第 8 回 CAESAR 講演会

開催日：平成 27 年 8 月 28 日(金)

会　場：一 橋 講 堂

国立研究開発法人土木研究所

構造物メンテナンス研究センター（CAESAR)

目　次

■ 講 演

JR 東日本における鉄道構造物の維持管理の動向と体制 …… 3
JR 東日本構造技術センター所長　野澤　伸一郎　氏

道路土工分野の技術基準と維持管理 …… 15
地質・地盤研究グループ上席研究員　宮武　裕昭

海外の地震災害調査と技術支援 …… 29
CAESAR 耐震研究監　運上　茂樹

橋梁に対する非破壊検査技術等の開発 …… 43
CAESAR 上席研究員　石田　雅博

■ 特 別 講 演

インフラの維持管理における技術開発の動向と SIP …… 55
横浜国立大学先端科学高等研究院 上席特別教授　藤野　陽三　氏

講　　演

JR東日本における鉄道構造物の維持管理の動向と体制

contents

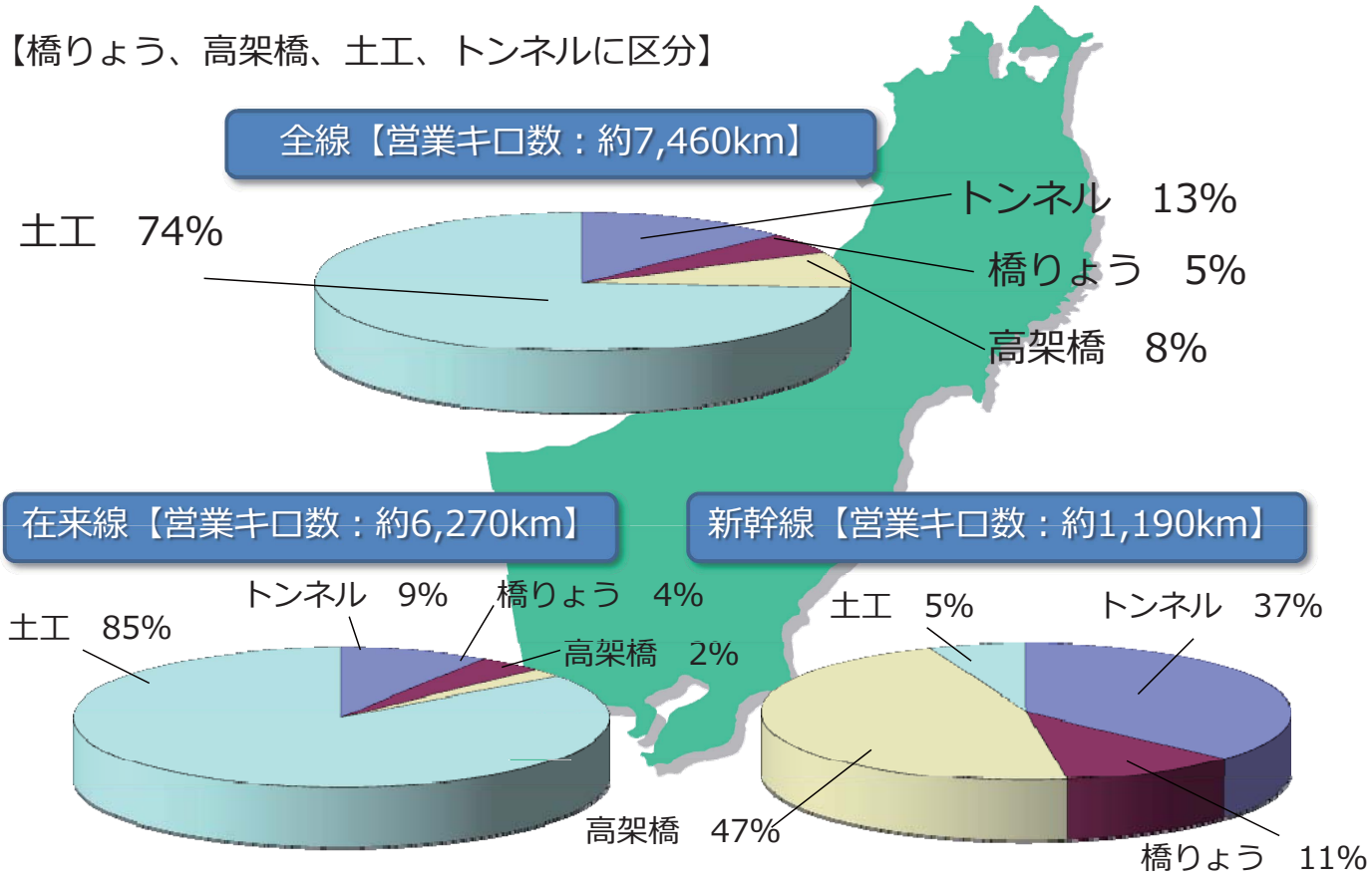
Ⅰ．JR東日本の鉄道構造物と維持管理
Ⅱ．構造技術センターの体制変更
Ⅲ．今後の動向

平成27年 8月28日

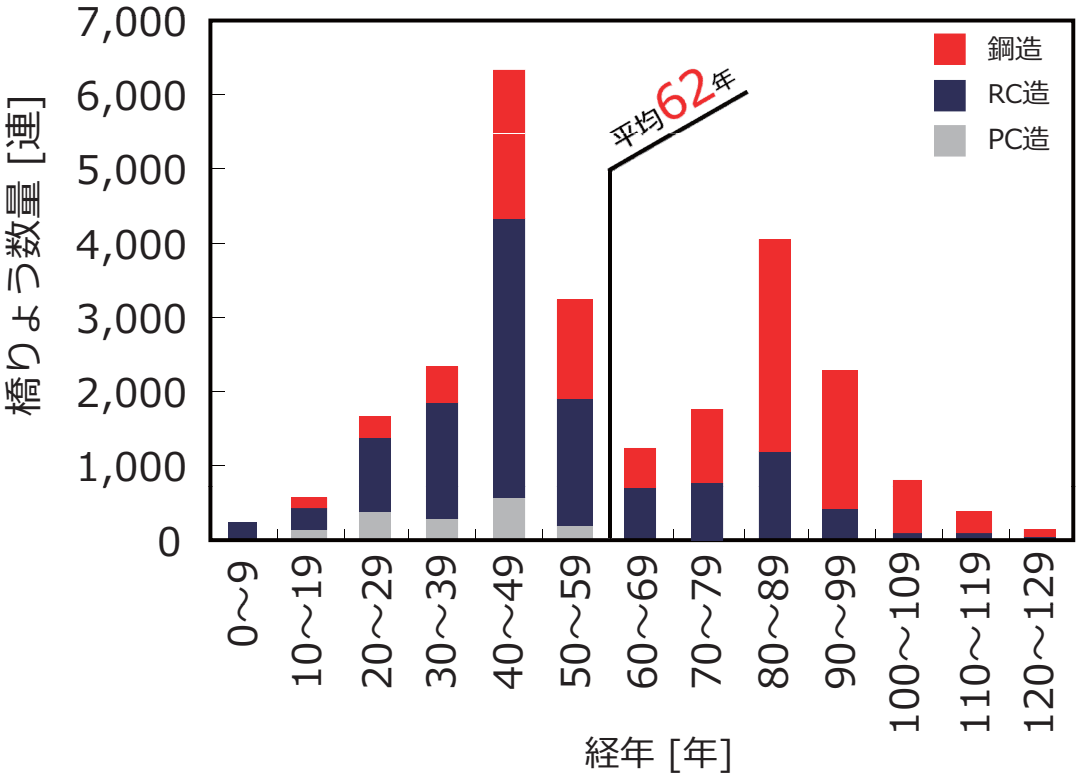
東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター
野澤 伸一郎

JR東日本管内の土木構造物概要

【橋りょう、高架橋、土工、トンネルに区分】



橋りょう数量と経年[在来線]



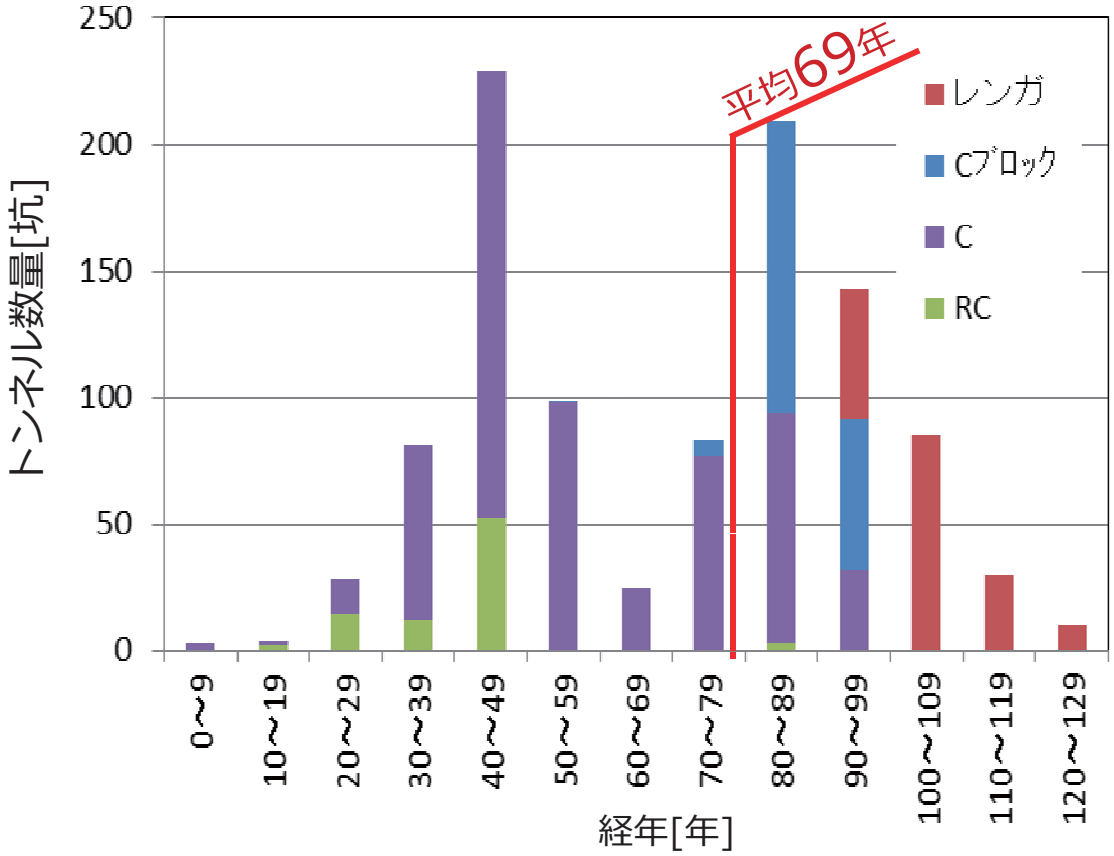
Ⅰ．JR東日本の鉄道構造物と維持管理

橋りょう数量と経年[在来線]

駅　間　左沢線 羽前長崎・南寒河江間
名　称　最上川橋りょう
形　式　ダブルワーレントラス
製作年　1886年[経年129年]

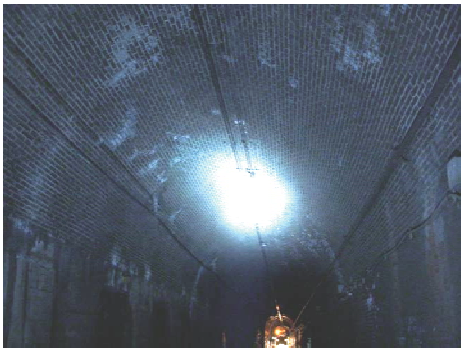
駅　間　東海道線 有楽町・新橋間
名　称　第2有楽橋架道橋
形　式　下路プレートガーダー
製作年　1908年[経年107年]

トンネル数量と経年[在来線]



Ⅰ．JR東日本の鉄道構造物と維持管理

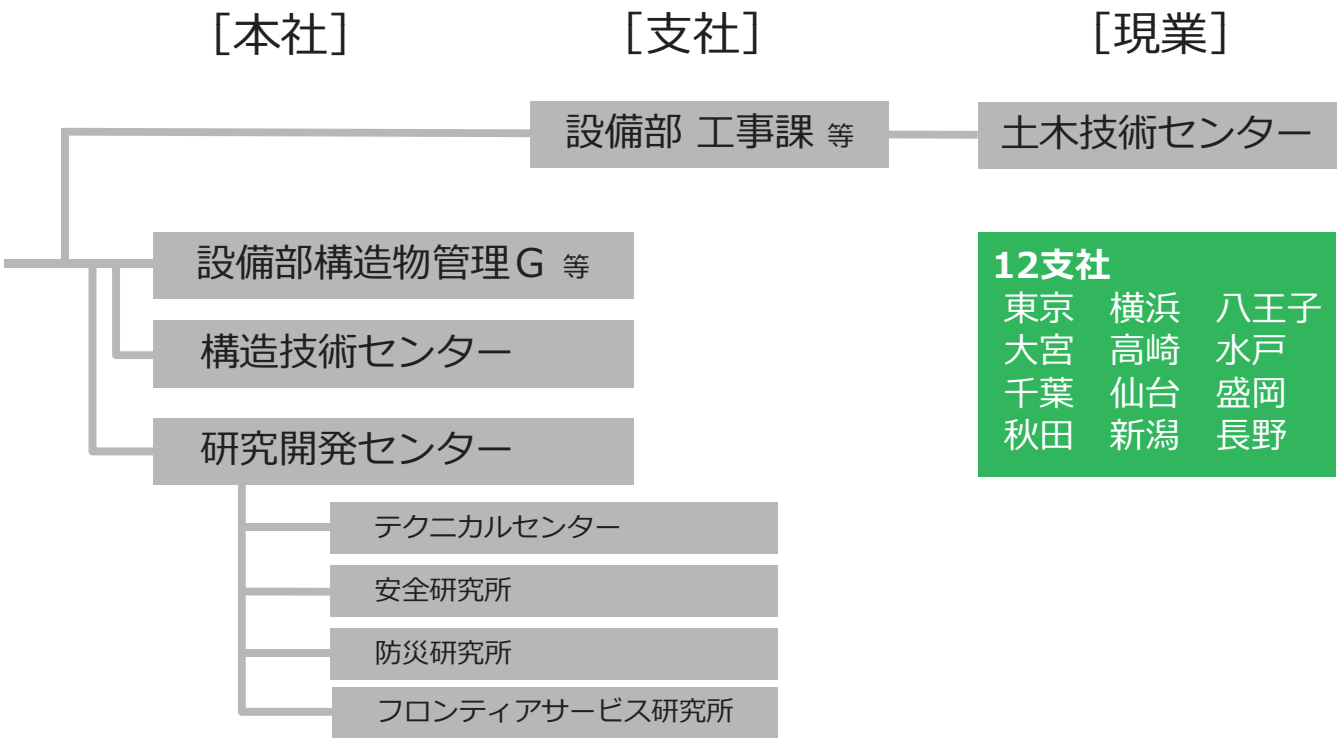
トンネル数量と経年[在来線]



※左（上り線）が当該
右は複線開業（1898年）時に増設されたもの

駅　間　東海道線　保土ヶ谷・東戸塚間
名　称　清水屋戸（しみずやと）トンネル
材　質　レンガ
取得年　1887年[経年128年]

組織・体制



検査基準の整備

鉄道構造物の検査に関する基準の変遷

S31　建造物保守心得
S40　建造物検査標準
S49　土木建造物取替の考え方　維持管理のバイブル的存在
S62　土木建造物等保守管理標準
H13　土木建造物等全般検査マニュアル（ＪＲ東日本）
H18　鉄道構造物等維持管理標準

維持管理技術基準の体系

国	省令	鉄道に関する技術上の基準を定める省令	
	告示	施設及び車両の定期検査に関する告示	
ＪＲ東日本	規程	実施基準管理規程	
		土木施設実施基準	新幹線土木施設実施基準
		土木構造物管理規程	
		土木構造物に関する実施細目	新幹線土木構造物に関する実施細目
	標準	鉄道構造物等設計標準	
		鉄道構造物等維持管理標準	
	マニュアル	土木構造物等全般検査マニュアル	

検査の種類

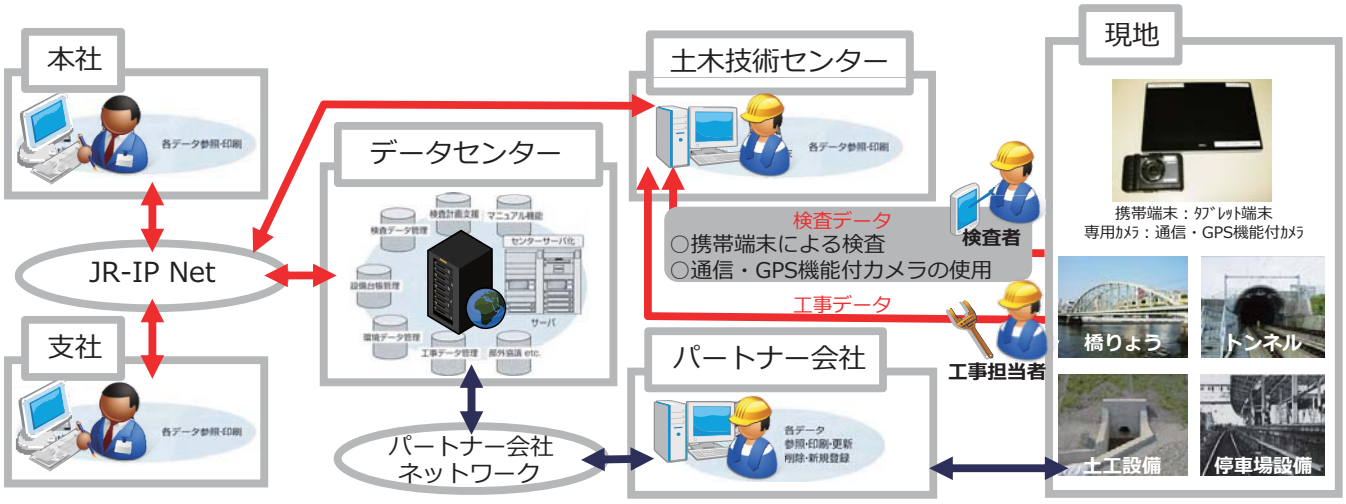
- 検　　査
  - 初回検査
    [新設後など、供用前の時期]
  - 全般検査
    - 通常全般検査
      [2年毎]
    - 特別全般検査
      [10年毎※] ※在来線トンネル20年毎
  - 個別検査
    [全般・随時検査の結果健全度Aと判定された場合]
  - 随時検査
    [必要の都度]

検　査　鉄道では構造物を調査し健全度を評価することを「検査」と称しており、他分野でいう「点検」は「検査」と表現される

ＭＡＲＳ［土木構造物管理システム］

Maintenance Assistant system for Railway Structures の略

① 設備台帳、検査・工事データの一元管理
② 検査データに写真・変状位置図など詳細情報を紐付け
③ 検査結果のチェック
④ 承認を紙媒体を使用せずシステム上で実施
⑤ 支社、本社がリアルタイムに検査の実施状況をチェック



健全度判定区分の例

健全度		運転保安、旅客および公衆などの安全に対する影響	変状の程度	措置
A	AA	脅かす	重大	緊急に措置
	A1	早晩脅かす 異常外力の作用時危険	進行中の変状等があり、性能低下も進行している	早急に措置
	A2	将来脅かす	性能低下の恐れがある変状等がある	必要な時期に措置
B		進行すれば健全度Aになる	進行すれば健全度Aになる	必要に応じて監視等の措置
C		現状では影響なし	軽微	次回検査時に必要に応じて重点的に調査
S		影響なし	なし	なし

Ⅰ．JR東日本の鉄道構造物と維持管理

健全度判定区分の例

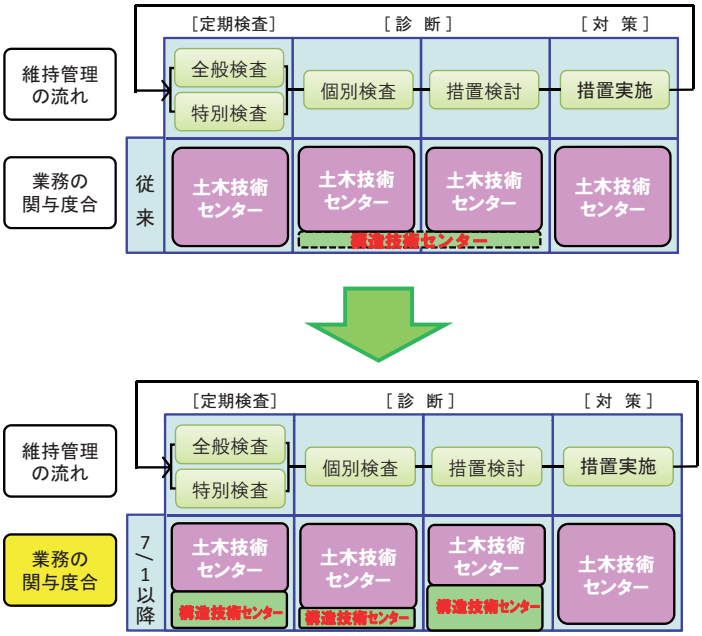
コンクリート橋りょう・高架橋の剥離・剥落に関する健全度の判定区分

判定区分	土木構造物の状態
αα	コンクリートに浮きがみられ、直ちに措置を要するもの
α	剥離跡が連続的にみられるなど、早晩剥落が発生する恐れがあり、早急に措置を要するもの
β	剥離跡が散見されるなど、将来剥落が発生するおそれがあり、必要に応じて措置を要するもの
γ	健全なもの

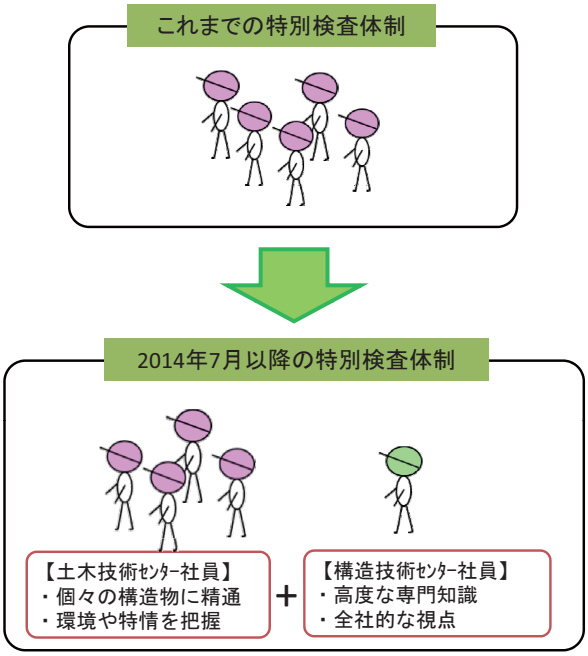
構造技術センターも特別全般検査に同行

2014年7月1日　本社付属機関　構造技術センター発足
土木技術センターが実施していた特別検査に同行し、検査・診断及び指導を実施。

構造技術センターの関与度合の変化

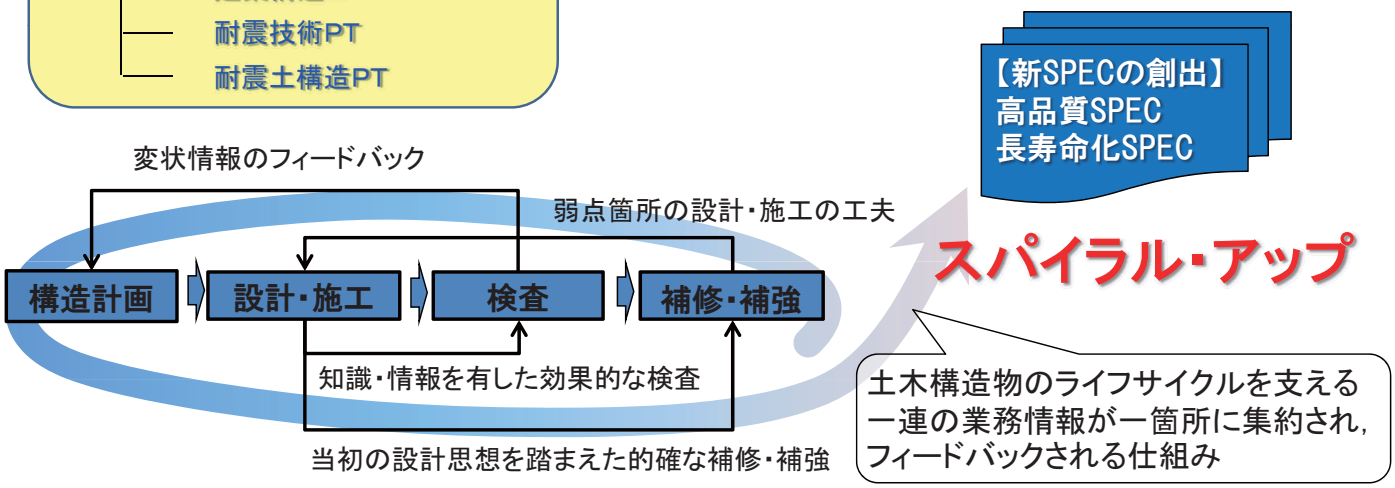


特別検査体制の変化



構造技術センターの組織構成

構造物の計画、設計、施工及び維持管理、検査・診断、災害復旧等保守に至るまで、一連の業務を同一グループ内で行う



1年間の実績

・1年間で，全支社に対して各Gが合計1,035回に構造技術センターが同行
・特別検査を実施することで，通常検査では発見しづらい変状を捕捉することができる有効性を確認。
・構造物毎，検査毎に「特別検査メモ」を構造技術センター同行者が作成し，検査後速やかに現場に送付
・同行の効果
　1)土木技術センター社員の意識向上
　2)支社によって異なる検査体制を捕捉し，紹介できた
　3)新たに発見した変状もあるものの，致命的な変状は無いことを捕捉
　4)関係する各機関との情報交換を積極的に行うため，会議を順次開催

検査困難箇所の検査

高所作業車による方法

検査足場による方法

高所作業車及び検査足場により検査環境を改善

シナリオ検査

シナリオ検査 シナリオ（構造物毎の維持管理方針）に基づく構造物管理

↓

経験者の知恵の活用　　新しい知見の更新

カルテ整備と活用

① 特別全般検査を活用しカルテを整備

⇒ 全般検査の記録（MARS）の補完的な参考資料（カルテ）

② シナリオ（構造物毎の維持管理方針）明確化

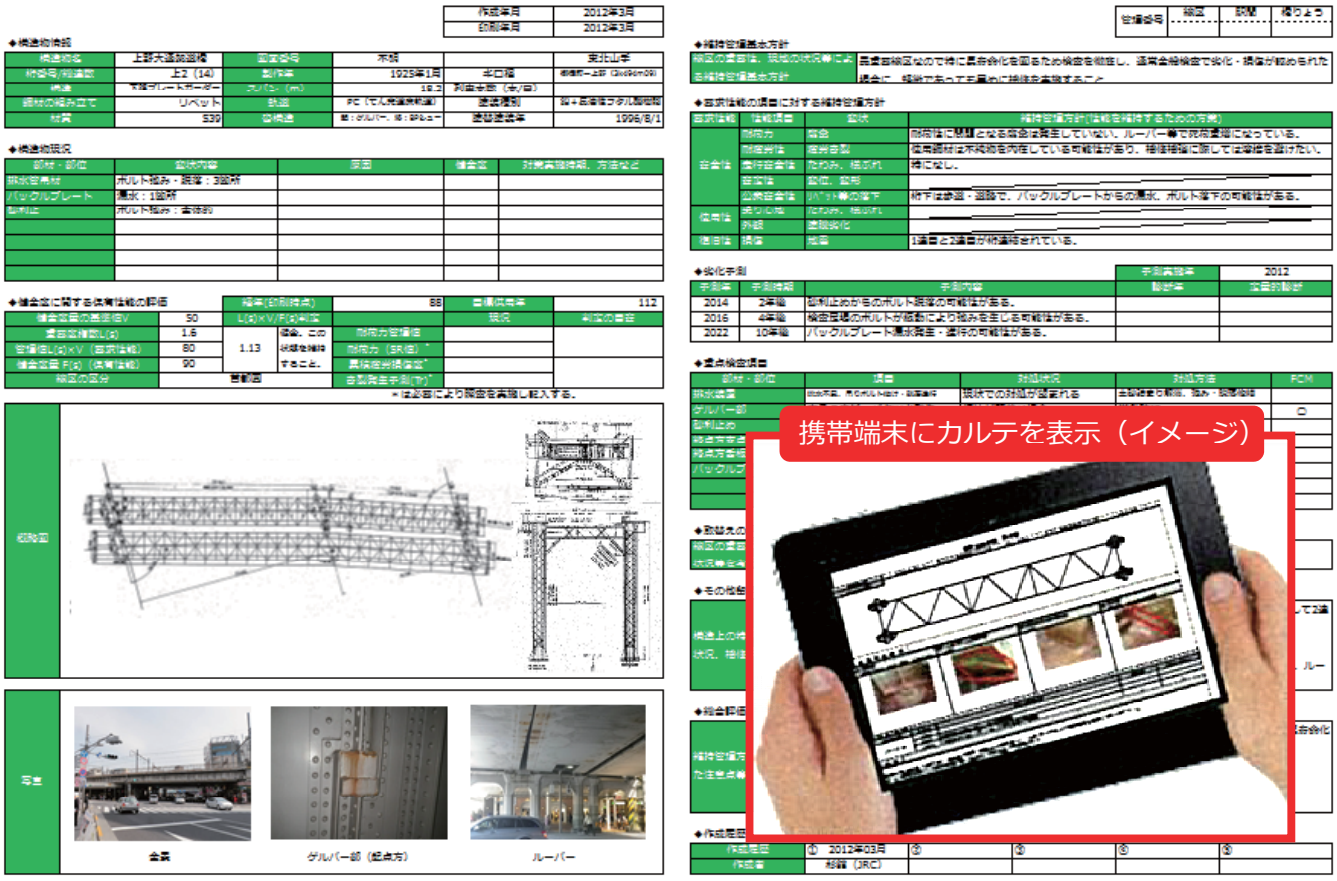
⇒ 個々の構造物の特性に応じた個別管理を実施

③ 全般検査重点項目をカルテに記載

⇒ 全般検査項目の明確化・可視化

メリハリのついた検査をする

カルテ（イメージ図）



リダンダンシーを考慮した健全度判定区分

事　例　維持管理標準におけるリダンダンシー（冗長性）適応事例

評価ランク	変状の状態（冗長性）
a′	直接部材・構造物の安全を脅かす著しい性能低下・崩壊につながるもの
b′	連鎖的もしくはある特定の使用条件になった時に構造物の著しい性能低下や崩壊につながるもの
c′	変状が発生しても著しい性能低下や崩壊にはつながらないもの
s′	その継手や部材が崩壊しても構造物全体の強度や性能にあまり影響を与えないもの

↓

冗長性 / 進行性	a′	b′	c′	s′
a	A1	A1	A2	A2
b	A2	A2	B	C
c	B	B	C	C
s	C	C	C	C

営業列車を使用したモニタリングの例

列車動揺計　営業列車の走行中の振動加速度(列車動揺値）を測定する装置

↓

列車動揺値により、変状を検知し、随時検査等によって原因を特定・措置

特定される原因

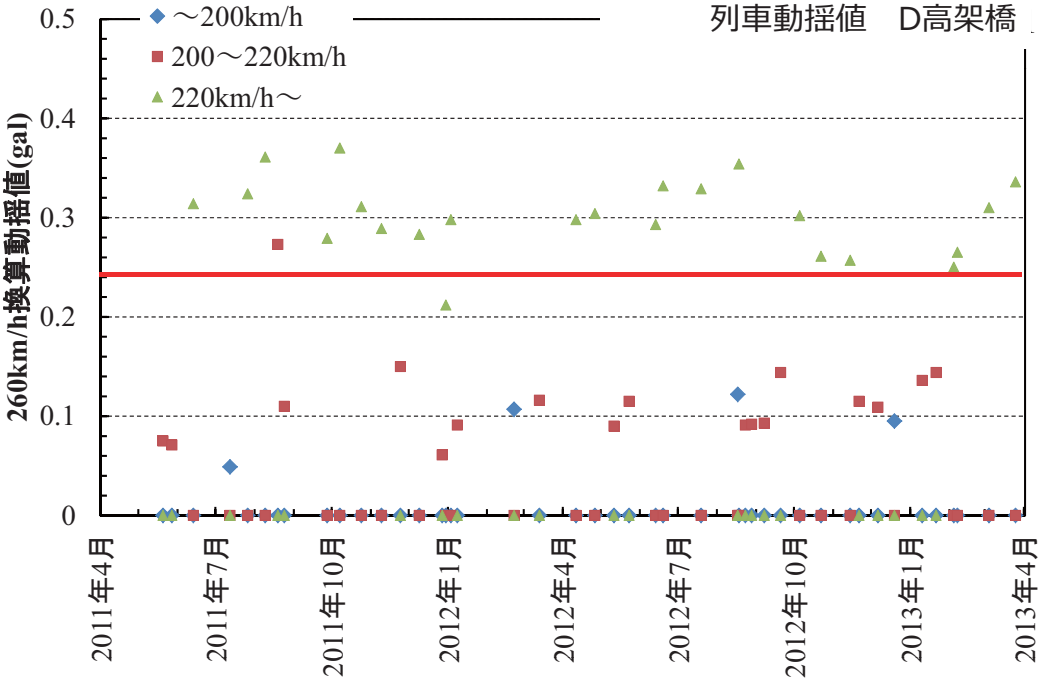
① 軌道変位による場合
② 桁の共振による場合
③ 支承部の変状による場合　等

徐行基準値	0.34gal (測定値)
整備基準値	0.25gal (換算値)

↓

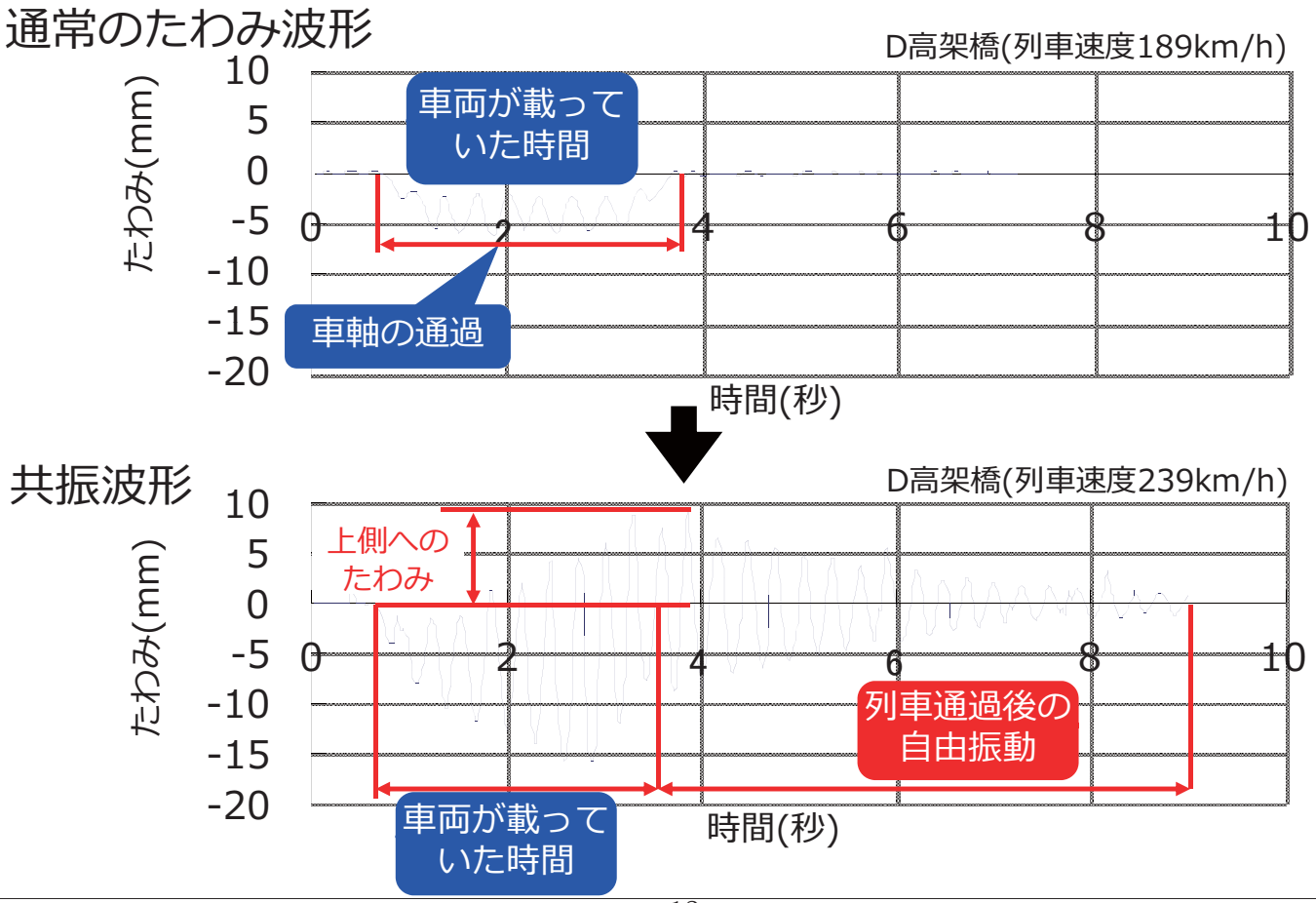
場所・原因等を特定後、固定のモニタリングをすることになる

営業列車を使用したモニタリングの例



・列車動揺計による換算動揺値は0.25gal（実施基準により整備基準値）を超過するものがたびたび見られる。

営業列車を使用したモニタリングの例



検査設備・付属物

排水樋

検査足場

検査よりも定期的取替による維持管理が有効な場合がある

JR東日本における鉄道構造物の維持管理の動向と体制

ご清聴ありがとうございました

平成27年 8月28日

東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター

野澤 伸一郎

道路土工分野の技術基準と維持管理

国立研究開発法人　土木研究所
地質・地盤研究グループ　施工技術チーム

上席研究員　宮武　裕昭

Ⅰ．道路土工構造物の位置づけ（法・政令）

国土交通省資料

○道路法

○第29条（道路の構造の原則）

道路の構造は、当該道路の存する地域の地形、地質、気象その他の状況及び当該道路の交通状況を考慮し、通常の衝撃に対して安全なものであるとともに、安全かつ円滑な交通を確保することができるものでなければならない。

○第30条（道路の構造の基準）

高速自動車国道及び国道の構造の技術的基準は、次に掲げる事項について政令で定める。

八　排水施設

十一　横断歩道橋、さくその他安全な交通を確保するための施設

○道路構造令

○第26条（排水施設）

道路には、排水のため必要がある場合においては、側溝、街渠、集水ますその他の適当な排水施設を設けるものとする

○第33条（防雪施設その他の防護施設）

２（前略）落石、崩壊、波浪等により交通に支障を及ぼし、又は道路の構造に損傷を与えるおそれがある箇所には、さく、擁壁その他の適当な防護施設を設けるものとする。

Ⅰ．道路土工構造物の位置づけ（通達）

国土交通省資料

○ 道路の主要構造物の新設・改築の基準（通達）の一つとして、道路土工構造物技術基準を新規に制定

	新設・改築に関する基準
橋梁	橋、高架の道路等の技術基準【H24】
トンネル	道路トンネル技術基準【H元】
	道路トンネル非常用施設設置基準【S56】
舗装	舗装の構造に関する技術基準【H13】
	電線等の埋設物に関する設置基準【H11】
土工	道路土工構造物技術基準【H26　新規制定】
附属物等	立体横断施設技術基準【S53】※
	道路標識設置基準【H26】※
	道路照明施設設置基準【H19】※
	道路緑化技術基準【H26】※

※新設、改築の基準に一般的な内容として一部点検、維持管理に係る記述有り　【　】は制定または改正年度

Ⅱ．基準制定の背景①　設計・施工技術の進展

国土交通省資料

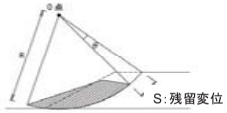
○応答メカニズムの解明

・施工実績および災害形態等の研究により、土圧等の作用と道路土工構造物の応答メカニズムが解明

→　定量的な設計が可能に

（定量的な設計例）

・盛土のレベル2地震動に対する安定検討
地震時の残留変位を比較的簡便な手法（ニューマーク法等）により評価



○構造物の大規模化

・設計・施工技術の開発により、盛土を始め、規模の大きい道路土工構造物の建設も可能に

○求められる設計技術の高度化

・補強土壁、アーチカルバート等、高度な設計技術が必要な新しい形態の道路土工構造物が開発

→　経験工学の対応範囲を超える道路土工構造物の出現

（大規模化の例）

・東名、名神の盛土高は、2段以下（10m以下）がほとんど
・新東名、新名神では、盛土高が80mを超えるものも建設

高盛土（新東名高速道路　清水PA付近　H=90m（14段））

（新しい道路土工構造物の例）

アーチカルバート（国道10号延岡道路　L＝129m）

Ⅱ．基準制定の背景②　新しい損傷形態の増加

国土交通省資料

○一般的傾向
・道路土工構造物の損傷は、大雨・地震等による法面崩落等によるものが多い
→ 多くの場合、比較的短期間で復旧可能

■大雨による法面崩落

奄美大島豪雨による切土法面崩落
→ 復旧に3日(H22.10 奄美市)

○最近の特徴
・一般的傾向の損傷に加え、
① 排水不良が原因となる法面崩落
② 新しい形態の道路土工構造物（補強土壁、ｱｰﾁｶﾙﾊﾞｰﾄ等）における損傷　等が発生
→ 構造物の安全性に大きな影響、修復が容易でなく、復旧に期間を要するケースも

■排水不良に起因する法面崩落
（風水害）

台風の大雨による
盛土法面崩落(H11.8)
→ 地下排水構造物の分断が一因
復旧に1ヶ月

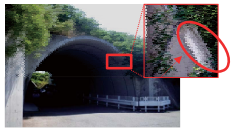
（地震）

能登半島地震による
盛土法面崩落(H19.3)
→ 地下排水構造物未施工が原因
復旧に6ヶ月

■補強土壁の損傷

補強土壁の壁面パネル落下(H25.4)
→ 片側交互規制、大型車通行止め
→ 1年以上経過の現在も復旧できず

■アーチカルバートの損傷



不同沈下による躯体の亀裂損傷(H23.11)
→ 現在、経過観察中
→ 修復方法が確定できていない

新しい構造物に特有の損傷

プレキャストカルバートのジョイント部分の損傷

構造上重要な部分の損傷の場合は、大がかりな復旧が必要
→大規模化、長期化

Ⅱ．基準制定の背景③　構造物相互の性能の不整合

国土交通省資料

＜これまで＞
○道路の構造物設計は、橋梁、トンネル、土工等それぞれの構造物単位で設計を実施
○性能についても、個々の構造物単位で設定

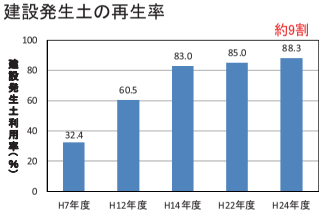
○地震時等において、橋台の背面盛土等、耐震性能の不整合により、構造物相互の損傷の程度に不整合が生じ、道路機能に影響を与える事象が発生

Ⅱ．基準制定の背景④　使用材料の変化

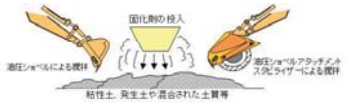
国土交通省資料

○盛土等における建設発生土利用の増加
・盛土等の材料として使われる土砂については、かつては透水性が高い土（砂質土）を購入するなど、均質な材料を利用
・環境意識の高まり、土質改良および施工技術の進展により、建設発生土の再利用が進み、平成24年度の再利用率は約9割
→ 透水係数が低い土など、様々な土質特性の土を盛土等の材料に使用することとなり、排水設計の重要度は増大

■ 建設発生土の再生率

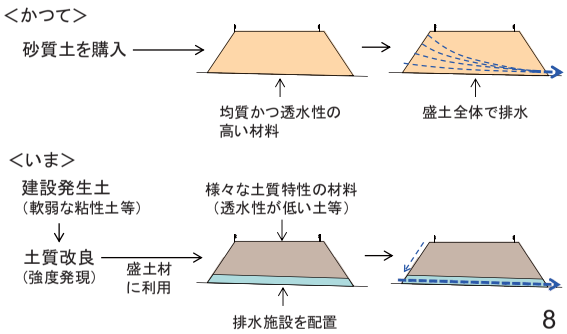


■ 建設発生土の土質改良



例：粘性土等の石灰改良による強度発現

■ 盛土の例



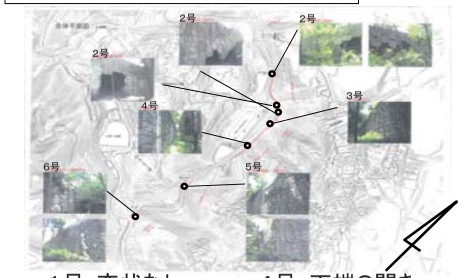
道路土工構造物の不具合事例

構造物の概要

工種：帯鋼補強土壁（テールアルメ）
施工年：1993 年
盛土材：改良土（セメント固化）
最高壁高：16.5 m（5号補強土壁）
排水施設：壁面背面排水層なし

経緯：
2000年 1回目の不具合（壁面落下）発生
→部分的に再構築
2013年 2回目の
不具合
（壁面落下）
発生

構造物の不具合（2013年）の概要



1号：変状なし　　4号：天端の開き
2号：壁面落下　　5号：壁面はらみ
3号：天端の開き　　6号：壁面はらみ

壁面落下箇所（2号）の全景

壁面落下箇所（2号）の変状のクローズアップ

天端の開き

壁面背面排水層の未設置

壁面からの水の染み出し

崩壊部の盛土の固化

補強材の破断

推定される要因

・不具合の発生は凍上が原因である可能性が高い
・壁面背面排水層の未設置による盛土内の排水不良が凍上発生の主な要因と考えられる
・不適切な盛土（セメント固化した盛土）の使用が補強材破断の主な要因と考えられる

Ⅲ．道路土工構造物技術基準の構成

国土交通省資料

【 目 次 】

第1章　総則
第2章　用語の定義
第3章　道路土工構造物の基本
第4章　道路土工構造物の設計
4－1　設計の基本
4－2　作用
4－3　要求性能
4－4　各構造物の設計
4－4－1　切土・斜面安定施設
4－4－2　盛土
4－4－3　カルバート
第5章　道路土工構造物の施工
第6章　記録の保存

Ⅳ．基準のポイント①　道路土工構造物を定義

国土交通省資料

第2章　用語の定義

（1）道路土工構造物
道路を建設するために構築する土砂や岩石等の地盤材料を主材料として構成される構造物及びそれらに附帯する構造物の総称をいい、切土・斜面安定施設、盛土、カルバート及びこれらに類するものをいう。

●切土・斜面安定施設

切土

切土（法面保護）

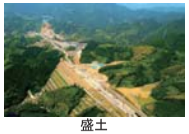
斜面安定施設

擁壁

法枠

ロックシェッド

●盛土


盛土

盛土（補強土壁）

●カルバート

ボックスカルバート

アーチカルバート

道路土工構造物を定義することにより、基準の対象を明確化

Ⅳ. 基準のポイント②　作用を明確化

国土交通省資料

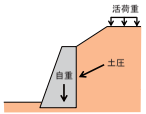
第4章　道路土工構造物の設計

4－2　作用

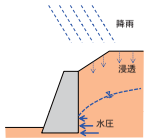
（1）常時の作用
　常に道路土工構造物に影響する作用をいう。

（2）降雨の作用
　地域の降雨特性、道路土工構造物の立地条件等を勘案し、供用期間中に通常想定される降雨に基づく作用をいう。

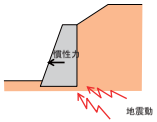
（3）地震動の作用
　次に示すレベル1地震動及びレベル2地震動の2種類の地震動による作用をいう。
　1）レベル1地震動
　　供用期間中に発生する確率が高い地震動
　2）レベル2地震動
　　供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動



常時のイメージ



降雨のイメージ



地震動のイメージ

設計にあたり考慮すべき作用を明確化するとともに統一

13

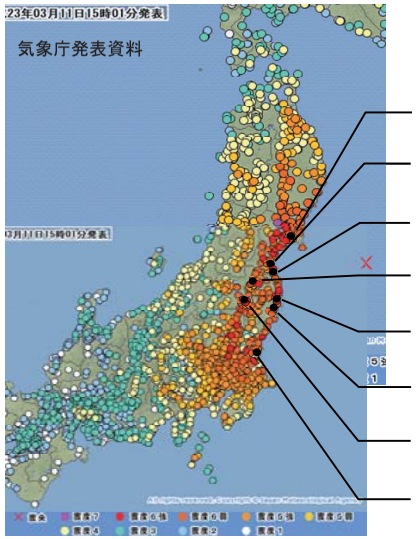
東日本大震災における一般盛土部の被害

直轄国道において、災害査定申請が行われた道路土工構造物に関係する災害のうち、概ね以下に該当するもの
①「道路防災対策便覧における被災度判定がB（※）相当以上」の被災
　被災度判定B：盛土が部分的に崩壊し、道路車線の一部に走行性の支障がある場合
②道路車線に支障を与えていないが、被災規模が①相当の被災

- 箇所番号①　国道6号宮城県亘理郡山元町（谷埋め盛土の崩壊）
- 箇所番号②　国道6号福島県双葉郡富岡町（谷埋め盛土の崩壊）
- 箇所番号③　国道4号福島県福島市伏拝（谷埋め盛土の崩壊）
- 箇所番号④　国道4号福島県須賀川市十貫内（傾斜面への腹付け盛土の崩壊）
- 箇所番号⑤　国道6号福島県相馬郡新地町駒ヶ嶺（傾斜面への腹付け盛土の沈下）
- 箇所番号⑥　国道6号福島県双葉郡広野町（谷埋め盛土の崩壊）
- 箇所番号⑦　国道45号宮城県石巻市鹿又（両側盛土の崩壊）
- 箇所番号⑧　国道51号茨城県東茨城郡大洗町成田（傾斜地盤上の盛土の沈下）

14

震度分布と被災箇所（8箇所）の位置図



- 箇所番号⑦　国道45号宮城県石巻市鹿又
  〈近傍震度6弱（石巻市泉町）〉
- 箇所番号①　国道6号宮城県亘理郡山元町
  〈近傍震度6強（山元町浅生原）〉
- 箇所番号⑤　国道6号福島県相馬郡新地町駒ヶ嶺
  〈近傍震度6強（新地町谷地小屋）〉
- 箇所番号③　国道4号福島県福島市伏拝
  〈近傍震度5強（福島市松木町）〉
- 箇所番号②　国道6号福島県双葉郡富岡町
  〈近傍震度6強（富岡町本岡）〉
- 箇所番号⑥　国道6号福島県双葉郡広野町
  〈近傍震度6弱（広野町下北迫大谷地原）〉
- 箇所番号④　国道4号福島県須賀川市十貫内
  〈近傍震度6強（須賀川市岩瀬支所）〉
- 箇所番号⑧　国道51号茨城県東茨城郡大洗町成田
  〈近傍震度5強（大洗町磯浜町）〉

15

Ⅳ. 基準のポイント③　要求性能を明確化

国土交通省資料

第4章　道路土工構造物の設計　　4－3　要求性能

（1）道路土工構造物の要求性能は、（3）に示す重要度の区分に応じ、かつ、当該道路土工構造物に連続又は隣接する構造物等の要求性能・影響を考慮して、4－2の作用及びこれらの組合せに対して（2）から選定する。

（2）道路土工構造物の要求性能は、安全性、使用性及び修復性の観点から次のとおりとする。
　性能1：道路土工構造物は健全である、又は、道路土工構造物は損傷するが、当該道路土工構造物の存する区間の道路としての機能に支障を及ぼさない性能
　性能2：道路土工構造物の損傷が限定的なものにとどまり、当該道路土工構造物の存する区間の道路の機能の一部に支障を及ぼすが、すみやかに回復できる性能
　性能3：道路土工構造物の損傷が、当該道路土工構造物の存する区間の道路の機能に支障を及ぼすが、当該支障が致命的なものとならない性能

（3）道路土工構造物の重要度の区分は、次のとおりとする。
　重要度1：下記(ア)、(イ)に示す道路土工構造物
　　(ア)下記に掲げる道路に存する道路土工構造物のうち、当該道路の機能への影響が著しいもの
　　・高速自動車国道、都市高速道路、指定都市高速道路、本州四国連絡高速道路、一般国道
　　・都道府県道、市町村道のうち、地域の防災計画上の位置づけや利用状況等に鑑みて、特に重要な道路
　　(イ)損傷すると隣接する施設に著しい影響を与える道路土工構造物
　重要度2：（ア）及び（イ）以外の道路土工構造物

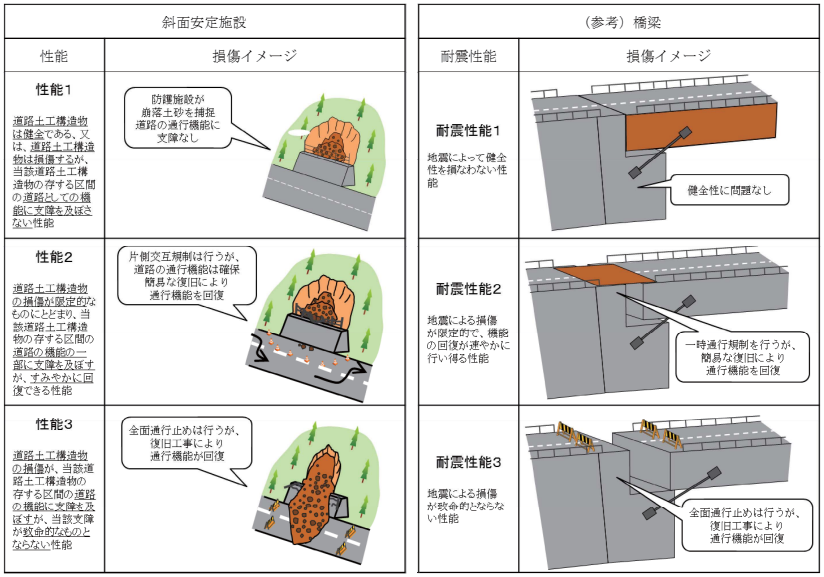
性能を、道路土工構造物の損傷による、道路の機能への支障及び修復性に応じ、3段階に明確化

16

Ⅳ. 基準のポイント③　要求性能を明確化

国土交通省資料

○要求性能のイメージ



17

Ⅳ. 基準のポイント④　連続する構造物等との整合

国土交通省資料

第3章　道路土工構造物の基本

（3）道路土工構造物の調査、計画にあたっては、当該地域及びその周辺の地形、地質、環境、気象、水理、景観、過去の点検状況、維持修繕及び災害履歴、個々の道路土工構造物の特性、使用する材料、対象とする災害、**連続又は隣接する構造物等がある場合はその特性**並びに維持管理の方法を考慮しなければならない。

第4章　道路土工構造物の設計

4－3　要求性能

（1）道路土工構造物の要求性能は、（3）に示す重要度の区分に応じ、かつ、当該道路土工構造物に**連続又は隣接する構造物等の要求性能・影響を考慮**して、4－2の作用及びこれらの組合せに対して（2）から選定する。

調査、計画、設計における要求性能の設定にあたっては、
橋梁と盛土等、連続又は隣接する構造物との整合を明確化

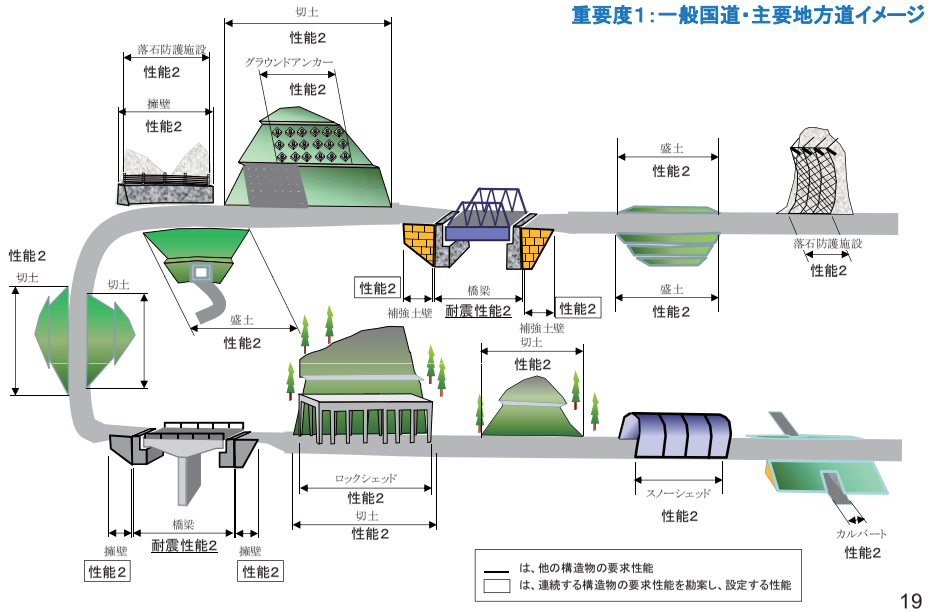
18

Ⅳ. 基準のポイント④　連続する構造物等との整合

国土交通省資料

○連続・隣接する構造物との要求性能の整合のイメージ

作用：地震動（レベル2）
重要度1：一般国道・主要地方道イメージ



19

橋台背面盛土の沈下により生じた段差の状況

踏掛版がなく車道部にも段差が生じた事例

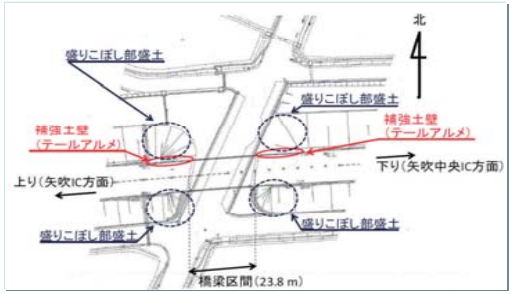
車道部には踏掛版があるが路肩部で沈下が生じた事例

踏掛版は設置されていたが盛りこぼし橋台の背面土沈下に伴い段差が生じた事例

20

補強土壁の被災例：

軟弱地盤上の橋台背面盛土および補強土壁において盛土の沈下，盛土のり尻の変位およびのり面のはらみだし，補強土壁と橋台との目地開きにより少量の土砂が流出した。
3／24：開通



強土壁の変状（橋台と補強土壁パネルに隙間が生じ，土砂が少量こぼれだした）

カルバートの被災について

○直轄国道における災害査定申請資料をもとに、カルバートの被災状況を調査。
→カルバート背面の段差が道路交通に影響を与えた被災はあるが、カルバート躯体の破壊など、カルバート自体に大きな損傷を受けた事例は発生していない

<カルバートの損傷例>

目地開き

カルバート背面の段差

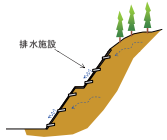
Ⅳ．基準のポイント⑤　排水設計の実施を明確化

国土交通省資料

第4章　道路土工構造物の設計

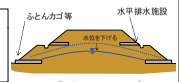
4－4　各道路土工構造物の設計

4－4－1　切土・斜面安定施設
(4)切土は、雨水や湧水等を速やかに排除する構造となるよう設計する。
(5)斜面安定施設は、雨水や湧水等を速やかに排除する構造となるよう設計する。



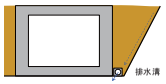
切土・斜面安定施設のイメージ

4－4－2　盛土
(3)盛土は、雨水や湧水等を速やかに排除する構造となるよう設計する。



盛土のイメージ

4－4－3　カルバート
(2)カルバート裏込め部は，雨水や湧水等を速やかに排除する構造となるよう設計する。



カルバートのイメージ

排水設計の実施を明確化し、土中の水が原因となる損傷や災害の発生を防止

東日本大震災における道路盛土（一般部）の主な被災要因

直轄国道で，被災規模が大きく，道路機能に支障をあたえた被害箇所について整理

分類Ⅰ　水が集まりやすい地形条件などで盛土内の水位が高かったことが要因と考えられる箇所
① 国道6号宮城県亘理郡山元町（谷埋め盛土）
② 国道6号福島県双葉郡富岡町（谷埋め盛土）
③ 国道4号福島県福島市伏拝（谷埋め盛土）
④ 国道4号福島県須賀川市十貫内（河岸段丘末端部の盛土）
⑤ 国道6号福島県相馬郡新地町駒ヶ嶺（傾斜地盤への腹付け盛土）

分類Ⅱ　水が集まり安い地形条件で排水対策を実施したものの基礎地盤が液状化したと考えられる箇所
⑥ 国道6号福島県双葉郡広野町（谷埋め盛土）

分類Ⅲ　平地部の軟弱地盤上の盛土で盛土材自体が液状化したと考えられる箇所
⑦ 国道45号宮城県石巻市鹿又（平地部盛土）

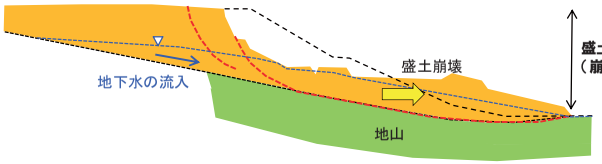
分類Ⅳ　不安定な傾斜地盤上に構築したことが要因と考えられる箇所
⑧ 国道51号茨城県東茨城郡大洗町成田（傾斜地盤上の盛土）

8箇所のうち7箇所が排水に関連した被災

国道6号宮城県亘理郡山元町（谷埋め盛土）

＜概　要＞
盛土高約10mの谷埋め盛土区間約300mで路面沈下・クラックが発生。そのうち切盛り境付近から約50mが崩壊。
＜推定メカニズム＞
地山より盛土内に地下水が流入しており、高い地下水位と地震動により滑り崩壊が発生。

被災後の交通規制状況：
3／11　片側交互通行
3／12　対面2車線通行
（登坂車線を活用）



道路施工前（1952年米軍撮影）

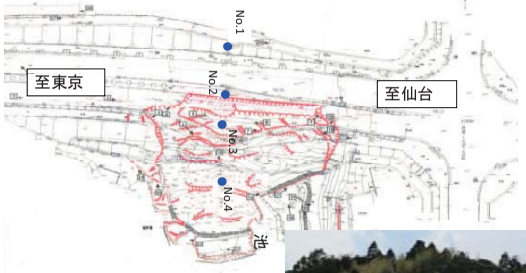
谷部全体を埋めた道路であるが、道路に向かって複数の沢筋が走っているのが確認される。

（2011年4月Google Earth）

埋め立てた所には集水井および排水砕石ドレーンが複数設置されており（事務所ヒア）、施工当時から地山より大量の水が供給されていたと推定される。

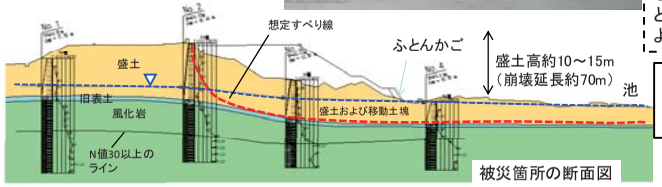
被災後も、のり尻部の高い位置から湧水が確認され、その影響で復旧作業中も小崩壊が発生している。
なお、未崩壊（路面の沈下有り）の範囲に向かって湧水による浸潤線は下がっていき、未崩壊の範囲では高い位置での湧水は見られなかった。

国道6号福島県双葉郡広野町（谷埋め盛土）



平面図

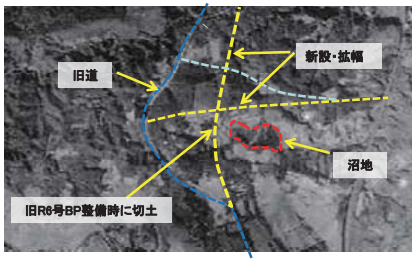
沼地に接する沢部を埋めた盛土（盛土高10～15m）が上り2車線を含んで幅約70mにわたり崩壊。
埋立て造成したと推定される沼地公園と連続する基盤部（盛土）の液状化による崩壊。



被災箇所の断面図

被災後の交通規制状況：
3／11　片側1車線片側交互通行
5／6　片側2車線確保（対面通行）

※全止めによる規制なし



道路と沼地の位置関係（ 1947年米軍撮影）
2つの沢を埋め、道路とあわせて沼地の公園を整備

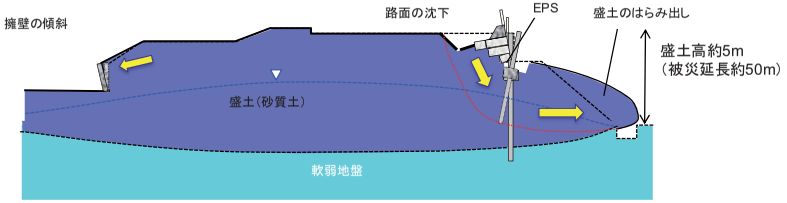
公園と道路盛土との境界にはふとんかごが設置されており、盛土基盤部には排水層が設置されている。道路盛土部は比較的乾燥していたが、ふとんかご位置以深は湿っている。写真中央下の水面は沼地の水面とほぼ同じ。

公園内は沼地周辺をミニゴルフ場として整備。崩壊箇所はその部分が大きく（20m程度）流動しており、基盤面の液状化に伴う側方流動による崩壊と推定される。

国道45号宮城県石巻市鹿又（平地部盛土）

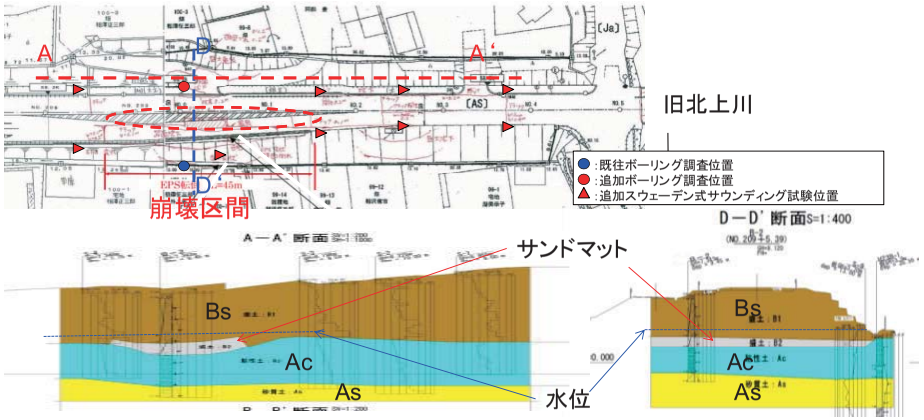
＜概　要＞
軟弱地盤上の高さ約5mの盛土で約50mにわたり沈下・崩壊
道路拡幅のためにEPSで立ち上げたすり付けた区間
＜推定メカニズム＞
軟弱地盤上の盛土で、地盤の沈下に伴う盛土材の緩みおよび地下水の供給を素因とする地震動による盛土材の液状化による崩壊と推定

被災後の交通規制状況：
3／11　全止め
3／23　拡幅部を除く対面2車線※



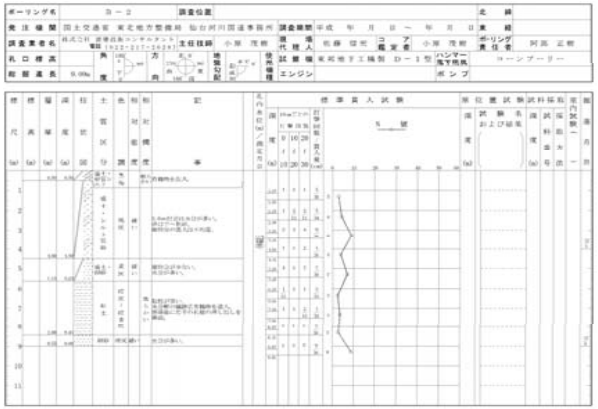
※　当該区間については迂回路等が存在したこと、他の被災箇所（石巻市成田の斜面崩壊）との復旧優先度との関係も復旧期間に影響している。

地盤調査による盛土の縦横断図



盛土内に水位があり、周辺と比較すると崩壊箇所は窪んだ地形で、厚いサンドマット層を確認。
地下水位以下の盛土材及びサンドマット層が液状化したことにより、大きく被災したものと推定。

盛土材料の液状化判定結果



B-2柱状図
液状化判定

深度	土質	N	FL
1.15 ～ 1.45	水上砂	3	－
2.15 ～ 2.45	水上砂	4	－
3.15 ～ 3.45	水上砂	9	－
4.15 ～ 4.45	砂質土	4	0.357
5.15 ～ 5.45	砂質土	7	0.415
6.15 ～ 6.45	粘性土	3	－
7.15 ～ 7.45	粘性土	3	－
8.15 ～ 8.45	粘性土	3	－
9.15 ～ 9.45	砂質土	9	0.365

※加速度は最寄りの観測所で計測された値（446gal）を使用

構造物の概要

工種：　補強土壁（テールアルメ）
壁高：　9.0 m
壁面勾配：　直壁
壁面位置：　道路下側法面

施設延長：　23m
災害履歴：　なし

排水設備機能不全

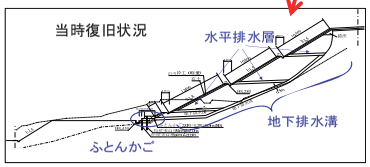
排水工の閉塞、U字溝の基礎洗掘
→補強土本体の基礎に洗掘が進展することでの安全性低下の恐れ

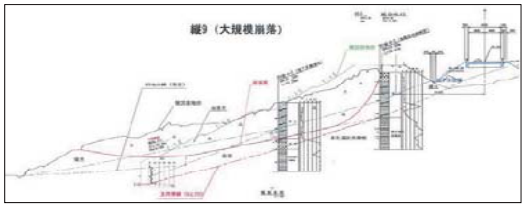
構造物の不具合のクローズアップ

縦9(6.3kp(七尾市中島町土川)):道路欠壊

全景

被災状況





崩壊箇所の主断面図

推定される要因

・山側の沢部から流水および地下水が盛土内へ供給され、盛土内の含水比が高かったことが考えられる。
・盛土内の含水比が高かったことが盛土崩壊の主な要因であると考えている。

33

（対策後）

切土のり面の崩壊事例（H21）
・連続雨量223.5mm、最大時間雨量49mm

34

のり肩排水溝
・側部の残存部分は変状、落ち葉・土砂等の堆積で機能していない
・崩壊箇所部分も同様であった可能性（背後斜面の水の排水不良）

35

路肩下斜面の崩壊事例（H23）
・連続雨量65mm、最大時間雨量13mmで崩壊

36

路面の表流水が流入した痕跡あり

37

38

基礎地盤

4－1 設計に際しての基本的事項

(1)道路土工構造物の設計は、使用目的との適合性及び構造物の安全性について、4－2の作用及びこれらの組合せ並びに4－3の要求性能を満足するよう行わなければならない。
(3)道路土工構造物の設計にあたっては、その施工の条件を定めるとともに、維持管理の方法を考慮しなければならない。

4－2 作用

道路土工構造物の設計にあたっては、次の作用を考慮することを基本とする。
(4)その他の作用

4－4－2 盛土

(5)盛土の基礎地盤は、盛土の著しい沈下等を生じないよう設計する。

4－4－3 カルバート

(3)カルバートの基礎地盤は、カルバートの著しい沈下等を生じないよう設計する。

39

維持管理方法の考慮

4－1 設計に際しての基本的事項
(3)道路土工構造物の設計にあたっては、その施工の条件を定めるとともに、維持管理の方法を考慮しなければならない。

切土のり面(グラウンドアンカー)

高所作業車による点検
（通行規制あり）

点検用通路を設置した事例

40

基礎地盤の著しい洗掘

雨水処理が不十分なために斜面上の補強土の壁面基礎部が洗掘されている事例

○構造物の安定上大きな影響→急激な崩落につながるおそれ
○日常の点検で発見が困難

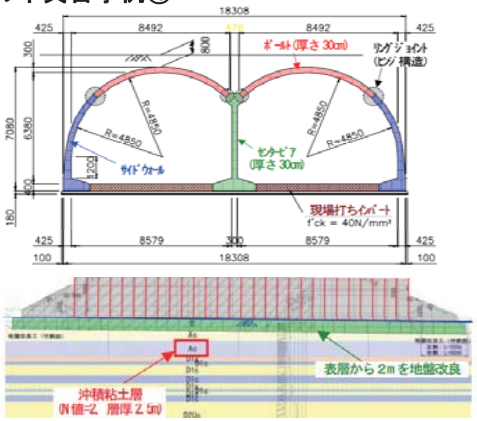
41

道路土工構造物の不具合事例④

構造物の概要

工種:アーチカルバート(モジュラーチ)
施工年:2012 年
諸元:幅 18.3 m × 高 7.1 m
アーチ部材厚 30 cm インバートタイプ
土被り高:0.0 ～ 2.0 m

経緯:
2011年盛土施工直後から、不具合が発生以降、動態観測を実施



全景

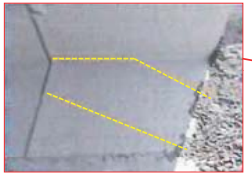
39

構造物の概要

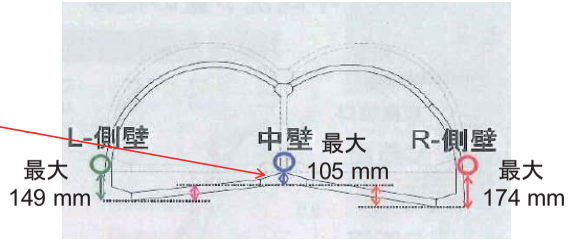
工種: 補強土壁(テールアルメ)
壁高: 10m以上
壁面勾配: 直壁
壁面位置: 道路下側法面
施設延長: 77m
災害履歴: なし

42

変状のクローズアップ



センターピアのクラック
(クラック幅 最大0.7mm)



不同沈下

推定される要因

・アーチカルバートの不具合は、基礎地盤の不同沈下によるものと考えられる。
・不同沈下は、基礎地盤の評価を誤り、適切な対策工が実施されなかったことが要因と考えられる。

今後の課題

・損傷した際の修復性

44

Ⅳ. 基準のポイント⑥ 設計条件との適合、記録保存を明確化

国土交通省資料

第5章　道路土工構造物の施工

(1)道路土工構造物の施工は、設計において定めた条件が満たされるよう行わなければならない。

第6章　記録の保存

道路土工構造物の維持管理に必要となる記録は、当該道路の機能を踏まえ、適切に保存するものとする。

設計条件と施工条件の適合を明確化するとともに、維持管理に必要となる設計・施工時の記録の保存を明確化し、損傷や災害が発生した場合における補修設計等に反映

45

施工条件の考慮

施工過程の影響によると考えられる損傷事例

○施工方法の規定
○施工過程に関する必要な照査の実施

46

記録の保存

維持管理上特に重要な情報

- 施工中に発見された弱点への対処
  →供用中の被災の要因となる可能性大
- 日常の点検の記録
  →いつ（何が原因で）被災が発生したのか
  どの程度の速度で進行しているか
- 完成時の位置・形状
  →被災の形態

47

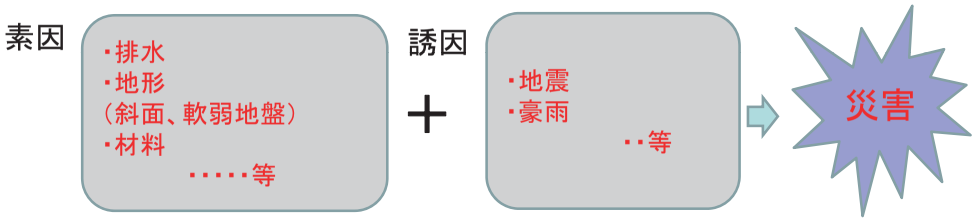
Ⅴ. まとめ

土工構造物の特徴

- 多くの不確実性を内包
- 計画→調査→設計→施工→維持管理と段階的に不確実性に対応
- 対応手法は過去の経験に基づくものが基本
- 過去の被災事例を参考にすることは重要
- 非常に粘り強い構造物であるため、複数の誘因と素因が関係する場合が多い
  ＝原因が不明瞭

48

- 誘因としては、地震の揺れ、豪雨等がある。これらの誘因に対して排水不良、材料の不良、基礎地盤等の地形に関する配慮不足といった素因により被災が発生



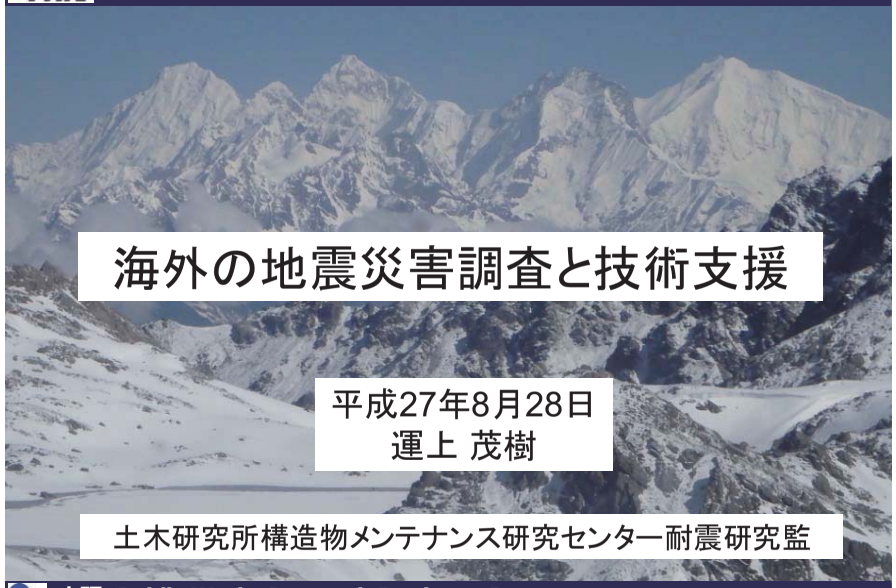
- 基本に立ち返って、調査の徹底、入念な施工、排水対策の実施が重要。

49

- 各段階における不確実性を確実に継承することが重要
- 各段階で合理的な対処を実施するとともに、的確な記録を保存することが重要

・個々の対処法は、従来行われてきた方法をベースに
・道路全体、道路土工構造物全体、
計画から施工、維持管理の工程全体にわたり、
位置づけを明確化

50



本日の講演内容

- 海外における最近の地震災害に対する調査・派遣
- 2010年2月27日チリ･マウレ地震
  1) 土木学会被害調査団への参画
  2) 橋梁の耐震基準策定に関する技術協力
- 2015年4月25日ネパール地震
  1) JICA復興支援調査団への参画
  2) インフラ施設（道路分野）の強靭化のための技術支援

国内外で発生した地震災害と被害調査の実施

1. 1994年米国ノースリッジ地震
   1995年兵庫県南部地震
   → 過去に記録されていない強い地震動
2. 1999年トルココジャエリ地震
   1999年台湾集集地震
   → 10m規模の極めて大きな地表断層
3. 2004年スマトラ島沖地震
   → 30m規模の大津波
4. 2008年岩手宮城内陸地震
   → 極めて大規模な斜面崩壊
5. 2008年中国四川省地震
   2010年チリ･マウレ地震
   → M8直下～9級大規模地震(広域影響)
6. 2011年ニュージーランド地震
   2011年東北地方太平洋沖地震
   → M9の大規模地震と想定を超える津波(複合災害)
7. 2013年フィリピン･ボホール島地震
8. 2015年ネパール･ゴルカ地震

地震被害調査･派遣

- 地震被害調査
  1) 低頻度大災害となる自然災害から教訓を学び取る：他山の石として世界的に共有すべき知見
  2) 人工構築物には、材料・構造等、国毎の特性の相違があるが、現象面は共通的なところも多い
  3) 我が国の防災・減災対策や研究に反映すべき事項の抽出
- 被災国からの協力要請や政府方針等に基づく復旧・復興に関する技術支援のための派遣
  （特に防災分野については日本の経験への期待が高い）
  1) 被害調査の実施
  2) 被害要因等の分析
  3) 応急復旧工法の提案
  4) 復旧・復興計画策定の支援

■ 2010年2月27日チリ･マウレ地震

1）土木学会被害調査団への参画

2）橋梁の耐震基準策定に関する技術協力

地震及び被害の概要

■ 地震の概要

1）2010年2月27日午前3時34分頃

2）震央：マウレ沖
（サンティアゴから約350km）

3）巨大地震：Mw8.8

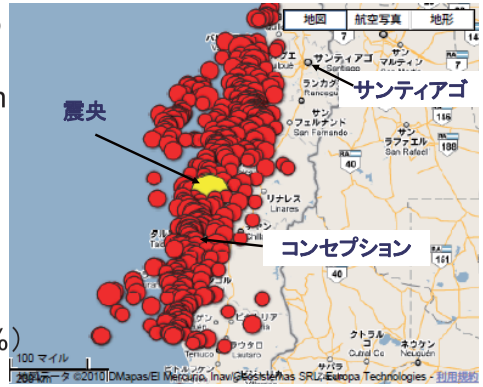
4）断層域：約500km×200km

■ 被害の概要

1）広域多発被害
・死者：800人以上

2）複合災害：地震動と津波

3）幹線道路被害
・約200橋（対象地域の約5%）が被災
・南北を結ぶ5号線など主要幹線道路で落橋等の甚大な被害



余震の発生域（出展：USGSによる）

2010年2月27日チリ･マウレ地震

■ 地震被害調査

- 土木学会調査団が派遣（土木構造物リーダー：川島一彦東京工業大学名誉教授（当時：同大学教授））（3月27日～4月7日）
- 土木研究所からは、道路・橋梁分野の専門家として参画
- チリ国公共事業省（MOP）と共同で橋梁被害の調査を実施
- 我が国の地震被害経験や耐震基準、震災復旧事例などに関する情報を提供、MOPのエンジニアと密な意見交換

2010年2月27日チリ･マウレ地震

■ 現地でのMOP道路局エンジニアとの意見交換

- 日本の耐震基準・落橋防止構造
  落橋した橋に対する対策方法
- 被災判定と通行規制対応
  落橋などの大被害よりも、重要路線において、通してよいかどうかの適切な通行規制対応の判断が難しい被害への対応
- 復旧方法
  被災した橋の早期の機能回復法：基礎の変位対策、上部構造の変位修正方法等

被災度の判定技術・応急対策の指針

ランクA大

ランクB中

ランクC小

RC橋脚の被災度判定表

・破壊モード毎に損傷の写真と図例によって被災度、残存耐力を判定し、それに基づく復旧対応策の指針

上部構造・下部構造毎の判定表と対応、復旧方法

チリの橋梁耐震基準への日本の技術の貢献

- 多くの落橋被害を踏まえ、MOPは2010年7月にチリの橋梁の暫定耐震基準を策定
- 我が国の落橋防止システム（桁かかり長、落橋防止構造、斜橋の回転の影響）の規定を参照

暫定基準で強化復旧された橋の例

桁かかり長の規定

2.1. Ancho mínimo de la mesa de apoyo

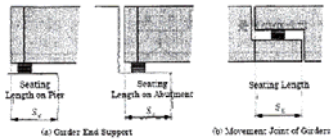
El ancho mínimo de apoyo de una viga en las mesas de apoyo está basado en la norma Japonesa "Specifications for Highway Bridges, March 2002, Part V Seismic Design", en la sección 16.2 "Seat Length" y su expresión es la siguiente:

$$S_E \geq 0.7 + 0.005L \qquad (1)$$

donde:

S_E = ancho de apoyo mínimo de una viga en la mesa de apoyo (m). S_E es la longitud de la viga desde el borde de la viga al borde de la mesa de apoyo o la longitud de viga (apoyo tipo Gerber) en la junta de movimiento mostrada en la figura 1, Fig. 16.2.1 de la norma japonesa.

L = Longitud del vano (m). En un cabezal de cepa que soporte dos superestructuras con diferentes longitud de vano, se deberá considerar el vano de mayor longitud para el valor de L.



チリ国MOPによる

チリ地震から学ぶべき教訓

- チリ地震（Mw8.8）の教訓
  1）巨大地震：500kmを超える影響範囲
  2）我が国で教訓とすべき事項
  - ・継続時間の長い地震動
  - ・被害軽減のための住宅・公共インフラ等の耐震化
  - ・地域における災害対応力の強化
  - ・早期復旧のための広域的防災体制
  - ・広域多発災害への迅速な対応のための準備、研究（早期被害情報把握技術、等）
- 東日本大震災（Mw9.0）による激甚な被害
  - ・将来の巨大地震への備えの強化の重要性

図：チリ国MOPによる

チリ国MOPとの技術協力の継続

- 国際的な技術協力
  - ・国際社会における日本の評価（災害対応技術に優れた国）
  - ・適切なカウンターパートとの信頼関係/パートナーシップの構築
  - ・国内における技術の継続的な合理化、高度化
  - ・国際的に適用可能な技術・ノウハウの蓄積と提供
- チリ国MOPとの継続プロジェクト（JICA）
  - ・JICA橋梁耐震基準改定支援プロジェクト（平成26～27年度）（暫定基準を本基準化、地震被災評価・復旧ガイドライン（案）等の作成）
  - ・JICAチリ/中南米防災人材育成拠点化支援プロジェクト（平成27年度～：公共インフラ技術分野）

MOPとの研修内容の協議

MOPのUndurraga大臣から協力（土木学会）への謝意を頂く

■ 2015年4月25日ネパール・ゴルカ地震

1）JICA復興支援調査団への参画

2）インフラ施設（道路分野）の強靭化のための技術支援

2015年4月25日ネパール・ゴルカ地震

■ 派遣経緯

- ネパール連邦民主共和国政府で発生した大地震からの復旧・復興支援に対する日本政府としての取り組み
- (独)国際協力機構(JICA)が派遣するネパール国復興支援調査団の専門家メンバーとして参画
- 国土交通省関係：4名（住宅、建築、都市、インフラ））
- ネパール国政府が実施する地震復興計画策定等に対し、我が国の震災復興に関する知見・教訓を踏まえた支援の実施
- 日本主催セミナーでの我が国の震災復興に関する知見の共有
- ネパール政府への技術政策提案：災害に強いまちづくり計画、都市強靭化計画等の立案・策定支援

■ キーコンセプト

- Build Back Better（より良き復興）等仙台での国連防災会議の成果の反映（同じ災害を繰り返さない）

2015年4月25日ネパール・ゴルカ地震

■主な活動経過

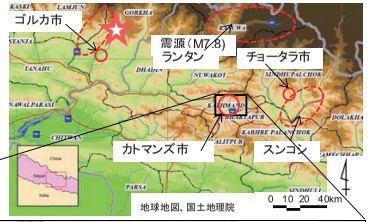
- 派遣期間：５月２０日（水）～７月１５日（水）
- ５月２５日（月）「ネパールの『より良い復興』に向けたセミナー」（神戸、東日本等日本のBBB復興の経験の共有）
- ６月１０日（水）ネパール国家計画評議会(NPC)に対する被害報告、復興政策提言
- ６月２５日（木）第1回ネパール支援国会合参加
- ７月１０日（金）「ネパールの『より良い復興』の実現とJICA支援セミナー」（復興計画、強靭化計画等の提案）

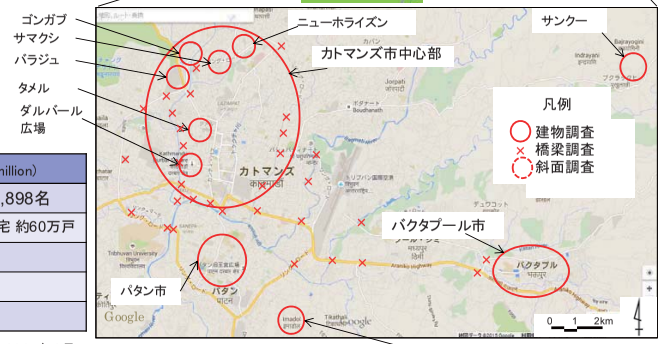
ネパール国家計画評議会副議長への報告・提案

セミナーでの日本の技術紹介・技術提案

国土交通省ネパール地震復興支援調査団の活動

■ 地震被害調査地区位置図





■ 被害概要

	被害額($million)	
人的被害		死者 8,898名
住 宅	3,505	復興住宅 約60万戸
観光施設	812	
交 通	221	
合 計	7,065	

PDNA Report, 2015年6月

Googleマップによる

2015年4月25日ネパール・ゴルカ地震

■現地調査とネパール政府との連携

- 現地調査：カトマンズ都市圏内、チョウタラ、ゴルカ、山地部の広域ヘリ調査
- インフラ施設：道路、橋、土工、横断歩道橋、河川、ダム、電力、浄水施設、下水道施設、等 → 道路を中心に
- ネパール政府・大学等との意見交換・協議・提案

ネパール地震の被害の特徴

■ インフラ施設の被害の特徴

〇カトマンズ都市圏

・地震動特性（強度・周期特性）との関係から、道路、河川、都市施設等のインフラ施設の甚大な被害は少ない。

〇地方部・山間部

・衛星データ、現地調査等から多数の土砂災害の発生が確認。

カトマンズ市内の橋梁の被害

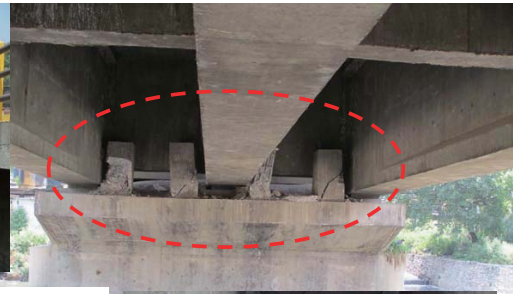
盛土の沈下・クラック、横断歩道橋の大変位（桁撤去）

落石、土砂崩落（シンガチ、クレカン）

通行困難区間（バルパック）

大規模崩壊（ランタン）

橋梁の被害



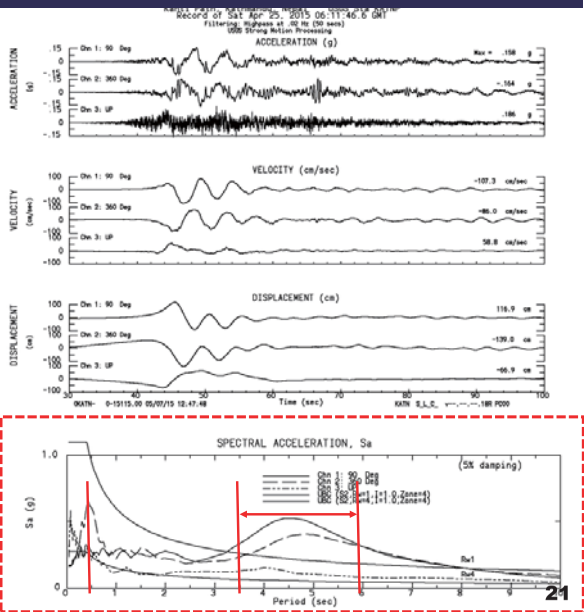
ストッパーの効果：2010年チリ地震での落橋

地震観測データ

Nepal Earthquake of 25 April 2015

7.8Mw, 06:11:26 UTC,
28.15N 84.71E,
Depth 15km
Kanti Path,Kathmandu
Distance 14km
by CESMD
http://www.strongmotioncenter.org/
PGA：0.16～0.17g

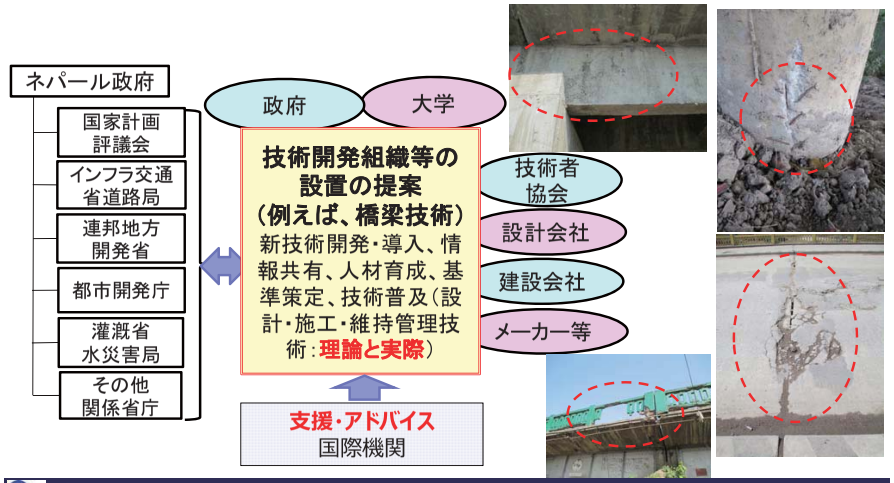
右記の他に4点の強震観測データ
岩上：0.25g
地盤上：0.15～0.23g
（S. Rajaure氏（DMG）による）



インフラ構造物の技術の開発・蓄積・普及支援

■ 設計・施工・維持管理技術の開発・蓄積・普及体制の強化の提案

・被害等現地調査結果をもとに、インフラ交通省（MOPIT）道路局（DOR）に対し、大学、建設会社等との連携のもと、自国の技術の開発、整備、普及体制の強化について提案



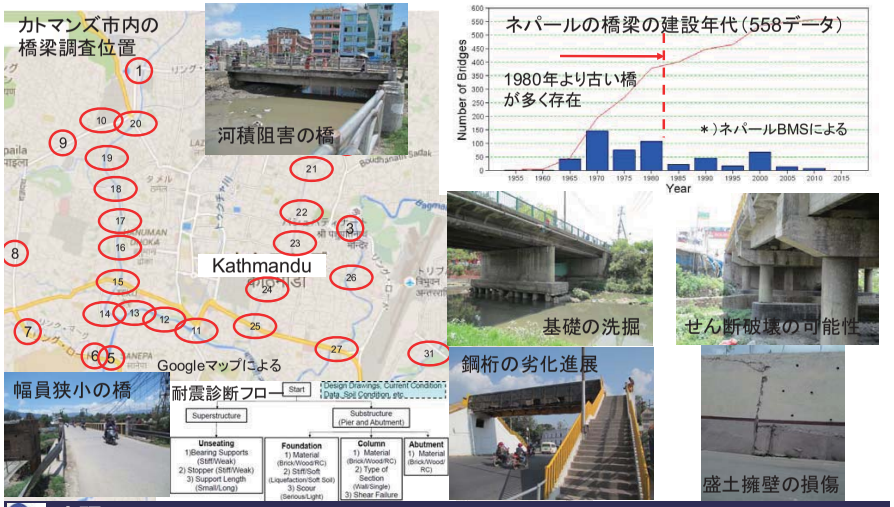
■ インフラ施設（道路分野）の強靭化のための技術支援

1）技術の開発・蓄積・普及
2）カトマンズ都市圏の道路・橋梁の脆弱性評価（耐震診断等）
3）ネパール独自基準の策定提案
4）地方部・山間部のライフライン道路の改良

カトマンズ都市圏のインフラの強化支援

■ 道路インフラ等の耐震診断と耐震強化の必要性の評価支援

・カトマンズ都市圏の強靭化マスタープラン策定のための現況耐震診断と課題点の抽出提案



耐震診断の目的

- BBBコンセプトに基づくカトマンズ都市圏の強靱化マスタープランの策定（JICA・ネ政府P）
  - ・将来人口予測、都市構造、土地利用、交通計画、リスクアセスメントに基づく都市復興計画の策定
  - ・カトマンズ都市圏の近傍で、M8クラスの大地震の発生　が予測
- 交通施設が復興計画の1つの重要ポイント
  - ・現況状況の把握、評価、強化策の検討
  - ・強靱化マスタープランへの反映
- 耐震診断のポイント
  - ・崩壊・落橋等の甚大な被害の発生可能性、機能の早期復旧の観点での評価

将来の発生地震動

JICAによる2002年の検討例

可能性のあるシナリオ地震

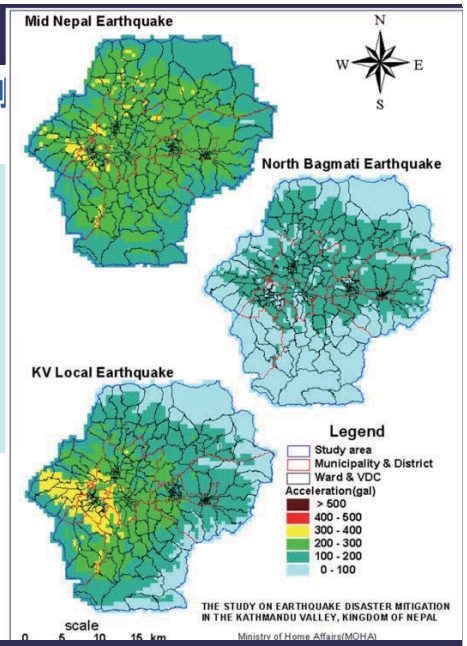
1) Mid Nepal EQ (M8.0)
2) North Bagmati EQ (M6.0)
3) Kathmandu Valley EQ (M5.7)

PGA: 300～400gal

今回の地震の観測値

PGA: 160-170gal

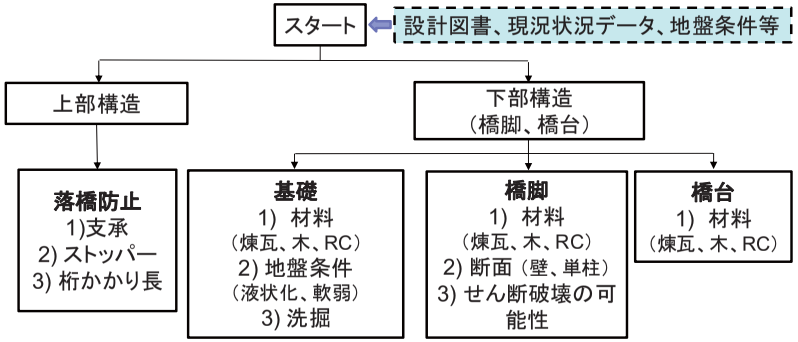
（場所によって、***PGA: 250gal***程度）



出典：「JICA、ネパール国内務省：ネパール国カトマンズ盆地地震防災対策計画調査報告書、2002年3月」による

橋の耐震診断法の提案

橋の耐震性能の簡易評価法（道路震災対策便覧を参考）



ポイント：ハザード、脆弱性、重要度

- ・地震ハザード評価検討が進行中（相対的な大被害の受けやすさを評価）
- ・脆弱性評価には、適用設計基準の確認が必要（情報不足）

地震による重要被害の相対的な発生可能性に関するランク分類

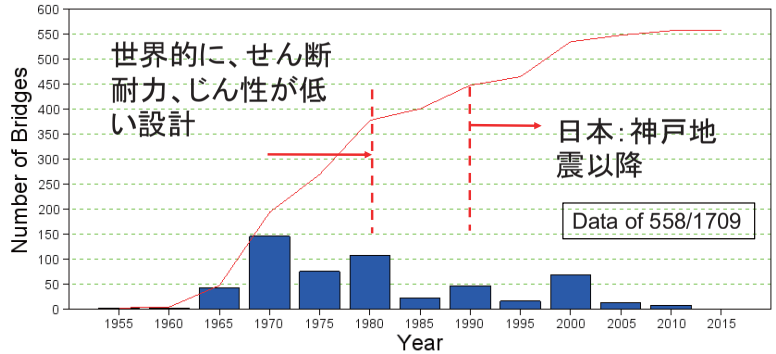
ランクA: 高、ランクB: 中、ランクC: 低

注）ランクA,B,Cはあくまで相対評価であり、この順番で、詳細検討の優先順位を上げるのが良いという位置付

道路・橋の現況の調査分析

橋の建設経緯：SRN（他にLRN：地方道路）

道路延長：約12,500km（LRNは、約51,000km）
橋　　数：1,709 橋　（分析に用いた橋：558橋）
今後3カ年計画：400橋の建設（道路3,000km）（DORによる計画）

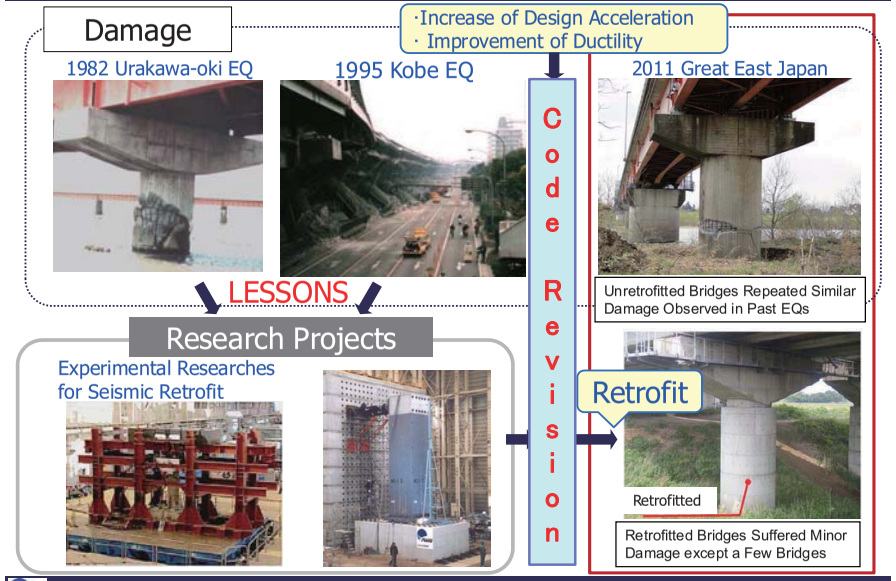


注）データソース：Web-based Nepal 'Bridge Management System.'

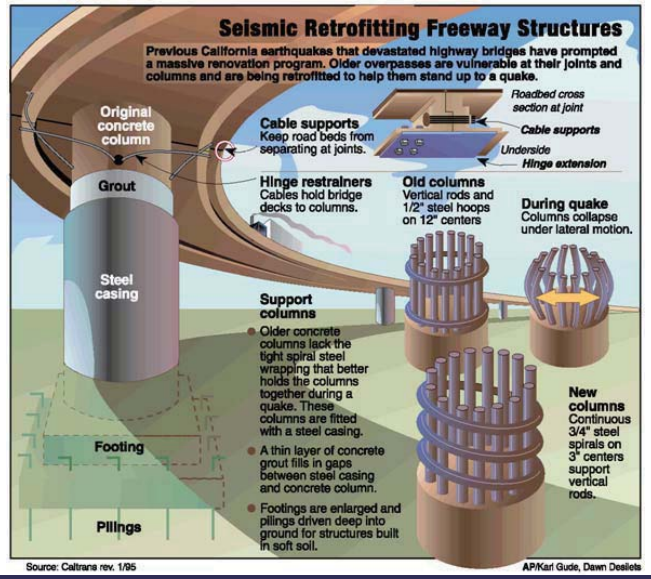
古い橋の適用基準調査（SSRN2013/14による）

海外支援	プロジェクト機関	道路区間番号	備考
インド	1967-1974 1973-1985 1973-1978 1953-1956 1967-1974 1964-1972	1.1 1.5 1.6 2.4,2.5 6.1 H10	左記のほとんどの橋は、1980年前の設計 一般に、1980年前の設計は、世界的に、せん断耐力、じん性設計が十分ではなかった時代の設計
ロシア	1967-1972	1.2	
米国	1973-1982 1958-1967 1958-1962 1967-1980	1.3 2.1 2.2 14.2,14.3,14.4	
イギリス	1969-1972 1976-1985	1.4 8.3,8.4	
中国	1963-1972 1967-1974 1978-1982	H03 H04 H05	
日本	1996-1998 2002 2005 1998-2005	6.2 6.3 6.4 6.5	日本の支援は比較的最近で、1990年以降

日本の耐震補強対策

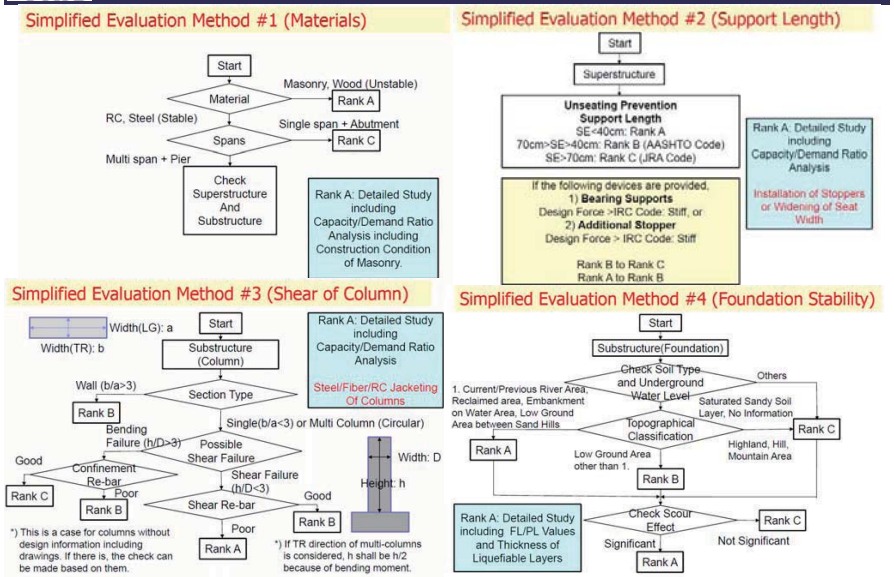


米国の耐震補強対策



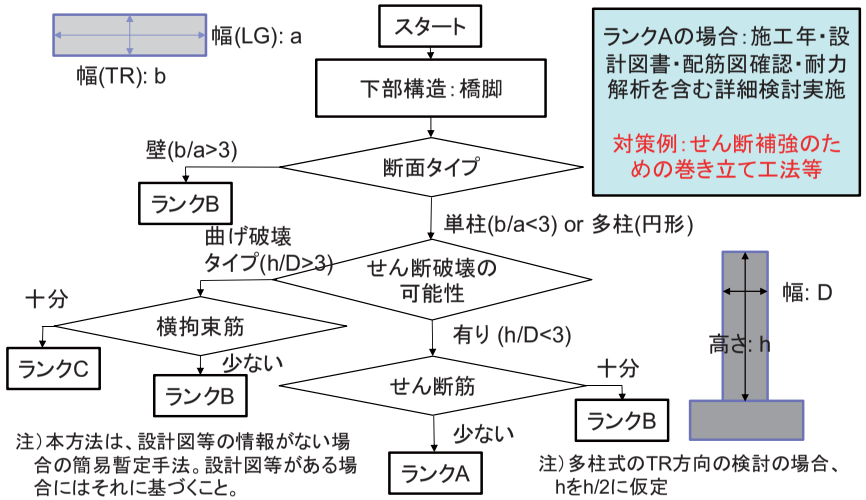
Caltransによる
(http://www.dot.ca.gov/hq/paffairs/about/retrofit.htm)

橋の簡易耐震診断法の提案



橋の耐震診断法の提案

耐震性能の簡易評価法　その３：橋脚のせん断破壊

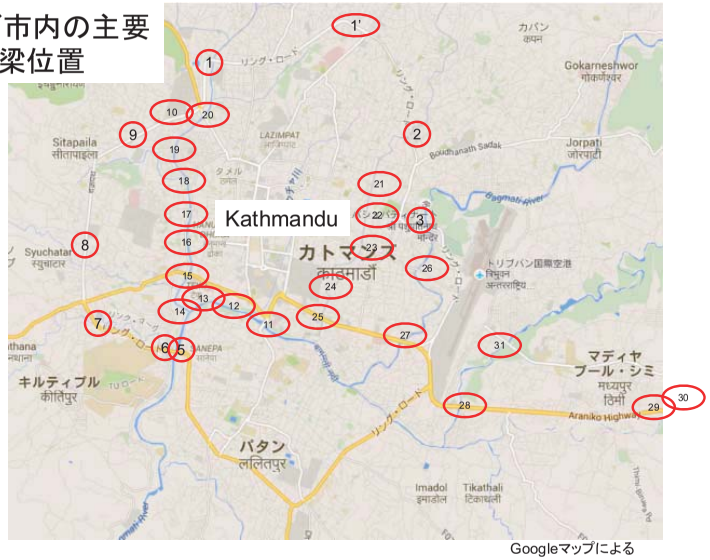


注）本方法は、設計図等の情報がない場合の簡易暫定手法。設計図等がある場合にはそれに基づくこと。

注）多柱式のTR方向の検討の場合、hをh/2に仮定

カトマンズ都市内の主要道路の橋梁調査

カトマンズ市内の主要道路の橋梁位置



Googleマップによる

現況調査結果のリスト化

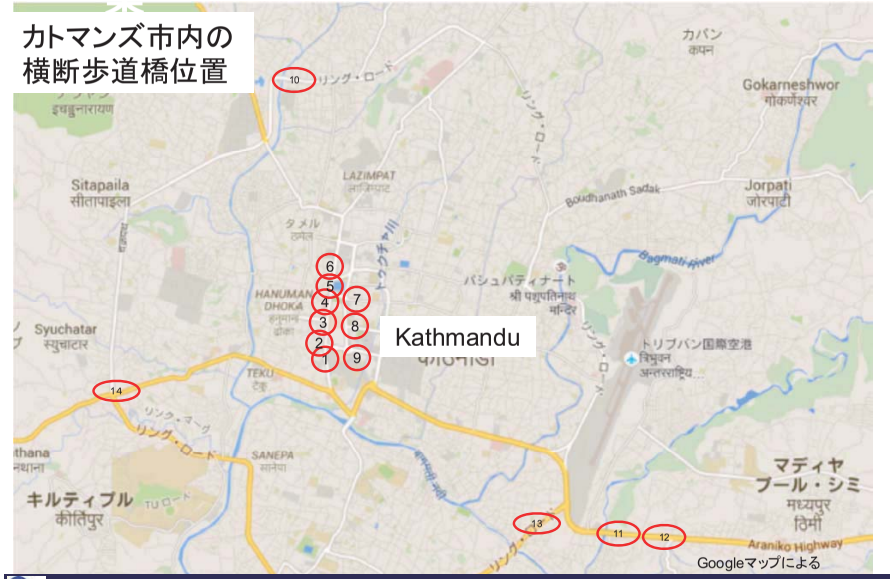
調査項目
- 橋梁基本条件
- 現況写真情報
- 劣化・損傷等
- 暫定耐震診断結果

耐震診断例１：ランクA，劣化損傷有り

耐震診断例２：ランクA，洗掘有り

洗掘による傾斜で通行止めの橋の例

カトマンズ都市内の主要道路の横断歩道橋調



カトマンズ都市内の横断歩道橋の被害

- 地盤変位に起因する支承部での変位46cm
- 地盤変位の進展指摘（被災スパン撤去）

カトマンズ都市内の横断歩道橋の耐震診断

ランクA: 桁かかり長、鋼桁の腐食、劣化進展

ランクA: 極端に斜角の小さい橋

ランクA:橋脚のせん断の可能性（配筋図要確認）

道路機能から見たボトルネックの可能性：幅員

橋によるボトルネックセクション：幅員

橋によるボトルネックセクション：幅員狭小、歩道のない橋

水害対策から見た改善点：河積阻害

M/Pへの耐震診断結果の反映

インフラ構造物の技術の開発・蓄積・普及支援

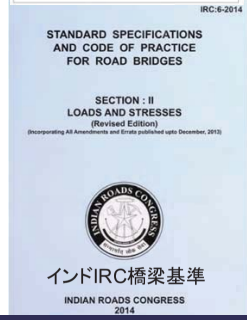
■2010年のネパール橋梁基準において、Indian Road Congress (IRC)基準を使うことを規定

BRIDGE LOADINGS

4.1 ROAD BRIDGE LOADINGS

All permanent road bridges in Nepal shall be designed as per IRC loadings or AASHTO loadings. All design shall be carried out in accordance to IRC standards for bridges unless otherwise specified in this document.

・荷重には、IRC基準、あるいは、AASHTO基準を使うこと。設計には、IRC基準を使うこと。



自国基準の新規策定を推奨

1) 基準情報の不理解、不徹底
2) 自国の技術が蓄積されない
3) 研究開発成果が活用されない
4) 技術者が育成されない

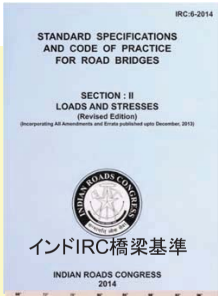
インフラ構造物の技術の開発・蓄積・普及支援

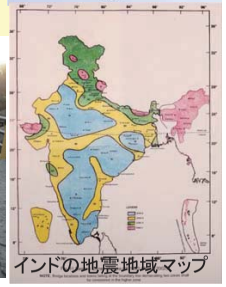
■ 橋梁基準の新規策定の提案

・現在インドIRC基準（Indian Road Congress）に準拠している橋梁基準を独自基準として整備し、基準をベースにして、自国の設計・施工技術の蓄積を図っていくべきことを、道路局（DOR）に対し提案

・基準の策定に向けた検討事項に関する提案

1）想定すべき地震と設計地震力
2）性能設計・じん性設計法の導入
3）今回被災した構造部位の設計ディテイルの検討
4）3,000kmの道路と400橋の建設計画（今後3年）に資する技術資料の作成（標準設計図集や設計資料）
5）大学等における研究との連携





地方部・山地部のライフライン道路の改良

山地部: 斜面崩壊、落石等

対策検討の必要性: リスクアセスメントの実施、ハザードマップ作成、被災時の啓開のための重機準備、優先順位付けした対策

Google Earthによる

地方部・山地部のライフライン道路の改良

山地部: 斜面崩壊、落石等

技術提案及び今後の展開

■ カトマンズ都市圏の道路ネットワークの強靭化

➢緊急輸送道路の強化の必要性：橋梁等の機能、脆弱性評価（ボトルネックとなる可能性、強靭化マスタープランの基礎データ）

➡ 新橋への架け替え、耐震補強、耐震基準の策定
維持管理技術の強化（劣化/洗掘要対策）
土工部の改良（河川の埋め立て地域、排水対策）
歩道橋上部構造の架け替え、ストッパー等の強化

■ 地方部・山間部のライフライン道路の改良

➢地方部では、道路は真にライフライン

➡ 信頼性の高い道路構築
リスクアセス、ハザードマップ、優先順位付けした対策の推進

■ 今後の展開

➢JICAによる開発調査（緊急,都市交通MP,リスクアセス）、優先緊急復旧事業、技術協力

おわりに

■ 海外における地震災害に対する調査事例
2010年2月27日チリ･マウレ地震
2015年4月25日ネパール地震

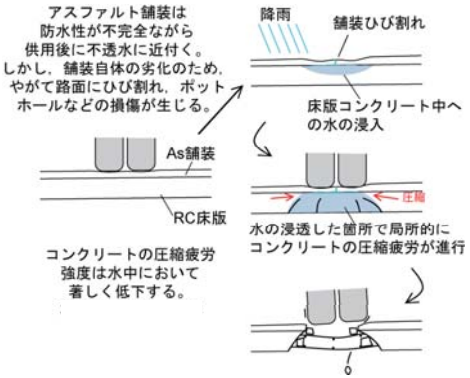
■おわりに
・“Sustainable Growth”：技術移転、人材育成、技術の蓄積の重要性
・“Common Technology”：自らの経験をもとにした継続的な技術の研究・開発の重要性

橋梁に対する
非破壊検査技術等の開発

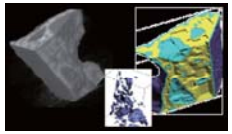
国立研究開発法人　土木研究所
構造物メンテナンス研究センター（CAESAR）
上席研究員　石田雅博

現状の課題

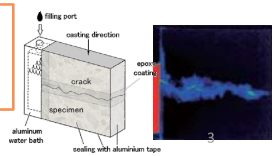
ＲＣ床版の疲労



中性子による
- 床版内部の可視化
- 水の動きの可視化



- 土砂化の進行状況の確認
- 耐力評価

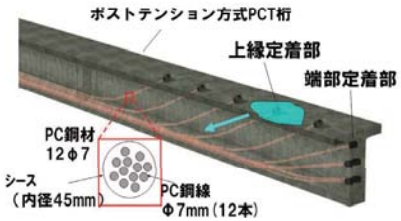


現状の課題

グラウト充填不足

橋梁	佐野橋	能生大橋	羽咋川海浜橋	T橋
充填状況一例	未充填（ウェブ）	充填不足（ウェブ）	未充填（ウェブ）	未充填
充填不足調査箇所	$\frac{16}{342}$ (4.7%)	$\frac{2}{64}$ (3.1%)	$\frac{8}{145}$ (5.5%)	$\frac{0}{16}$ (0%)
未充填調査箇所	$\frac{4}{342}$ (1.2%)	$\frac{0}{64}$ (0%)	$\frac{1}{145}$ (0.7%)	$\frac{1}{16}$ (6.3%)

PCT桁橋のPC鋼材配置の概念図
（概ね1980年代以前）



塩分を含んだ水の侵入によるPC鋼材の腐食・破断

PC鋼棒の突出

ＳＩＰ（戦略的イノベーション創造プログラム）
「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」

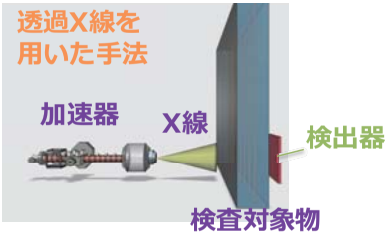
異分野融合による
イノベーティブメンテナンス技術の開発

研究責任者：土木研究所

研究実施機関：土木研究所，東京大学，理化学研究所

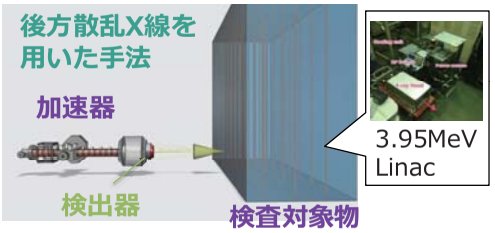
協力機関：NEXCO東日本

高出力X線



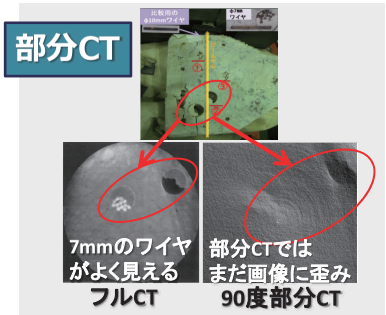
透過X線
（対象物を透過したX線）

後方散乱



後方散乱X線
（対象物にあたって返ってきたX線）

部分CT



目的に合わせたコリメータ開発

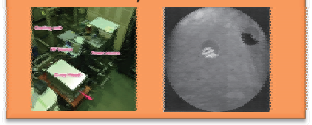
- マグネトロンと電子銃を改良し加速器の出力安定化・高出力化
- 部分角度CT再構成技術の構築

PC橋梁のグラウト不良や鋼材腐食に伴う耐荷力低下の危険性を判断できるシステムを開発する

耐荷力評価

（国研）土木研究所

可搬型高出力X線
（950keV, 3.95MeV）

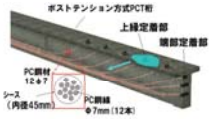


東京大学

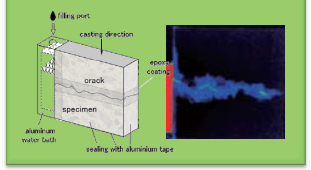
鋼材・空隙
の可視化

残存耐力の評価

解析・
実証

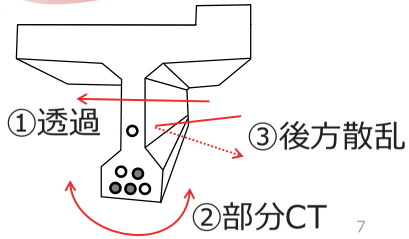


小型中性子源

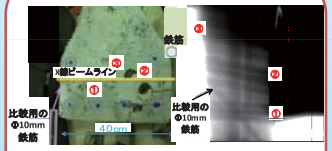


（国研）理化学研究所

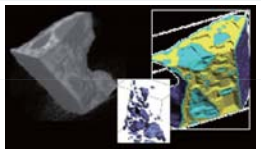
水の可視化



非破壊試験技術による
コンクリート内部の可視化

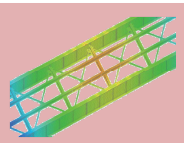


高出力X線による透過



中性子源を用いた
イメージング

載荷試験



数値解析モデル

解体調査

耐荷力推定
の検証

可視化情報による
耐力推定

非破壊試験結果
の検証

研究開発テーマ全体としての中間目標・最終目標

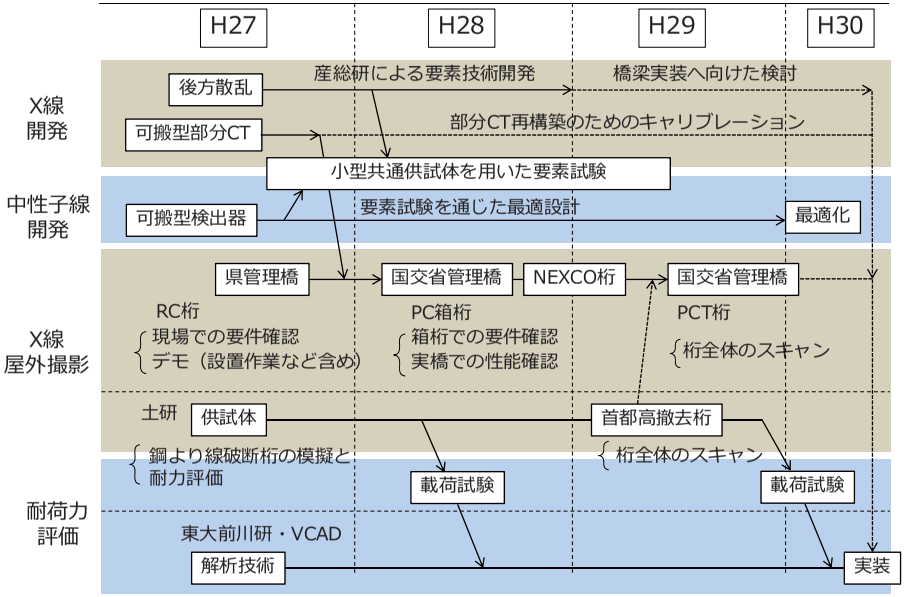
＜中間目標＞

（X線装置）
RC桁橋において撮影を数回実施し，現場撮影のためのキャリブレーションを終了させるとともに，可搬型部分CTX線装置を完成させる
（中性子線）
シース内滞留水の存在・土砂化個所など検出可能な項目を実測により検証
（耐荷力評価）
ケーブル破断等の損傷を生じたPC桁の耐力評価

＜最終目標＞

（X線）
PC桁内グラウト未充填個所および鋼材の腐食量・破断が1mm程度の精度で短時間に検出できる可搬型高出力X線装置の開発
（中性子）
シース内滞留水の存在や土砂化個所，ひび割れに伴う水みちの確認などが短時間に行える可搬型中性子線装置の開発
（耐荷力評価）
可視化情報からPC桁の残存耐力を評価できるシステムの構築

全体開発スケジュール

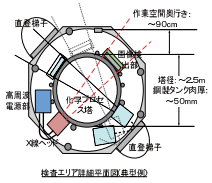


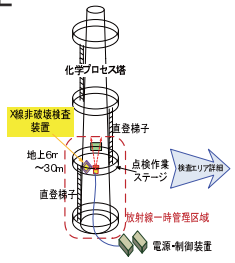
3.95MeVシステムの法順守

- 新規製作の場合、放射線障害防止法に基づき、原子力規制庁に申請
- 電離放射線障害防止規則に準じて、局所遮蔽設定、1.3mSv/3 monthsの管理区域の設定と管理
- 放射線障害防止法の平成17年度変更によって、橋梁に限って**4MeV**以下までその場検査が可能となった
- 原子力規制庁に使用場所変更届出し、確認を得る。
- 外部試験毎に原子力規制庁に、使用場所変更請出。実験室での運転モードと同じもののみ許可。
- 廃棄時は手続きあり
- 平成27年1月29日　土木研究所にてPC橋切り出し試料に対して日本で初めて実施。

950keVシステムの法順守

- 放射線障害防止法に該当しない
- 電離放射線障害防止規則に準じて、局所遮蔽設定、1.3mSv/3 monthsの管理区域の設定と管理
- 新規製作の場合、製作地の労働基準局に申請
- 試験実施地では申請不要
- 廃棄時は手続きなし

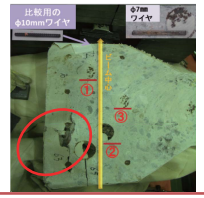


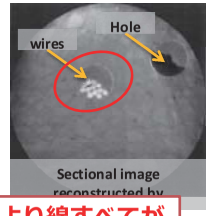


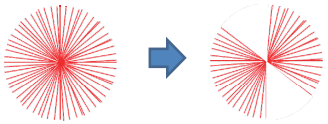
東京大学950keV X線源のその場透視検査実績（平成25-27年度，９回）

12

東京大学3.95MeV X線源と実験室内ＰＣ橋切り出し試料の３次元ＣＴ結果



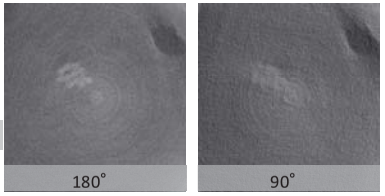




スキャン角度が限定されると画像が歪む（現在補正手法開発中）

シース中の外径7mm鋼より線すべてが1mm程度の精度で可視化

Source	3.95MeV
Detector	Perkin Elmer FPD
Pixel number	2048 × 2048
Pitch	200um



ROI reconstruction with limited angle range

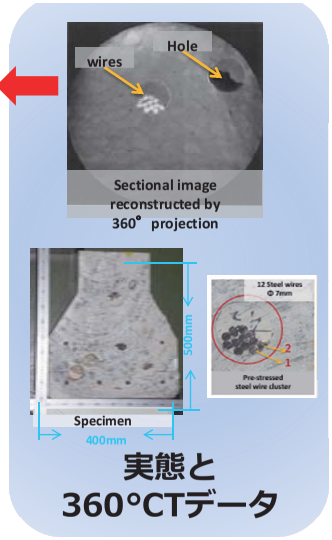
13

現場取得画像と実験室デー校正タベースによる断面内部構造の判定

豊富かつ信頼性高いデータの蓄積

画像の鮮明化
ノイズ除去
歪みの補正

現場取得データから内部構造の正確判定



実態と360°CTデータ

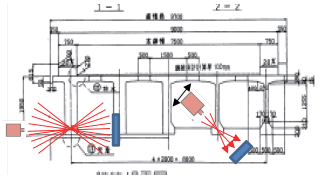
2015/1/29日本初の3.95MeV電子ライナックX線源その場試験に成功

フラットパネルX線カメラ(1s)

イメージングプレート(30s)

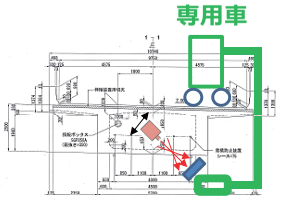
T桁橋・箱型桁橋・床板桁のその場Ｘ線検査の方策案

H27 T桁橋（県管理）



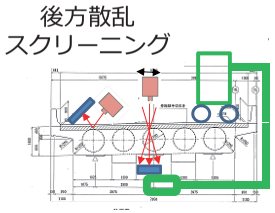
部分角度CT/Tomosynthesis　数方向透視/Tomosynthesis

H27 箱型桁橋（県管理）

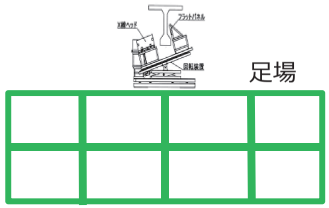


数方向透視/Tomosynthesis

H28 中空床板桁橋（NEXCO東日本）



数方向透視/Tomosynthesis



950 keV /3.95 MeV X線源

X線カメラ/イメージングプレート

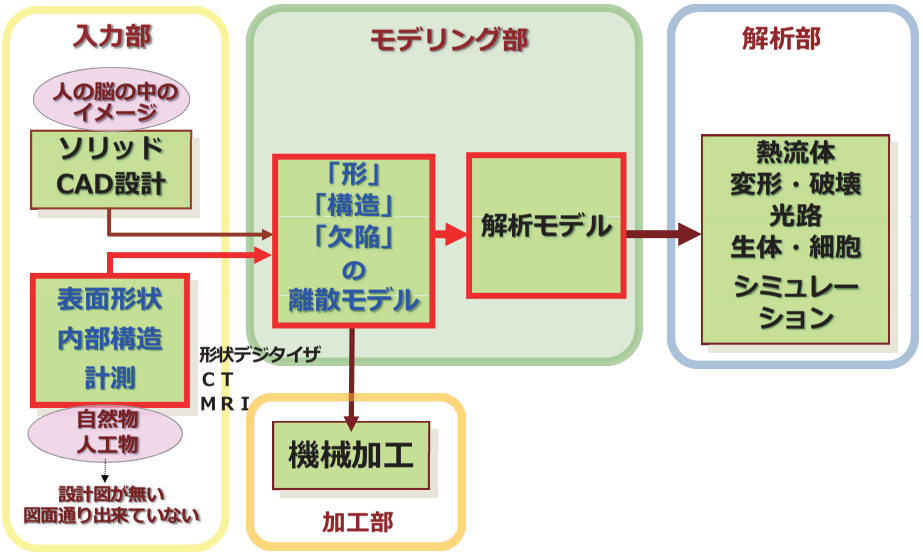
耐荷力評価法の検討

- PCケーブルが腐食・破断した桁の耐力評価
  - 事例収集（過去のデータ・資料整理）
  - 解析手法の整理
    解析におけるプレストレス損失区間の設定
    箱桁を想定

➡ 載荷試験による検証

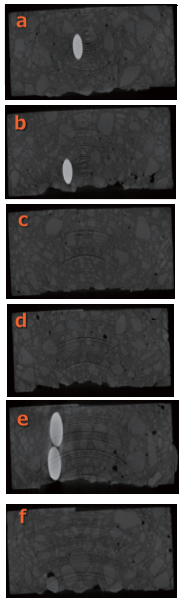
17

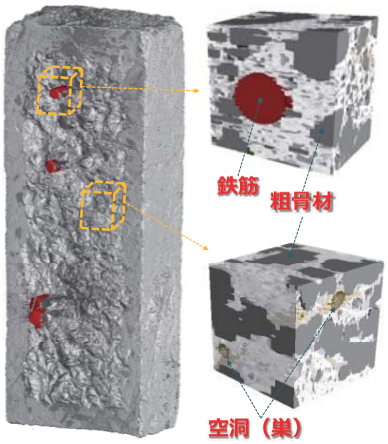
VCADシステムの構成



18

X線CT測定概要　（木造住宅基礎部材）



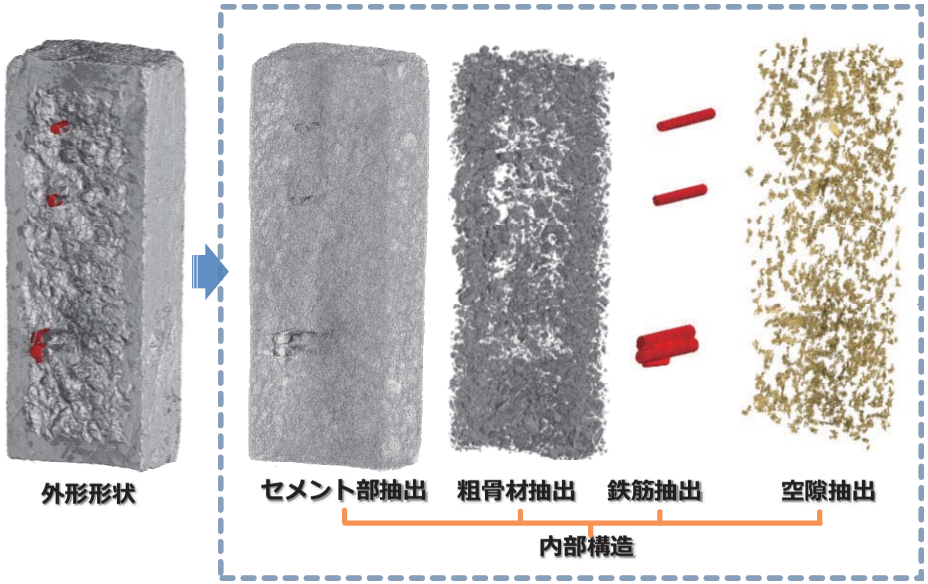


CT測定パラメータ
測定ピッチ：1mmピッチ × 測定枚数：520枚
測定時間：　38時間

X線CT画像データ

19

X線CT測定結果　（木造住宅基礎部材）

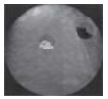


20

橋梁におけるVCADを用いた耐荷力評価のイメージ

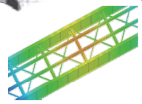
劣化した橋梁構造物

X線・中性子線
透過・部分CT等



特性値の均質化
マルチスケール解析

目的に応じた構造解析



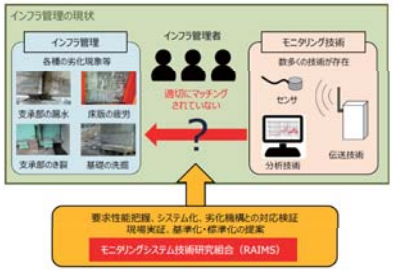
- 各種非破壊試験の実施
- 撮像箇所の選定
- 部分的撮像の実施
- 内部構造の可視化
- **要素識別・モデリング**
- **適切なスケールの選定**
- 構造解析

耐荷力評価

モニタリングシステム技術研究組合（RAIMS）

組合員

（独）土木研究所、西日本高速道路株式会社、東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、鹿島建設（株）、前田建設工業（株）、国際航業（株）、日本工営（株）、沖電気工業（株）、日本電気（株）、（株）日立製作所、富士通（株）、（株）共和電業、能美防災（株）



組合設立の目的

損傷・劣化の状態監視を社会インフラの維持管理業務へ活用するため、センサや通信・データ解析技術等を活用したモニタリングシステムの社会インフラ分野への実用化導入を図ることを目的とする。

実用化の方向性

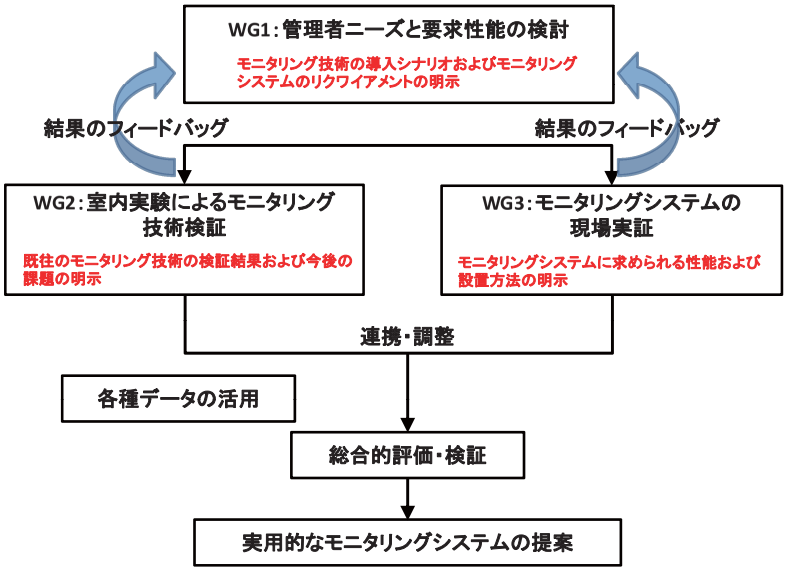
モニタリング技術の要求性能を明確化するとともに、モニタリングシステムの基準化・標準化（案）を作成し、現場実証等を通じて橋梁等の維持管理業務での適用を推進する。

役員（設立時）

理事長：依田照彦（早稲田大学）
理事：石川雄章（東京大学）
理事：魚本健人（（独）土木研究所）
理事：受川 裕（日本電気（株））
理事：角田直行（西日本高速道路（株））
理事：川添卓司（東日本高速道路（株））
理事：西郷英敏（沖電気工業（株））
理事：高田悦久（鹿島建設（株））
理事：廣瀬 輝（中日本高速道路（株））
理事：山川朝生（日本工営（株））
監事：橋爪毅（能美防災（株））

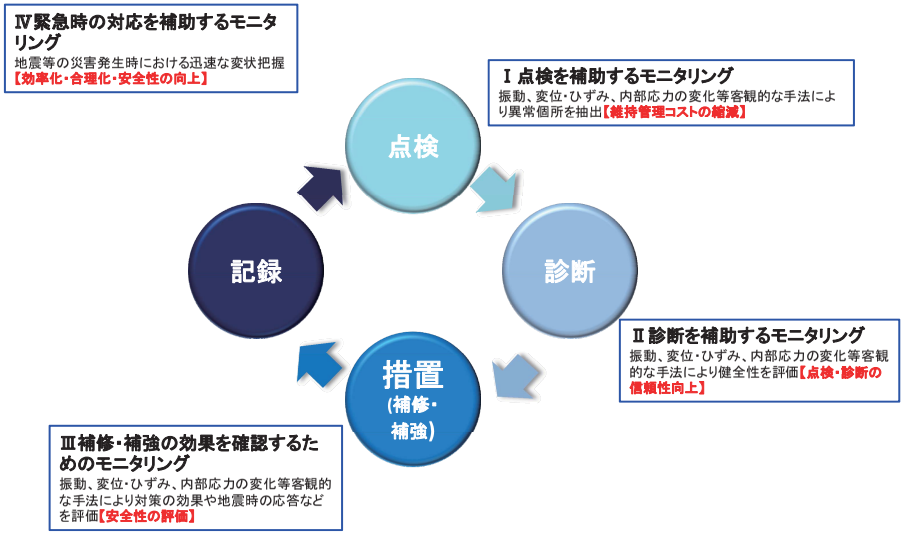
平成26年10月14日認可

試験研究の概要



1. 管理者ニーズと要求性能の検討

維持管理サイクルにおけるモニタリングの役割



1. 管理者ニーズと要求性能の検討

維持管理ニーズの整理

維持管理の目的		点検時 日常点検〔①〕	点検時 定期点検〔②〕	診断時〔③〕	補修・補強後〔④〕	緊急時〔⑤〕
高度化	近接目視が困難な重要部位の確認〔a〕	〔a-①〕重要箇所は巡回時に異常を見逃さないようにしたい。	〔a-②〕目視による把握が困難な事象を定量的に把握したい。	〔a-③〕目視による把握が困難な事象の進行を把握したい。		〔a-⑤〕目視による把握が困難な事象を定量的に把握したい。
高度化	近接目視では捉えられない有用情報の確認〔b〕	〔b-①〕変状に対する環境要因の作用状況を把握したい。	〔b-②〕経年的な劣化等の状況を把握したい。	〔b-③〕損傷の進行等の状況を把握したい。	〔b-④〕補修・補強の効果及び手法の妥当性を把握したい。	
効率化	現状作業の効率化・合理化（現行の水準を維持しつつ）〔c〕	〔c-①〕十分に巡回できない場合でも最小限の確認をしたい。	〔c-②-1〕高所作業車、船舶等を利用することなく安価に状況を把握したい。 〔c-②-2〕広い・長い・多い施設の点検作業時間を短縮したい。	〔c-③-1〕損傷の進行等を効率的に確認したい。 〔c-③-2〕規制等の措置を講ずる必要性を明確化したい。		〔c-⑤-1〕高所作業車、船舶等を利用することなく安価に状況を把握したい。 〔c-⑤-2〕広い・長い・多い施設の点検作業時間を短縮したい。 〔c-⑤-3〕異常の可能性が高い個所を効率的に抽出したい。

1. 管理者ニーズと要求性能の検討

モニタリングニーズの抽出結果イメージ

	役割	モニタリングニーズ
劣化の進展を監視したい	適切な対処を支援	劣化現象の経過の把握（ひび割れ、変位等） b-① or b-②
対策が必要か判断したい	予防保全（長寿命化）を支援	劣化要因の経過の把握（塩分濃度、漏水等） C-②-1
通行止めすべきか判断したい	リスク回避	限界状態に至る可能性有無の判断（落橋危険性等） C-⑤-3

2. 室内実験によるモニタリング技術検証

2.1 Sub-WG1 計測機器の性能評価

各種センサー等の評価基準を作成するために，現状における計測機器の精度，感度，耐久性，長期安定性などについて既存資料を収集し，整理分析する。

2.2 Sub-WG2 床版に関するモニタリング技術の検証

輪荷重疲労試験により模型床版に生じるひび割れのモニタリングを行い，実現象と各種モニタリングデータの相関について把握するとともに，各技術の適用性の確認と課題抽出を行う。

2.3 Sub-WG3 塩害に関するモニタリング技術の検証

センサーを配置したコンクリート桁の模型試験(塩分浸透試験，電食試験，耐荷力試験)ならびにFEM解析等により，劣化現象と各種モニタリングデータの相関を把握し，各モニタリング技術の適用性の確認を行う。

2.4 Sub-WG4 構造物全体系の中でクリティカルとなる部分を検知する方法の検討

各種構造形式に応じてその弱点を整理し、構造物の性能を表す代表的な特性値をモニタリングすることで構造物の性能限界を検知する手法を開発し、その適用性を確認する。

2.1 Sub-WG1 計測機器の性能評価

◆ 目的

センサーなどの計測機器について、現状における精度、感度、耐久性、長期安定性などを確認し、将来的にはこれらに要求する性能を示すとともに、評価基準を作成する。

計測機器調査、資料収集
現状技術の把握のための調査・資料収集を行う

↓

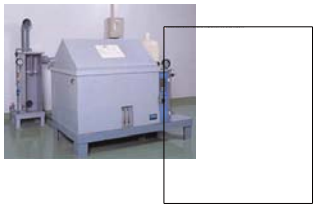
精度・感度・耐久性・長期安定性の評価
使用目的に応じ精度・感度・耐久性・長期安定性などの確認試験を行う

↓

要求性能の提示・評価基準作成
使用目的に応じて必要となる精度・耐久性を確保するための評価基準を作成する

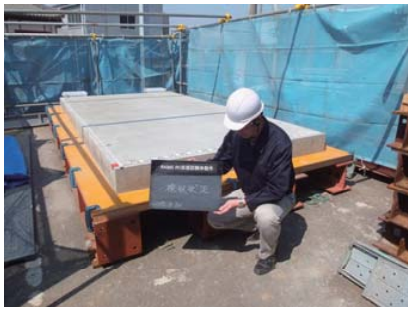
【精度確認のための試験例】

【耐久性確認のための試験例】



2.2 Sub-WG2 床版に関するモニタリング技術の検証

RC床版供試体の作製状況
2,200×4,000×190（mm）



2.3 Sub-WG3 塩害に関するモニタリング技術の検証

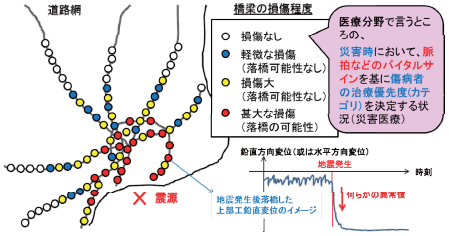
RCはり供試体の作製状況
1,800×200×300（mm）

2.4 Sub-WG4 構造物全体系の中でクリティカルとなる部分を検知する方法の検討

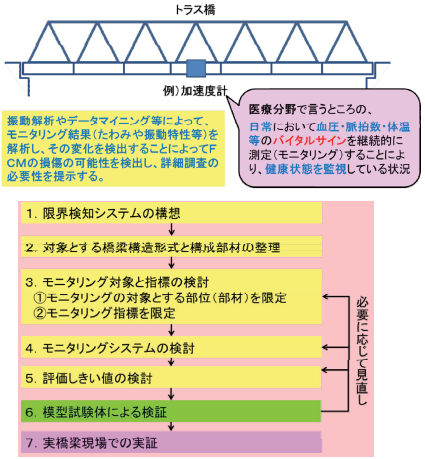
◆ 目的

各種構造形式に応じてその弱点を整理し、構造物の性能を表す代表的な特性値をモニタリングすることで構造物の性能限界を検知する手法を開発し、その適用性を確認する。

【限界検知A 異常時点検支援システム】



【限界検知B 劣化程度把握診断システム】



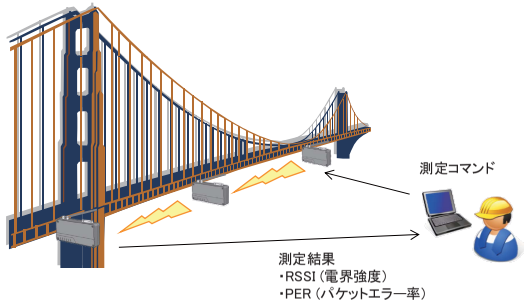
3.3 伝送技術の現場実証計画の作成

伝送技術の現場実証イメージ1（ローカル伝送試験）

◆ 目的

実際の橋梁での電波伝搬測定を行い、橋梁構造物による伝搬損失の影響を調査し、将来の無線機の置局設計に役立てる。

- 実施内容
  - 製品版の無線機を用いて、橋梁構造物での電波伝搬測定を実施
  - 複数の無線機を橋梁の様々な場所に設置し、電界強度やパケット受信率などを測定
- 測定項目案
  - 床版の表裏の透過性、橋桁の影響、鉄橋/PC橋との差異、基地局への到達性 etc
  - 橋梁種類：4種類程度（時期は2回に分けて実施）



3.3 伝送技術の現場実証計画の作成

伝送技術の現場実証イメージ2（路ー車間伝送試験）

◆ 目的　様々なフィールド条件下で設置された送信機と走行車両内にある受信機でデータ通信を行い、路-車間通信（巡回型データ回収方式）における通信条件、課題を明らかにする

◆ 実験内容

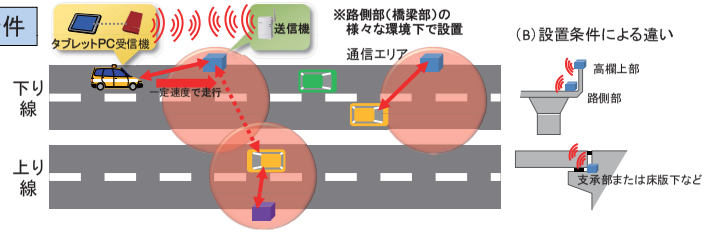
一定量のパケットを送信し、受信されたデータ量（成功率）等で、通信精度（品質）を評価する。
評価軸は以下の通りとする。

① 信頼性
送信機付近通過時に、データ（1週間分相当のセンシングデータ量）受信ができること、
またその際のパケット落ち（データの取りこぼしの有無）を確認

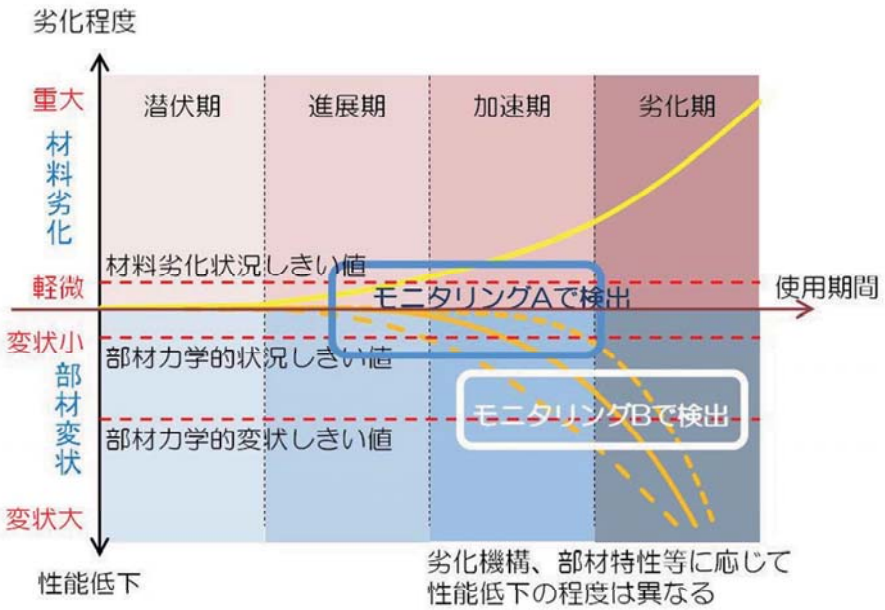
② 電波強度特性（RSSI）
パケット受信時の無線の電波強度を測定し、通信可能エリアを推定

③ 設置（環境）条件
走行車線や送信機設置環境（路側、高欄上部、床版下、構造仕様等）の違いによる①、②の評価

◆ 実験（設置環境）条件



33

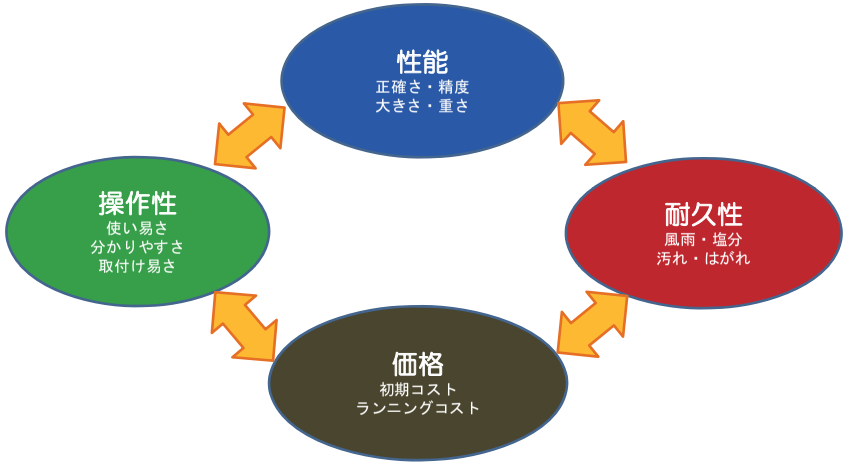


34

■載荷試験

35

モニタリング・システムの要求性能



『性能』だけでなく全体のバランスが重要

特 別 講 演

インフラの維持管理における技術開発の動向とSIP

土木研究所 CAESAR講演会
2015.8.28

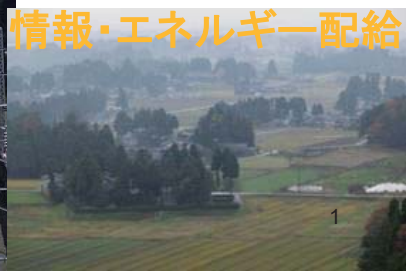
藤野 陽三

横浜国立大学 先端科学高等研究院

fujino@ynu.ac.jp

0

社会を支えるインフラ



1

塩野七生（ななみ）さん

歴史作家

『すべての道はローマに通ず
ローマ人の物語X』2000年

「人間が人間らしい生活を送るためには必要な大事業」

「インフラぐらい，それを成した民族の資質をあらわすものはない」

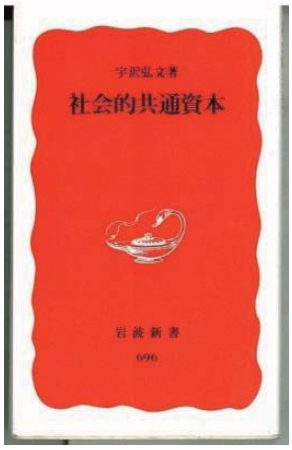
ローマ人の考えているインフラとは、
街道、橋、港、神殿、広場、劇場、円形闘技場、競技場、公共浴場、
水道等に加え、安全保障、治安、税制などのシステムと
医療、教育、郵便、通貨のシステムまで入っている

2

インフラストラクチャ＝「社会的共通資本」

「みんなが使う、みんなのもの」

「公」（官ではない）　対「私」
人間が人間らしく暮らすのに必要なもの（塩野）



- 自然環境　サイエンス的要素
  大気，水，森林，河川，湖沼，
  海洋，沿岸湿地帯，土壌，地震，雨…
- 社会的インフラストラクチャー　工学
  道路，交通機関，上下水道，港湾
  電力・ガス　所謂「社会資本」
- 制度資本（システム）　社会科学的要素
  公共政策，教育，医療，金融，司法，行政

常に，自然と社会を見て，広い視野でことに臨む．

3

工学

機械工学　Mechanical Engineering
電気工学・電子工学　Electrical/Electronics
先端

建築学　Architecture
土木工学　古いものの価値　歴史に学ぶ
Civil Engineering
vs. Military Engineering

自然　工学・技術　社会・人間
尖がっていないが，幅が広い

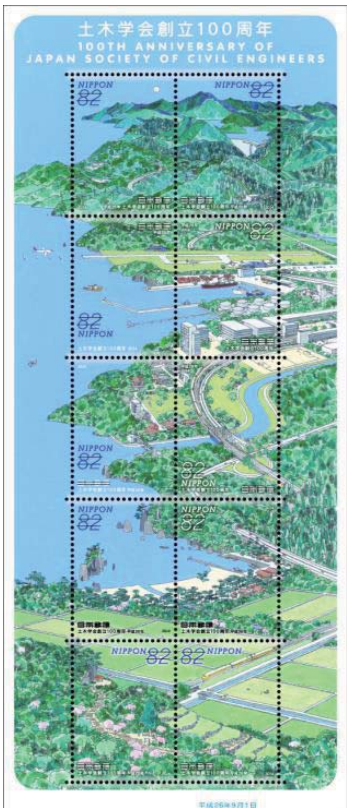
4

記念切手
9月1日 発売

人々の生活を
支える土木
を絵にしたもの

1000万枚発売

9月1日発売



学会

- 1877年　日本数学「会社」
  1875年　福沢諭吉 「文明論概略」

  1873年　イギリス物理学会
  1895年　ドイツ物理学会
  1899年　アメリカ物理学会
- 1878年　日本化学会　　学会は日本語　中国へ輸出
- 1879年　日本工学会
- 1881年　日本地震学会

日本工学会

- 工学会創立　1879年11月18日（明治12年）.
- 旧工部大学校の
  土木、電気、機械、造家、化学、鉱山、冶金
  の7学科第1期卒業生23名が相互の親睦、知識の
  交換を目的として創立.

土木，特に古市はその中の中心的存在

造家1886，電気1888，機械1897が学会として分離独立

土木は工学の中心　独立には抵抗

土木はそもそもマネジメント

創立：1914年11月24日（大正3年）

古市公威初代土木学会会長の就任演説

土木技術者は
「指揮者を指揮する人」,「将に将たる人」
たらねばならぬことを力強く述べ、
土木学会会員に
「研究の範囲を縦横に拡張せられんこと」を、
そしてそれと同時に
「その中心に土木あることを忘れられざらんこと」を

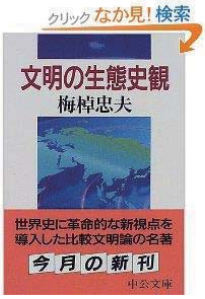
帝国工科大学
初代学長
貴族院議員

日本工学会　1879年

梅棹忠夫

1920年6月13日
- 2010年7月3日）

- **京都学派**
- **京大　”人文研”**
  万博陰のプロデューサー，民博創設者.
- **世界史に革命的な新視点を導入した比較文明論の名著**



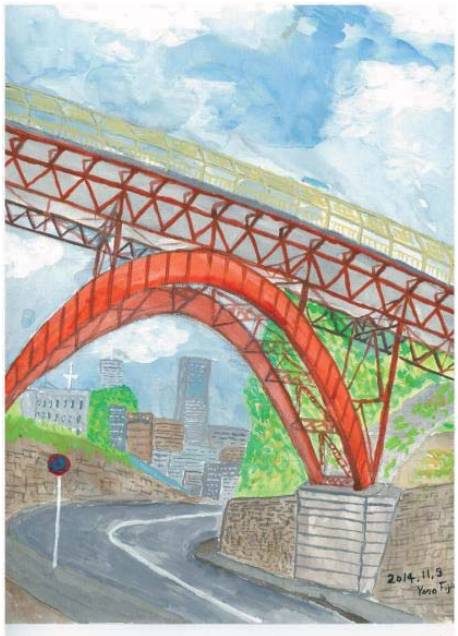
梅棹忠夫著作集　全22巻　研究と経営　他

土木

文明の装置
お国柄　地域柄
ならば「〇〇」へ
橋は〇〇か？

10
10

横浜ベイブッリジ　1989年



打越橋　1928年

ドイツの橋

フランスの橋

橋は文化だ！

Infrastructure　インフラ

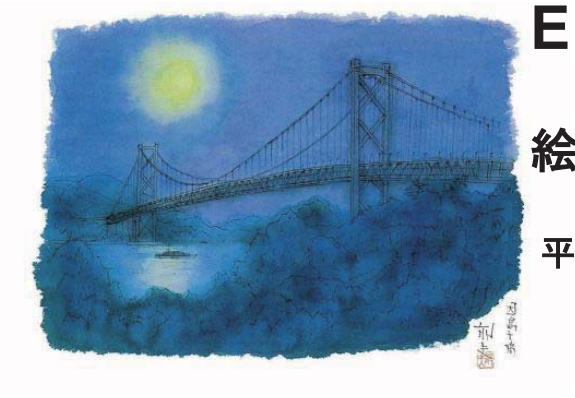
such as buildings , towers
and bridges　塔, 橋, ビル　他

should satisfy　three ”E”s
満たすべき　　3つのE
用強美

Efficient

Economical

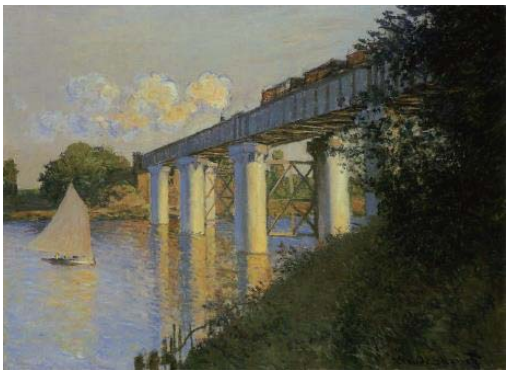
Elegant



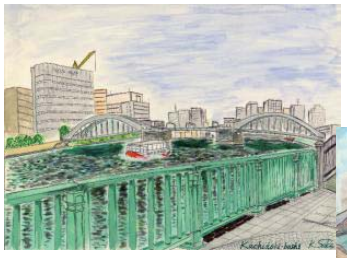
Eleganceエレガンス;

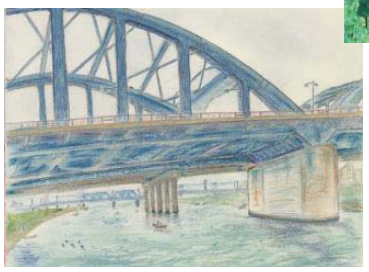
絵を描きたくなるような

平山郁夫画伯のもの



風景画教室
橋を勉強するために
1993年にスタート

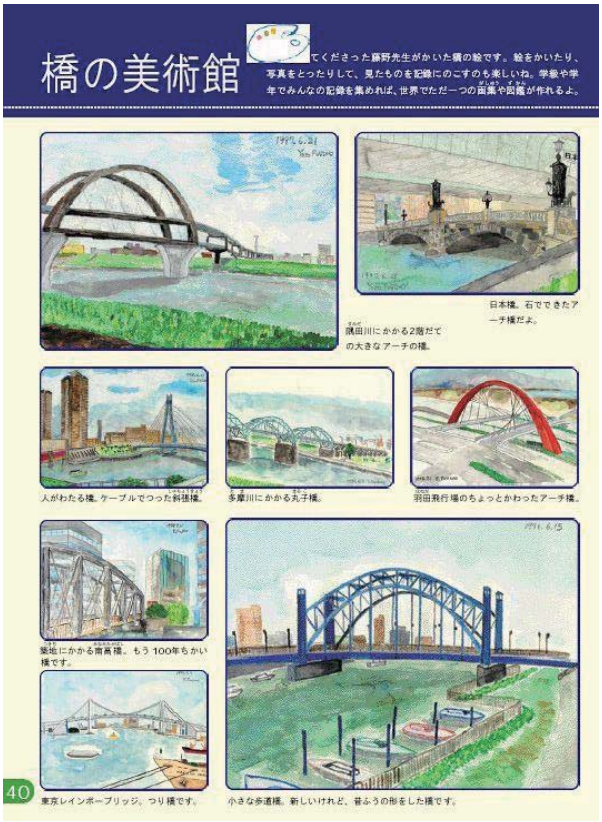




２０００年度　風景画教室作品集

2000年度風景画教室

第1回　2000年4月22日（土）　皇居平川橋
第2回　2000年5月13日（土）　東京駅
第3回　2000年6月　3日（土）　みなとみらい21
第4回　2000年6月24日（土）　多摩川園
第5回　2000年7月15日（土）　勝鬨橋



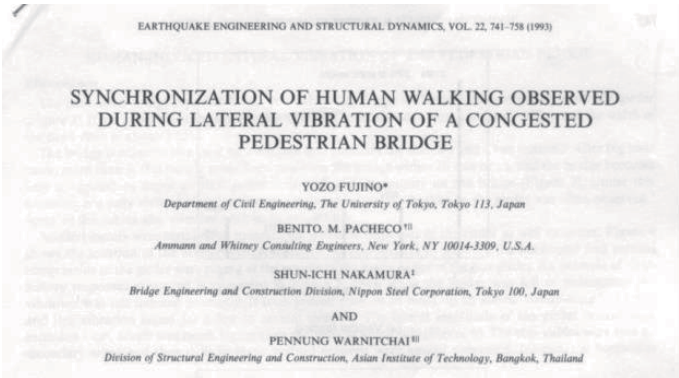
橋は実用品

橋はアートでもある

橋はサイエンスでもある

1989年12月31日

国際誌への論文



EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL DYNAMICS, VOL. 22, 741–758 (1993)

SYNCHRONIZATION OF HUMAN WALKING OBSERVED DURING LATERAL VIBRATION OF A CONGESTED PEDESTRIAN BRIDGE

YOZO FUJINO*
Department of Civil Engineering, The University of Tokyo, Tokyo 113, Japan

BENITO. M. PACHECO[†]
Ammann and Whitney Consulting Engineers, New York, NY 10014-3309, U.S.A.

SHUN-ICHI NAKAMURA[‡]
Bridge Engineering and Construction Division, Nippon Steel Corporation, Tokyo 100, Japan

AND

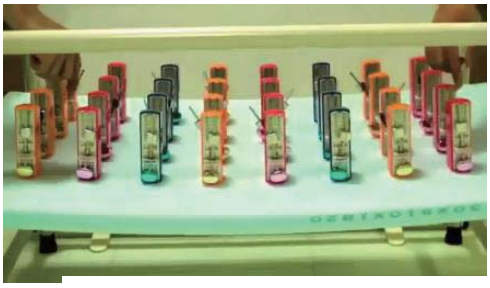
PENNUNG WARNITCHAI[§]
Division of Structural Engineering and Construction, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand

2015/8/11

イギリス　ミレニアム橋の振動制御アドバイサー　-

Norman Foster, Sir
のデザイン

2015/8/11



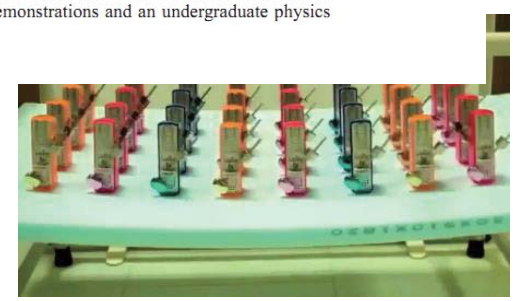
Synchronization of metronomes

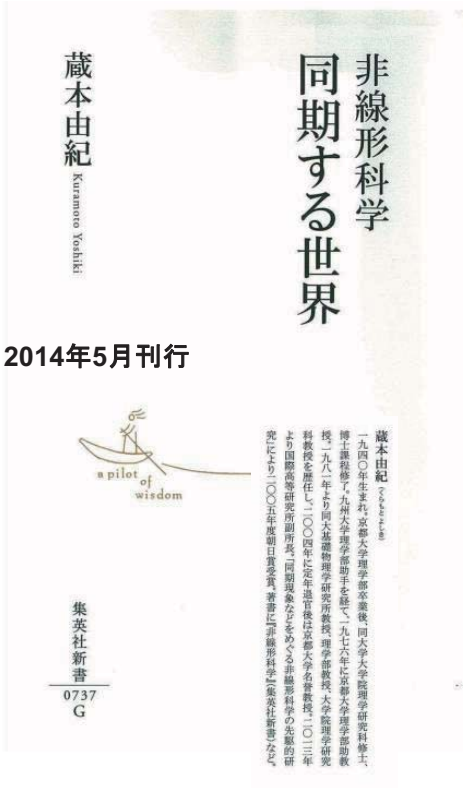
James Pantaleone
Department of Physics, University of Alaska, Anchorage, Alaska 99508

(Received 1 April 2002; accepted 24 June 2002)

Synchronization is a common phenomenon in physical and biological systems. We examine the synchronization of two (and more) metronomes placed on a freely moving base. The small motion of the base couples the pendulums causing synchronization. The synchronization is generally in-phase, with antiphase synchronization occurring only under special conditions. The metronome system provides a mechanical realization of the popular Kuramoto model for synchronization of biological oscillators, and is excellent for classroom demonstrations and an undergraduate physics lab. © *2002 American Association of Physics Teachers.*
[DOI: 10.1119/1.1501118]

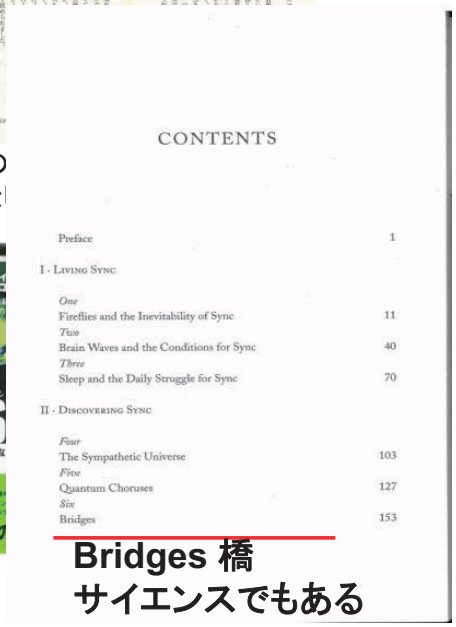
埼玉大学理工学部
池口研究室





2014年5月刊行

橋の
節と



Bridges 橋
サイエンスでもある

という本 からの抜粋

生まれて以来，人は自分と周囲との間に，一つ一つ橋をかけ，人とも，物ともつながりを深め，それを自分の世界として生きています．この橋がかからなかったり，かけても橋としての機能を果たさなかったり，時として橋をかける意志を失った時，人は孤立し，平和を失います．この橋は外に向かうだけでなく，内にも向かい，自分と自分自身との間にも絶えずかけ続けられ，本当の自分を発見し，自己の確立をうながしていくように思います．

2009年

25

橋は文学にもつながる

Professor on Bridge Engineering

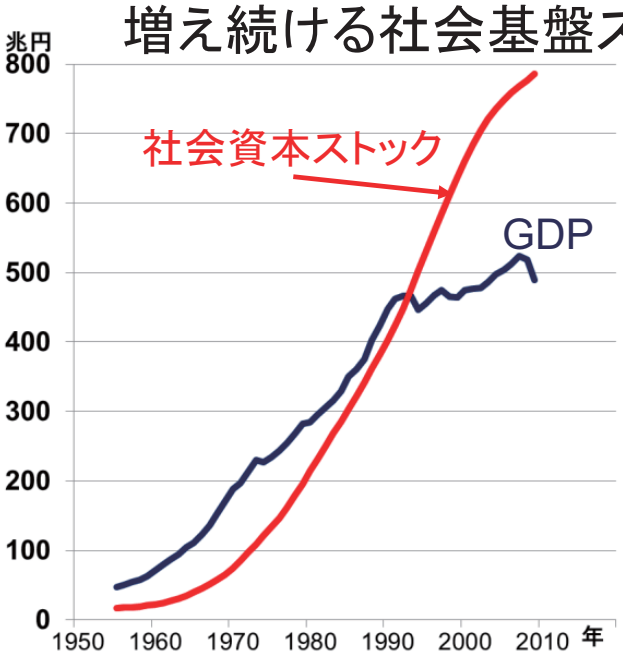
is

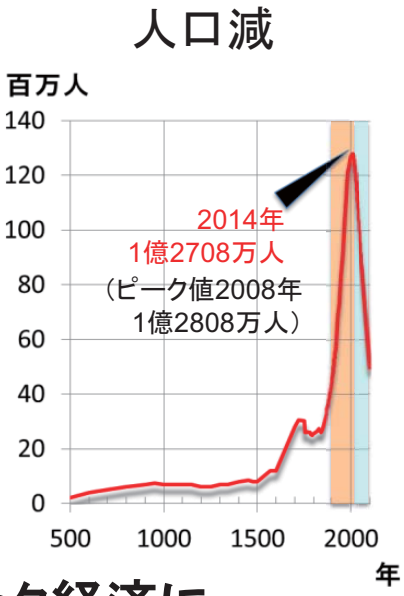
My vocation

天職

増え続ける社会基盤ストック

26





フロー経済からストック経済に

野口悠紀雄「社会的共通資本」（宇沢弘文編）

26

首都高速一号羽田線
1964年完成

27

■現在の日本橋川上の様子

首都高建設中の赤坂見付交差点付近

30

50年前のクルマは使わないが，
インフラまだまだ…..

31

時とともに価値が出る

33

わが国の交通運輸の担い手

- 高速道路網

  首都高速＋阪神高速　　300km＋250km

  名古屋＋九州＋広島. . .

  100万台/日（首都高速）　東京圏の**30%**の交通（シェア）

  15%（道路延長）

  ネクスコ系（東＋中＋西）　8700km

  700万台/日　日本全体の10%の交通シェア

  貨物では**50%**　道路延長は0.6%

- 高速鉄道網（新幹線）

ミネソタの橋梁崩落事故 2007. 8.1

34

設計ミス　薄かったU-10 ガセット　　2003年撮影

写真でも面外変形していた

点検では見つけられず　（悪くなったところだけを探すので）

もともと悪いところを探すのは大事

日本もやっと
点検の義務化

5年に一度

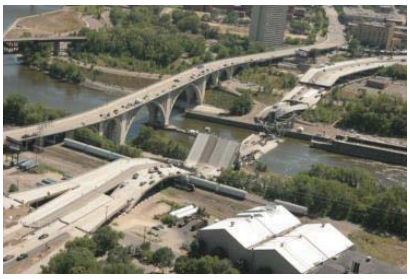
35

http://www.startribune.com/local/16927626.html

維持管理に関係する事故

- 1967年　シルバー橋
- 1983年　マイアナス橋
- 2006年　ケベック・コンコルド橋
- 2007年　ミネソタ・ミシシッピ川橋

- 冗長性の低い構造＋メンテナンス
- 「古いもの」ではなく「悪いもの」
- ライフサイクルマネジメントや維持管理体制にフィードバック
  - Fracture Critical Bridge（FCB）



中央高速道笹子トンネルの天井板落下事故（2012年12月）

古いインフラの質には
いろいろあるが．．．

わが国の発展に貢献した，
先輩方の作品に敬意を払い，
それをいかに守るか，
アップグレードするか．

38

橋やトンネルなど　特徴

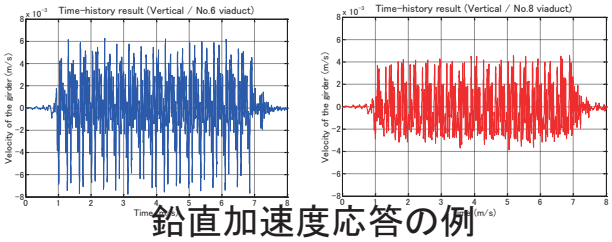
- 高い公共性　「安全」が期待される　高い安全率
- 単品性　マスプロ製品とは違う
- 条件が1つ1つ違う　（地盤，気象，交通）
- 長い供用期間　50年　それ以上
- （結果として）高い不確定性　想定外が起こる
- 取り換えが難しい
- 長い，大きい
- 検査が難しい　現場で検査　使用しながら検査・補修
- 事故の影響大　大規模/ネットワークの一部

39

高速鉄道高架橋の振動計測--

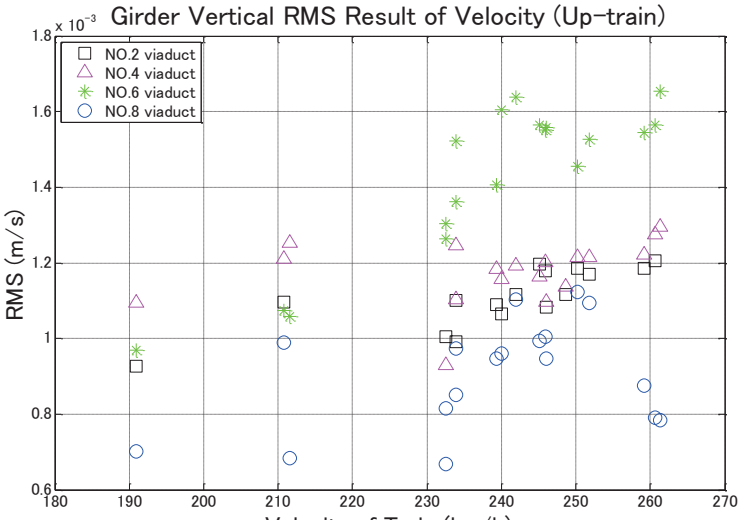
図面上は同じ高架橋 --

同じような高架橋--しかし，応答にはかなりの幅



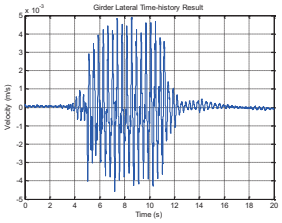
鉛直加速度応答の例

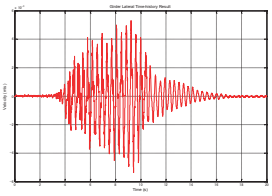
RMS二乗平均応答

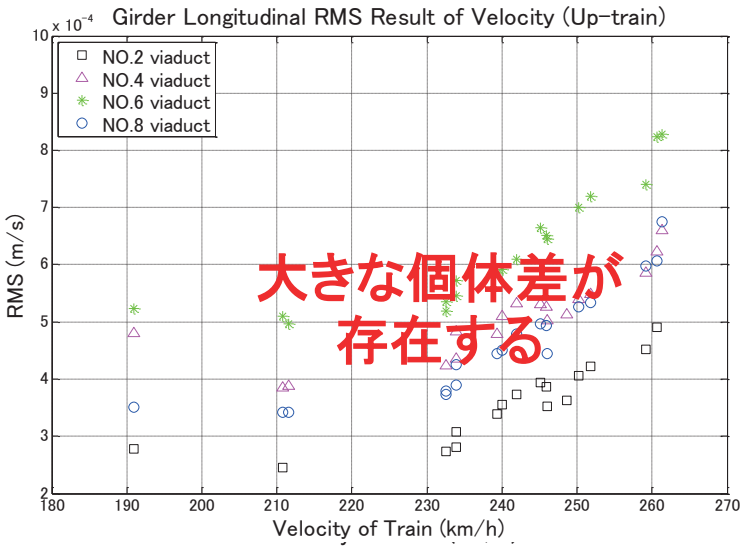


速度

Lateral
RMS response





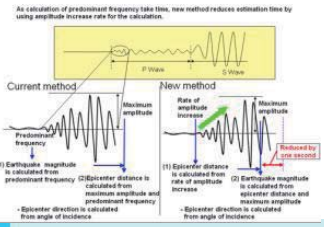


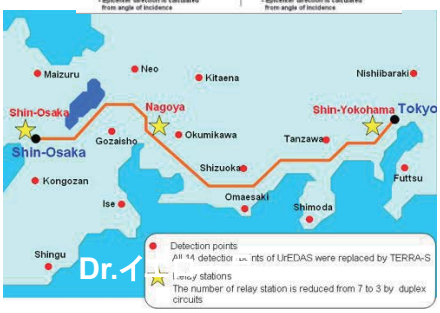
センシングの実用化例-

新幹線では-

最新の技術を投入
世界最高の安全性

"TERRA-S" 地震列車警報システム





列車を止める
まではよいが. . .

重錘インパクト法　大掛かり
結果の信頼性は？

人力作業での点検が先端技術を支えている
都市基盤スケールでのセンシングは極めてプリミテ

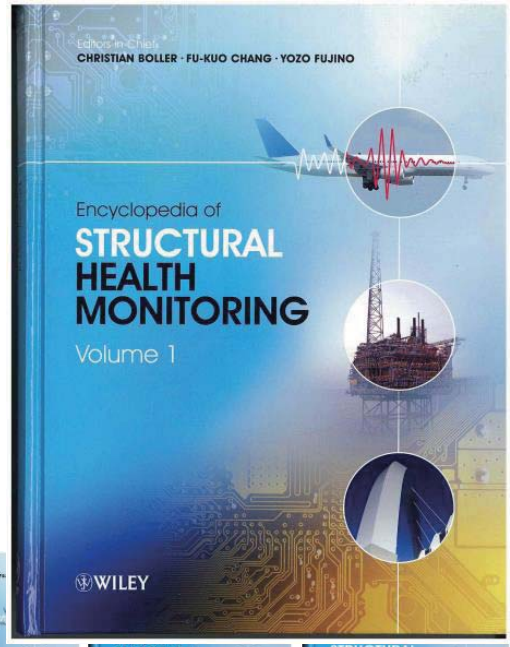
43

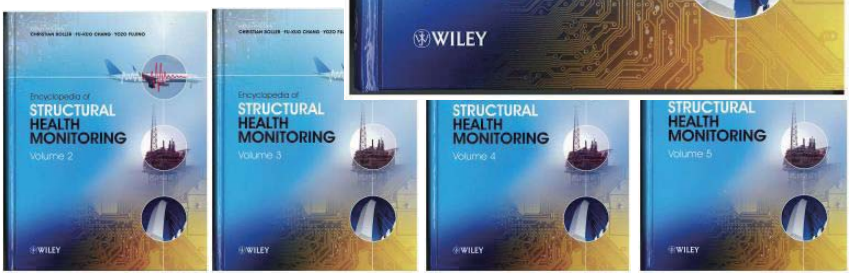
生物	社会基盤
防御系　皮膚 骨格	防御系基盤　自然災害に対処 安全･丈夫な建物
物質循環系　血管 循環器	物質循環系　ライフライン 交通･エネルギー
神経系　神経 神経節 脳	神経系　センシング &コントロール

知的社会基盤
1990年台

SHM百科事典
全5巻　2700ページ
2009年刊行
Boller
Chang
Fujino　編

17万円





広井 勇（いさみ）

工部大学予科，札幌農学校

内村鑑三と同級　アメリカドイツ留学

を経て札幌農学校教授　古市に呼ばれて，

明治32年に東京帝大教授（橋梁学講座）

土木技術者を数多く輩出．*広井山脈*

青山士，八田與一，吉田徳次郎，田中豊

なぜか？

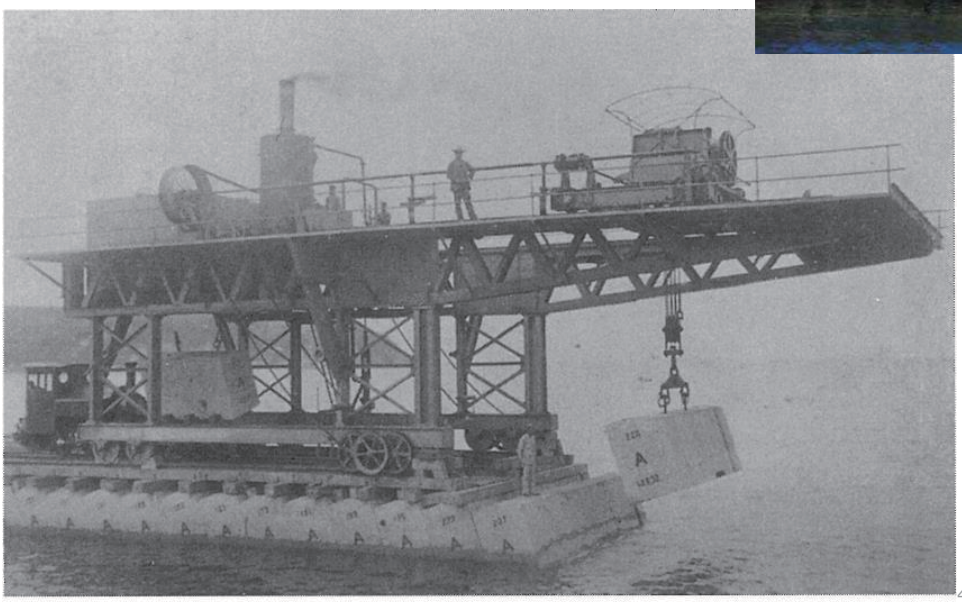
学者としても非常に優れていた．

広井公式（波圧）

英語での本 Statically Indeterminate Bridge Stresses 欧米で非常に高く評価

明治三三年度――金森鍬太郎、同三四年度――樺島正義、君島八郎、同三五年度――大河戸宗治、堀見末子、同三六年度――青山士、関場茂樹、千葉利智、八田嘉明、米元晋一、
同三七年度――太田圓三、小野諒兄、茂庭忠次郎、同三八年度――新井栄吉、久保田敬一（広井長女雪子の夫）、那須章弥、山田博愛、同三九年度――草間偉（いさむ）、同四〇年度――増田淳、同四一年度――川地陽一、堀省吾、同四二年度――牧野雅楽之丞、同四三年度――青木精一、中村康次、八田與一、平井喜久松、同四四年度――衣斐清香、石井頴一郎、黒田武定、物部長穂、同四五年度――釘宮磐、来島良亮、白石多士良、平山復二郎、吉田徳次郎（広井三女花子の夫）、大正二年度――田中豊、同三年度――蒲孚、久保田豊、藤井真透、三浦七郎、山口昇、同四年度――金森誠之、金子源一郎、西義一、林千秋、藤田周造、森田三郎、同五年度――岡部三郎、同六年度――平川保一、宮本武之輔、同七年度――青木楠男、石川栄耀、同八年度――小池啓吉、沼田政矩、鷲尾鑫龍。

画期的な大型機械工事

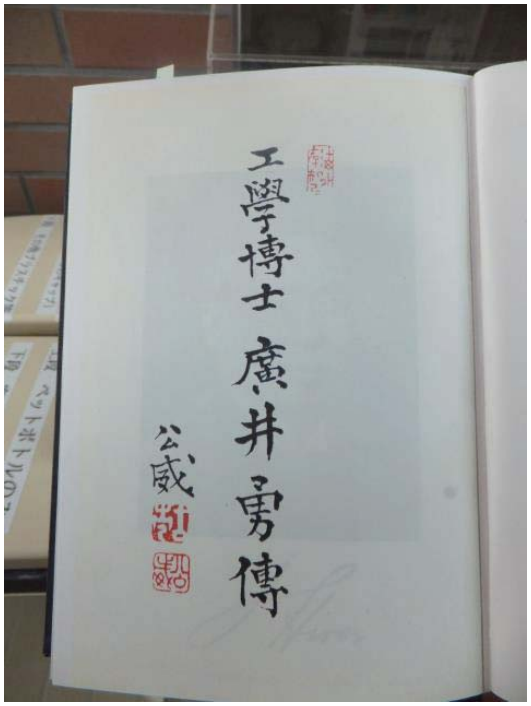


48

巨大積畳機「タイタン」（コンクリートブロックを海底に埋設）

廣井先生の銅像

100年分のコンクリート
のテストピース
（6万個）
一種の長期モニタリング



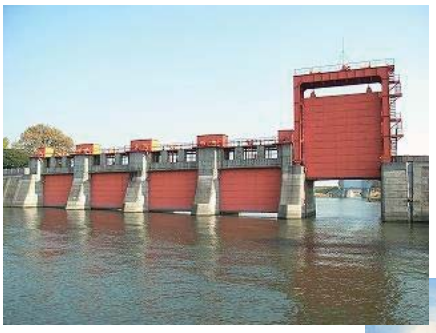
50

内村鑑三（1861－1930）キリスト教思想家
東京英語学校を経て札幌農学校卒

青山 士　1878－1963
一高時代に内村の講演を聞き，感銘を受けて門下生に
1903年東大土木を卒業後，広井勇の門下生
パナマ運河（今年100歳）の建設に参加
1912年 内務省　最後は内務技監
荒川放水路の建設を指揮
信濃川大河津分水路の改修　等々

51

青山士は古市公威にも感銘を受けたという



岩淵水門 1924年

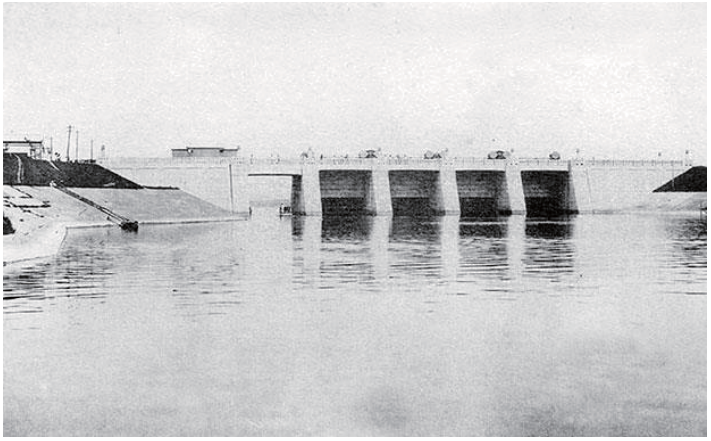
絵を描きたくなる
絵レガンス

用強美

3つのE
Efficient
Economical
Elegant

静岡県磐田の青山家の庭にて(1961年)

岩淵水門　1924年
荒川と隅田川を仕切る
水門



「晩年，静岡県磐田（いわた）市から青山が台風のたびに上京し，
水門に異常が無いことを確認に来た」という　（高橋 裕）

53

構造物のライフサイクル

計画

設計

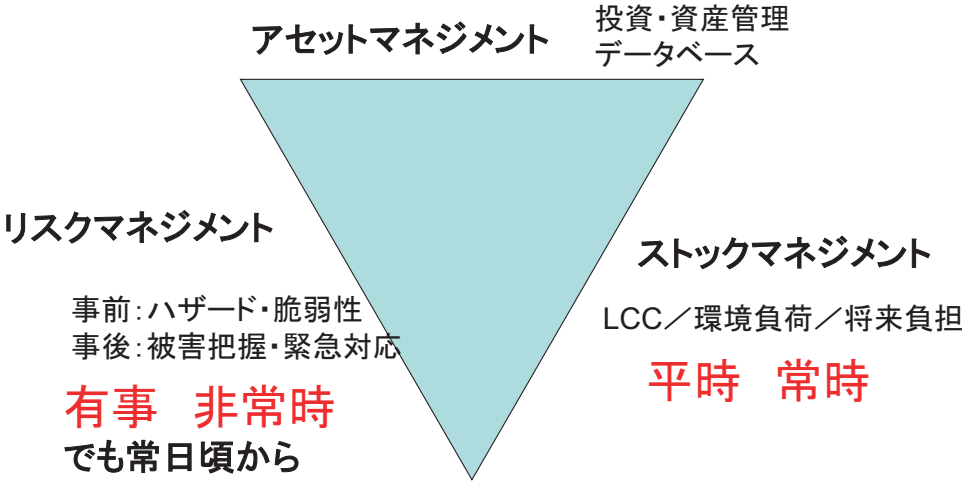
施工　製作

何と言っても初期品質が良いことが大事
エンジニアの思いが詰まった作品

維持管理　上の3要素のツケが回らないように

日頃の維持管理からの知見を新設構造物に
生かすことが大切

社会基盤マネジメントの考え方



- マネジメントの多様な側面を表す.
- 社会基盤は一つ.
  - 対策は，多様な側面のバランスを考える必要がある.

55

Loma Prieta 地震, 1989

“信じられない被害だ!　日本では
ありえない”

日本の国際的に著名な地震工学者の言

カリフォルニア運輸局は地震レトロフィットに励んだ

ハウズナー名誉教授委員会

報告書　*Competing against time* 時間との闘い

ノースリッジ地震, 1994.1.17

耐震補強したところはOK. しなかったところは大きな被害. 我々はこれらの地震から何も学ばなかった(驕り).

Preparing for the Unexpected

Hiroo Kanamori
California Institute of Technology

想定外に準備しよう
1995年
金森博雄

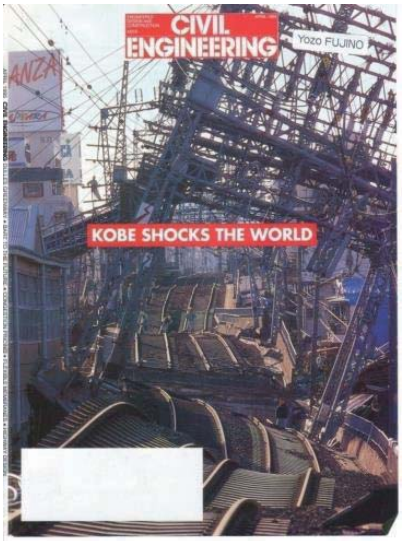
(This talk was presented at the Luncheon of the SSA–EERI Joint Symposium, April 7, 1994. It has been slightly edited for publication.)

Living in California means living with earthquakes. During the last decade alone we have experienced several damaging earthquakes, some of which have come as big surprises. We were surprised by earthquakes without surface break, surface break without much seismic radiation, and a south-dipping fault in an area of primarily north-dipping structures. Why were we taken by surprise? We were surprised primarily because the duration of our data base is so short compared with the time scale of earthquake recur-

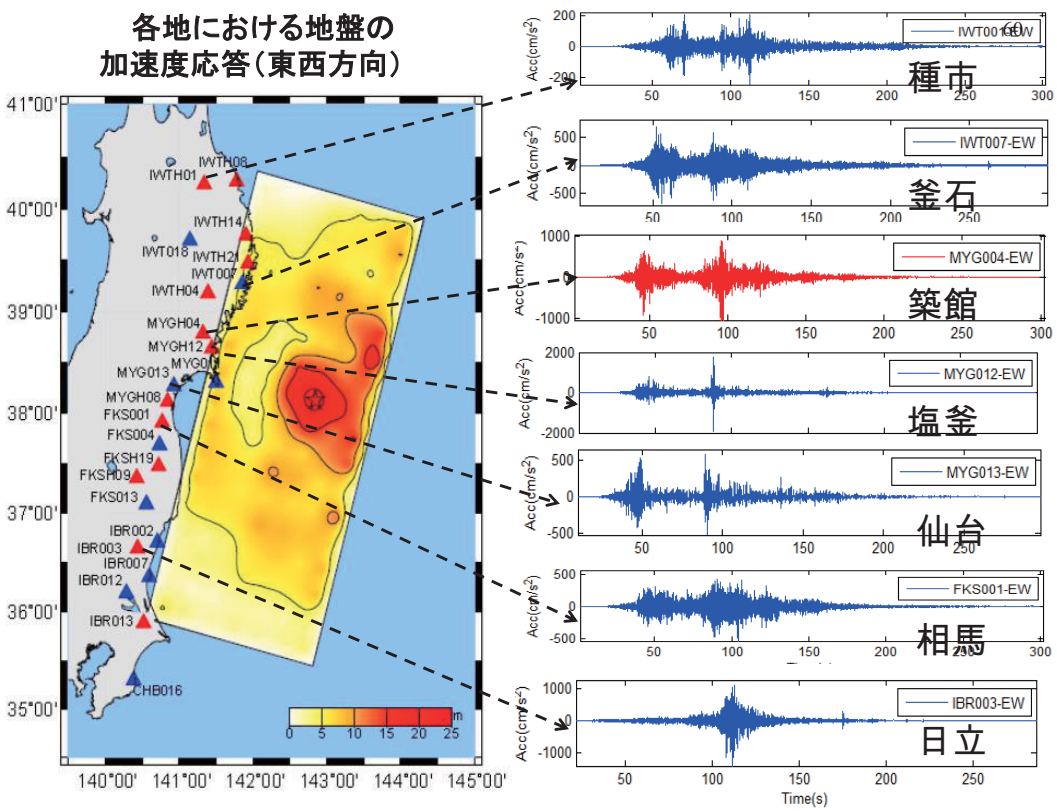
to a "deductive" approach in which we use some theories or inferences drawn from something familiar. In science, we take this approach frequently, often with a good success. In engineering practice, however, people seem to be reluctant to take such an approach, probably because of conservatism and difficulty in convincing their clients of the validity of such a deductive approach. This is understandable; such conservatism may be inevitable in dealing with the real world rather than academia. Under these circumstances, an

Seismological Research Letters, 1995

58



1995.1.17　阪神大震災
耐震補強に目覚めた
既存不適格に要注意


各地における地盤の
加速度応答（東西方向）
IWT007-EW
種市
IWT007-EW
釜石
MYG004-EW
築館
MYG012-EW
塩釜
MYG013-EW
仙台
FKS001-EW
相馬
IBR003-EW
日立
Time(s)
Acc(cm/s²)
IWTH01
IWTH08
IWTH14
IWTH21
IWT018
IWT007
IWTH04
MYGH04
MYGH12
MYG013
MYGH08
FKS001
FKS004
FKSH19
FKSH09
FKS013
IBR002
IBR003
IBR007
IBR012
IBR013
CHB016
41°00'
40°00'
39°00'
38°00'
37°00'
36°00'
35°00'
140°00'
141°00'
142°00'
143°00'
144°00'
145°00'
0 5 10 15 20 25 m

61
道路橋の被害は全体的にマイナー
©NEXCO
阪神大震災以来の耐震補強の効果

鹿行大橋

- 新橋に掛け替える工事を行なっている.
- 走行中の車両が複数転落
- 昭和43年6月完成，国道354号
- 桁が落下し橋脚が2本失われる．落下橋は60m程度．手前の橋脚は沈下，ミグ方向に移動

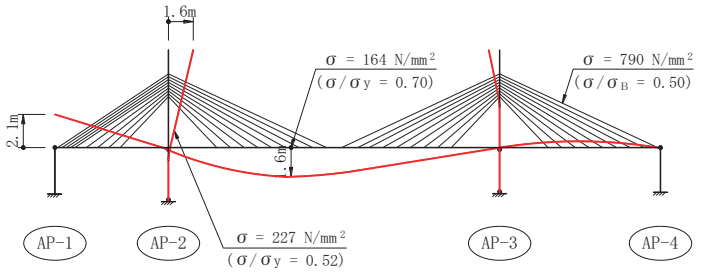
産総研（吉見ら）茨城県内の地震被害概況調査

東神戸水路橋

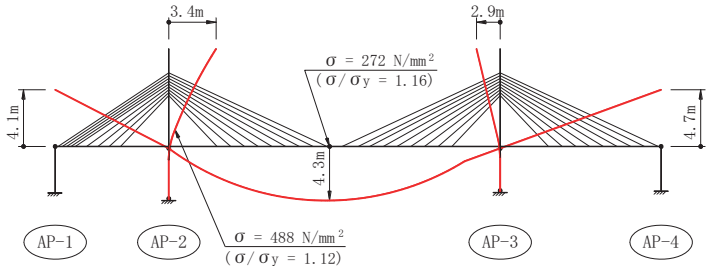
1995年兵庫県南部地震

エンドリンクの破損

天保山大橋の耐震性能評価と耐震補強検討



AP-1ペンデル支承損傷時



AP-1とAP-4のペンデル支承損傷時

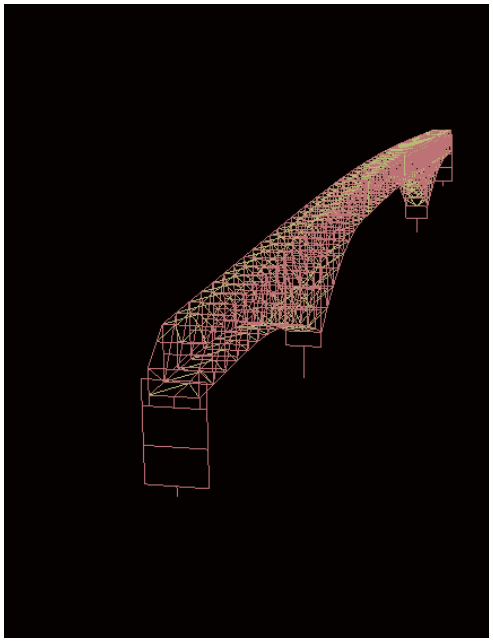
ペンデル支承の損傷により発生する変位と応力

長大橋の耐震補強

橋梁の地震応答

FEMなどを使えば
かなりの自由度，非線形
でも，解けてしまう時代

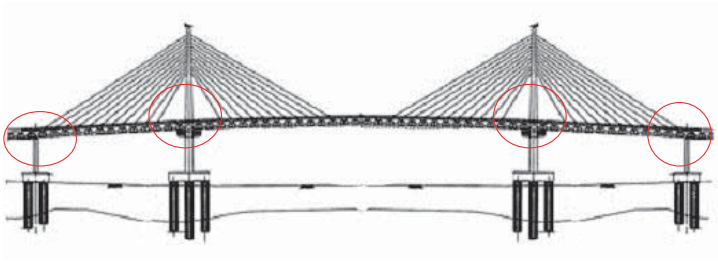
問題は
「それが正しいか？」



強力な武器
しかし，仮定次第

リンク構造（タワー，端橋脚）

1. **振り子のような構造**
2. **構造モデルでは，完全ヒンジ**



Location of Link Bearing

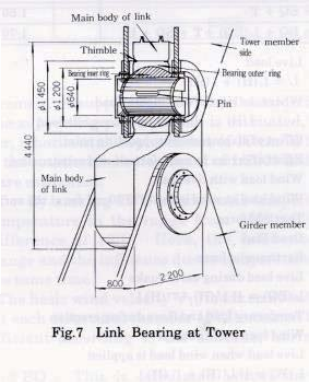


Fig.7 Link Bearing at Tower

地震高密度モニタリング　1990年から

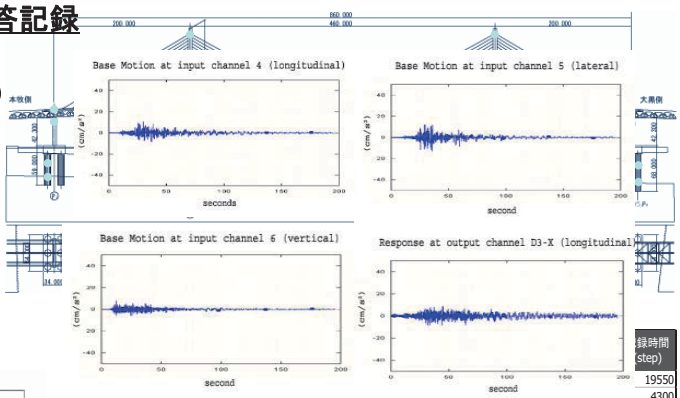
横浜ベイブリッジの地震応答記録

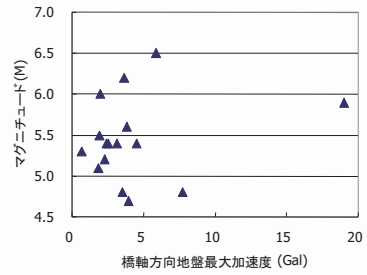
(1) 豊富な観測点（極稀）

85加速度計
高精度 mg
100万円/個

(2) 豊富な件数

15年間の16地震

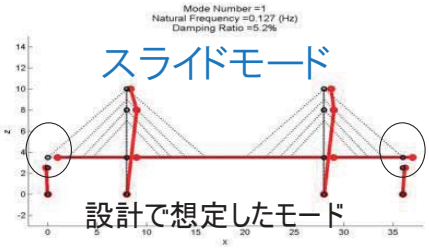




14	1997.08.09	05:34	埼玉県南部	35°49′	139°30′	4.7	67	Ⅲ	44	7049
15	2000.06.14	11:43	茨城県南部	36°13′	139°59′	5.1	57			6050
16	2003.08.18	18:59	千葉県北部	35°48′	140°07′	4.8	69			6000

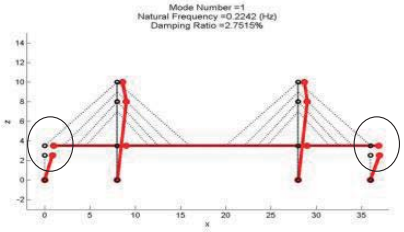
同定された3つの遊動円木振動モード

：

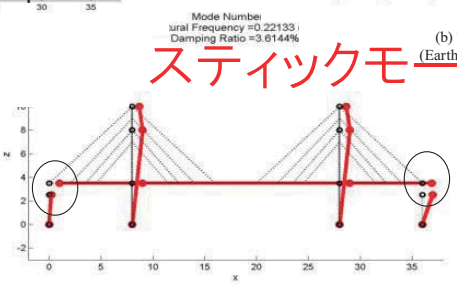


(a) Typical slip-slip Mode

(Earthquake 1990-02-20 Frame-1)



(b) Typical Stick-Stick Mode
(Earthquake 1992-02-02 Frame-2)

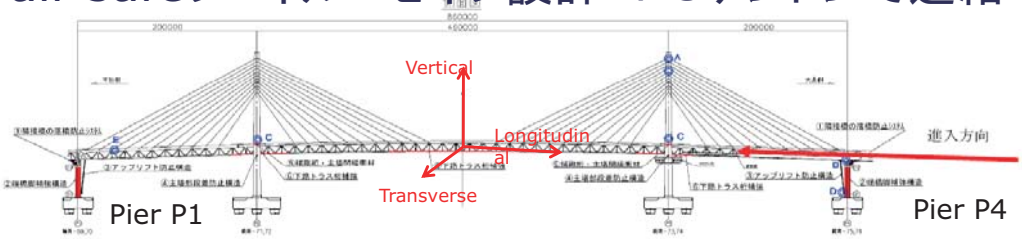


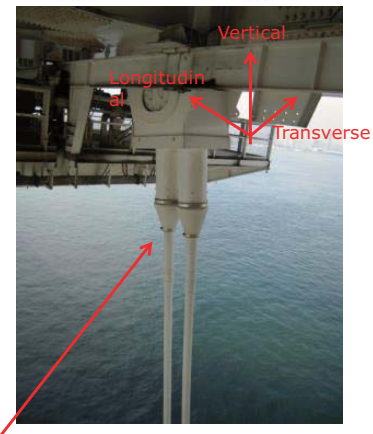
設計では想定していない危険なモード（想定外モード）

(c) Typical Mixed Slip-Stick Mode
(Earthquake 1995-07-03 Frame-1)

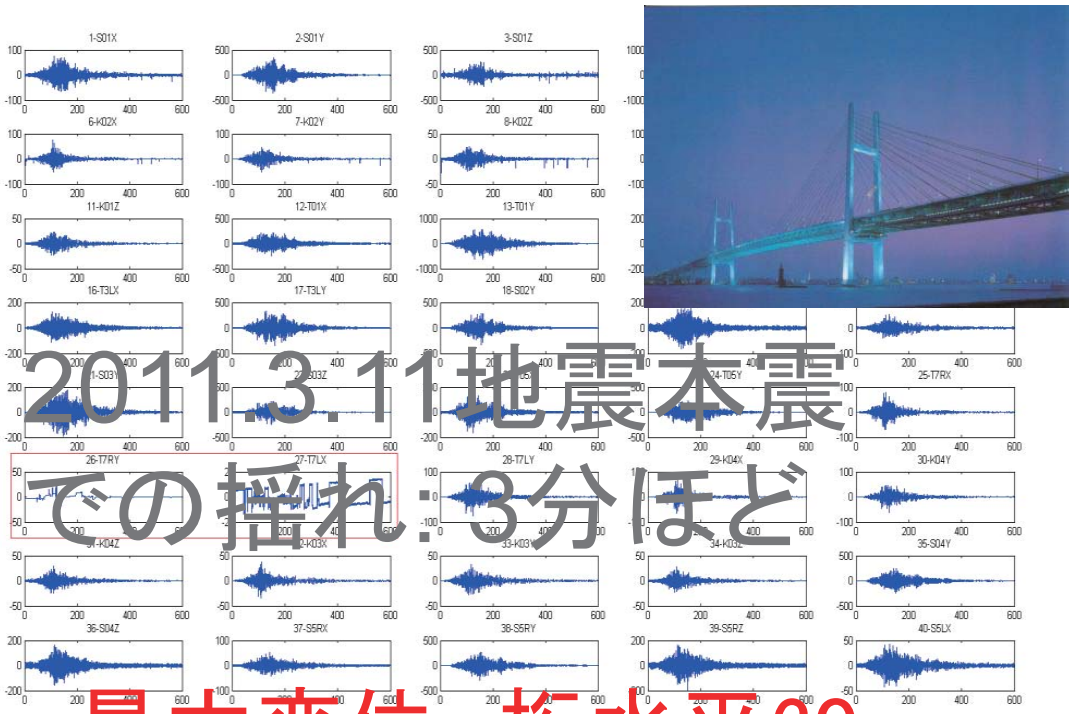
70

Fail-safeフェイル　セイフ設計　PCテンドンで連結





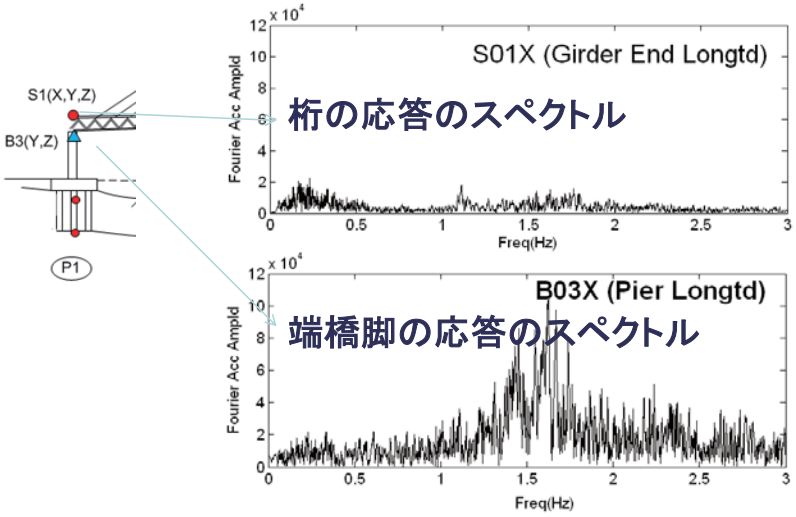
PC Cable connecting Pier P1 & P4 and Girder to prevent girder uplifting 71



最大変位　桁水平60cm

2011.3.11 東北地方
太平洋沖地震

桁，塔　60cmも揺れた



端リンクは
大地震では
ヒンジとして
動いた.
（安全が
確認できた）

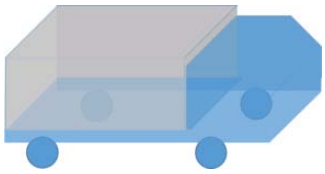
桁，塔　が
60cmも揺れた

自動車の転倒
（想定外？）
付属物の問題

1995　兵庫県南部地震

車両モデル

4/11



提案する車両モデル

平面運動

加速度　+地震動

$$\sum F_f = (m+m_1+m_2+m_3+m_4)\left(\dot{v}_x + v_y\dot{\psi} + \ddot{x}\cos\psi + \ddot{y}\sin\psi\right)$$

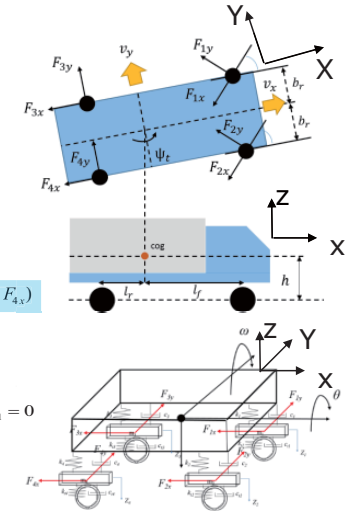
$$= -(F_{1y}\sin\delta_1 + F_{2y}\sin\delta_2) - (F_{1x}\cos\delta_1 + F_{2x}\cos\delta_2) - (F_{3x}+F_{4x})$$

応答力

上下運動加速度+地震動

$$\sum F_{v1} = m_1\left(\ddot{z}_1 + \ddot{z}_{in}\right) + c_1\left\{\dot{z}_1 - (\dot{z}_F - b_l\dot{\theta} - l_f\dot{\omega})\right\} + c_{1t}\dot{z}_1$$

$$+ k_1\left\{z_1 - (z_F - b_l\theta - l_f\omega)\right\} + k_{1t}z_1 = 0$$



中央高速道笹子トンネルの天井板落下事故
（2012年12月）

平成26年度重点課題
（総合科学技術会議）

- 環境・エネルギー
- 健康・高齢化社会
- インフラの安全，
  ICTの適用
  センサー．ロボット，ビッグデータ
  次世代インフラ

SIP 戦略的イノベーション創造プログラム
10課題のひとつ
インフラの維持管理，更新，マネジメント技術

背景

○道路インフラの近接目視点検(5年に一度)の義務化

○全国70万の橋梁，1万のトンネル，標識などの付属物もまともにやればその費用(市場)は数千億円のオーダー　ネクスコだけで200-300億円(以前は80億円)

○大規模更新・修繕のコストは高速道路だけで4兆円/15年

○大規模更新は新設の数倍から(場合によっては)数十倍かかる．全国の道路，港湾空港，河川，農水．．．あわせれば百兆円を超える？

○科学的に，先端技術を使って，いかに点検費用，更新費用を減らすか？　決して見える利益を生むものではないが，大きな社会的貢献．

笹子トンネル事故(2012年12月)

79

34.5億円/年　5年

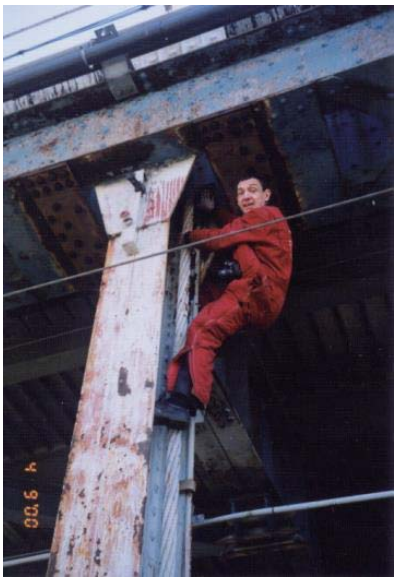
戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）

インフラの維持管理　・更新・マネジメント技術
～安全で強靭なインフラシステムの構築を目指して～

内閣府 プログラムディレクター
藤野 陽三

30億円あまり　5年間

ニューヨーク市の橋守
ヤネフ博士

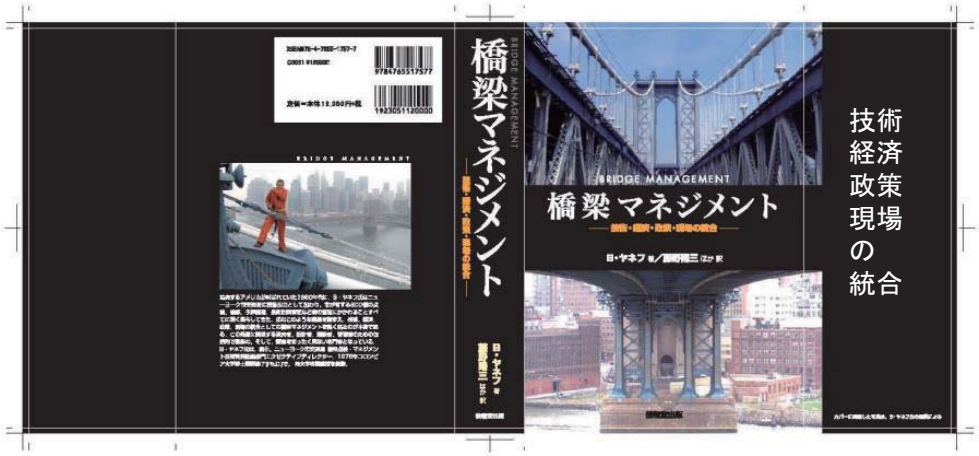


1996年ごろの筑波土研でのブリッジワークショップ以来の知り合い

81

「作る」時代から「使う」時代
さらに「マネジメントする」時代

橋梁マネジメント　原本 2007年（訳2009年）



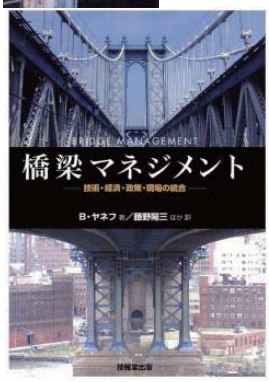
工学　　マネジメント

設計　　↔　計画，立案
解(ソールション)　　↔　決定
建設　　↔　実行
メインテナンス　　↔　運営

成功　↔　失敗

様々な不連続性(Discontinuity)

ニッチ　隙間



土木はそもそもマネジメント

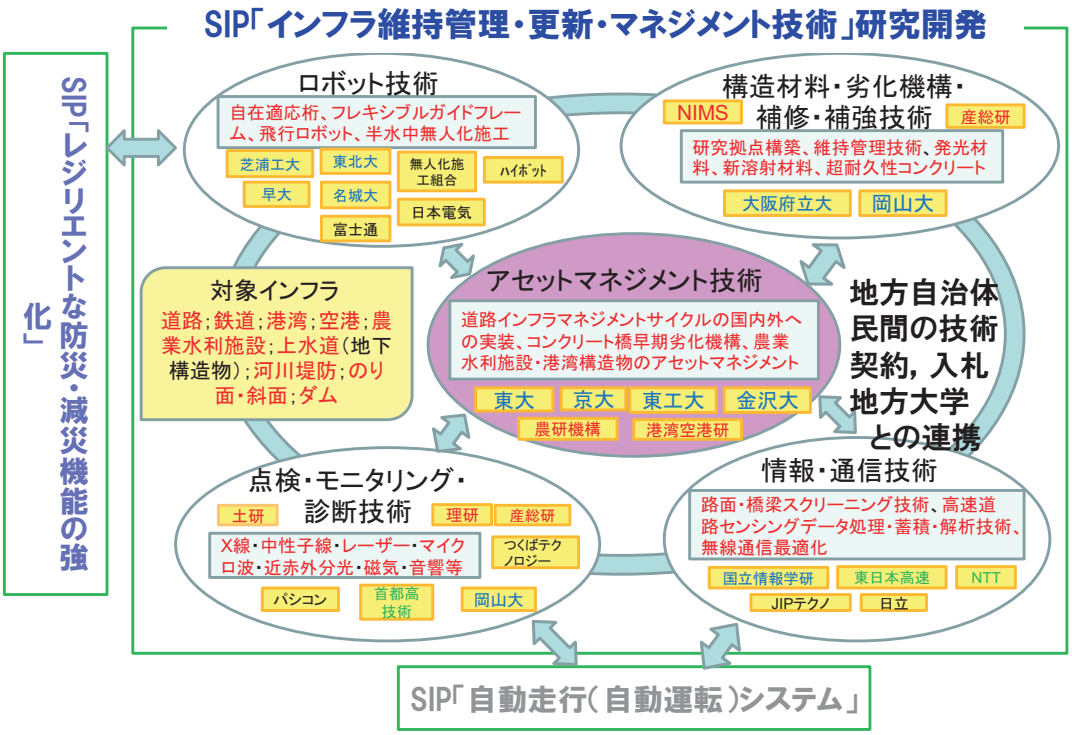
創立：1914年11月24日（大正3年）

古市公威初代土木学会会長の就任演説

土木技術者は
「指揮者を指揮する人」,「将に将たる人」
たらねばならぬことを力強く述べ、
土木学会会員に
「研究の範囲を縦横に拡張せられんこと」を、
そしてそれと同時に
「その中心に土木あることを忘れられざらんこと」を

帝国工科大学
初代学長
貴族院議員

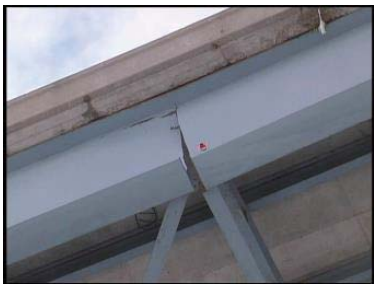
日本工学会　1879年



アメリカの次のステップ
-長期橋梁性能プログラム(20年間）2007年から-

- 点検・検査の定量化
- 継続的モニタリング
  - センシングへの注目
- 廃棄時の解剖的検査

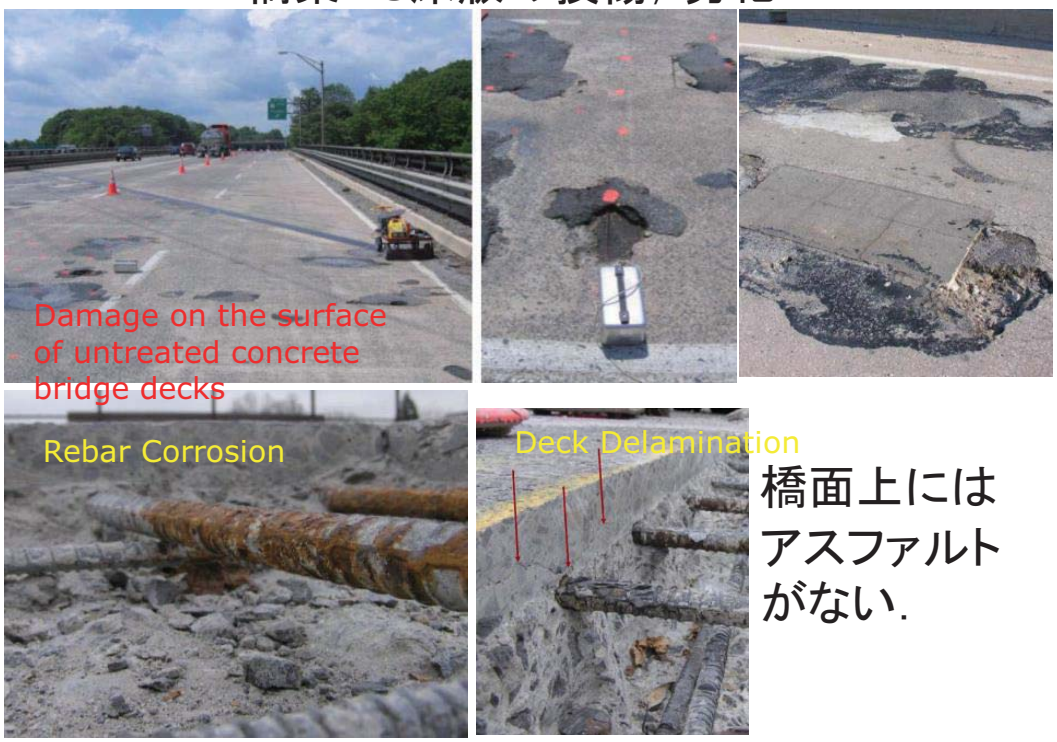
- 劣化・陳腐化を定量化
- 予測の高精度化
- ストックマネジメント効率化
- 新技術開発の基盤の確立
- 土木工学の国際競争力 強化-



EUでも同じような
研究開発プログラムが

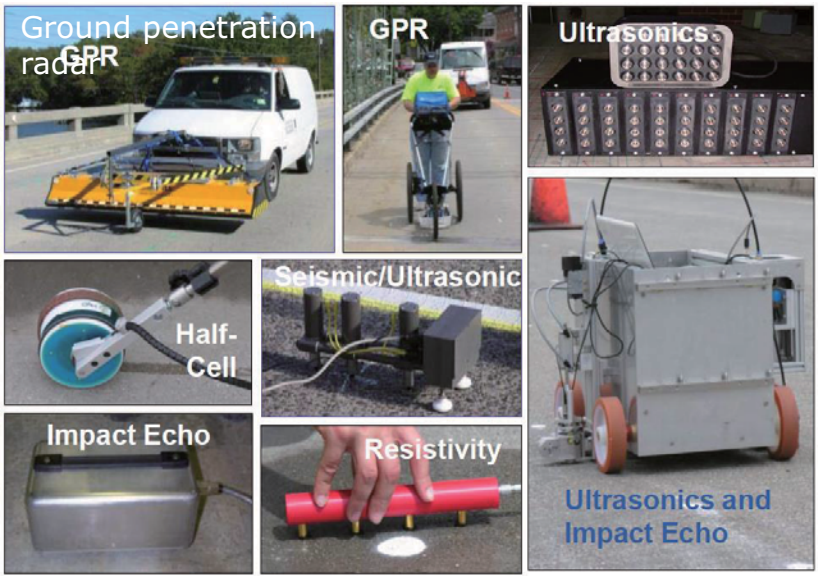
		項目	主な対策	延長※1	概算事業費※2
大規模更新	橋梁	床版	床版取替	約 230km	約16,500億円
		桁	桁の架替	約 10km	約 1,000億円
	小 計			約 240km	約17,600億円
大規模修繕	橋梁	床版	高性能床版防水 など	約 360km	約 1,600億円
		桁	桁補強 など	約 150km	約 2,600億円
	土構造物	盛土・切土	グラウンドアンカー 水抜きボーリング など	約 1,230km	約 4,800億円
	トンネル	本体・覆工	インバート など	約 130km	約 3,600億円
	小 計			約 1,870km	約12,600億円
合 計				約 2,110km	約30,200億円

橋梁RC床版の損傷，劣化



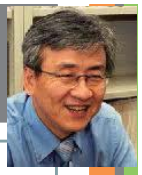
橋面上には
アスファルト
がない．

Non Destructive Evaluation (NDE) Methods



90

1. 床版サブプロ
橋梁床版の余寿命予測・高耐久・長寿命化技術

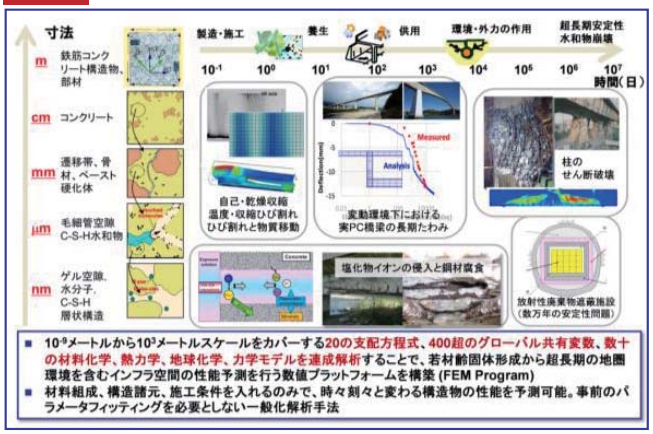


橋梁床版の劣化が維持更新経費の大半を占める ⇒ 床版の余寿命予測・高耐久・長寿命化技術の開発により，低コスト化と安全性の確保を両立

東大 前川教授

開発する余寿命予測システム

実績 マルチスケール統合解析（基幹技術）



劣化データ ← 非破壊検査

モデル化 ← 補修・補強工法

道路アセットサブプロ

予測結果 → アセットマネジメントデータベースシステム

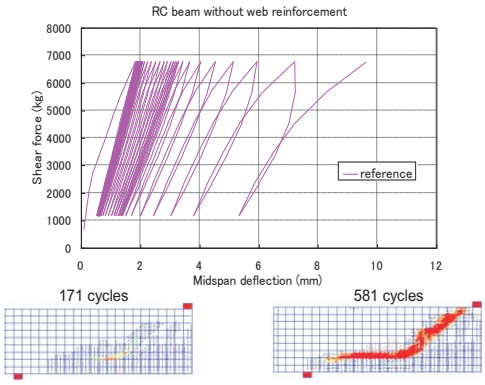
↓

対策決定

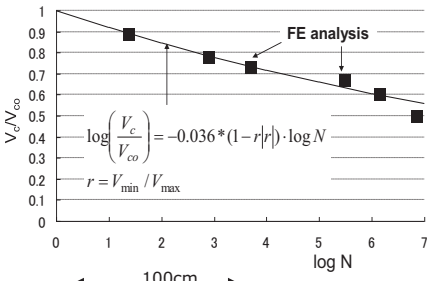
新規性 マルチスケール統合解析と非破壊検査を連結することで，高精度な予測が可能に。

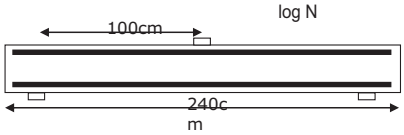
1

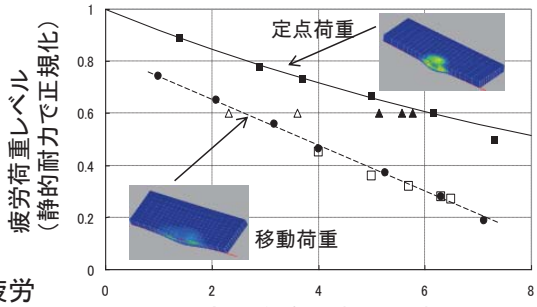
高サイクル荷重下でのRC梁および橋梁床版の応答と疲労寿命SIMULATION



ドットは実験
線は解析値





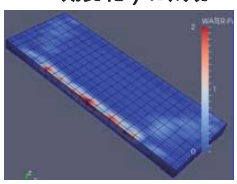


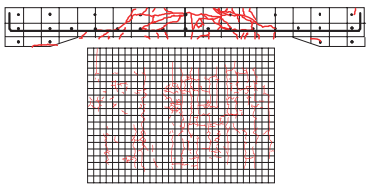
輪荷重を作用させると、定点疲労荷重よりも疲労寿命は100分の1に低下→数値再現が可能に

複合劣化（疲労＋腐食、ASR、浸水）への対応

疲労荷重と浸水の複合でコンクリートが砂利化！

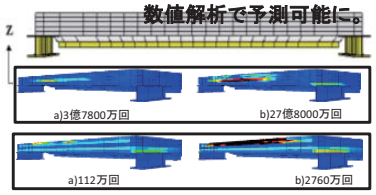
マルチスケール解析で再現（早期劣化）に成功

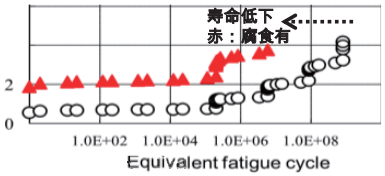




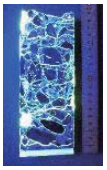
塩水散布による鉄筋腐食・ひび割れ導入後、疲労載荷試験

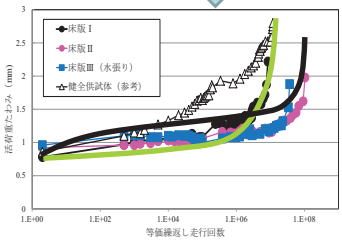
疲労寿命が1/10に低下
数値解析で予測可能に。





実大スラブ試験体に加速ASRを導入後、輪荷重走行試験を実施。
寿命が増加する挙動をマルチスケール解析で再現可能に。





高速での床版や舗装の状態評価技術の必要性

長さ15m以上の道路橋の総数：約16万橋

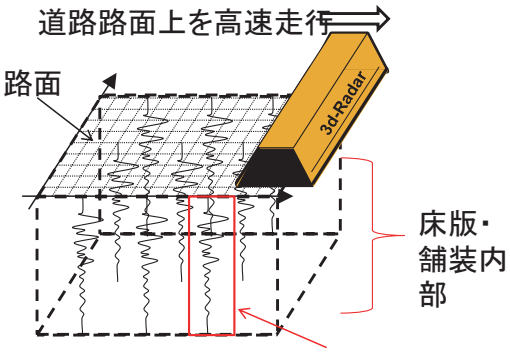
人力ですべての箇所を叩いて，打音の異常を確認（打音試験）

従来の橋梁の床版の点検方法（要車線規制）
→ 膨大な時間とコスト

車載型地中探査レーダーの床版・舗装内部探査への応用

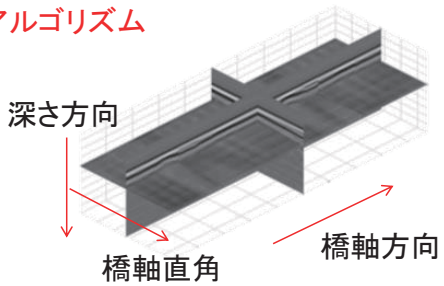
時速80kmの高速で地中からの反射波の計測が可能.

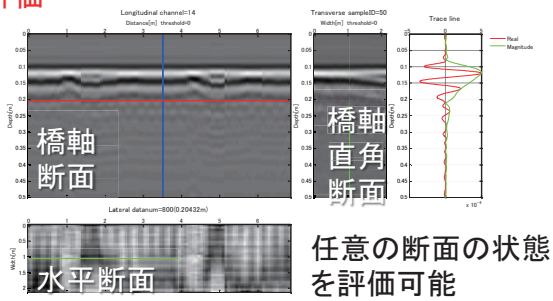
道路路面上を高速走行



床版・舗装内部からの反射波を計測

本研究で構築した床版・舗装内部状態評価アルゴリズム

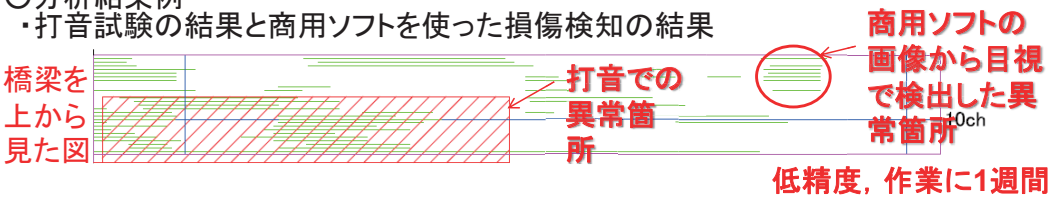




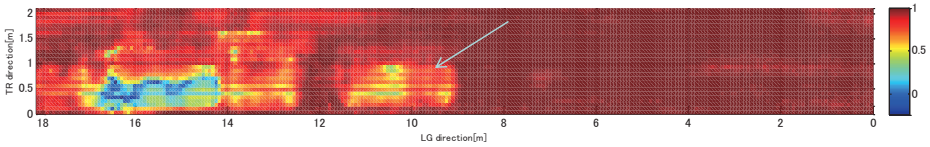
任意の断面の状態を評価可能

○分析結果例

・打音試験の結果と商用ソフトを使った損傷検知の結果



・信号処理により損傷レベルを評価した結果：処理時間 数秒



構築したアルゴリズムにより高い精度で打音での異常箇所を検出.

→ 今後，模擬橋梁，実橋梁，空港滑走路の計測を実施し，アルゴリズムの汎用化・高

目指す成果の例（橋梁）

高精度・安価なモニタリング・性能評価

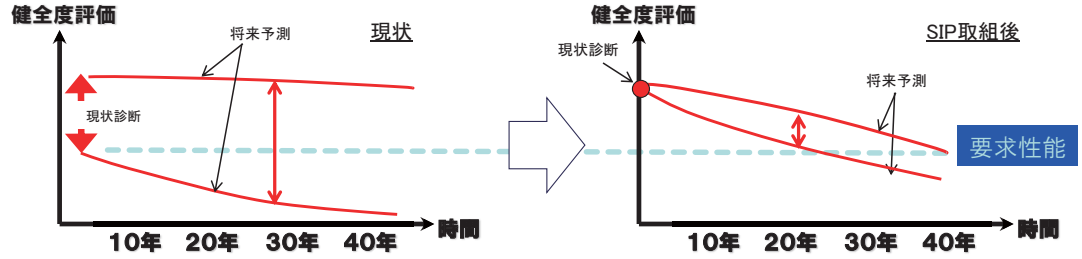
【現状】
・人が近づけない橋梁（足場設置が必要） ⇒ 2割程度
・床版裏，桁細部で見えない箇所 ⇒ 5割程度

➢開発技術（点検・モニタリング・診断，情報通信，ロボット）
○遠隔認識技術
コンクリートクラックを20～30m先から識別
○省電力無線センサシステム
定期的な自動データ取得
○飛行ロボット
足場設置コスト不要

要素技術間の成果の活用
高精度なデータを供給
必要な点検データ精度を提示

【現状】
・精度が悪く長期劣化予測不能

➢開発技術（構造材料・劣化機構・補修・補強）
○マルチスケール統合コンクリート解析
ナノレベルからメートルスケールをカバーする材料力学・化学・力学モデルを連成解析することで、高精度な超長期の劣化予測を実現



【現状】 診断・予測精度のバラツキが大きく安全側対策のため更新費用大
（例）NEXCO3社において、更新・補修の対象となる高速道路は合計で2110km（総延長の約2割）、総概算事業費は3兆200億円

【目標】○高精度な診断・予測技術により更新・補修費用を2割以上削減
○近づけない場所（現状2割）・見えない場所（現状5割）の消滅

実施体制

◆ 橋梁，広域道路，自治体 の3水準で維持管理のPDCAサイクルを展開
◆ 4つのサブプロジェクト（サブプロ）を展開し，それらを研究開発グループが統括

研究開発グループ（東京大学）
前川宏一，石田哲也，
専任研究者，ポスドク，事務員
＊床版サブプロも兼ねる

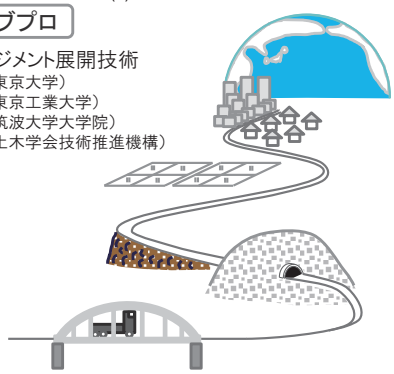
統括・データ同化

4．国際アセット サブプロ
アセットマネジメントの戦略的国際展開
(1) 横田 弘（北海道大学）
(2)長井宏平（東京大学生産技術研究所）

3．自治体アセット サブプロ
自治体のアセットマネジメント展開技術
(1) 堀田昌英（東京大学）
(2) 岩波光保（東京工業大学）
(3) 大澤義明（筑波大学大学院）
(4) 小澤一雅（土木学会技術推進機構）

2．道路アセット サブプロ
道路資産のアセットマネジメント展開技術
(1) 小林潔司（京都大学）
(2) 貝戸清之（大阪大学）
(3) 那須清吾（高知工科大学）
(4) 佐藤公信（高知工業高等専門学校）

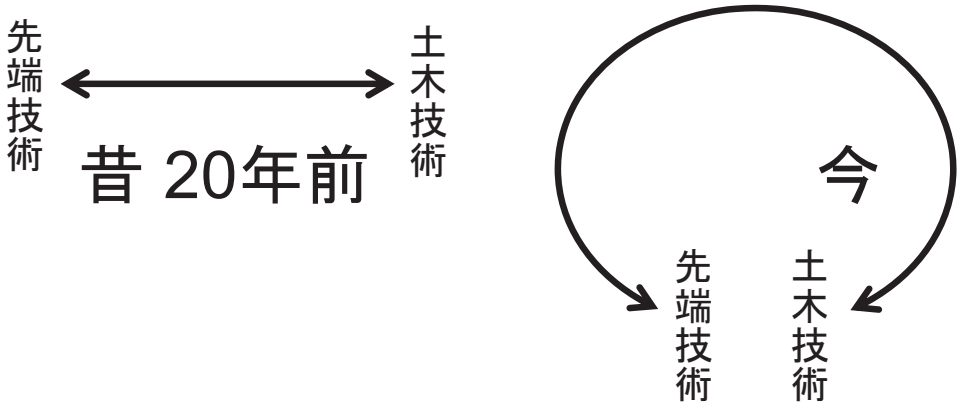
1．床版サブプロ
橋梁床版の余寿命予測・高耐久・長寿命化技術
(1) 石田哲也（東京大学）
(2) 岩城一郎（日本大学）
(3) 垂水 稔（(株)土木管理総合試験所）
(4) 荒井明夫（(株)NIPPO）
(5) 山田金喜（東日本高速道路(株)）
(6)住吉 英勝（首都高速道路(株)）
(7) 細田暁（横浜国立大学）
(8) 久田 真（東北大学）



運営方法
・2か月毎に幹事会を開催.ｻﾌﾞﾌﾟﾛ間の連携を確保
・毎年，ワークショップを開催し，相互に情報共有

97

土木技術と先端技術



土木こそ，先端技術が必要！

研究開発内容

・インフラ

ニーズ ← 構造 材料 センサ ロボティクス 通信 情報 →

言葉の違う村々　通訳の育成が必要

使いたくなるシステムをつくる
それが“イノベーション”

101

西田 厚聰（にしだ あつとし）氏　**元東芝会長**

Frugal に

つましい，倹約な

終わりに

- SIPインフラは私にとってこれまでの研究の中で最大（最後？）の橋渡し，bridging.
  国費を使ったプロジェクト．成功させたい．
- そのためには，
  各メンバーとの協力が欠かせない．
  皆さんのご協力も欠かせない

よろしくお願いいたします．

ご清聴をありがとうございました．

PDFファイルを希望の方は
fujino@ynu.ac.jp
まで