜面健全性の評価および対策斜面の長寿命化に資する研究として実施するものである。さらに、老朽化した道路法面の性能評価として、種々の物理探査法を用いて連続的に計測を行い、斜面の健全性評価法を構築することを目的とする。

そこで、国道9号福知山市三和町大身地先の老朽化した切土法面を試験フィールドとして、各種物理探査と計測機器を活用し、現在では確立されていない斜面崩壊の原因となる地盤劣化等を的確に評価できる工学的手法の確立を目指した研究を実施することにより、研究の目的達成とともに当該法面の防災対策工法の検討に応用するものである。

■研究の概要

主として老朽化した吹付法面の斜面内部の地盤状況を種々の物理探査法を用いて連続的に計測し、計測された物理量もしくは変換解析等によって得られた複数の地盤物性値を用いて斜面内部におけるそれらの時系列解析を行い、斜面の性能特性について検討するとともに、斜面の健全性評価手法を構築する。

■研究の成果

同一地点で種々の物理探査手法を適用することにより、各手法の適用限界や適用条件の知見が得られた。また、夏季と冬季を主に行った年2回の測定により斜面内部の地盤性状の変化について評価することができた。さらに、複数の物理探査結果を用いた工学的評価法の構築を試み、その適用性について検証することができた。

■調査・検討のフロー

物理探査によるモニタリング

- 1) 各種物理探査による定期観測(年2回実施)
 - ① 熱赤外線探査
 - ② 電磁波トモグラフィ・連続波レーダ探査
 - ③ 比抵抗トモグラフィ探査
 - ④ 弾性波トモグラフィ探査
 - ⑤ 表面波探査
 - ⑥ たわみ振動測定・FDEM探査



評価法の検討

- 2) 計測結果の評価手法の検討
(各探査における物理量による評価)



3) 物理探査の工学的評価手法の構築(新しい試みによる評価)

- ① 変換解析による評価
- ② 自己組織化マップ(SOM)による評価



4) 斜面地盤の健全度判定手法の提案

橋梁の延命化シナリオ策定の実践・検証に関する研究

プロジェクトリーダー: 京都大学大学院工学研究科教授 宮川豊章

● 研究の概要

■ 研究の目的

飛躍的に増大する橋梁の高齢化に対応するため、健全性を把握し適切に補修補強を施して橋梁の延命化を図ることが重要である。そこで本研究では、橋梁群の維持管理を一定地域レベルで最適化するために、モニタリングを基にした相対的な健全度評価手法を開発する。また、維持管理の現場に即した実用的な業務支援システムを構築、その運用・普及を進め、効率的で安定した維持管理を果たすことを目的とした。

■ 研究のコンセプト

- ・延命化のための“道しるべ”をつくろう
- ・延命化方策の“シナリオ”をつくろう
- ・丈夫で美しく長持ちする橋梁で、丈夫で美しく長持ちする市民生活を！

■ 研究の課題

- ① 国道2号U橋のモニタリングを継続するとともに、周辺橋梁群の相対的な安全性評価手法を開発すること。汎用化のための手引きを作成すること。
- ② 最適延命化方策選定システムのソフト「橋の匠」を作成すること。
- ③ 維持管理の現場において、ソフト「橋の匠」を実践し、実用的であることの検証を行うとともに、適切な普及活動を行うこと。



●22年度の成果

- モニタリングに基づく橋梁群の健全性評価
- 延命化のためのシナリオの構築
- 調査計測手法の選定システムの作成
- 補修補強工法の選定システムの作成
- 選定システム「橋の匠」の実地検証と普及活動



●23年度の研究内容

- モニタリングに基づく橋梁群の評価手引き作成
- 延命化のためのシナリオの充実
- 調査計測手法選定システムの機能向上
- 補修補強工法選定システムの機能向上
- 選定システム「橋の匠」の実地検証と普及活動
および各種情報のフィードバック



より実用性の高い 最適延命化方策支援システムの構築・運用へ



選択・入力

WG2 調査・計測法選定システム

劣化要因、構造物、劣化度などに合わせて調査法・測定法を合理的に選定



最適調査法

WG3 最適延命化工法選定システム

工法選定のための支援システム
 ・合理的な補修補強工法の選定
 ・工法の特長や適用範囲を明確に判断
 ・新工法・新技術などの積極的利用が可能



最適工法

WG1 シナリオ構築と性能評価

シナリオ策定と構造物の信頼性の定義
 ・それぞれの構造物に応じたシナリオ作り
 ・信頼性の考え方を取り入れて性能を評価
 ・モニタリングの位置づけを明確化

最適延命化方策支援システム

シナリオの構築、構造物の評価、調査法の選定、補修・補強工法の選定までを支援

WG5 工法別追跡調査

コンクリート橋の塩害補修シナリオ構築のための情報

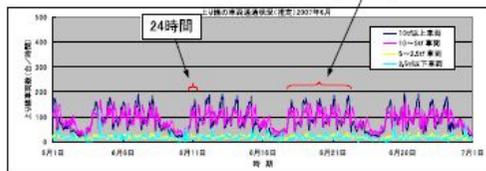
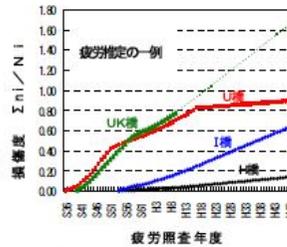


促進試験 (京大)

WG4 鋼橋の軸重モニタリング

RC床版の疲労損傷度推定
 ・B-WIM(軸重推定システム)の実装
 ・交通実態の把握と推定
 ・地域ごとの橋梁群を差別化
 ・損傷の状態と加速度(進行度合い)を算定

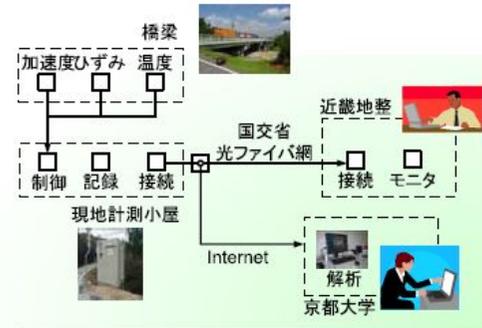
高い再現性を確認
 → 推定値の信頼性向上



1ヶ月の推移

橋梁の順位付け

交通特性把握および橋梁健全性評価のためのモニタリングシステム



都市環境改善舗装の普及に向けた維持管理手法に関する研究

プロジェクトリーダー 大西有三 京都大学副学長

■研究の目的

都市環境改善や走行環境改善に資するため整備促進されてきた環境舗装（排水性舗装、透水性舗装）の効果および機能の整理を行い、効率的な維持管理計画策定のための機能の経時変化と保持機能等の設定評価並びに測定手法等について検討する。

また、当環境舗装は、交差点部等における車両の走行に対して弱く、骨材飛散など起こり易い等の課題があるため交差点部等に適した舗装の工法・材料、施工方法等について検討する。

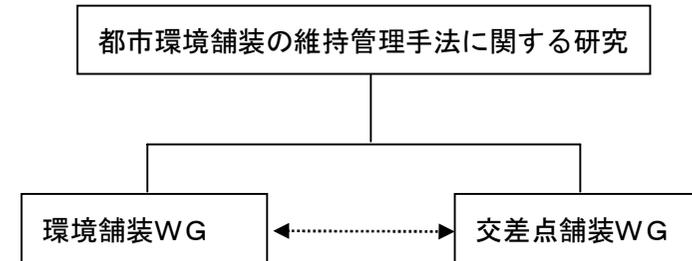
■研究の構成

環境舗装の保持機能及び計測手法研究（環境舗装WG）と交差点部等に適した舗装工法・材料等を調査開発(交差点舗装WG)のWGを設ける。

■研究の内容

『環境舗装WG』

1. 近畿管内路面性状調査資料及び性能評価（路面騒音）実施個所の収集整理
2. 通常舗装と環境舗装の路面性状の経時変化等の分析評価
3. 環境舗装の機能の経時変化の要因分析並びに現状機能の計測
4. 維持管理ノウハウ集とマニュアル整備のための基礎資料の作成
5. 維持管理計画策定のための保持機能及び計測手法の研究
6. 成果の取りまとめ



『環境舗装WG』 項 目	H22	H23	H24
路面性状調査及び性能評価実施箇所の資料収集整理			
通常舗装と環境舗装の路面性状の経時変化と等の分析評価			
環境舗装の機能の経時変化の要因分析並びに現状機能の計測			
維持管理ノウハウ集とマニュアル整備のための基礎資料の作成			
機能保持計画策定のための保持機能及び計測手法の研究			
成果の取り纏め			

『交差点舗装WG』

1. 交差点等で要求される施工条件、舗装性能についての調査
2. 採用可能な舗装工法・材料についての調査研究
3. 舗装工事のための交通規制について調査・研究
4. 試験施工
5. 成果の取りまとめ

■研究期間

平成22年～平成25年3月

■参加予定メンバー

『環境舗装WG』

産 大林道路(株) (社)近畿建設協会 大成ロテック(株) (株)NIPPO

学 京都大学大学院 ジオフロントシステム工学分野

大阪工業大学 工学部

官 近畿地方整備局道路部・京都国道・大阪国道・近畿技術事務所

『交差点舗装WG』

産 大林道路(株) 奥村組土木興業(株) (株)ガイアートT・K 昭和瀝青工業(株)
(社)セメント協会 東亜道路工業(株)

学 都市リサイクル工学研究所

近畿大学

官 近畿地方整備局道路部・兵庫国道・近畿技術事務所

『交差点舗装WG』 項 目	H22	H23	H24
交差点部で要求される施工条件、舗装性能について調査			
採用可能な舗装工法・材料についての調査・研究			
舗装工事のための交通規制についての調査・研究			
試験施工			
成果の取り纏め			

I 平成22年度実施状況

『環境舗装WG』

近畿管内路面性状調査資料、近畿管内における性能評価（路面騒音）実施箇所資料の収集整理並びに、一部区間における通常舗装と環境舗装の発生交通事故の経時変化等の分析整理を実施。

II 平成23年度計画

『環境舗装WG』

平成22年度の一部区間での検討結果を踏まえ更なる資料収集を行い管内の代表箇所を選定し、分析評価を進める。
併せて、データ保管のための路面騒音の測定を行うとともに機能回復車等による機能回復効果等の収集分析を行い今後の方針を設定する。

『交差点舗装WG』

交差点部等で要求される施工条件、舗装性能を分析し、採用可能な舗装工法・材料についての調査・開発並びに、工事施工時の交通規制についての調査・研究を行い試験施工を行う。

走行型計測技術による道路トンネル健全性評価の実用化研究

■背景

現在、道路トンネルの点検は、「道路トンネル定期点検要領」に基づき、覆工の浮き・はく落等の除去（応急対策）を主目的として、近接・遠望目視、打音点検が2～5年ごとに実施されている。点検結果はあくまで応急対策の必要性に主眼を置いた点検結果の評価（A、B、S）であり、点検結果だけで健全性評価（3A、2A、A、B）を行っている訳ではない。

本来であれば、点検結果から標準調査の必要性を判定し、調査を行った上で健全性評価を実施し、必要性に応じて恒久対策を実施する流れとなる。しかし、厳しい予算制約のもと、調査を実施するケースは変状が顕著な場合に限られており、点検には交通規制を伴うことも大きな制約となって、計画的に点検を行うことさえ困難な現状にある。

このような背景を踏まえ、トンネル構造物の適正な維持管理手法の確立を目指し、交通規制を必要としない最新の走行型計測技術を援用して変状箇所を抽出するとともに、低コスト化を図りつつ調査が実施できない場合であっても適正な健全性評価が実施できる新たな枠組み作りが必要である。

■研究目的

トンネル構造物は、周辺が岩盤であり、それ自身（材料）が非常に複雑であることから、損傷原因の特定や、劣化過程の推定には相当の不確実性が伴う。よってトンネル構造物は、適正な維持管理を行うための健全性評価や予測が困難であり、橋梁のように理論式で示される明確な劣化機構を示さないことが多く、ある程度経験的な判断（点検や調査に基づく）により補修の意思決定等がなされているのが現状である。

本研究では、今後の道路トンネル維持管理の実用化に向けて、近畿地方整備局が管理する道路トンネルを対象として、走行型計測技術による道路トンネル健全性評価手法について検討することを目的としている。

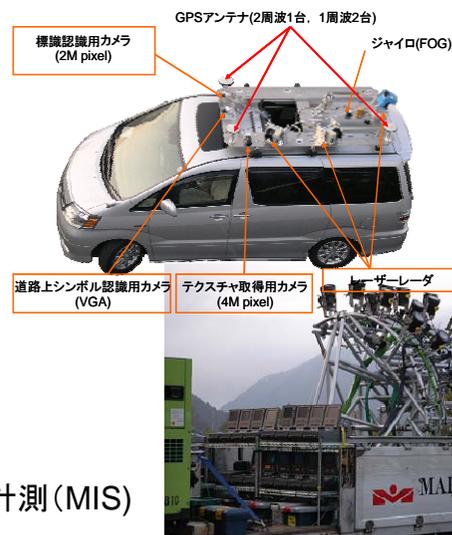
■トンネル走行型計測技術

定期点検状況（近接目視）



走行型画像計測（MIS）

走行型レーザ計測（MMS）



走行型計測車両（MIMM）



走行型計測車両（MIMM）はMISとMMSの機能を1台の車両に搭載したもので、1回の走行で、画像とレーザによる3D計測が同時に行えるものである。

走行型計測技術による道路トンネル健全性評価の実用化研究

■過年度成果

従来の点検・調査に対し、走行型計測技術による新しい健全性評価の提案

第三者影響による変状に対する健全性評価

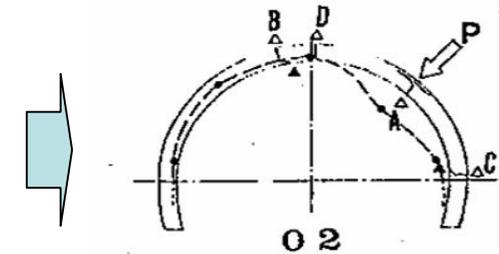
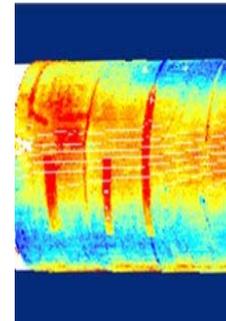
ひび割れの閉合性による評価、ひび割れ密度による評価

構造的な変状に対する健全性評価

覆工変形モードからの評価、ひび割れ形状、進展より評価



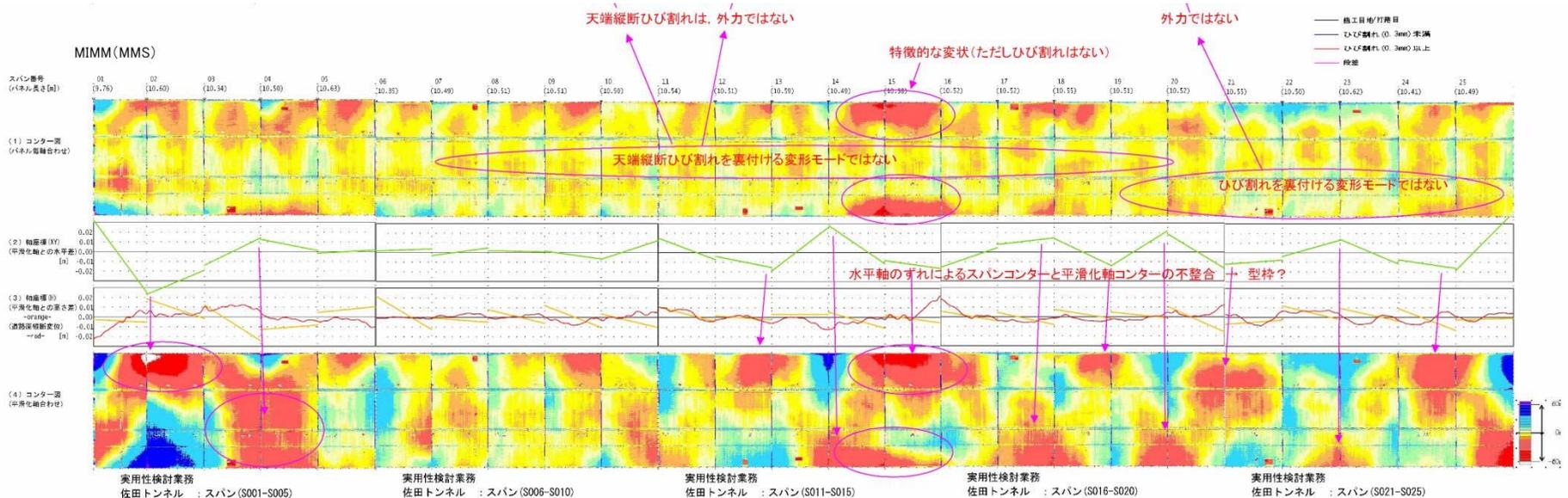
MISデータ(展開図)によるひび割れ閉合の評価



MMSデータと変形モードの関連づけ

■H22年度成果

近畿地方整備局管内における佐田トンネル、金ヶ崎トンネルで走行型計測を実施し、健全性評価を行った結果、トンネル覆工の変形モードやひび割れ形状などから、発生原因の推定や、新規に発生したひび割れの検出を行うことができた。またMIMMの採用により、これまでよりもさらに精度の高いデータ取得が可能となった。



走行型計測技術による道路トンネル健全性評価の実用化研究

課題

ひび割れの検出精度をさらに高めていくことや、既往の打音検査箇所の絞り込み方法(浮き、剥落箇所の特定)、走行型計測による健全性評価方法の検証

H23年度研究内容

1. 実トンネルへの走行型計測の実施

- ①MIMMIによる計測
- ②目視確認打音検査による検証

2. 走行型計測技術の検討

- ①トンネル断面の変形モードの把握、壁面形状の計測
- ②ひび割れ、目地部、補修材などの段差、浮き、はく落などの検知
- ③トンネル壁面のひび割れ、ひび割れパターン、密度などの計測
- ④ひび割れ検出精度の検討

3. 走行型計測技術による点検法の検討

画像データ、変形モードから、近接打音箇所を適切に選定する方法の検討

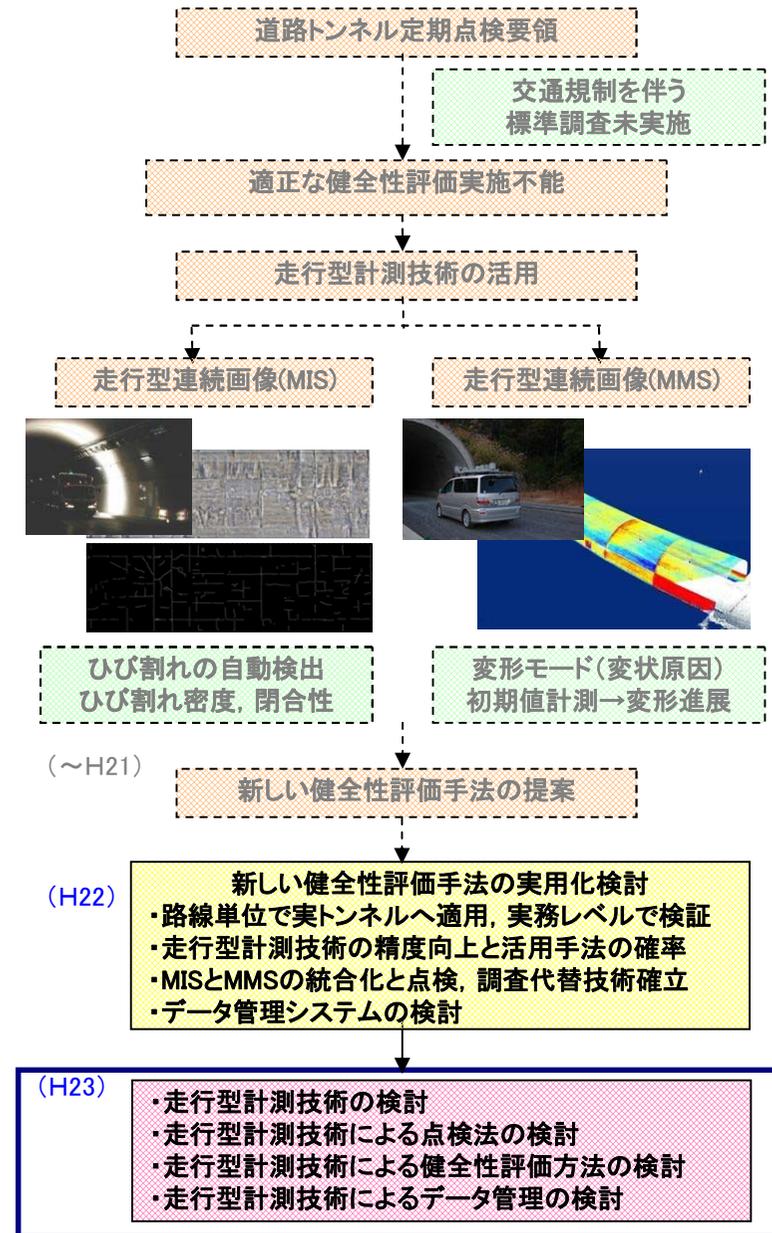
4. 走行型計測技術による健全性評価方法の検討

- ①ひび割れ、浮き等の評価方法、ひび割れパターン・密度の評価
- ②変形モードによる評価、ひび割れ進行による評価

5. 走行型計測技術によるデータ管理の検討

維持管理運用上の課題、走行計測データの閲覧や保管方法の検討

研究フロー



高齢化を迎えた長大橋梁の診断と長寿命化に関する研究プロジェクト

関西大学 正会員 坂野昌弘

1. はじめに

国土交通省大阪国道事務所管内には、昭和初期に建設され、既に 80 年以上供用され続けて高齢化を迎えた橋梁が数橋存在する。昭和 40 年代の団塊の世代の橋梁群とは材料も構造特性も異なり、しかも記録がほとんど残っていないこれらの橋梁に対しても長寿命化対策を進めていく必要がある。

本プロジェクトは、新都市社会技術融合創造研究会¹⁾の活動の一環として、これらの高齢化橋梁の中で特に重要な路線に架設され、また周辺の土地利用状況等から架け替えが困難な長大橋梁を対象として現状を把握し、健全性の評価・診断を行い、予防保全も含めた最適な補修・補強対策を提案し、その効果を検証した上で今後 100 年以上の長寿命化を目指した維持管理方針案を策定することを目的とする。

2. 研究計画

(1)平成 22 年度：昭和初期に建設され、高齢化を迎えた長大トラス橋を対象として、各部材の健全性を評価・診断し、解析や実験によりそれらの劣化挙動を推定して、橋梁全体の劣化シナリオを作成する。写真 1 に対象橋梁外観を、また、写真 2 にトラス主構、写真 3 に床組部材の状況を示す。

(2)平成 23 年度：その劣化シナリオに対して、解析や実験により、長寿命化をはかるための予防保全も含めた最適な補修・補強対策を検討する。

(3)平成 24 年度：以上の検討結果から、最適な補修・補強対策を提案し、実橋においてそれらの効果を検証した上で今後 100 年以上の長寿命化をめざした維持管理方針案を策定する。



写真 1 対象橋梁外観



写真 2 主構トラス



写真 3 床組の状況

キーワード 高齢化，長大トラス橋，健全度評価，長寿命化

連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 関西大学 環境都市工学部 TEL06-6368-0850

3. 平成 22 年度の成果

昭和初期に建設され、高齢化を迎えた長大トラス橋を対象として、非破壊検査等によって各部材の健全性を評価・診断し、橋梁全体の劣化シナリオを作成した。さらに、その劣化シナリオを検証するために疲労実験や FEM 解析を行った。

(1) 非破壊検査

非破壊検査により、疲労弱点部(主構ガセット、主構の補修・補強部、横桁、縦桁)のき裂等の調査を行った^{2),3)}。また、応力計測により橋梁各部(疲労弱点部)の余寿命を推定した⁴⁾。

写真 4~6 に非破壊検査に用いた装置と画像の例を示す。

(2) 劣化シナリオの作成

非破壊検査等の結果から橋梁全体の劣化シナリオを作成した。

(3) 当板溶接補修部を有する鋼桁試験体の疲労実験

実物を模擬した鋼桁試験体を用いて疲労実験を行い、当板溶接補修部の疲労耐久性について検討した⁵⁾。

(4) FEM による全体挙動の解析

有限要素法による立体骨組みモデルを作成し、このような上路トラス橋の現況での耐力評価および疲労寿命評価を行うとともに部材破断による漸次破壊(Progressive Failure)の挙動を追跡し、当該橋梁の安全性について解析的に検討した。

4. 研究体制

[産] 日本橋梁建設協会：佐合大，夏秋義広(幹事)。

建設コンサルタント協会近畿支部：廣瀬彰則，倉田豊，
坪本正彦，神原康樹。

日本非破壊検査工業協会：岩井正直，河野謙，森本量也。

海洋架橋橋梁調査会：酒井徹。

阪神高速道路：杉岡弘一。

[官] 国土交通省近畿地方整備局

道路部：橋本拓巳，宇佐美光博，小丸博司。

大阪国道事務所：藤本昭彦，河合良治，増田寛四郎(幹事)
鈴木時彦，新本哲也。

近畿技術事務所：吉村貞孝，菅沼忠男，藤井恒二郎。

[学] 関西大学：坂野昌弘(プロジェクトリーダー)。

京都大学：宇都宮智昭(幹事長)



写真 4 携帯式 X 線装置

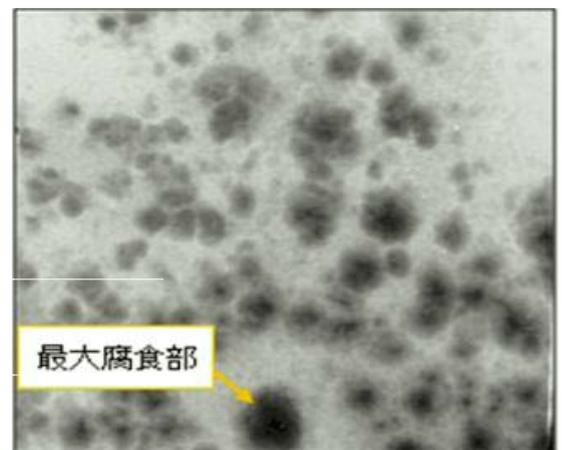


写真 5 板材の腐食画像例



写真 6 溶接部のき裂の画像例

参考文献

- 1) <http://www.kkr.mlit.go.jp/road/shintoshikenkyukai/index.html>
- 2) 新幸、河野、増田、坂野：淀川大橋補修溶接部の非破壊検査および成分分析，第 66 回年次学術講演会，2011.9.
- 3) 夏秋、河野、増田、坂野：淀川大橋の腐食状況調査，第 66 回年次学術講演会，2011.9.
- 4) Ichinose，増田，坂野：淀川大橋の動的載荷試験および応力頻度測定，第 66 回年次学術講演会，2011.9.
- 5) 水野他：当板溶接補修部を有する鋼桁試験体の疲労実験，第 66 回年次学術講演会，2011.9.

ナノセンサデバイスを活用した道路管理手法に関する研究

■研究開発の背景・調査の必要性

国道42号の道路斜面の特徴：

- ・地形上の問題により抜本的な対策の早期実現が困難
- ・それに変わる斜面監視を行うにも、維持管理費が限られた中で十分な対応ができない。



利用者に安全かつ安心な道路を提供するマネジメントの基本的な要素技術である**モニタリング手法**の改善に取り組む。

厳しい地形条件の斜面状況を低コストで詳細かつリアルタイムに収集し、日常管理での**防災減災システム**を構築する技術をナノセンサデバイスを使って確立させる。

■22年度の成果

目標を達成するセンサデバイスの開発に成功



危険箇所10箇所に設置：
リアルタイム監視を実施中。
：いつでも、どこでも
パソコンにて状態を監視

■H23年度調査の目標

23年度は“ソフト技術の開発”が目標
設置箇所ごとに異なる管理基準値を考察



「安全である」という判断を組み込んだソフトを構築し、“道路管理手法”の完成をめざす

ナノセンサデバイス活用の実績



モニタリング手法の概要

：小型無線センサの活用

- ・任意の箇所に簡便に設置
- ・2年間以上メンテナンス不要
- ：電池の交換不要
- ・低コスト
- ：高密度の配置が可能

H21年度までの実績

- ・景観を害さない
- ・高精度で崩壊現象を把握
- ・リアルタイムで事務所にて3次元挙動を可視化
- ＜橋杭岩を常時監視＞
- センサ活用ノウハウを蓄積



H22年度の開発内容



＜目標＞落石監視用センサデバイスの開発

- ・植生があってもデータ通信できること
- ・落石危険箇所が広範囲であるため、センサー基地局間：300m以上の通信が可能なこと。
- ・10分間隔の計測でも乾電池で5年以上駆動可能
- ・変状検出をより高精度化すること
- ・上記性能を達成しながらも低コスト化すること

ゲリラ豪雨時における道路斜面安定性評価に関する研究

(プロジェクトリーダー：京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 助教 小山 倫史)

背景：近年、梅雨前線や台風、異常気象などによる「ゲリラ豪雨」（局所的かつ短時間に多量に降る雨）に起因する斜面崩壊が数多く発生し、山地斜面に隣接している道路や住宅地域などにおいて多大な被害をもたらしており、道路斜面防災システムの整備が急務である。

必要性：気象庁が提供する土砂災害警戒情報は、これまで、「ゲリラ豪雨」（局所的かつ短時間に多量に降る雨）を正確に計測し、その斜面安定に与える影響を的確に把握する必要がある（従来の降雨強度の考え方では、精度よい斜面の安定性評価は難しい）。そのためには、ゲリラ豪雨時の斜面への雨水浸透メカニズムの解明が重要である。また、従来の降雨の情報のみによる警戒情報運用システム（例えば、雨量判定図などを用いたもの）に代わり、斜面の計測・モニタリングによる情報、力学・浸透特性も反映したシステムが必要である。

目的：社会的・経済的に影響の大きいゲリラ豪雨による斜面崩壊による災害を監視・予測・低減する技術を確認し、Xバンドレーダーによる降雨量予測など組み合わせ、気象庁が提供する土砂災害警戒情報の高精度化を図り、降雨データのみならず、斜面の雨水浸透特性および力学特性を考慮した統合的な道路斜面防災システムの立ち上げを目的とする。

内容：上記の目的に基づいて、大きく2つのWG（WG1: 計測、WG2: 解析、WG3: 評価）に分けて以下の点について検討を行う。

《WG1: 計測ワーキング》

(目的)

1. ゲリラ豪雨時のリアルタイム斜面モニタリングシステムの構築
2. 現場計測・長期斜面モニタリング

(検討項目)

Task 0: 豪雨時における斜面計測・モニタリング手法のレビュー

Task 1: 新たな計測機器の開発・改良（気象情報取得の高精度化）

Task 2: サンドカラムを用いた室内降雨試験および模擬斜面を用いた大型降雨実験

Task 3: 現場斜面モニタリングシステム（自己発電型ワイヤレスシステム、多点計測センサーネットワーク）の構築

Task 4: 現場計測・長期斜面モニタリング

《WG2: 解析ワーキング》

(目的)

1. ゲリラ豪雨時の雨水浸透挙動・メカニズムの把握および数値解析モデル・手法の構築
2. 斜面安定性評価および崩壊予測シミュレーション

(検討項目)

Task 0: 従来の解析手法の特徴の整理（物性、境界条件など）

Task 1: 雨水浸透メカニズム解明・応力浸透（ σ -ガス）連成解析手法の開発（サンドカラムを用いた室内降雨試験のシミュレーション）

Task 2: 模擬斜面を用いた大型降雨実験のシミュレーション

Task 3: 現場斜面のシミュレーション（斜面安定解析、崩壊予測）

《WG3: 評価ワーキング》

(目的)

1. 斜面点検データ活用法及び対策優先順位付けに関わる意思決定のための評価・分析手法の提案
2. 土砂災害警戒情報の高精度化および道路斜面災害の軽減に向けた判断支援システム（警戒情報運用システム）の構築

(検討項目)

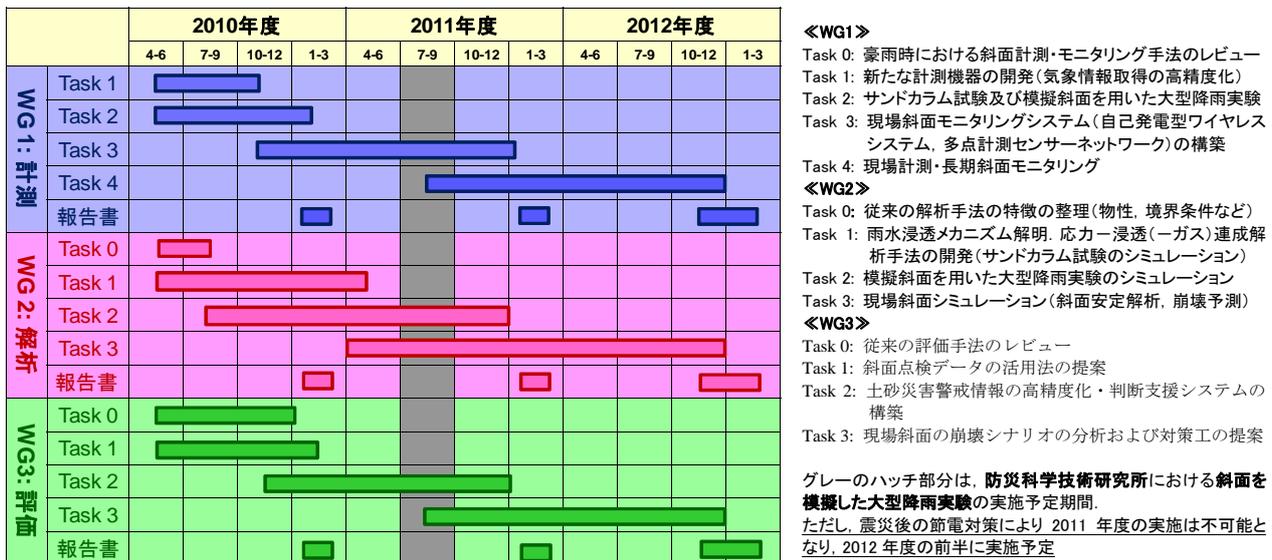
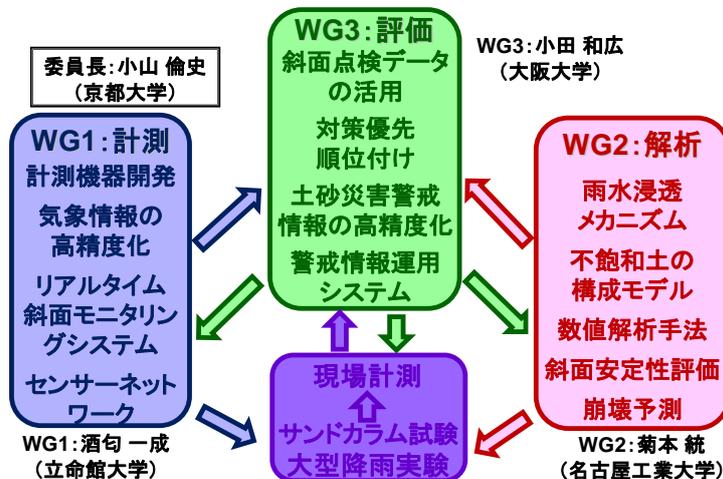
Task 0: 従来の評価手法のレビュー

Task 1: 斜面点検データの活用法の提案

Task 2: 土砂災害警戒情報の高精度化・判断支援システムの構築

Task 3: 現場斜面の崩壊シナリオの分析および対策工の提案

本プロジェクトの構成およびスケジュールは以下のとおりである。



2010 年度の成果：

- WG1：ゲリラ豪雨に対する斜面モニタリングシステムを検討するにあたり、既往の技術、現在、開発および適用されつつある計測技術についてまとめ、より効果的なモニタリングシステムを構築する上で必要であると考えられる課題について整理した。特に、ゲリラ豪雨の特徴およびその浸透メカニズムを踏まえたモニタリング手法（リアルタイム雨量計や表面フラックスメーター）の開発を行った。
- WG2：不飽和地盤の浸透・変形連成解析手法のベースとなる不飽和土の構成モデルと水分特性曲線モデルの開発に成功するとともに、次年度以降に豪雨時の道路斜面の浸透・変形・破壊・流動解析を遂行する際に必須となる飽和 - 不飽和浸透流解析の適用性が示した。一次元浸透カラム試験に対して、飽和 - 不飽和地盤の浸透流解析を実施し、ゲリラ豪雨を想定した水理境界条件下での地盤の雨水浸透挙動について議論した。
- WG3：平成 18 年度点検調査の手順と項目や安定度調査表の内容、通常の管理業務に関して、文献調査およびヒアリングを実施した。また、自己組織化マップ(SOM)を用いた道路のり面の健全度評価および道路のり面の維持・管理に関わる新たな手法の提案を行い、国土交通省近畿地方整備局福知山河川国道事務所より提供いただいた点検データを用いてその適用性の検討を行った。

WG1：ゲリラ豪雨時の道路斜面モニタリングシステム構築のための計測技術

1. はじめに

WG1 では、本年度、豪雨時における斜面計測・モニタリング手法のレビュー (Task0) や新たな計測機器の開発・改良 (気象情報取得の高精度化) (Task1) について検討してきた。以下に、調査・検討結果をまとめる。

本報告では、ゲリラ豪雨時の道路法面の管理を行うために必要とされるモニタリング・調査技術の現状についてまとめる。そこで、道路法面を管理する際に計測すべきと考えられる「雨量」、「水分量・地下水水位」、「変形量」、「地質」について、それらの測定技術の現状と課題について以下にまとめる。

2. 局地的大雨 (ゲリラ豪雨) とは

積乱雲が発生した際に、短時間に少ない雨が降る場合のことを「にわか雨」という。また、積乱雲がさらに発達し、局地的な短時間の大雨が「局地的大雨」である。通常、積乱雲の寿命は1時間もないくらいであるが、前線や低気圧、地形的要因により、積乱雲が成熟して豪雨を降らした後に新たな積乱雲が次々に発生する場合があります。このときの激しい雨が長時間継続する雨のことを「集中豪雨」と呼んでいる。近年、「ゲリラ豪雨」という言葉が使われるようになってきたが、メディアなどで用いられる造語であり、未だ学問的に明確な定義は無い。気象学分野においては、「言葉のイメージが良くない」、「一般的に「ゲリラ」は予測できないことに対して用いる＝ゲ

リラ豪雨は予測できないと認めることになる」といった理由から、局地的大雨と呼んでいる。しかしながら、水文学分野 (土木分野) においては、局地的大雨の人間社会へ及ぼす影響を考慮し、「人への警告の意味合いから強烈なインパクトを与える」といった理由からあえて、「ゲリラ豪雨」と呼んでいる。

3. ゲリラ豪雨に対する計測技術

これまでの気象観測では、主に気象庁の気象レーダや国交省のレーダ雨量計 (Cバンドレーダ) が用いられてきた。これらは、雨雲を観測しているため、正確な雨量を得ようとすると、地上雨量データを用いた補正が必要である。そのため、補正に時間がかかり、数分から数十分の間に多量の雨をもたらすゲリラ豪雨を早期に捉える事が出来ない。そこで、国土交通省は、新たな観測手法として XバンドMPレーダの導入を試みている。XバンドMPレーダは、Cバンドレーダよりも観測間隔および情報発表時間が非常に速く、分解能も良くなっている。MPレーダとは、マルチパラメータのことで、受信電力値以外も観測可能なレーダのことで偏波レーダと呼ばれている。降雨量を推定するためには、受信電力値に加えて雨粒群の粒径分布情報が必要であり、従来のレーダでは過去の地上雨量と受信電力の関係から逆推定されてきたが、偏波レーダでは水平偏波と鉛直偏波を計測することで降水粒子のサイズを推定している。また、新型の偏波レーダでは、降雨帯を電波が通過して減衰しても、影

表 2-1 水分量計測技術の各種手法および計測原理

測定対象	測定手法	測定原理など	
サクシジョン	① テンシオメータ法	・セラミック製ポーラスカップを介し、土中水の圧力と平衡したテンシオメータ内の脱気水の圧力を計測。測定範囲: 大気圧と間隙水圧の差を測定しているため、測定限界は約-100kPa。	
	② サイクロメータ法	・熱電対の特性を用い、相対湿度を測定し、土の水ポテンシャルを直接計測。 ・ケルビン式から全ポテンシャル(kPa)と水蒸気の相対湿度(%)の関係式を得る。 ・測定範囲: 約-100kPa～-100MPaのトータルサクシジョン	
	③ 熱散逸法	・熱伝導率と土中水のマトリックポテンシャルが-10kPaよりも乾燥した範囲で線形関係であることを利用。熱源と温度センサーを多孔質セラミックブロック内に組み込み、熱ハルス発生前後の温度差を計測。測定範囲: 約-0.01MPa～-100MPaのマトリックサクシジョン。	
含水量	① 電気抵抗法	土の電気抵抗を測定し、水分量を計測。	
		2極法	・電極付き多孔質ブロックを埋設し、ブロックの吸湿水分と土中水分の平衡時における電極間の電気抵抗を測定。校正式として、電気抵抗、温度、体積含水率の関係式が必要。
		4極法	・電極を土中に直接挿入し、電極間の電位差を測定することにより土中の比抵抗を求め、水分量を測定。塩分濃度が変化しないことが前提条件。
	② 誘電率を用いた手法	比誘電率と体積含水率の関係に基づく計測手法	
	土壌水分量	静電容量法	・電圧を測定し、水分量を求める。予め、土の水分保持状態に対応した比誘電率から静電容量、周波数を求める。周波数を電圧に変換する電子回路を用いて、測定電圧と含水量の関係を得る。
		時間領域反射率測定法 (TDR法)	・一定周波数 (30MHz～3GHzの高周波) の電磁波が土中に埋設したロッドを往復する速度を時間領域で測定し、比誘電率を求める方法。校正式として、比誘電率と体積含水率の関係が必要。
		周波数領域反射率測定法 (FDR法)	・連続的な種々の周波数 (100MHz～1.7GHz) の電磁波が土中のロッド部分での往復時に発生する合成干渉波を周波数領域で測定し、そのピーク特性から、比誘電率を求める方法。校正式が必要。
		振幅領域反射率測定法 (ADR法)	・一定周波数の電磁波 (100MHz) が土中のロッド部分を往復するときに発生する電圧差を振幅領域で測定し、比誘電率を求める方法。校正式として、比誘電率と体積含水率の関係が必要。
		③ 中性子散乱法	・中性子の水素原子による減速効果を利用して、土中の水分量を測定。校正式として、対象土に対する中性子の係数比率と体積含水率の関係が必要。
	④ ガンマ線を用いた方法	・ガンマ線の土を透過する際に測定領域の密度が高いほど透過率が減少する性質を用いた方法。校正式として、相対透過率と湿潤密度の校正式が必要。	
⑤ 地中レーダ法	・送信アンテナから地盤内に発射した電磁波が反射して受信アンテナに戻るまでの伝播時間を計測。 ・地盤内の比誘電率が異なる境界面 (地下水面など) を推定評価する方法。電磁波伝播速度と比誘電率の関係式から体積含水率も求まる。		
⑥ 熱伝導率を用いた方法	・気相の熱伝導率が、液相や固相の熱伝導率よりもはるかに小さいという性質を用いた方法。 ・校正式として、含水量と熱伝導率の関係が必要。同一の土で、土中温度変化が小さい場合に適用。		

表 2-2 地下水水位測定技術に関する計測手法および計測原理

計測方式	計測原理	
地下水水面を直接検知する方法	水面の位置をフロートや触針によって直接検知。	
触針式	観測孔に挿入した検出器が地下水面に到達し、地表面のアース棒と電気的に短絡することによって検出。	
フロート式	水面の変化に応じて水面に浮かんだフロートが昇降し、ワイヤーを介して測定器に水位変化が計測される。	
水圧から検知する方法	水頭の変化を電気式圧力計で計測する方法	
ひずみゲージ式	ダイヤフラムに生じるひずみまたは変位を電気抵抗の変化として検知。経年変化の可能性がある。	
差動トランス式	ダイヤフラムに生じた変位により発生するインダクタンスの変化を検出。経年変化が生じない。	
振動弦式	ダイヤフラムに生じた変位を振動弦の張力に変換し、ワイヤーの固有振動数の変化として検出。	
半導体ゲージ	圧力が作用すると電気信号が変化する圧力素子を用いており、高感度でヒステリシスが小さい。	
光ファイバ	FBG	ひずみ発生時の反射光の波長の変化を検知。分解能が高く、受感部が小さい。温度依存性がある。
	SOFO	反射光を干渉光として捉え、入射光との光路差が検出され、変位量が計測される。温度依存がない。
	BOTDR	Brillouin散乱光のひずみの変化に比例して周波数が変化する特性を用いたもの。長距離、多点での計測が可能。

響が少ない手法を採用している。

本研究プロジェクトでは、ゲリラ豪雨に対応した計測技術として、超音波センサやレーザ変位計を用いたリアルタイム雨量計、雨水の地表面流出量を計測するための表面フラックスメータや雨滴径を計測するための雨滴径計測装置の原理について紹介している。

4. 水分量・地下水水位の測定技術の現状

4.1 水分量の測定技術の現状

表 2-1 に水分量を計測するための手法および計測原理について示す。土中の水分量を測定する機器は、大きくサクシオンを計測するものと土壌水分量（体積含水率、含水比など）を計測するものに分けられる。より詳細な計測手法、構成機器、特徴などについては、参考文献 1) を参照していただきたい。

水分量計測技術として、テンシオメータ法、誘電率を用いた手法（TDR、ADR 法など）が自然斜面および道路法面、鉄道盛土、河川堤防などの人工斜面において用いられ、サクシオンおよび土壌水分量の長期現地計測が行われてきており、雨量計、水位計や地表面変位計などの計測結果と合わせて、降雨時の斜面の安定性との関係について考察がなされてきている。

斜面崩壊の予知や警戒に対する適用実績については、現状では、サクシオンや土壌水分量の計測結果のみで予知や警戒を行うまでの成果は得られておらず、降雨量や変位量などと組み合わせることが必要である。また、計測結果と数値シミュレーションを組み合わせた斜面崩壊予知システムが提案されている。

4.2 地下水水位の測定技術の現状

地下水水位の測定技術の計測方式および測定原理などを表 2-2 に示す。より詳細な計測手法、構成機器、特徴などについては、参考文献 2) を参照していただきたい。

これまでにひずみゲージ式間隙水圧計を用いた室内・現地実験が行われてきており、降雨および斜面崩壊時における水圧の挙動について研究され、水圧計による崩壊予知の有効性は認められるものの有効な設置位置、機器の精度、長期安定性の問題が挙げられている。

近年、光ファイバを用いた水位計・水圧計やケーブルレスの水圧計が開発されており、現地での検証試験が実施されている。

本研究プロジェクトでは、土中水分と地下水水位をひとつのセンサで計測可能な超音波計測器や土中の間隙空気圧を計測する手法および間隙空気圧と浸透挙動の関係についてまとめた。

表 2-3 変位量計測技術に関する計測原理および特性

計測機器名	計測方式	計測原理	特性		
傾斜計	気泡式	電解溶液中の気泡の移動による液面変化を静電容量変化として捉える。	・作動範囲: 2軸±20°、分解能: 0.01° ・高精度で安定性が良い。		
	振り子型	振り子の原理を用いて、地表面に変動に伴う振り子の傾斜角を測定。	・作動範囲: ±15~300分、精度: ±1%FS ・温度特性: -10~+40°C		
地中傾斜計	挿入型	ボーリング孔内に設置したケーシングの傾きを深度方向に欠乏なく等間隔で傾斜測定し、水平変位量を求める。	・ひずみゲージ式などで、分解能は0.1%FS。 ・サーボアクチュエータ式の分解能は0.001%FS。		
	設置型	ボーリング孔に埋設固定するタイプ。電解液式、加速度式、磁気抵抗式がある。	・雷による破損を注意。 ・温度の影響が大。		
光ファイバセンサ	OTDR方式	レーザ後方散乱光強度を測定し、変位・変状や発生位置を計測。	・分解能: 0.2dB、計測範囲: 36dB、 計測時間: 約5分、温度範囲: -10~40°C		
	BOTDR方式	ブリルアン後方散乱光の周波数変化により、変位・歪みの測定。	・分解能: 0.1mm/m、測定範囲: 2%、 計測時間: 5~10分、温度範囲: -10~50°C		
	FBG方式	センサ部での反射光(Bragg波長)の波長変化から歪みを測定。	・分解能: ±0.004mm/m、測定範囲: 300mm、 計測時間: 最小2秒、温度範囲5~50°C		
	MDM方式	光ファイバの変状(曲げ)による漏光に伴う透過光の強度低下の特性から、透過光強度を測定し、変位測定を行う。	・分解能: 0.2mm/2~10m、測定範囲: 0~100mm、 計測時間: 秒単位の変化に対応、温度範囲: -10~50°C		
GPS	単独測位	・約24個の人工衛星から発信される搬送波による測位システム(カーナビなど)。	・測位精度: 数m~数十m、観測時間: リアルタイム~		
	相対測位	DGPS	・複数の観測局で同時観測を行うことで相対位置を算出。	・測位精度: 約1m、観測時間: リアルタイム~	
		干渉測位	・スタティック法・短縮スタティック法	・搬送配送を用いる干渉測位で、未知点が観測中静止している方法。	・測位精度: 数mm~数cm、観測時間: 数十分~1日
		干渉測位	・キネマティック法	・搬送配送を用いる干渉測位で、未知点が観測中移動している方法。	・測位精度: 数cm~数十cm、観測時間: リアルタイム~
		干渉測位	・RTK法	・搬送配送を用いる干渉測位で、移動観測と同時に位置を決定する方法。	・測位精度: 数cm~数十cm、観測時間: リアルタイム~
リモートセンシング		・観測センサとプラットフォーム(Landsatなど)から構成される人工衛星による地表面観測手法			
リモートセンシング	受動型センサ	・太陽光の反射光や放射束を観測する。大半が、このセンサを使用。	・衛星の周期性から、同じ地表面をある一定の周期で計測可能。 ・一度の計測で広範囲の測定が可能(Landsat: 185km)。		
	能動型センサ	・センサ自らがマイクロ波などを照射し、その反射波を受信する。	・広域の測定を数秒間で行える。		
Acoustic Emission		・固体材料内部の微小な破壊あるいは同様のエネルギー開放過程によって発生する弾性波現象(AE)を計測する手法	・斜面モニタリングに用いるため、AE信号を改良b値、正規偏差、波形記録・判読により評価する手法が提案されている。		

5. 変形量の測定技術

変形量の測定技術として、傾斜計、光ファイバセンサ GPS 測位技術、リモートセンシング、Acoustic Emission (AE)が挙げられる。それぞれの測定原理や特徴を表 2-2 に示す。より詳細な計測手法、構成機器、特徴などについては、参考文献3)を参照していただきたい。

傾斜計は、これまでに多くの斜面において使用されている。斜変動と降雨パターンとの関係については、これまでに検討されているが、降雨に伴う変動を示すデータや論文は数が少ないのが現状である。

近年、各種観測への応用が進められている新技術の一つである光ファイバセンサは、斜面、道路構造物、河川堤防のモニタリングなど、主に長い線状の対象範囲を観測する手法として開発が進められている。絶縁性、耐久性に優れ、また、国道などに敷設されている光ファイバケーブルとの接続により、計測データの展開が容易に可能であるという特徴を持っている。これまでに複数の斜面に設置されており、半年ないし月単位で発生する微小変位の蓄積、降雨時の斜面崩壊を捉えた計測データが数箇所の斜面で得られ、降雨量とひずみ量やひずみ速度の関係、温度等に起因して発生する日常変化の影響の棄却方法などについて考察されてきている。

GPS においては、斜面崩壊や地すべりなど工学的解釈のために高い計測精度が求められる場合においては、スタティック方式による時系列データを統計処理することで、客観的な判断が下せるようになってきている。計算環境や設置方法にもよるが、2~3mm 程度の突発的な微小変位も時系列統計解析で検出可能となってきている。

リモートセンシングでは、衛星データの分類処理、地盤主題図の作成を行い、それらのデータをもとに数量化分析を行い、危険度予測画像を作成する手法が提案されてきている。

AE 技術を斜面分野に適用するために、岩盤斜面、土砂斜面、しらす斜面に AE 計測システムが設置されており、この結果、AE による斜面の変状を詳細に捉える可能性があることが確認され、AE 法による斜面動態計測方法についてまとめられてきている。

本研究プロジェクトでは、光るセンサや 3D スキャナによる斜面の変位計測について紹介した。

6. 斜面地質調査技術

道路斜面の健全性評価に適した物理探査手法についてまとめた。評価項目としては、①吹付け背面の土砂化や空洞、亀裂などの劣化状況、②速度層区分、強度区分、③地質構造(流れ盤)、④風化の程度、⑤断層(低速度帯)、⑥居土・変形特性、⑦地下水変化などを想定した。今回は、熱赤外線映像法、弾性波探査、地中レーダ探査、電気・電磁気探査の特徴や適用範囲についてまとめた。より精度の良い結果を得るためには、ボーリング探査などの先験情報を合わせて検討することが重要である。また、

長期的にデータを収集するために、機器の強度、電力供給問題、データの膨大化への対処が必要とされている。これからの物理探査としては、複数の手法を組み合わせた複合探査による地盤の状況の解釈が重要となってくると思われる。

また、斜面内の強度を調査するための改良型スウェーデン式サウンディング (NSWS) 試験について、その機構と適用例を示した。

7. 斜面モニタリングシステムの構築

斜面モニタリングシステムの設置事例として、熊本県水俣市の土砂災害、兵庫県神戸市、室内大型土槽試験、文化財後背斜面における事例を紹介した。また、設置の容易化や多点計測を目指した、ワイヤレスネットワークシステムを利用したモニタリングシステムを紹介した。通信の安定性や電力問題など解決すべき問題がまだ多いが、今後、ますます利用される事例が増えると思われる。さらに、対策工法のセンサ化を目指した事例について紹介した。これは、ハードとソフトを融合させることで、ある程度の変形は許容しながら、斜面をモニタリングしていくことで人々の安全を守ることを目指したものである。斜面モニタリングシステムを設置する際には、どのような崩壊タイプ(土石流、地すべり、表層崩壊)に対するシステムを構築するかをよく検討し、最適な計測機器やシステムの選定が重要である。

8. まとめ

今年度のプロジェクトでは、ゲリラ豪雨に対する斜面モニタリングシステムを検討するにあたり、既往の技術、現在、開発および適用されつつある技術についてまとめた。最後に、より効果的なモニタリングシステムを構築する上で必要であると考えられる課題について以下に示す⁴⁾。

- (1) 設置箇所の選定： 斜面をモニタリングするに当たり、一番の問題はどこの斜面に設置するか、線の・面的にセンサを設置する場合、どこまでの調査が必要かである。よって、表層崩壊の場合には、「どこから」の「どの程度」の規模の崩壊を対象とするのかを考えて設置する必要があり、技術者にその判断が求められる。
- (2) 運用・判断方法： 斜面管理者は、どの状態であれば対策するのか、モニタリングを継続するのか判断しなければならない。また、モニタリングを継続する場合には、道路管理であれば事前通行規制の雨量のように、変状状況に応じた管理体制とリンクしたものとしなければならない。特に、事前通行規制区間外でモニタリングを行う場合には、雨量の判断指標がないため、変状の状況のみから何らかの判断をすることが必要となる。このため、適切な運用方法を構築する必要がある。
- (3) コスト低減： 様々なモニタリングシステムが開発されており、計測する対象に応じて、いろいろなシステ

ムを選択できるようになっているが、モニタリングは対策と異なり崩壊というリスクが残存しており、将来対策を行う可能性も考慮して、出来る限り低コストが望まれる。また、斜面崩壊モニタリングにおける計測対象は、変位、傾斜、温度、雨量、水位、土壌水分量、間隙水圧など状況に応じて複数選択することになる。新たな計測対象を追加することで、別途システム構築が必要となるのであれば、不経済である。原理上難しいものもあるが、同一システムで管理できるような技術開発も望まれる。

参 考 文 献

- 1) 井上光広：不飽和地盤の挙動と評価（2.1.2 サクシオン・水分の計測），（社）地盤工学会，pp.14-25，2004.
- 2) 樋口佳意：降雨時の斜面モニタリング技術とリアルタイム崩壊予測に関する研究報告書（3.3 地下水の計測技術），（社）地盤工学会，pp.46～50，2006.
- 3) 中澤広行，小橋秀俊，山下祐一，島重章，大河原彰：降雨時の斜面モニタリング技術とリアルタイム崩壊予測に関する研究報告書，（3.2 変形量の計測技術），（社）地盤工学会，pp.26～45，2006.
- 4) 小橋秀俊，酒匂一成：各種機器による斜面モニタリング技術の現状，土と基礎，論文，Vol.55，No.9，Ser.No.596，pp.7-10，2007.

3章 ゲリラ豪雨時の斜面崩壊に関する室内試験と数値解析

解析ワーキングでは、崩壊機構・形態の把握、崩壊原因の解明や被害予測法の高度化、防災対策法の合理化を目指して、要素試験やモデル実験を組み合わせた検討を行い、多様な観点から実現象を観察し、実測値を収集するとともに、土粒子と間隙の水および空気の三相系からなる不飽和地盤の雨水浸透特性、浸水変形・破壊特性、破壊後の流動特性に対して様々な解析手法を駆使して多角的に検討する。本WGでは室内要素試験、一次元浸透カラム試験、大型降雨実験の3種類の試験と実際の崩壊事例を対象として数値解析を実施し、解析の妥当性を検証するとともに、豪雨時の斜面の浸透、変形、破壊、流動過程に考察を加える。なお、本年度の主な実施項目は要素試験およびカラム試験とそれらの解析である。

3.1 室内要素試験と不飽和土の浸透・変形モデルの開発

要素レベルでの浸水・変形挙動の把握を目的とした要素試験を実施するとともに、不飽和土の構成モデルと水分特性曲線モデルを定式化した。

3.3.1 ヒステリシスと体積変化の影響を考慮した拡張型水分特性曲線モデル

van Genuchten の式は飽和度とサクシジョンの間に一義的な関係を仮定する簡便な水分特性曲線モデルであり、広く用いられている。このような古典的モデルを、サクシジョン履歴だけでなく間隙比の影響も考慮できるように簡単に拡張する方法を提案した。吸水過程と排水過程で異なる経路を辿るヒステリシス特性は、吸水・排水履歴を反映する状態変数として水分履歴パラメータ I_w を定義し、吸水・排水に対応した発展則を規定すれば的確に記述できることが示された (図1)。また、間隙比が水分保持特性に及ぼす影響は、一般的な水分特性曲線モデルのサクシジョン s を間隙比の要因の影響も考慮した修正サクシジョン s^* に置き換えることで発展型モデルに拡張し、提案モデルは間隙の異なる土の水分特性曲線の違いを統一的に記述できることを示した。

3.3.2 浸水に伴う変形メカニズムと不飽和土の構成モデル

不飽和土の圧密・浸水試験を実施し、飽和度による圧縮特性や浸水時のコラプス現象 (図2) を観

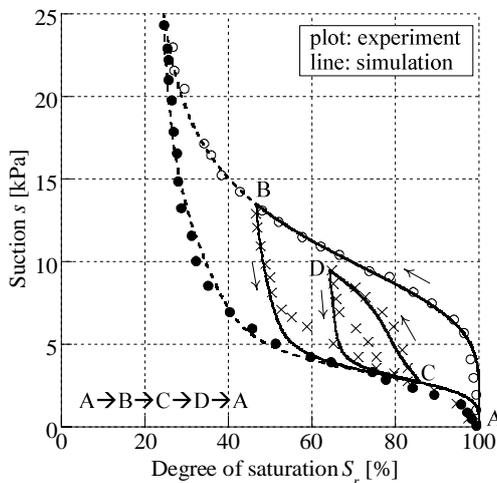


図1 吸水・排水過程を伴う水分特性曲線と解析

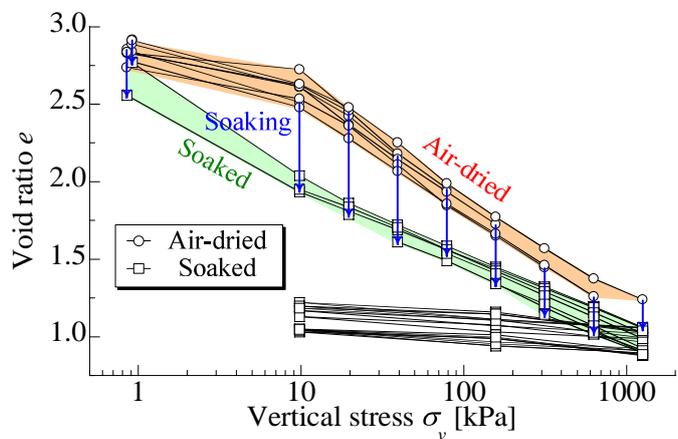


図2 気乾土試料の圧密・浸水試験

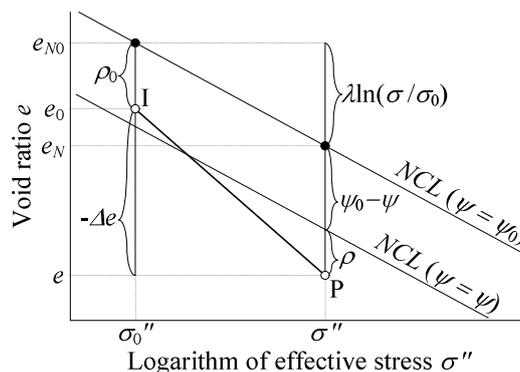


図3 不飽和土の構成モデル

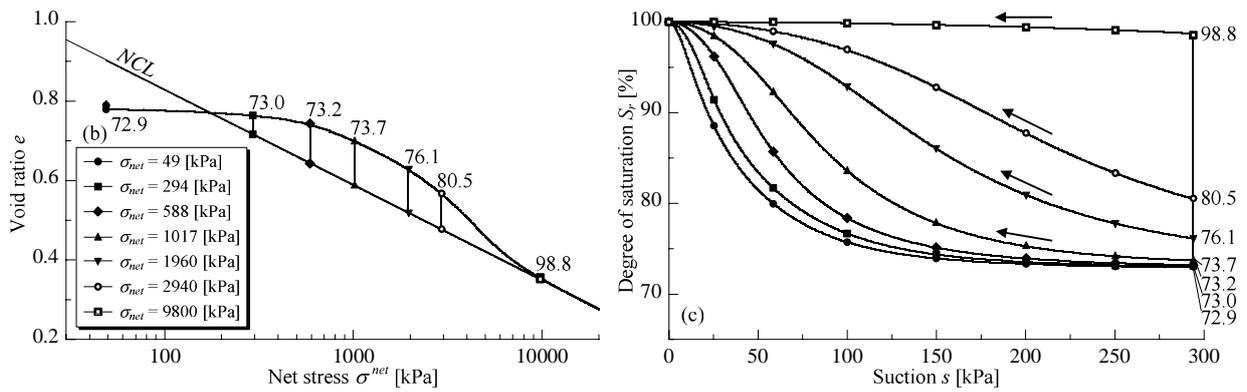


図4 過圧密土の圧密・浸水試験のシミュレーション

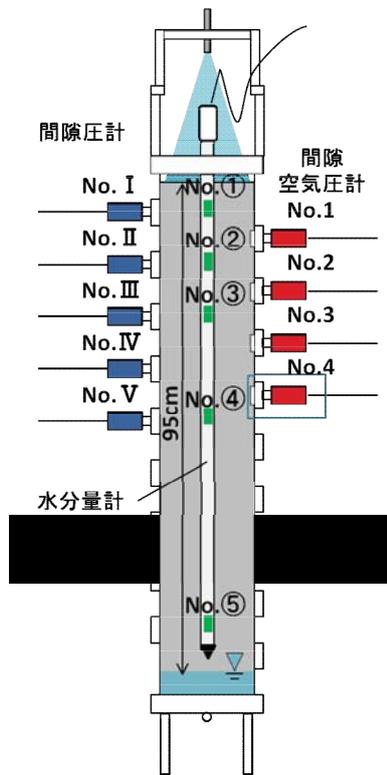


図5 実験装置と計測機器類

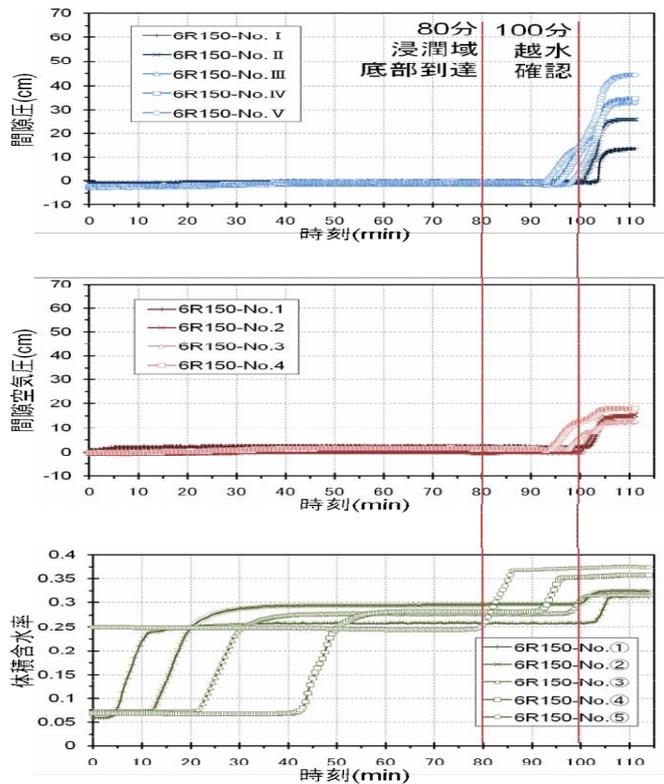


図6 降雨浸透に伴う間隙水・空気移動と圧力変化

察するとともに、Bishop の有効応力と水分特性曲線モデルおよび正規圧密線の移動を表す状態変数 ψ を用いて不飽和土の構成モデル(図3)を定式化した。一連の解析結果から、提案モデルは飽和度による圧縮性の違いや圧縮に伴う飽和度の増加、浸水に伴う体積圧縮(図4)など不飽和土の典型的な応答を適切に記述できることを示した。

3.2 一次元浸透カラム試験と解析

不飽和地盤の一次元雨水浸透現象を雨水浸透カラム試験(図5)により検討した。同実験は、降雨強度、地盤の含水状態、排気・排水条件、雨滴粒径および初期含水比を変化させて実施し、降雨中の地盤内の間隙圧、間隙空気圧および水分量の変化を計測した(図6)。その結果、ゲリラ豪雨を想定した高い降雨強度の場合に間隙空気圧の上昇や地表面での溢流といった特徴的な現象が起こることがわかった。実験に対して実施した飽和・不飽和浸透流解析(図7)は、間隙水の連続式を支配方程式として用い、有限差分法による離散化を行うものであり、間隙空気の上昇を伴わないようなパターンに対しては雨水の浸潤過程など十分な適用性を確認できた。一方、ゲリラ豪雨を想定した高い降雨強度の雨水浸透実験では、間隙空気が封入されて間隙空気圧が増加することが確認されたが、本検討で実施した浸透流解析

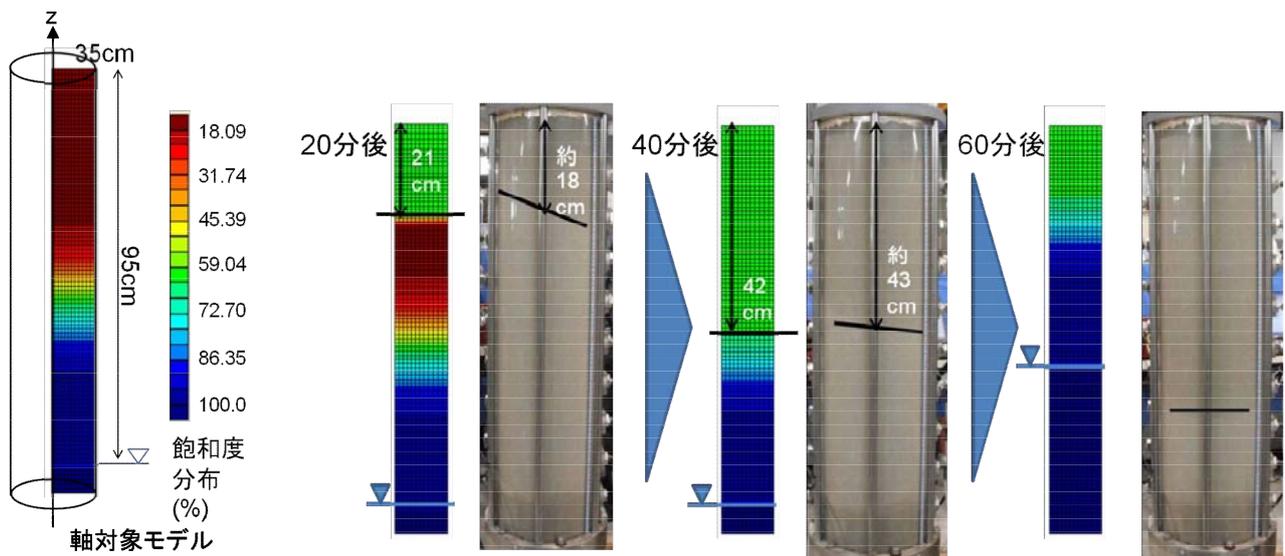


図 3.7 珪砂 6 号

図 3.8 降雨による浸潤域の進展と解析結果の比較

解析モデル（飽和度分布）

は間隙水の連続式のみを支配方程式として用いていたため、間隙空気の移動や間隙空気圧の変化を解析的に求めることはできなかった。ゲリラ豪雨のような高い降雨強度下での間隙空気圧の増加や間隙空気の封入も含めて、道路斜面の変形・破壊予測を行う場合には、間隙空気の質量保存則も満足する解析を実施する必要がある。

3.3 まとめと今後の展望

解析ワーキンググループの目的と実施項目について説明し、本年度の主な成果を示した。実験的検討として、不飽和土の室内要素試験や一次元浸透カラム試験の概要と結果を示した。さらに、室内要素試験や既往研究の知見をベースとして不飽和土の構成モデルおよび水分特性曲線モデルを定式化し、実測データとの比較により提案モデルの妥当性を検証した。一次元浸透カラム試験に対しては、飽和 - 不飽和地盤の浸透流解析を実施し、ゲリラ豪雨を想定した水理境界条件下での地盤の雨水浸透挙動について議論した。本年度の検討では、不飽和地盤の浸透・変形連成解析手法のベースとなる不飽和土の構成モデルと水分特性曲線モデルの開発に成功するとともに、次年度以降に豪雨時の道路斜面の浸透・変形・破壊・流動解析を遂行する際に必須となる飽和 - 不飽和浸透流解析の適用性が示された。次年度は本年度の研究成果を継承・発展した数値解析と、WG2 の参加各グループが鋭意開発を進めている力学モデルや数値解析コード（本年度の報告書では紹介していない）により新たな知見が得られるものと大いに期待される。

4章 評価ワーキング（WG3）の報告（要約版）

4.1 評価ワーキングのタスク

本年度の評価ワーキングに課せられた課題は下記の通りである。

Task 0: 従来の評価手法のレビュー

Task 1: 斜面点検データの活用法の提案

Task 2: 土砂災害警戒情報の高精度化・判断支援システムの構築（平成 22 年度から平成 23 年度）

報告における内容と評価ワーキングに課せられた課題との対応関係は以下の通りである。

4.1 概要

4.2 斜面の防災点検の現況

4.2.1 平成 18 年度防災点検要領の概要 Task 0

4.2.2 切土斜面の管理事例 Task 0

4.3 自己組織化マップによる解析と結果の活用

4.3.1 道路法面維持・管理における SOM の活用 Task1&Task2

4.3.2 点検対象外・対策不要箇所斜面防災に対する SOM の活用 Task1

4.4 まとめ

4.2 Task0:従来の評価手法のレビュー

4.2.1 平成 18 年度防災点検要領の概要

ここでの目的は、解析・分析に使用できる管理データの種類や特徴、また、通常管理業務に関する情報収集である。そのため、平成 18 年度点検調査の手順と項目や安定度調査表の内容、通常管理業務に関して、文献調査と国土交通省近畿地方整備局福知山河川国道事務所におけるヒアリングを行った。

4.2.2 切土斜面の管理事例

山陽道における切土法面管理事例、旧日本道路公団関西支社管内のり面防災に関する検討事例、JR における斜面管理・運転規制管理に関する情報収集を行った。そして、法面管理に関する新たな知見を得ることが出来た。

4.3 Task 1: 斜面点検データの活用法の提案

4.3.1 道路法面維持・管理における SOM の活用

この研究の目的のうち、Task 1 に関わるものは下記の通りである。

- ① SOM による道路のり面のクラスタリングとのり面の変状あるいは安定性に大きな影響を及ぼすと考えられる要因の抽出
- ② クラスタリングを明確にする入力ベクトル成分（項目）の補足追加
- ③ 履歴データを用いた SOM によるマップの作成

研究・検討の結果、以下の知見を得た

- ① 安定度調査表の点検項目をもとに SOM による道路のり面のクラスタリングが可

能である。

- ② 過去に、被災したのり面を危険度・健全性評価の基準とすることにより、類似した被害が生じる可能性があるのり面（災害未経験）を選び出すことができる。
- ③ 被災したのり面のクラスタは「崩壊跡地」および「当該のり面の変状」の影響を強く受けているものと「崖錐地形」、「崩壊跡地」、「オーバーハング」、「表土及び浮石・転石の状況」、「当該のり面の変状」、「隣接するのり面・斜面等の変状」の影響を強く受けているものの2つが挙げられる。
- ④ 「崩壊跡地」および「表土及び浮石・転石の状況」は、危険度の高いのり面を抽出する際の重要な点検項目であるといえる。
- ⑤ 地域ごとの気象条件は、のり面のクラスタリングを明瞭にする項目である。
- ⑥ 安定度調査表で重要度の高い点検項目と、実際の被災箇所に影響の大きい要因にはずれが生じている可能性があると考えられる。

4.3.2 点検対象外・対策不要箇所の斜面防災に対する SOM の活用

この研究の目的は、新たな点検項目を追加し、点検対象外箇所と対策不要箇所における危険のり面の抽出方法を検討することである。本年度の検討から以下の知見を得た。

- ① 「風化」、「崩積土」は道路斜面の崩壊に大きく影響している可能性が高い。
- ② 「風化」と「断層・リニアメント」の両方を有する道路斜面のほとんどが崩壊履歴を有している。
- ③ 防災カルテ及び電子台帳付図だけでは十分な道路斜面に関する情報が得難い。
- ④ 防災カルテを点検の記述だけでなく、点検を項目化する方が良いと考えられる。

4.4 Task 2: 斜面点検データの活用法の提案

4.4.1 土砂災害警戒情報の高精度化・判断支援システムの構築

この研究の目的のうち、Task 2に関わるものは下記の通りである。

- ① クラスタリングされた道路法面に対する対策の優先順位付けへの活用の試み
- ② 履歴データを使って作成したマップによる健全性評価方法の提案。

研究・検討の結果、以下の知見を得た。

- ① 同じクラスタ内に含まれるのり面は、同じような災害が生じることが多いことから、対策工の選定支援を行うことが出来る。
- ② 点検調査の履歴データを用いることにより、のり面の経年劣化を評価できる可能性があることを示唆した。

道路付帯施設、情報管理施設のアセットマネジメントに関する検討

■調査の必要性

道路情報板やITV等の道路付帯施設・設備の設置数は膨大であり、日常の点検の費用負担は増加し、補修・更新費用総額が土木施設の維持管理費用総額に占める割合は少ない。したがって、その最適な点検間隔及び期待ライフサイクル費用を最小化する予防保全戦略を立案することは極めて要請の高い課題である。

従来のアセットマネジメントは土木施設本体に主眼が置かれ、道路付帯施設、情報管理施設に特化したアセットマネジメント(最適点検間隔、LCC評価、リスク定量化)研究はなされていない。

■研究の概要

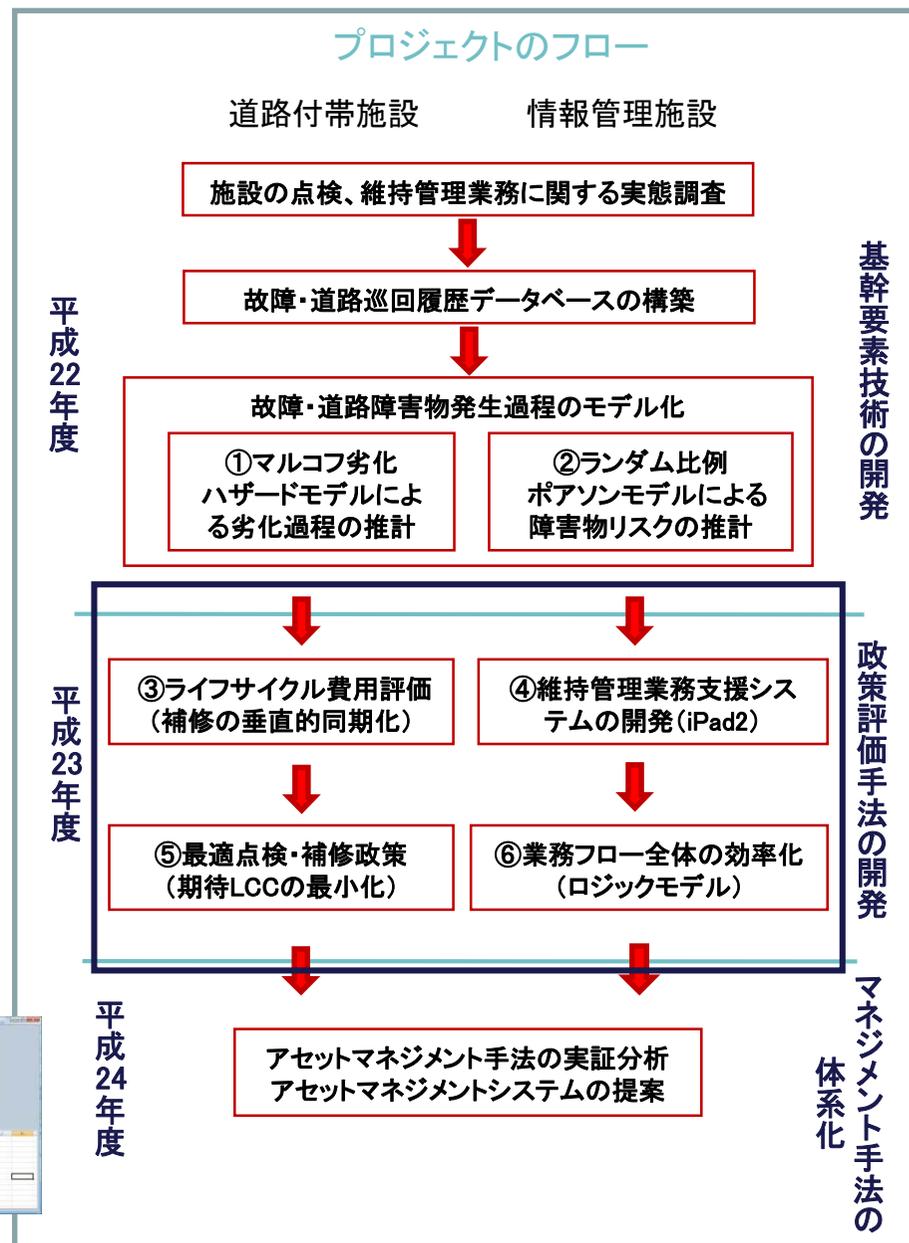
平成22年度は特に滋賀国道事務所との打ち合わせを踏まえ、道路障害物発生リスクと、道路巡回間隔の問題に取り組んだ。具体的には、道路巡回・巡視時における道路障害物(主に障害物、動物死骸)を対象にこれらの発生過程のモデル化を行い、障害物発生リスクの定量的評価および適切な道路巡回間隔を検討した。

■H22年度の成果

- ・道路障害物発生過程のモデル化(ポアソンモデルに基づく)
- ・障害物発生リスク(VaR指標)を考慮した最適巡回間隔の決定
- ・道路区間の異質性を考慮した重点管理区間の決定

■H23年度の研究内容

- 道路巡回に代表される維持管理業務の効率化を目指して、
- ・ロジックモデルを用いた業務フロー全体の効率化、
 - ・iPad2を用いた道路巡回業務支援システムの開発 を実施する。



道路付帯施設、情報管理施設のアセットマネジメントに関する検討

■H22年の研究概要

道路障害物の発生過程のモデル化

○障害物発生過程のモデル化(ランダム比例ポワソンモデル)

道路巡視・巡回整備時における障害物の発生過程をランダムポワソン発生モデルにより定式化し、発生事象を到着率により表現する。

○分析の手順

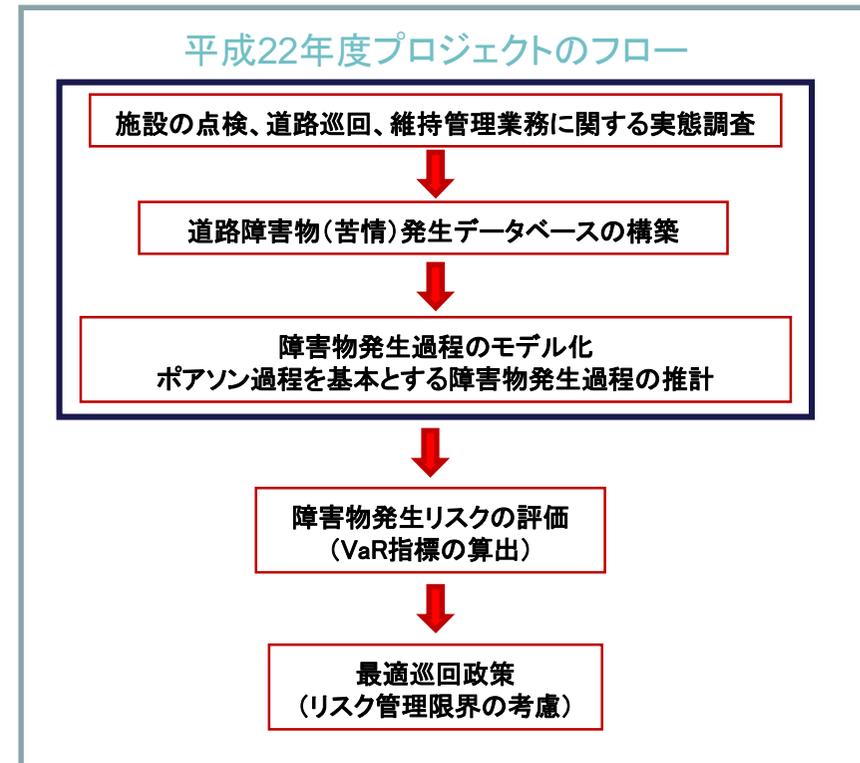
- ①維持管理業務に関する作業履歴の電子データベース化
- ②ランダム比例ポアソンモデルによる障害物発生過程の推計、障害物発生要因の統計的分析
- ③維持管理単位の設定、管理単位毎の相対評価

○分析の対象路線

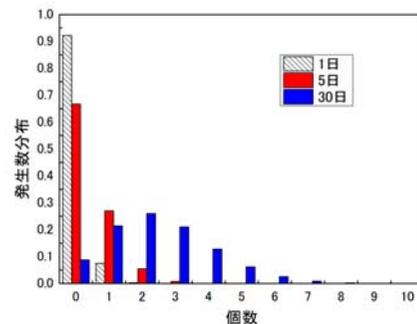
滋賀国道事務所管内一般国道、全線264.5km
(1号線、8号線、21号線、161号線)

■本研究で得られた成果

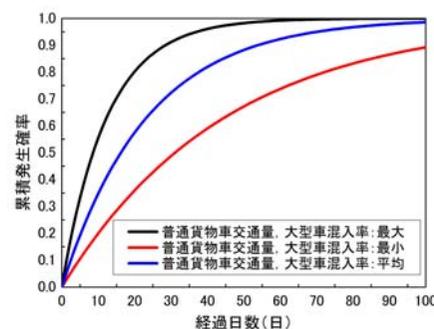
- ・作業履歴の電子データベース化
維持作業日誌(巡回巡視日誌、巡回整備日誌)
- ・道路障害物発生過程のモデル化(ポアソンモデルに基づく)
- ・障害物発生リスク(VaR指標)を考慮した最適巡回間隔の決定
- ・道路区間の異質性を考慮した重点管理区間の決定



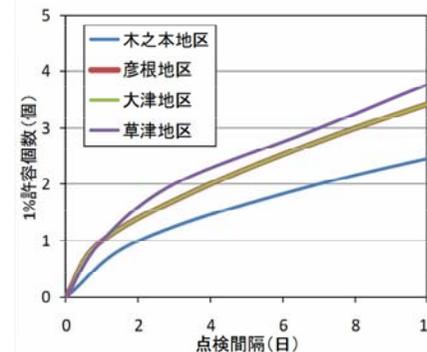
道路障害物のポアソン分布



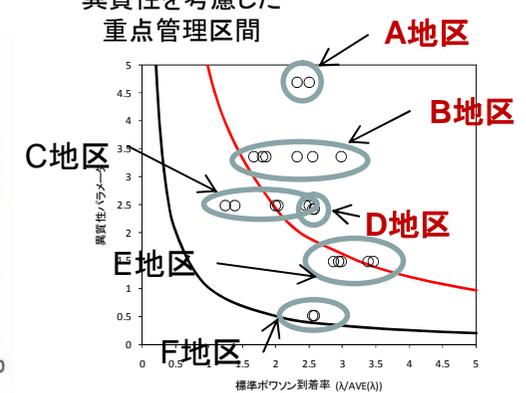
道路障害物の累積発生確率



VaRに基づく巡回間隔



異質性を考慮した重点管理区間



橋梁細部における海塩粒子の付着量推定と腐食劣化予測手法の検討

■調査の必要性

国道42号古座大橋など、沿岸部の道路橋が塩害を被る損傷例が多数発生している。塩害発生後の、脱塩と補修には相当予算の確保が必要であり、橋梁の各部位に付着する塩分量が予測できれば、的確な塩害対策が可能となる。

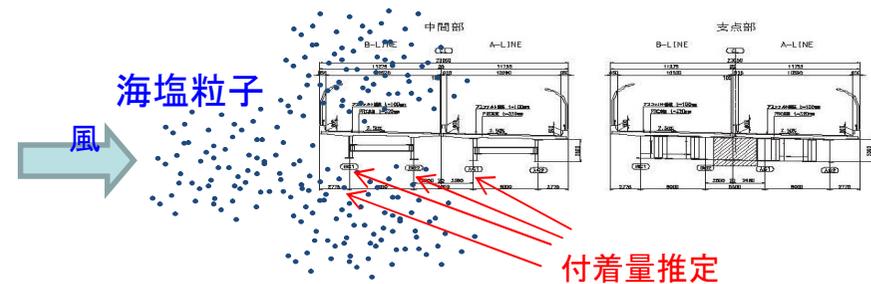
また、腐食が進行している鋼橋を見れば、部位によって進行状況は全く異なり、橋梁位置周辺の環境因子だけでは、腐食の程度を十分に説明できない。この要因として、海塩粒子の付着量が部位により異なることが考えられる。橋梁各部位への海塩粒子の付着量を正確に推定することにより的確な補修を行うことができる。

■調査の内容

- ①現地観測による海岸部の橋梁各部位別の飛来塩分付着量ならびに腐食の進行状況等の調査、ならびに風向・風速、降水量、飛来塩分量の調査
- ②CFD解析による橋梁周囲の風速場の推定
- ③現地観測結果、CFD解析結果に基づく、風速場と飛来塩分付着量の関係の解明
- ④風洞実験、屋外実験による海塩粒子の付着メカニズムの解明
- ⑤降水による洗浄効果、素材の違いによる付着率の評価
- ⑥橋梁各部位における海塩粒子の付着量の評価モデルの構築、および腐食劣化の進行評価する方法の検討

■平成22年度の研究成果

- ①飛来塩分を捕集するために円筒型飛来塩分捕集器を試作し、観測を行うことで飛来塩分濃度を評価した。



大鳴門橋



天鳥橋

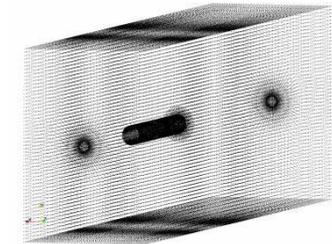
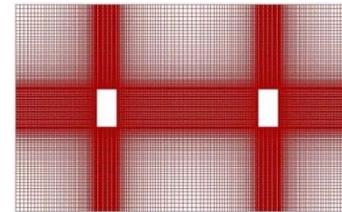


飛来塩分捕集器と内部ガーゼ

橋梁細部における海塩粒子の付着量推定と腐食劣化予測手法の検討

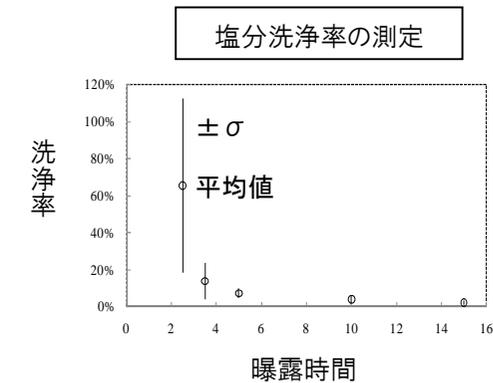
■平成22年度の研究成果

- ②海塩粒子の移流拡散を計算するために、CFD解析で流れ場を算出したあとに、流れ場を用いて濃度拡散方程式を解き付着量を試算した。
→乱流エネルギー k の過大評価、メッシュ依存性のさらなる検討が必要。
- ③実験から降水による付着塩分の洗浄効果が確かに存在することが判明した。その効果を含めた気象データと簡易モデルを用いたCFD解析の結果から、大鳴門橋主塔回りでの付着塩分量の計算を行い、現地観測の結果に近い傾向が得られた。



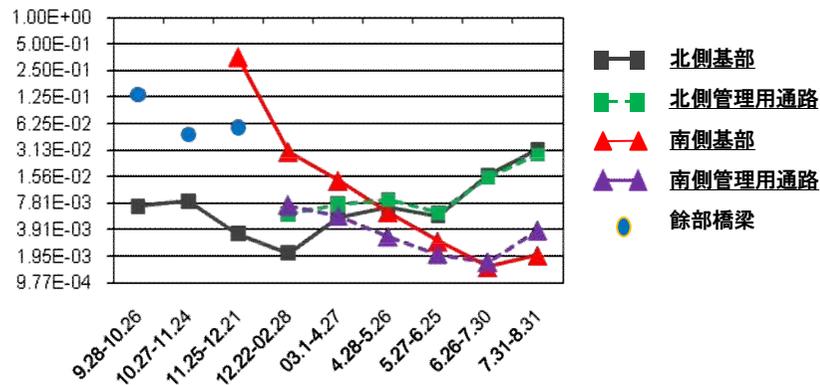
■平成23年度の研究内容

- 精度を上げたCFD解析
- 乱れを考慮した海塩粒子の付着機構の解明と解析
- 拡散係数と付着の評価
- 模型実験による可視化流速場とCFD解析との比較
- 実橋梁における塩分付着の簡易モデル化の作成
- 土研法と円筒型飛来塩分捕集器の捕集正確性の評価
- 実橋梁、コンクリート等の表面粗度・素材を変更した表面への降水の洗浄効果の評価

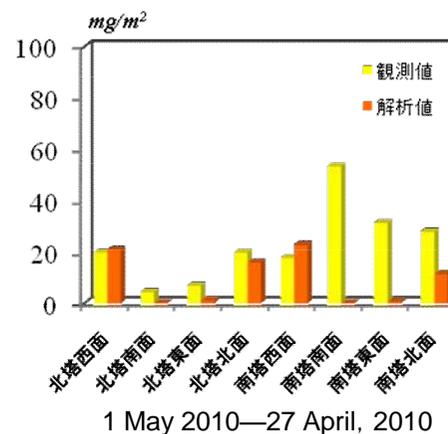


大鳴門橋飛来塩分濃度の算出

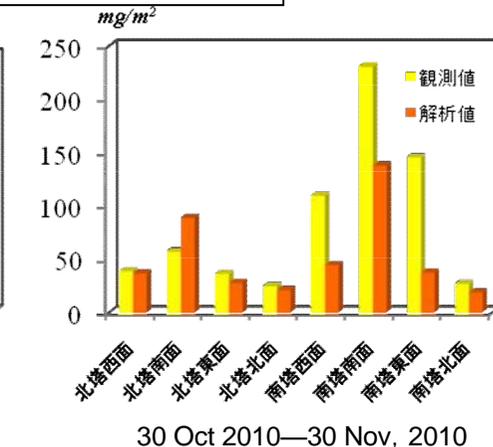
付着塩分量(mg/m³)



付着塩分量



付着塩分量の解析・推定



アーチカルバートを連続的に含む景観性に優れた盛土構造の耐震性能評価と災害復旧に関する研究
平成 22 年度成果概要と平成 23 年度計画概要

平成 22 年度成果概要

1. 連続プレキャストアーチカルバート盛土の耐震性に関する検討（官・学）
 - ・ 遠心力模型実験，数値解析による検討
 - ・ 検討パラメータ：カルバートの離隔（ $L = 0.25H, 0.5H, H, 1.5H$ ），入力波（1Hz パルス波，1Hz 正弦波 30 波，1Hz の増加波，いずれも 50G），ヒンジの有無
 - ・ （結果）アーチカルバート肩部が未結合の場合は，脚部の曲げモーメントが増加する。
 - ・ （結果）盛土材料として通常の盛土を用いる場合，カルバート間隔がアーチカルバートの 1/4 までなら，カルバート間の地盤の応答加速度，アーチカルバート発生する部材力に大きな差異は認められない。
2. 計測による多ユニットアーチカルバートの応力・変形挙動（産）
 - ・ 三連アーチカルバートにより実施。
 - ・ 計測項目：変位，鉄筋ひずみ，土圧
 - ・ （結果）サイドウォールに作用する側方土圧は，設計土圧とほぼ一致。
 - ・ （結果）盛土がリングジョイントに達するまでは，大きな変形は見られない。リングジョイント以降の盛土により，サイドウォールが斜め上方に押し上げられる。
 - ・ （結果）底版コンクリートに脚部に開きによる引張が発生する。破壊に至るような大きな値ではないが，設計と異なる。
 - ・ （結果）ボールド部とサイドウォール部については，計測値と設計値がほぼ一致する。
3. 継ぎ手性能に関する試験（産）
 - ・ 実物による継ぎ手曲げ試験（負曲げ，正曲げ），せん断試験の実施。
 - ・ （結果）曲げボルトの有無，グラウトの有無にかかわらず，軸力が増加することで回転剛性が高くなる。
 - ・ （結果）初期ひび割れは，回転角 3° 程度で発生した。その値は，許容ひび割れ以下を示す。
 - ・ （結果）曲がりボルトに引張応力が発生しないと想定したが，継ぎ手の回転により引張が発生する。

平成 22 年度成果に対する土木研究所のコメント

- L2 地震動など，他の地震動での検討。
- 橋軸直角方向の検討
- 実物大動の実験の実施
- 計測結果からの地盤ばねの評価を行う
- 底版コンクリートの挙動を検討（他のカルバート構造物などでも確認されている）
- 道路構造物としての耐震性能を明らかにすること。アーチ盛土の耐震性能を明確にする。

平成 23 年度実施計画

1. 連続プレキャストアーチカルバート盛土の耐震性に関する検討（官・学）
 - ・ L2 地震動など，様々地震動での検討（数値解析のより実施）
 - ・ 橋軸直角方向の検討（遠心模型実験および数値解析）：アーチカルバート，ボックスカルバート
2. 計測による多ユニットアーチカルバートの応力・変形挙動（官・産）
3. 継ぎ手性能に関する試験（産）
4. 東北地震での被害状況の整理
5. 3 ヒンジアーチカルバートによる連続アーチ盛土の施工手順の整備