資料－１

終了プロジェクトの平成24年度の成果報告

■平成24年度　研究テーマ一覧

	研 究 テ ー マ	研 究 者	研究期間
1	橋梁の延命化シナリオ策定の実践・検証に関する研究	京都大学 宮川豊章教授	H22～H24 （終了）
2	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 （排水,透水性舗装の沿道環境改善機能に関する研究）	京都大学 大西有三名誉教授	H22～H24 （終了）
	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 （排水舗装の耐久性向上に関する研究）	大阪市立大学 山田優名誉教授	H23～H25 （継続）
3	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	京都大学 大西有三副学長	H22～H24 （終了）
4	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	関西大学 坂野昌弘教授	H22～H24 （終了）
5	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	京都大学 西山哲准教授	H22～H24 （終了）
6	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	京都大学 岸田潔准教授	H22～H24 （終了）
7	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	京都大学 小山倫史助教授	H22～H24 （終了）
8	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 （道路巡回効率化システムに関する研究）	京都大学 小林潔司教授	H22～H25 （継続）
9	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	京都大学 白土博通教授	H22～H24 （終了）

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

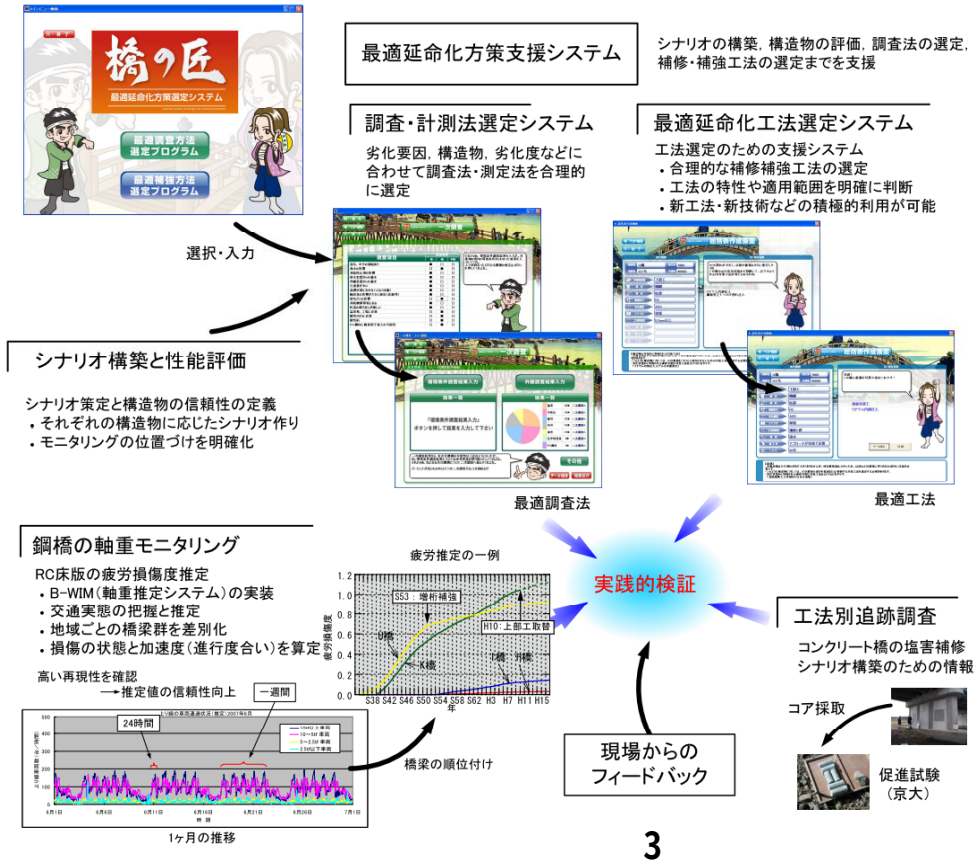
- 延命化のための“道しるべ”をつくろう
- 延命化方策の“シナリオ”をつくろう
- 丈夫で美しく長持ちする橋梁で、丈夫で美しく長持ちする市民生活を！

■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。

橋梁の延命化シナリオ策定の実践・検証に関する研究

●プロジェクト成果の全体像



●24年度の成果

- モニタリングに基づく橋梁群の評価・手引き作成
- 調査計測手法選定システムの構築・機能拡充
- 補修補強工法選定システムの構築・機能拡充
- 選定システムの実地検証と情報のフィードバックおよび普及活動

（主に経験の浅い技術者向け教育ツールとして）

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

「排水、透水性舗装の沿道環境改善機能に関する研究」

プロジェクトリーダー　大西有三
ワーキングリーダー　西山　哲

研究の目的

都市環境改善や走行環境改善に資するために整備促進されてきた環境舗装（排水性舗装、透水性舗装）の効果および経時変化の要因を分析・整理し、維持管理計画策定のための機能維持の検討を行い、管理手法のとりまとめを行う。

研究の内容

１）環境舗装機能における経時変化の要因分析
２）環境舗装における機能の現状把握
３）維持管理計画策定のための保持機能および計測手法の検討

研究結果

１）環境舗装機能における経時変化の要因分析
- ひび割れ率、わだち掘れ、MCIによる分析では、一般舗装に対し同等～1.7倍、環境舗装の方が優位。

２）環境舗装における機能の現状把握
- 路面騒音について、国土交通省の直轄国道のように大型車交通量の多い路線では、いずれの時点においても一般舗装に対する環境舗装の優位性は大きい。
- 浸透水量は路面騒音値に逆比例する傾向。さらに多くのデータを収集することにより、路面騒音値より透水機能の予測が可能。

３）維持管理計画策定のための保持機能および計測手法の検討
- 機能維持に重点を置いた維持管理手法を作成。これにより、環境舗装の機能も維持しつつ舗装本来の維持管理も行うことが可能になると考えられる。

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検討に関する研究

トンネルプロジェクト　リーダー　大西　有三

研究の背景

トンネルの維持管理では，その構造物の特性から，周辺が岩盤で，それ自身（材料）が複雑であるため，損傷原因の特定や，劣化過程の推定に不確実性が伴う．したがって，橋梁のように理論式で示される明確な劣化機構をトンネル構造物に当てはめるのは困難であり，ある程度経験的な（点検や調査に基づく）判断により補修等の意思決定がなされるのが一般的である．また調査・点検時の道路規制に伴う社会的損失やその予算確保など多くの課題を抱えているのが現状である．

研究の目的

本研究では，こうした課題に対応するため，走行型計測技術を活用した道路トンネル健全性評価手法及び評価基準について検討し，今後の道路トンネルの維持管理をより効率よく正確かつ安全に実施していくことを目的としている．

研究の内容

いくつかの道路トンネルで走行型計測を実施し，得られた計測データを基に従来の点検結果との比較や考察を実施してきた．その結果，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が検出できることを実証した．本研究では，走行型計測技術の特徴や利点またその実用化について評価を実施し，道路トンネルにおいて必要となる走行型計測による維持管理方針（走行型計測の各種機器の基本スペック，計測データの解析手法，計測結果の評価基準，健全性評価を実施するうえでの着目点等）について検討を行ったものである．

トンネル走行型計測の概要

走行型計測は，対象トンネルの変状現象を的確に，かつ客観的に把握することを目的とし，交通規制が不要な計測技術である．計測項目は，次の２項目である．

①走行型画像計測（MIS : Mobile　Imaging　Technology　System）

LEDﾗｲﾄ，ｶﾒﾗ高性能ﾚｰｻﾞ覆工コンクリート表面のひび割れ，漏水，材質不良(豆板）箇所を客観的に把握するため，ビデオカメラにより壁面画像を撮影・計測する．画像計測に欠かせない光源は，LED照明とし，0.2mm程度のひび割れを検出する機能を備えている．

②走行型レーザ計測（MMS : Mobile　Mapping　System）

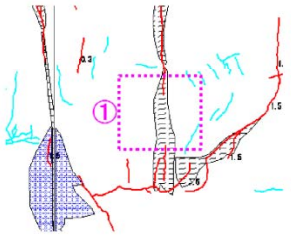
覆工コンクリート表面の凹凸や変形モードを把握するため，3次元レーザ計測により覆工内面の形状を3次元の点座標としてデータ取得を行う．

③画像・レーザ両用（MIMM : MIS＆MMS）

上記のシステム（MIS+MMS）を同一車両に搭載．

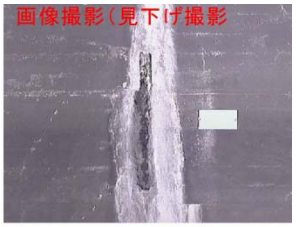
計測結果及び評価

覆工表面のはく落箇所の検出

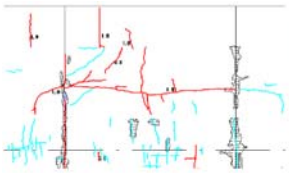


画像及び展開図より
表面が欠落し異常が考えられる

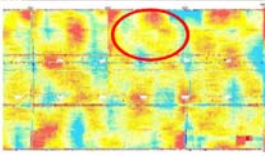
導水工が破損し，その周辺が浮いている（打音により確認）



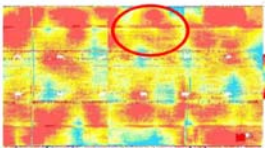
水平方向ひび割れ箇所の検出



当初ひび割れ展開図より
縦断方向に 1.0mm 程度のひび割れがあり，斜め方向のひび割れとつながると将来閉合する恐れがあるものと判断していた

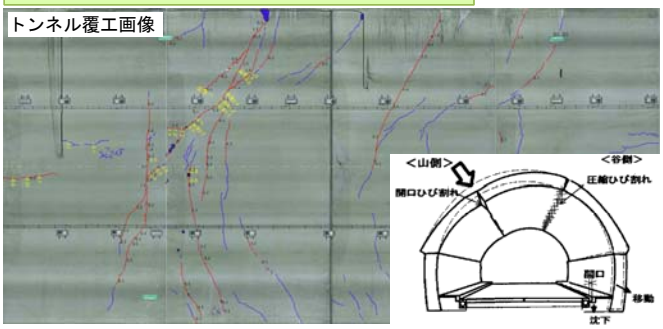


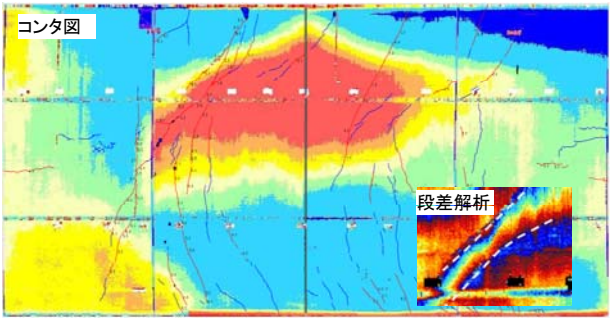
当初コンタ図より
変状コンタ図からは，若干の内面への変形が確認できる



現地で，打音検査を行ったところ，右の写真のように浮きがあることが判明
段差が 1.7mm，ひび割れ幅は 0.7mm 程度であった

覆工内面への変形箇所の確認





トンネル走行型計測の評価方法の検討

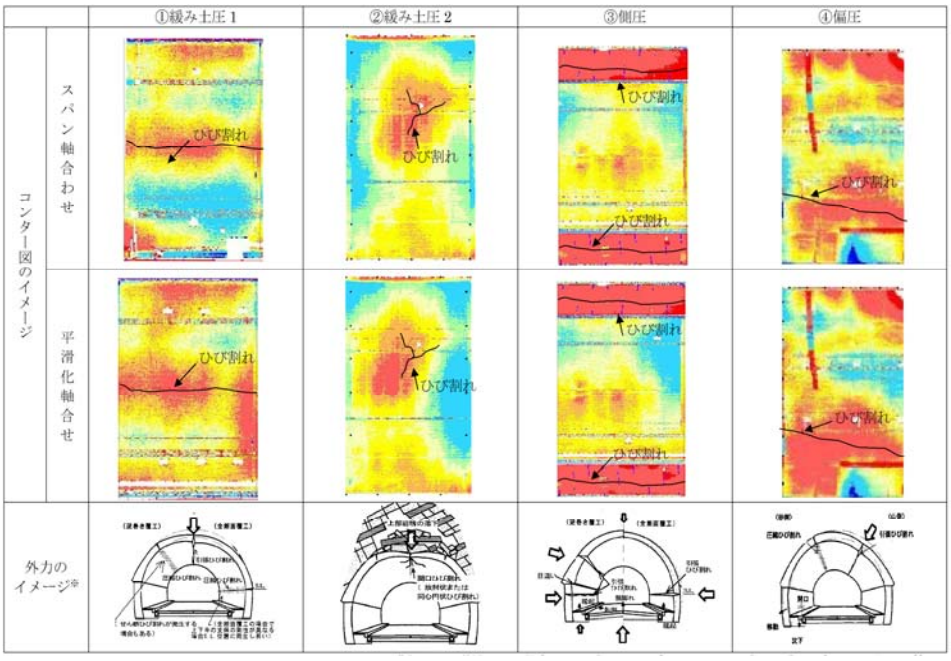
画像データ及び展開図面から得られる評価

①はく落，漏水，遊離石灰，豆板，目地部劣化
②ひび割れ閉合，交差，密集（亀甲状）箇所
③縦断方向のひび割れで延長が長い，または段差がある箇所

→ 浮きの可能性が高い

レーザデータから得られる評価

外力による影響が予想されるレーザデータ（コンタ図）のパターン



変状原因や進行性の評価が可能

トンネル走行型計測の評価基準の検討

研究成果から得られた結果をもとに走行型計測の基本性能及び評価基準

①走行型画像計測は照明灯とカメラから構成され，覆工面を自ら照明しながら撮影できる機能を有する
②レーザ計測は車両の位置・姿勢を計測する位置・形状計測サブシステムより構成される
③照明灯は可視光とカラー画像が取得できるものとする
④カラー写真は覆工面において2㎜／1pixel以上の高精細画像が取得できるものとする
⑤覆工面の画像上の寸法で実長との精度で1%以下とする
⑥レーザスキャナはClass1またはClass2であり，1周5000点以上計測できること
⑦走行速度は40㎞/h以上で計測し，ひび割れ検出精度は0.3mm以上を取得できること

トンネル走行型計測の位置づけ

走行車両による点検の結果，問題箇所を抽出し，近接目視，打音点検が必要な箇所と判定した場合は，交通規制を行い抽出した箇所に対して打音検査を行う．このようにすれば，交通規制に伴う，通行者に与える影響および規制コストを最小化できる．

走行型計測車両による点検法は，遠望目視，近接目視点検の代替として変状情報の客観的・高精度把握が可能であり，高速化，交通規制低減，見落とし防止などに有効である．一方で本手法は打音検査の完全な代替とはなり難く，打音検査の補完技術であると同時に，多くの優位性を有した高度化技術と位置づけることができる．

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

プロジェクトリーダー　関西大学　坂野昌弘

（背景と目的）

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している．

平成24年度の成果

(1)　FEMによる逐次崩壊挙動の解析

(2)　実験による横桁端部の疲労挙動の究明

(3)　実橋における横桁端部やトラス部材当板すみ肉溶接部の調査

(a) 横桁端部の非破壊検査

(b) トラス部材当板すみ肉溶接部の欠損部調査

(c) 横桁端部と縦桁端部の応力計測

(4)　維持管理方針案の策定

(a) 維持管理上の課題の整理

(b) 対策案の検討

(c) 維持管理方針案の策定

淀川大橋維持管理方針案(大目次)

1. 維持管理上の課題（劣化シナリオ）
2. 疲労損傷等に対する対策案
3. 維持管理方針（点検）
4. 維持管理方針（対策）
5. 維持管理方針の見直し
6. 他の橋梁への展開

詳細は午後のセミナーで！

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

【本研究の目的】

豪雨に伴う斜面崩壊の危険，老朽化の恐れのある構造物．．．．

⇒これらを管理する

“モニタリングに要する労力と費用の低減を図る”のが目的．

【研究の取り組み方法】

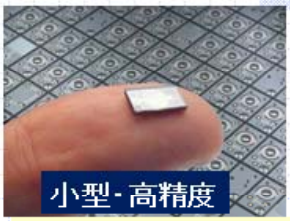
家庭内ゲームでは既に

「小型でリアルタイムで体の動きをパソコンに表示する」無線センサ

が実用化されている．

⇒センサの土木への応用を図る

いつでも，どこでも，簡単に，
より細かいところまで監視できる
センサネットワークを実現させる．



先端技術の導入による
管理技術の
“低コスト化”“高効率化”
“省力化”を測る

- 多数のセンサを配置できる．
  - どこにでも簡単に設置できる
  - リアルタイムで3次元の動きを捉える

データの無線通信を導入

- 機器のメンテナンスが不要
- 計測機器自体が災害に強い：有線が無い．
- 安いので使い捨てのシステムが出来る

・国土交通省近畿地方整備局道路部
紀南河川国道事務所
・京都大学大学院
・国際航業，可視化ビジョン，熊谷組，
サンコーコンサルタント，地層科学研究所

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

【研究期間中の実績】

安価，小型，高精度で対象物の挙動を
検知するセンサネットワークの実現

↓

・橋杭岩：景観を害さないモニタリングシステム
・見草地区：植生で見通せない個所の落石検知
・椿地区：台風12号上陸時　岩塊安定性評価
・各種構造物の施工中のヘルスモニタリング

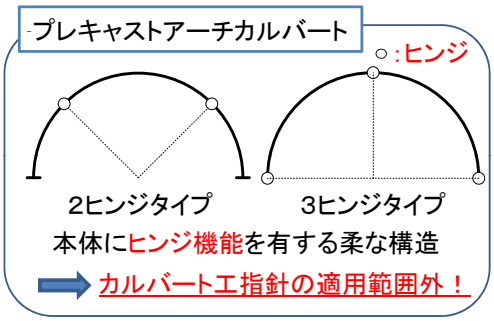
アーチカルバートを連続的に含む景観性に優れた盛土構造の耐震性能評価と災害復旧に関する研究（平成22年度～24年度）

大型実験および数値解析による連続アーチカルバート盛土の設計規範の構築に関する研究

1.研究の背景・目的

連続アーチカルバート盛土とは・・・

プレキャストアーチカルバートを連続的に設置した
高架橋のような盛土構造物



道路における問題点

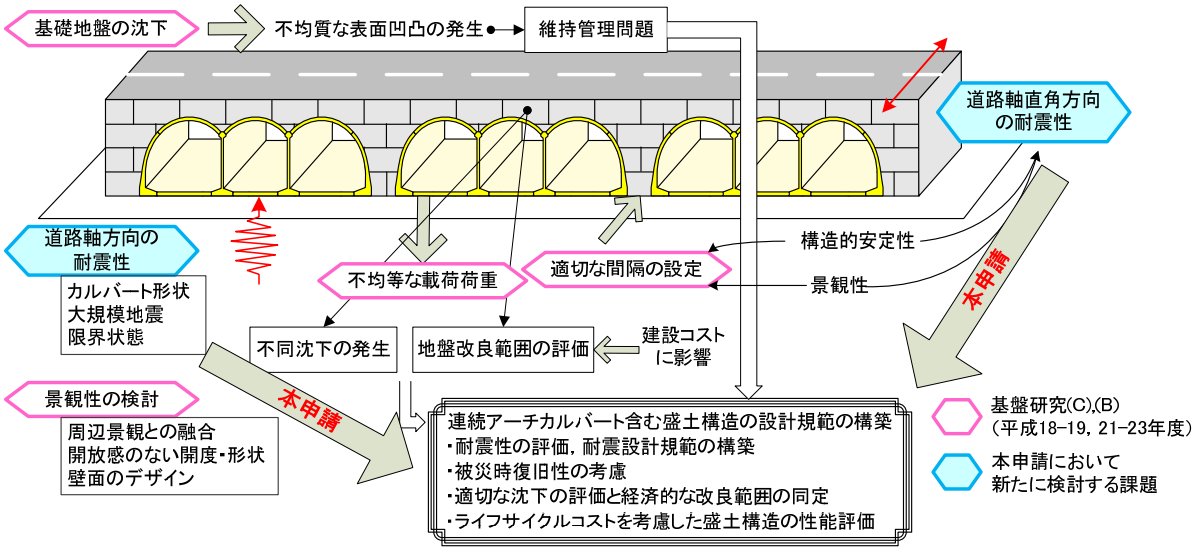
・高架構造は**コスト高**
　← 盛土構造物だから低コスト

・盛土構造による**地域分断**
　← アーカルバートによる大断面の空間

耐震性は!?

課題：①設計規範がない
　➡ 複数のカルバート：指針の適用外！
　②土工の考え方で十分か？

2. 研究内容・本構造における技術的課題



① 道路軸方向の耐震性：

◆ カルバート形状（ボックス or アーチ，ヒンジの位置・個数etc.）による耐震性の違いは？

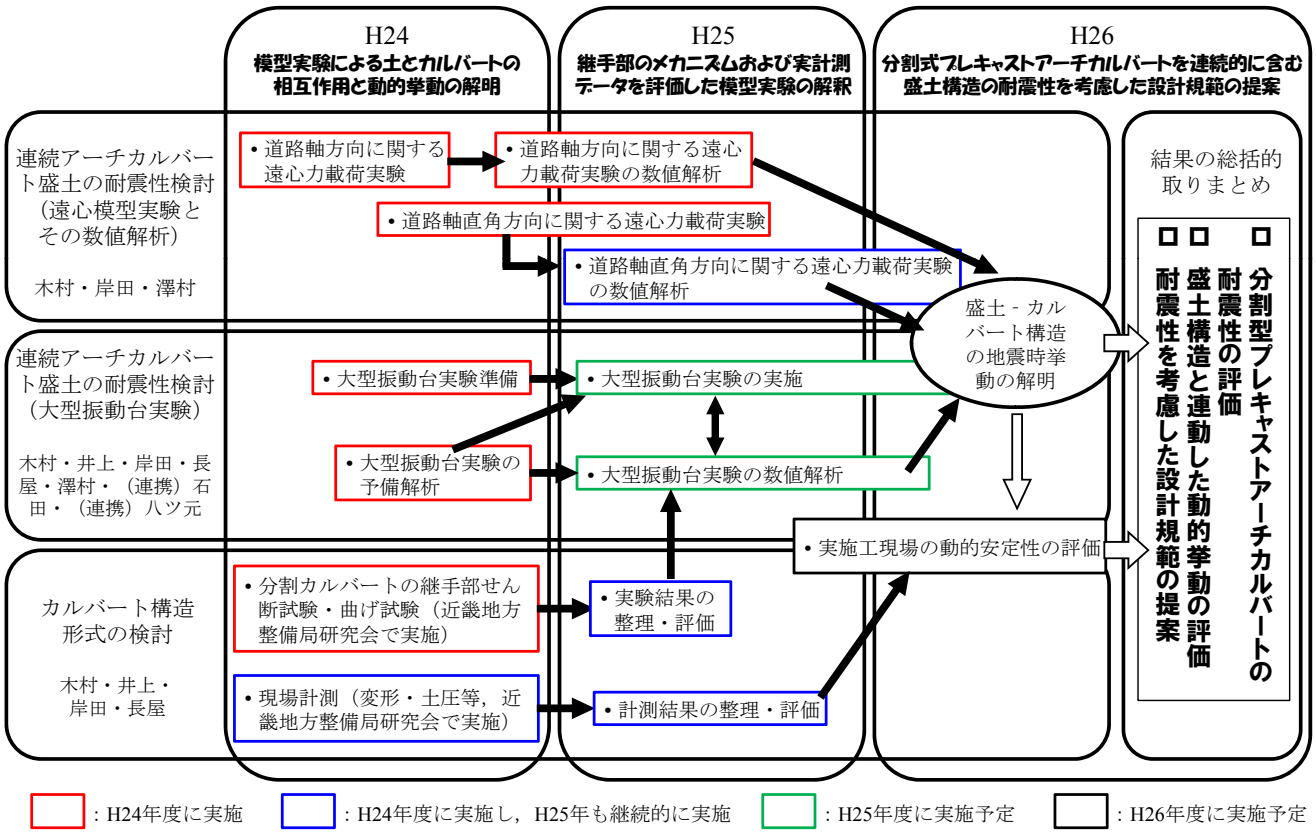
◆ 大規模地震時における要求性能は明確になっていない！

② 道路軸直角方向の耐震性：

◆ 過去の地震におけるカルバート被害は，主に道路軸直角方向！（目地の開きetc.）

◆ 壁面工として直壁を有する場合の耐震性については未解明！

3. 研究の実施体制と進捗状況



4. H24年度の成果と今後の見通し

◆ H24年度の成果

(1) 連続アーチカルバート盛土の耐震性検討：遠心模型実験とその数値解析

- カルバート横断方向（道路軸方向）におけるカルバート構造形式と盛土高による基本的な地震時挙動の解明：ボックスvsアーチカルバート，ヒンジの有無

(2) 連続アーチカルバート盛土の耐震性検討：大型振動台実験とその数値解析

- カルバート縦断方向におけるカルバート同士，坑口の処理方法と地震時挙動の解明：分割カルバートの利点の欠点，坑口部壁面への土圧の作用

(3) カルバート構造形式の検討：接合部せん断試験および曲げ試験，現場計測

- 実現場における現場計測と設計における相違点，設計における留意点の把握
- 継手部における回転剛性と限界状態，高軸力下における継手部の挙動

➡ **大型振動台実験の結果を整理する上での基礎的な挙動を確認**

◆ 今後の見通し

①H24年度からの課題を継続的に実施．

・産官学連携による現場計測・実物大継手試験・精緻な数値解析

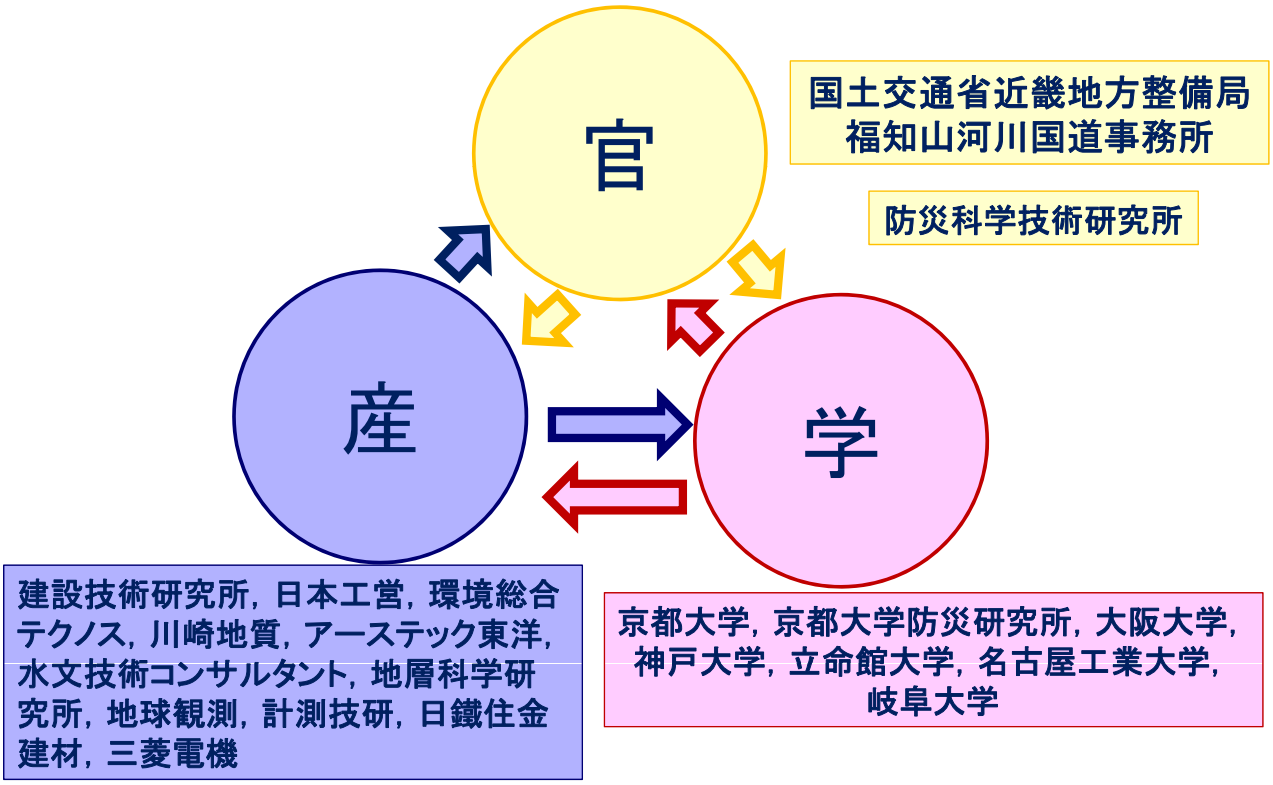
②大型振動台実験の実施

・実験土槽はH24年度に設計・作製済

・H24の成果を踏まえて実験目的・検討項目を明確化

分割式プレキャストアーチカルバートを連続的に含む盛土構造の耐震性を考慮した設計規範の提案

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



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

委員長：小山 倫史
（京都大学）

WG3：評価
斜面点検データの活用
対策優先順位付け
土砂災害警戒情報の高精度化
警戒情報運用システム

WG3：小田 和広
（大阪大学）

WG1：計測
計測機器開発
気象情報の高精度化
リアルタイム斜面モニタリングシステム
センサーネットワーク

WG1：酒匂 一成
（鹿児島大学）

WG2：解析
雨水浸透メカニズム
不飽和土の構成モデル
数値解析手法
斜面安定性評価
崩壊予測

WG2：菊本 統
（横浜国立大学）

現場計測
サンドカラム試験
大型降雨実験

研究成果（WG1:計測ワーキング）

- **Task 0: 斜面計測・モニタリング手法のレビュー**
  - ゲリラ豪雨の特徴（短時間・高降雨強度）を踏まえた計測の
    ⇒ リアルタイム計測
  - ゲリラ豪雨時の斜面における雨水浸透メカニズムおよび斜面内における水収支の把握の必要性 ⇒ 間隙空気圧の計測，表面流の計測
- **Task 1: 新たな計測機器の開発・改良**
  - リアルタイム雨量計，表面フラックスメーター，雨滴計，間隙水圧・空気圧計
  - XバンドMPレーダー（高精度な気象情報）の活用 ⇒ 降雨波形が重要!!
- **Task 2: サンドカラムを用いた降雨実験（雨水浸透現象の把握）**
  - 降雨強度，地盤の不飽和特性，雨滴粒径，排気・排水条件が雨水浸透挙動に与える影響 ⇒ 高降雨強度・雨滴粒径：大では地盤内の空気圧の上昇
- **Task 3: 現場計測に向けた計測機器の開発・改良**
  - 大型降雨実験による検証
- **Task 4: 現場斜面計測・モニタリング**
  - 国道9号線雨量通行規制区間の自然斜面にて現場計測・モニタリングを実施

研究成果（WG2:解析ワーキング）

- **Task 0: 従来の解析手法の特徴の整理**
  - 連続体解析⇔不連続体解析，微小変形⇔有限変形，大変形
    ⇒目的に応じた解析手法の選択が重要
  - 境界条件（特に，降雨境界条件，斜面内の水収支に着目した水位変動境界）の取り扱い
- **Task 1: 雨水浸透メカニズムの解明．応力ー浸透（ーガス）連成解析手法の開発**
  - 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
  - 一次元浸透カラム試験に対する飽和-不飽和地盤の浸透流解析の実施
  - 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の検討
- **Task 2: 大型降雨実験のシミュレーション**（H24年度実施）
- **Task 3: 現場斜面のシミュレーション**
  - 表層崩壊事例に対する再現解析（飽和ー不飽和浸透流解析＋斜面安定解析）
  - 現場計測・モニタリング対象斜面に対する危険度予測解析

研究成果（WG3:評価ワーキング）

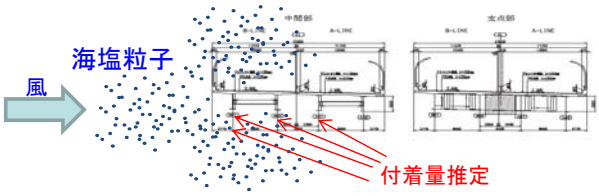
- **Task 0: 従来の評価手法のレビュー**
  - 国土交通省近畿地方整備局福知山河川国道事務所におけるヒアリング（平成18年度防災点検要領の概要）
  - 切土斜面の管理事例（NEXCOおよびJR）の収集
- **Task 1: 道路斜面点検データの活用法の提案**
  - 自己組織化マップ(SOM)によるのり面のクラスタリングおよびのり面の変状・安定性に大きな影響を及ぼすと考えられる要因の抽出
  - 福知山河川国道事務所管轄下の道路のり面についてSOMを用いた分析を実施し，モニタリング対象斜面を決定.
- **Task 2:　警戒情報運用システムの提案**
  - **雨量通行規制およびその解除**に関わる判断支援システムの提案

    ⇒ **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**

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会

■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．



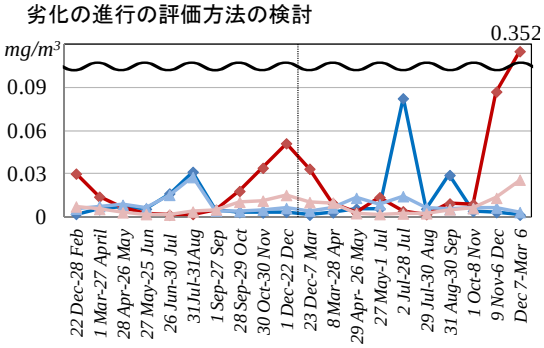
大鳴門橋

天鳥橋

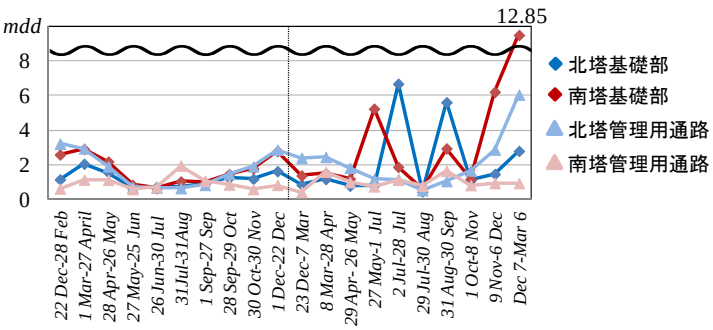
■調査の内容

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，腐食の進行状況，ならびに風向･風速，降水量，飛来塩分量の調査
② CFD解析による橋梁周囲の流れ場の推定
③ 現地観測，CFD解析に基づく，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付着量の評価モデルの構築，および腐食劣化の進行の評価方法の検討

飛来塩分捕集器と内部ガーゼ



大鳴門橋飛来塩分濃度観測結果



大鳴門橋*mdd*観測結果

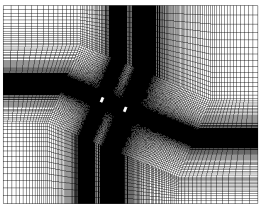
橋梁細部における海塩粒子の付着量推定と腐食劣化予測手法の開発に関する研究会

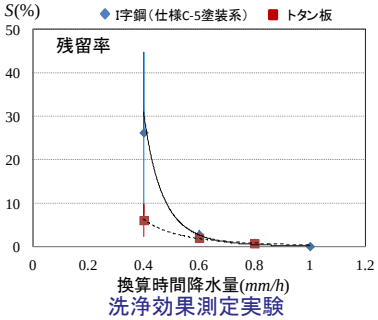
■平成22年度の研究成果

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．
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．気象データと，その効果を含めた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．

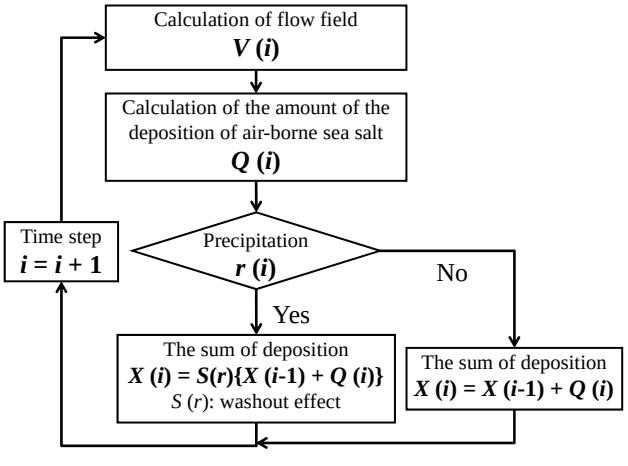
■平成23年度の研究成果

① 前年度に引き続き円筒型飛来塩分捕集器を用いて，現地観測により飛来塩分濃度を評価した．
② 降水による付着塩分の洗浄効果について実験を行った結果，洗浄効果が表面性状によって異なることを確認した．
③ CFD解析，現地観測，気象観測データを基に付着塩分量の簡易計算モデルを作成し，実橋梁における付着量を試算した結果，オーダー，付着傾向が概ね一致した．しかし計算精度は十分であるとは言えず，今後改善する必要がある．
→橋梁周囲の流線図から周辺地形の再現，海塩濃度分布の解明が必要．


大鳴門橋計算領域



洗浄効果測定実験



計算アルゴリズム

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会

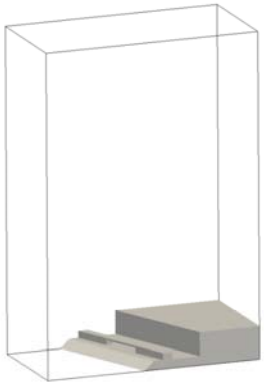
■平成24年度の研究成果

① 前年度に引き続き円筒型飛来塩分捕集器を用いて，現地観測により飛来塩分濃度を評価した．

② ACMセンサを用いて天鳥橋部位別の雨がかりの有無が確認されたが，表面の濡れ時間と気象データとの明確な相関は見られなかった．

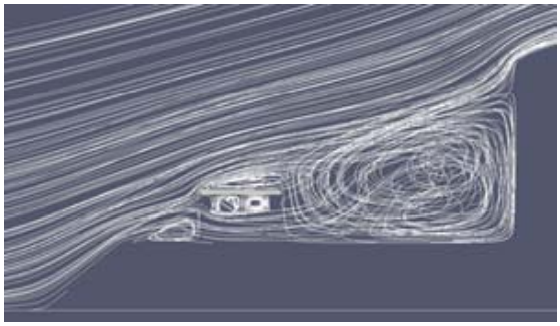
③ 天鳥橋の橋台や周辺地形をより忠実に再現した計算領域を用いて風況解析を行った．

④ 海塩粒子に対し粒子追跡法を用いることで天鳥橋部位毎の付着量を評価した．付着傾向は精度よく再現でき，海塩粒子の移動に重力の影響が重要であることが確認された．したし，推定付着量の絶対値は観測値に比べて過大評価であり，付着機構の詳細を明らかにすることにより，今後推定値の改善をはかる必要がある．

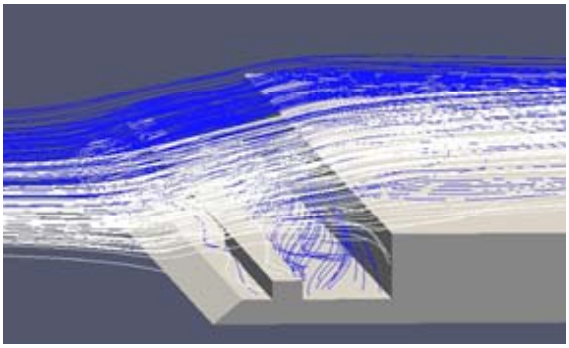


天鳥橋計算領域

風向：橋軸直角



風向：橋軸直角より22.5°



天鳥橋流線図

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会

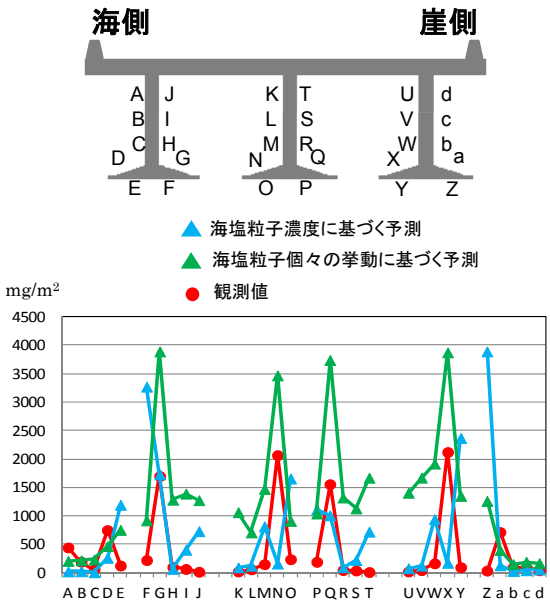
■今後の課題

① 塩分濃度や流れ場の非定常性，塩分捕集精度の検討，風洞実験による粒子挙動の確認などを行い，付着量の推定精度の向上を図る．

② 表面の湿潤状況や付着塩分の堆積挙動を明らかにする．

③ 気象データや飛来塩分濃度の獲得手法の検討を行う．

④ 対象橋梁を増やし，提案された付着塩分量評価手法の妥当性や汎用性を検証する．



天鳥橋付着塩分量計算結果（2011年3月～4月）

国土交通省近畿地方整備局，国土交通省近畿地方整備局紀南河川国道事務所
(株)IHIインフラシステム，(株)大林組，(株)オリエンタルコンサルタンツ，鹿島建設(株)，(株)川金コアテック，川田テクノシステム(株)，
JFEスチール(株)，(財)電力中央研究所，(株)阪神コンサルタンツ，三井住友建設(株)，三井造船(株)
京都大学
話題提供：(株)IHI，(株)計算力学研究センター，(地独)北海道立総合研究機構