
第 9 回 CAESAR 講演会

開催日：平成 28 年 8 月 31 日(水)

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

■ 基 調 講 演

これからの防災・減災 ― 建築からの視点と SIP 防災の取り組み	3
---	---

京都大学防災研究所 教授

中島 正愛 氏

SIP「レジリエントな防災・減災機能の強化」PD

■ 講 演

液状化地盤における橋梁基礎の耐震性能評価方法と 耐震対策技術の開発（SIP）	15
---	----

CAESAR 上席研究員

七澤 利明

熊本地震の橋梁被害と課題	37
--------------------	----

CAESAR 上席研究員

大住 道生

道路構造物の維持管理の高度化・効率化に向けた取り組み	63
----------------------------------	----

国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部長

木村 嘉富 氏

富山市における持続可能な橋梁マネジメントの実現に向けて	87
-----------------------------------	----

富山市建設部 建設技術管理監

植野 芳彦 氏

基 調 講 演

これからの防災・減災 ー 建築からの視点とSIP防災の取り組み

2016年8月31日

京都大学防災研究所
教授 中島 正愛

日本建築学会

一般社団法人日本建築学会は、会員相互の協力によって、建築に関する学術・技術・芸術の進歩発達をはかることを目的とする学術団体です。1886年(明治19年)に創立されて以来今日にいたるまで、わが国建築界においてつねに主導的な役割をはたしてきました。現在、会員は3万5千名余にのぼり、会員の所属は研究教育機関、総合建設業、設計事務所をはじめ、官公庁、公社公団、建築材料・機器メーカー、コンサルタント、学生など多岐にわたっています。

会長 中島 正愛
副会長 田辺 新一、栗山 茂樹、緑川 光正、松村 秀一、
野原 文男
専務理事 真木 康守



発表の構成

Long Past	1995年阪神・淡路大震災
Immediate Past	2011年東北大震災
Investment 1	Eーディフェンス
Investment 2	レジリエントな防災・減災機能の強化(内閣府総合科学技術・イノベーション会議)

兵庫県南部地震における建物被害の特徴

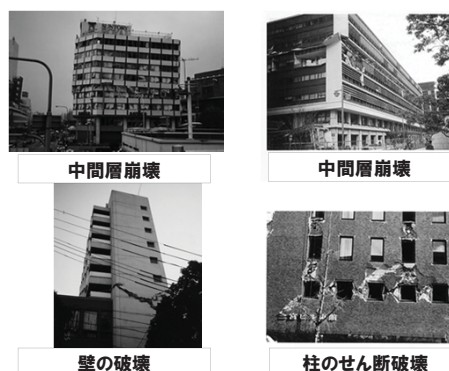
木造住宅の被害



1層の崩壊

1層の崩壊

鉄筋コンクリート(RC)造りの被害



中間層崩壊

中間層崩壊

壁の破壊

柱のせん断破壊

古い鉄骨造の被害



1層の崩壊



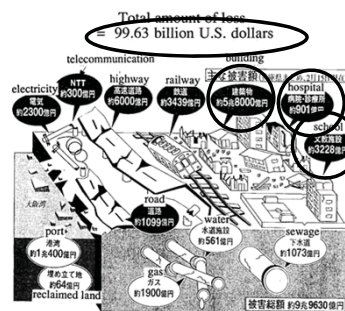
大きな変形



腐食の進行

1995年兵庫県南部地震における人的・物的被害

Property Loss
(provided by Hyogo Pref. on Feb.15, 1995)



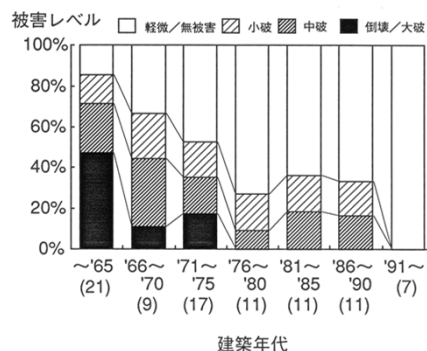
死者の95%が建物被害に依存

総物的被害の70%が建築被害

顕著な被害レベルの違い



壁の損傷



被害地震に学ぶ耐震工学

耐震工学は古来「被害地震に学ぶ」ことから、その技術を発展させてきた。



1964年新潟

液状化



1968年十勝沖

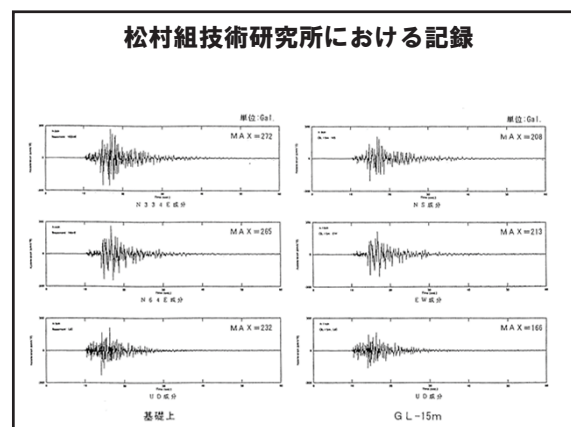
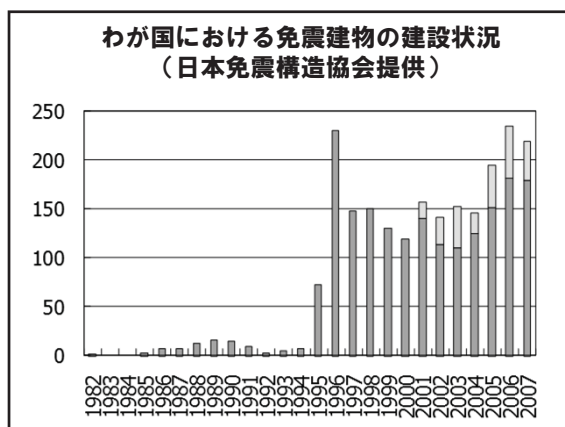
RC柱のせん断破壊



1995年兵庫県南部

耐震補強

免震建物・制振建物への認知と激増

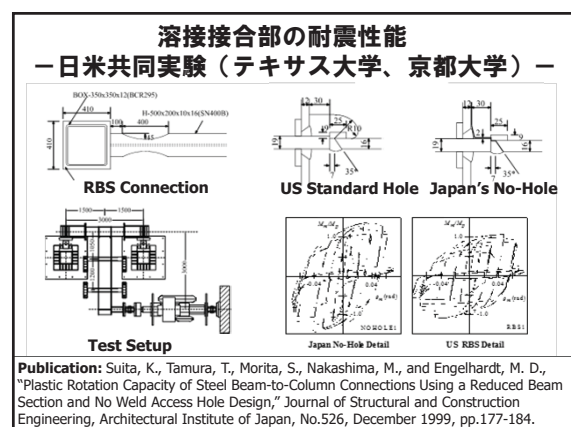
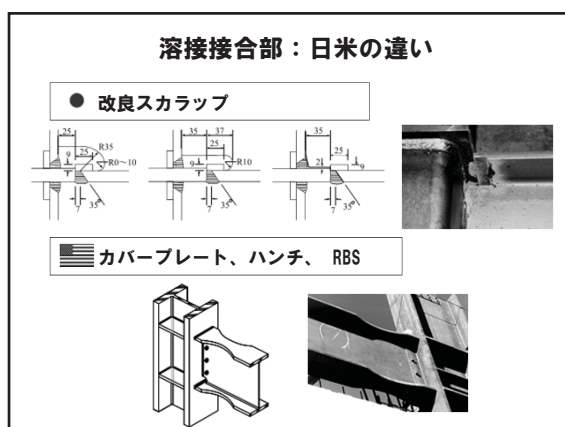


耐震技術革新への道

- (1) 同等なコストでより高い安全性が得られる確証があるまでのためらい
- (2) 継続的な広報活動
- (3) タイミング (In the right place at the right time)

条件:

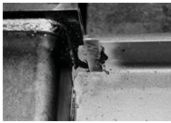
確固たる技術の存在
人的物的資源の確保
(装置、製造、流通)
被害地震



接合部の設計と施工

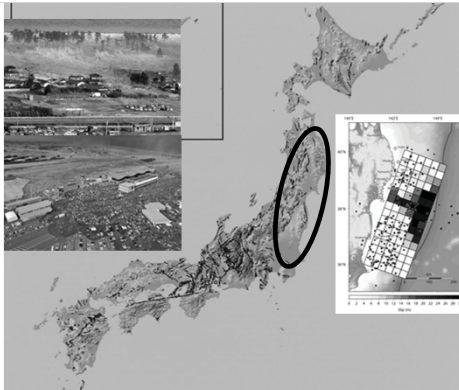
<不可避な取り組みの違い>

- 被害の様相は類似していても、工学（Engineering）においてその解決策は複数である。
- 慣れ親しんできた設計・施工を踏襲（最小限の修正）したい。



東北地方太平洋沖地震における建物被害の概要

東日本大震災(2011年3月11日)



仙台など中核都市の被害



2階建てRC建物の1層崩壊



地震直後の仙台中心部



RC柱のせん断破壊



地すべりによる住宅被害



非構造部材の被害



仙台中心部に建つ高層建物の揺れ

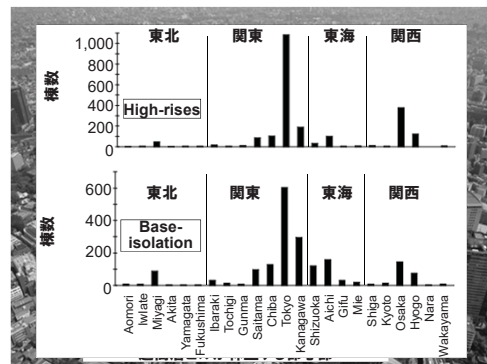


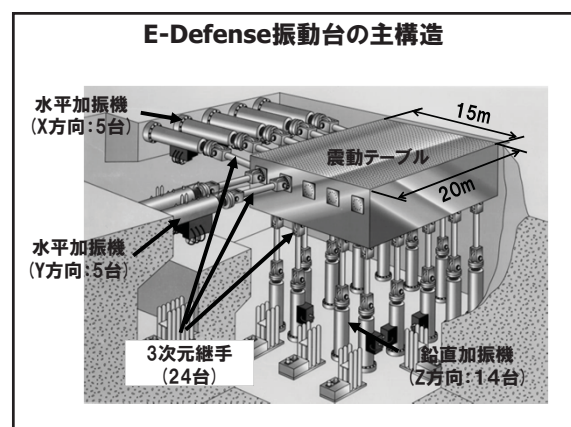
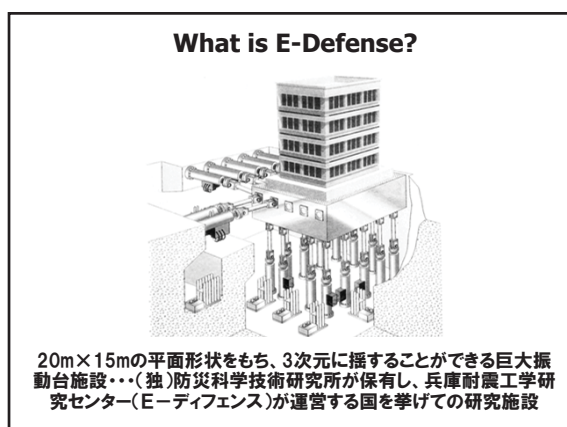
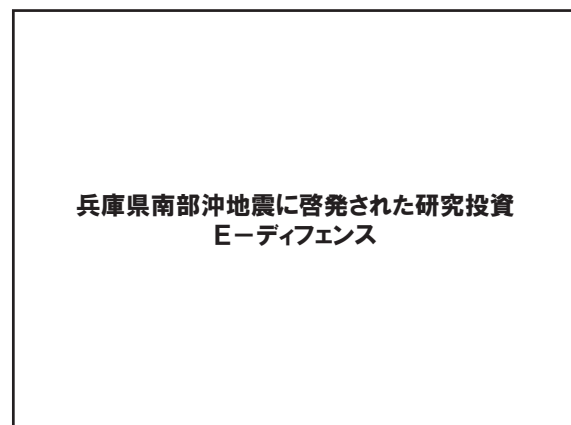
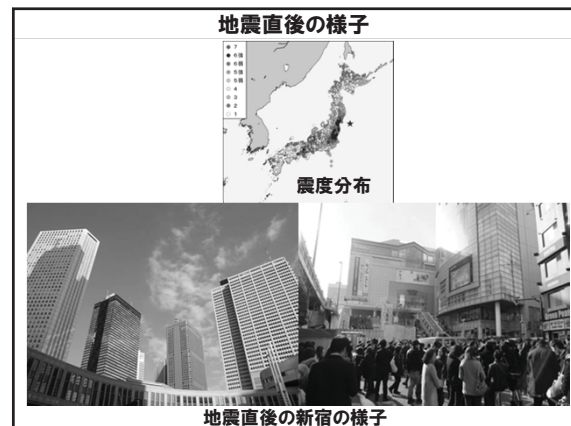
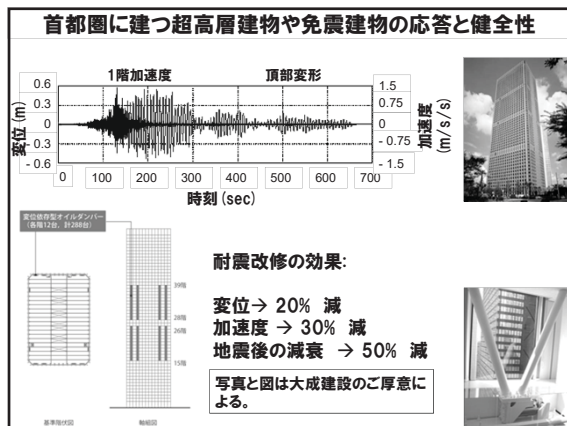
揺れの特徴:

- ・ 震度7の揺れ
- ・ 立ってられないほどの揺れ
- ・ 家具什器の散乱
- ・ 本棚からの本の脱落
- ・ 人命損傷は皆無
- ・ 居住者は整然と階段から脱出
- ・ 駐車場の車の移動
- ・ 建物が折れるのではないかと思うほどの揺れ(外部から)

建設年: 1998
構造形式: 制振ダンパー付き鉄骨鉄筋コンクリート造
高さ: 145 m (31階)

首都圏に建つ超高層建物や免震建物の応答と健全性





E-ディフェンス実験の変遷

初期:破壊・崩壊の再現



中期:機能の保持



最近:レジリエンス(崩壊余裕度、モニタリング)

木造住宅実験

京町屋実験
2005年11月7～11日
(一般公開:250人来場)

[Test click here](#)

木造補強住宅実験
2005年11月21～24日
(一般公開:700人来場)

[Test click here](#)



Complete Collapse Test of Four-Story Steel Moment Frame

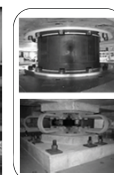


E-Defense Steel Collapse

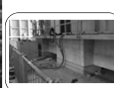
既存実大医療施設の振動台実験



鉄筋コンクリート造
4階建て



免震構造



耐震構造

医療施設配置・・・その2

機器稼働、通信
状態で加振



CT
(撮影室)



サーバラック
(情報通信室)



人工透析器
(人工透析室)



医療棚、混注デスク
(スタッフ室)



手術機器
(手術室)



給排水、消防設備
(ライフライン)

都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化
プロジェクト(文部科学省)

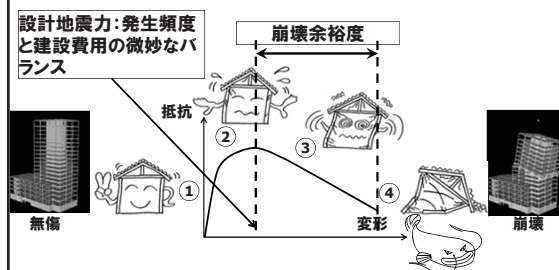
都市の機能維持・回復のための調査研究

東日本大震災からの教訓－地震防災、とりわけ耐震工学、に突きつけられた新たな課題：

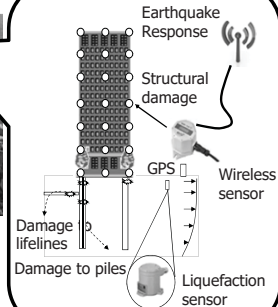
-

(A) 高層ビル等都市の基盤をなす施設が完全に崩壊するまでの余裕度の定量化
(B) これら施設の地震直後の健全度を即時に評価し損傷を同定する仕組みの構築

設計地震力:発生頻度と建設費用の微妙なバランス



An aerial photograph of a city skyline, featuring several prominent skyscrapers. Below the photograph, there is a stylized illustration of a whale with a lightning bolt striking its back, symbolizing a sudden event or a specific location.



研究子一ム

緑川光正(北大)、西山功(国総研)、北村春幸(東理大)、鹽谷澤寿海(東大)、西谷章(早大)、福和伸夫(名大)、中井正一(千葉大)、原川三郎(東工大)、金箱温春(JSCA)、伊藤優(JSCA)、杉山義孝(建防協)

・京都大学・防災研究所
(中島正愛、研究代表)
・(独)防災科学技術研究所
(防災科技研)・
兵庫耐震工学研究センター
(梶原浩一、研究副代表)
・(株)小堀鐸二研究所
(小鹿紀英、全体幹事)

(1)-1: S造高層ビル程度
責任機関: 清水建設、(東原隆夫、項目代表)
協力機関: 清水建設、小堀研、京都大学(牧田哲一郎、部会主管)、防災利技研

(2)-1: RC造全館程度
責任機関: 大林組 (柳保康夫、項目代表)
協力機関: 清水建設、京都大学(西山昌弘、部会主管)、防災利技研

(2)-1-1: モニタリングシステム程度
責任機関: 清水建設 (斎藤知雄、項目代表)
協力機関: 産産、大林組、名古屋大学(飛田隆、部会主管)、京都大学、防災利技研

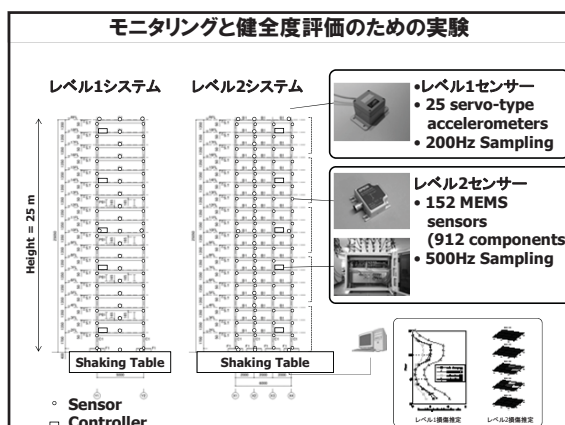
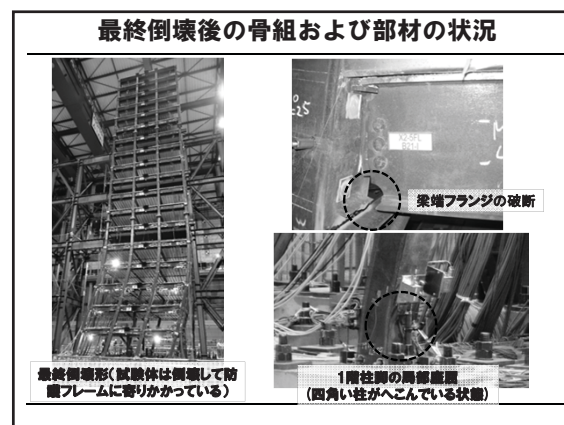
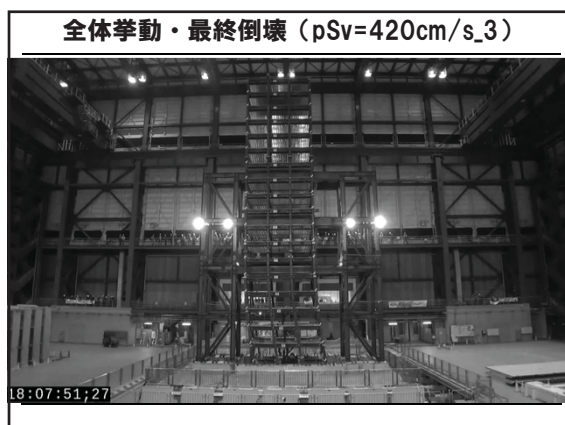
(2)-2: モニタリングシステム程度
責任機関: 大成建設 (藤井健二、項目代表)
協力機関: 小堀研、京都大学(田村清彦、部会主管)、防災利技研

(2)-3: モニタリング遠隔システム程度
責任機関: 小堀研 (野野村、項目代表)
協力機関: 京都大学、清水建設、大成建設、竹中工務店、横浜国立大学(橋本孝)
部会主管)、防災利技研

(3)-1: MeS-01ネットワーク
責任機関: 竹中工務店 (小林重二、項目代表)
協力機関: 清水建設、小堀研、京都大学(西井博、部会主管)、MeS-02、防災利技研

- 振動台
Eーディフェンス利用
- 試験体
Eーディフェンスの高さ制限
(約27m) を考え高さ25m
超に設定
- 防護フレーム
試験体の完全崩壊を安全に
保護するとともに試験体設
置時の受け台に活用
- 地震入力
1方向入力

- 振幅の設定
 - Average (110cm/s) baseline
 - Large (180cm/s) 1.64 times
 - Very Large I (220cm/s) 2 times
 - Very Large II (250cm/s) 2.27 times
 - Very Large III (300cm/s) 2.73 times
 - Very Large IV (340cm/s) 3.1 times (at the table capacity)
- Contracted to $1/\sqrt{3}$ with respect to time domain



戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)
研究開発計画

レジリエントな防災・減災機能の強化
リアルタイムな災害情報の共有と利活用

内閣府 プログラムディレクター
中島 正愛

内閣府
Cabinet Office, Government of Japan

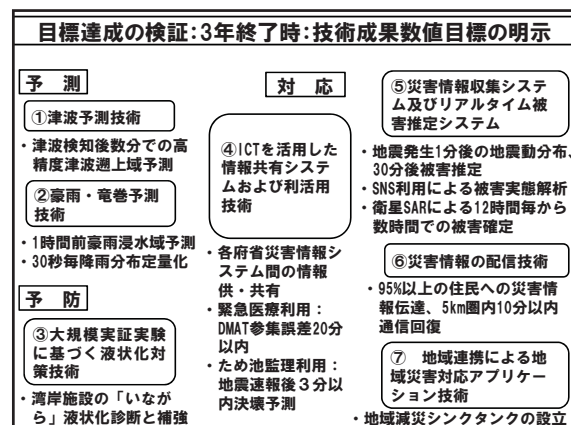
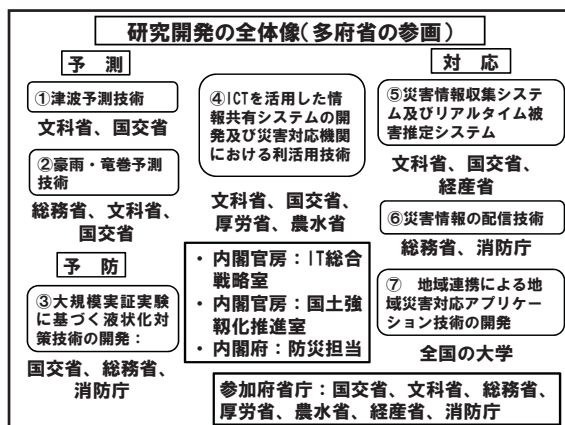
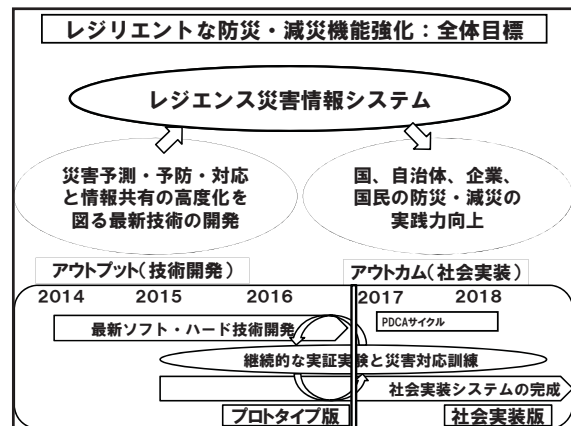
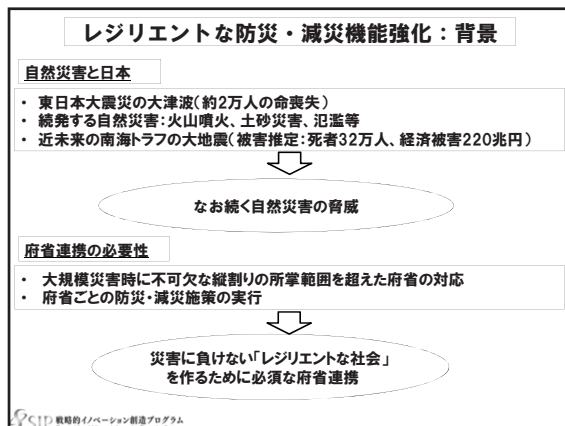
総合科学技術会議の司令塔機能強化

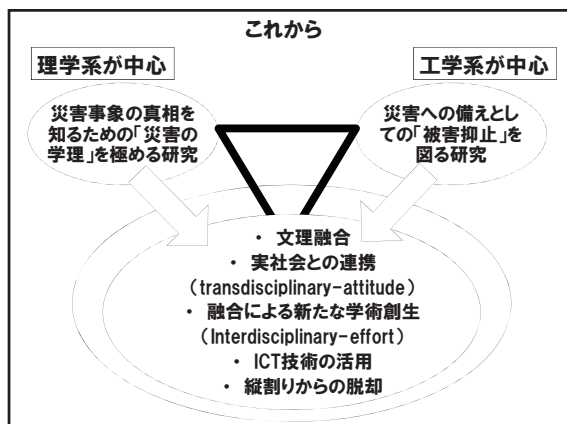
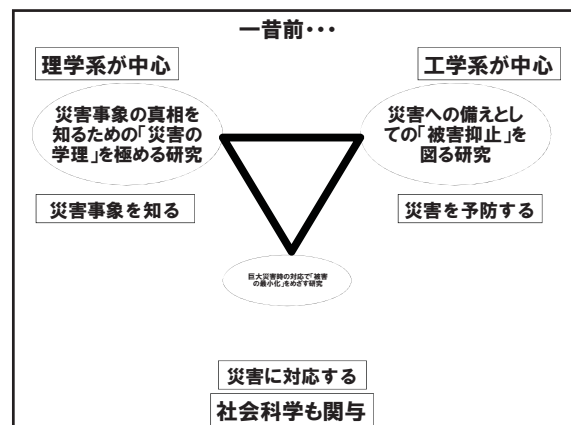
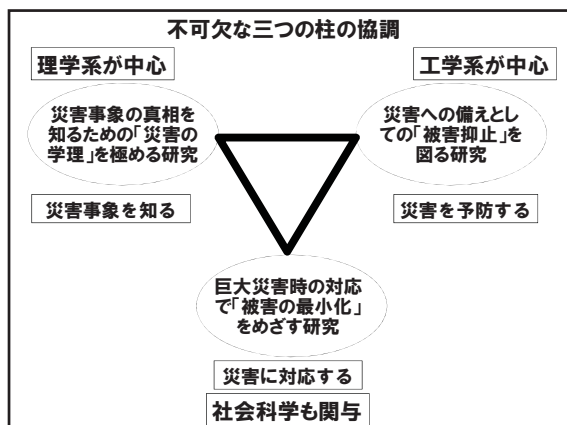
総合科学技術会議の司令塔機能強化の3本の矢

- 1. 政府全体の科学技術関係予算の戦略的策定**
進化した「科学技術重要施策アクションプラン」等により、各府省の概算要求の検討段階から総合科学技術会議が主導、政府全体の予算の重点配分等をリードしていく新たなメカニズムを導入。(大臣が主催し、関係府省局長級で構成する「科学技術イノベーション予算戦略会議」を4回開催)
- 2. 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)**
総合科学技術会議が府省・分野の枠を超えて自ら予算配分して、基礎研究から出口(実用化・事業化)までを見通え、規制・制度改革を含めた取組を推進。
科学技術イノベーション推進予算(H26当初予算) 500億円(新規)
- 3. 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT)**
実現すれば産業や社会のあり方に大きな変革をもたらす革新的な科学技術イノベーションの創出を目指し、ハイリスク・ハイインパクトな挑戦的研究開発を推進。(H25補正予算) 550億円(予算計上は文科省)

3. 対象課題候補とPD(政策参与)

革新的医療技術 杉山 参与
革新的設計生産技術 佐々木 参与
次世代パワーエレクトロニクス 大橋 参与
次世代農林水産資源創造技術 西岡 参与
革新的製造材料 岸 参与
総合科学技術会議の司令塔機能を強化
レジリエントな防災・減災機能の強化 中島 参与
インフラ維持管理・更新・マネジメント技術 藤野 参与
エネルギーキャリア 付本 参与
次世代海洋資源調査技術 菊池 参与
自動走行(自動運転)システム 渡邊 参与





本発表の内容は、数多くの機関の方々との共同調査研究等に依っています。関係各位に心から感謝申し上げます。

防災・減災の強化によるわが国の持続的発展に微力を尽くしたいと思います。継続的なご支援をお願いする次第です。

講 演



液状化地盤における橋梁基礎の 耐震性能評価方法と耐震対策 技術の開発(SIP)

構造物メンテナンス研究センター(CAESAR)
七澤 利明

本日の内容



1. 背景・目的
2. 研究項目・体制
3. 研究状況
4. 今後の取組み等

1. 背景・目的
2. 研究項目・体制
3. 研究状況
4. 今後の取組み等

2

沿岸コンビナート地区がかかえる防災上の課題



- 沿岸の埋立地では、過去より地震時の液状化により甚大な被害が発生。
- 石油タンク本体など一部の主要施設については近年液状化対策が進められているものの、道路など周辺施設も含めた総合的な対策は不十分。近年の大地震でも被害が発生。

⇒ 首都直下地震等の大地震発生の際、施設の安全性確保だけでなく、震後の燃料供給機能等を確保するための早急な対策実施が必要。



3

沿岸コンビナート地区の防災対策における 道路インフラの位置づけ



- 被害の最小化のためには、事前の耐震対策に加えて、被害が生じた場合にも速やかに消防・救急活動を行うためのシステム整備が不可欠。
 - 一方で、地区外からのアクセス路は事業者が直接対策を講じることが出来ないため、大地震時のアクセス路の健全性について懸念。
 - 震後の燃料供給機能もアクセス路が健全であることが前提。
 - 過去の大地震時には液状化被害により埋立地にアクセスする橋が長期通行止めに。
- ⇒ アクセス路等の健全性を早急に評価し、事前に対策を講じていくことが重要。



埋立て地区における橋の側方移動の被害(兵庫県南部地震)



出典: 兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書、平成7年12月

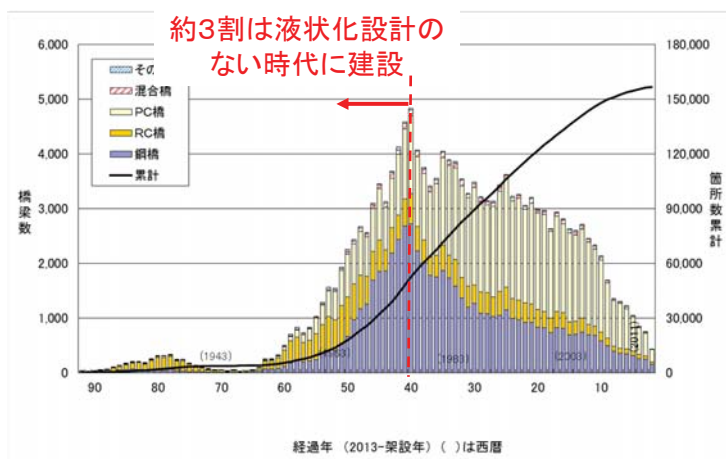
4

既設橋の液状化への対応



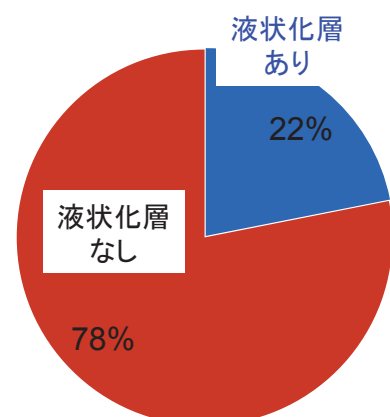
- 既設橋の約3割は、液状化に対する設計がない時代に建設。
 - 液状化地盤にある橋の割合を約22%と仮定すると、全国の既設橋(約70万橋)の約7%で地震時に液状化による被害等の影響が生じるおそれあり。
 - 一方で、過去の大地震で実際に甚大な被害が生じた橋はごく一部。
- ⇒ 既設橋の実力を適正に評価する精度のよい評価手法の開発が大きな課題。

既設橋建設後の経過年数



出典: 国総研資料第822号「平成25年度道路構造物に関する基本データ集」、平成27年1月

液状化層を有する基礎の割合



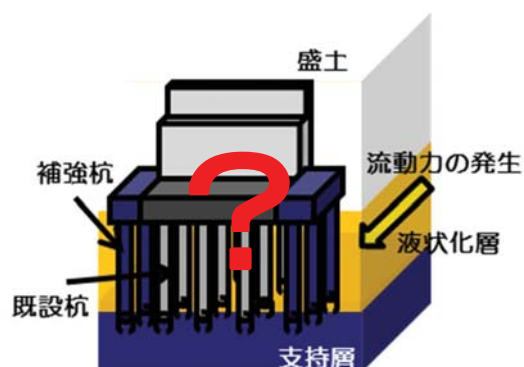
出典: 土研資料第4037号「橋梁基礎形式の選定手法調査」、平成19年2月

5

1. 地震時に液状化による影響を受ける既設橋の状態を精度よく評価する手法(解析方法等)を開発。
⇒ 沿岸埋立地のアクセス橋梁等について、大地震後に速やかな通行機能の確保が出来るか、評価に活用。
2. 液状化に伴う作用に対して効果的、かつ工事の際に既設橋の通行機能をできるだけ阻害しない補強方法を開発。
⇒ 1. で「要対策」と評価された既設橋を速やかに補強。



●のうち、液状化対策が必要な橋は・・・？



効果的かつ交通を阻害しない補強方法は？

6

1. 背景・目的
2. 研究項目・体制
3. 研究状況
4. 今後の取組み等

7

- SIP課題名: レジリエントな防災・減災機能の強化
- 研究開発課題名: 大規模実証実験等に基づく液状化対策技術の研究開発
- 研究項目・内容

[港空研]

- a. 港湾施設および埋立地の液状化対策(耐震)診断および対策技術の開発
 - ① 地盤探査、液状化判定および液状化対策技術開発
 - ② 耐震診断システムの構築
 - ③ 統合的な防災性向上技術の開発
 - ④ E-ディフェンスを活用した検証実験

[土研]

- b. 液状化地盤における橋梁基礎の耐震性能評価手法と耐震対策技術の開発
 - ① 液状化地盤における基礎の地震時挙動の解明と橋の耐震性能評価技術に関する研究
 - ② 液状化地盤における基礎の耐震対策技術の開発
 - ③ E-ディフェンスを活用した検証実験

[消防研]

- c. 石油タンク周辺施設の液状化損傷評価技術及び損傷被害防止技術の開発

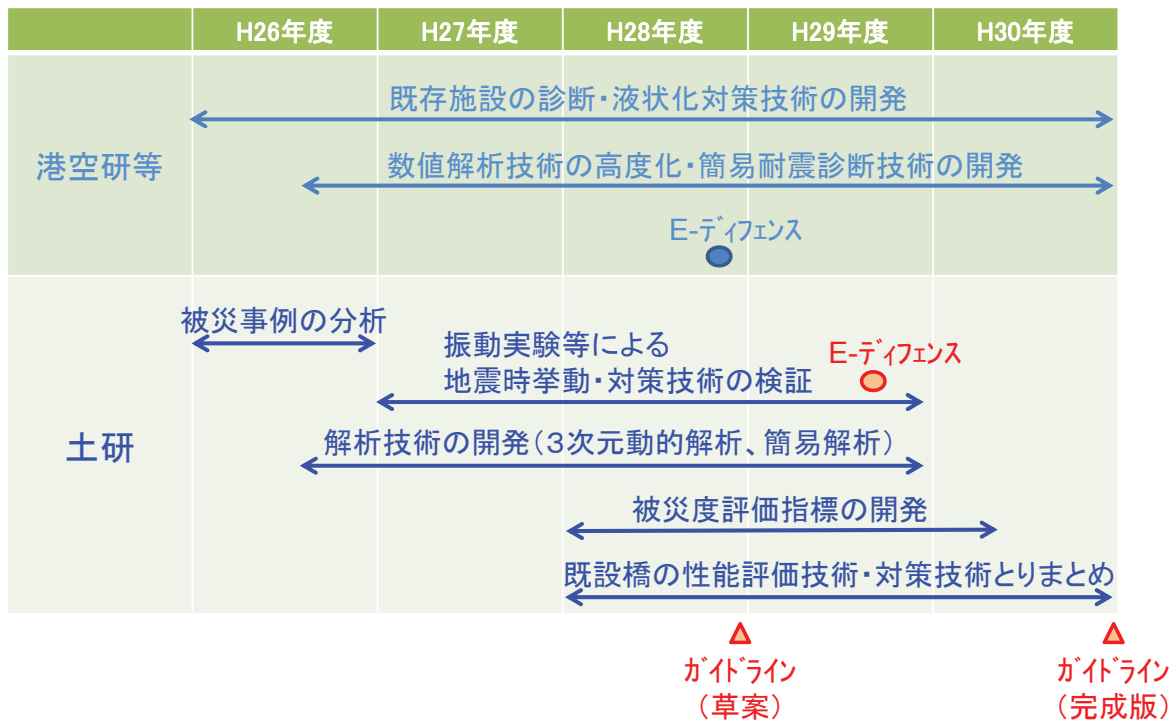
8

研究の全体像(土研)



9

スケジュール

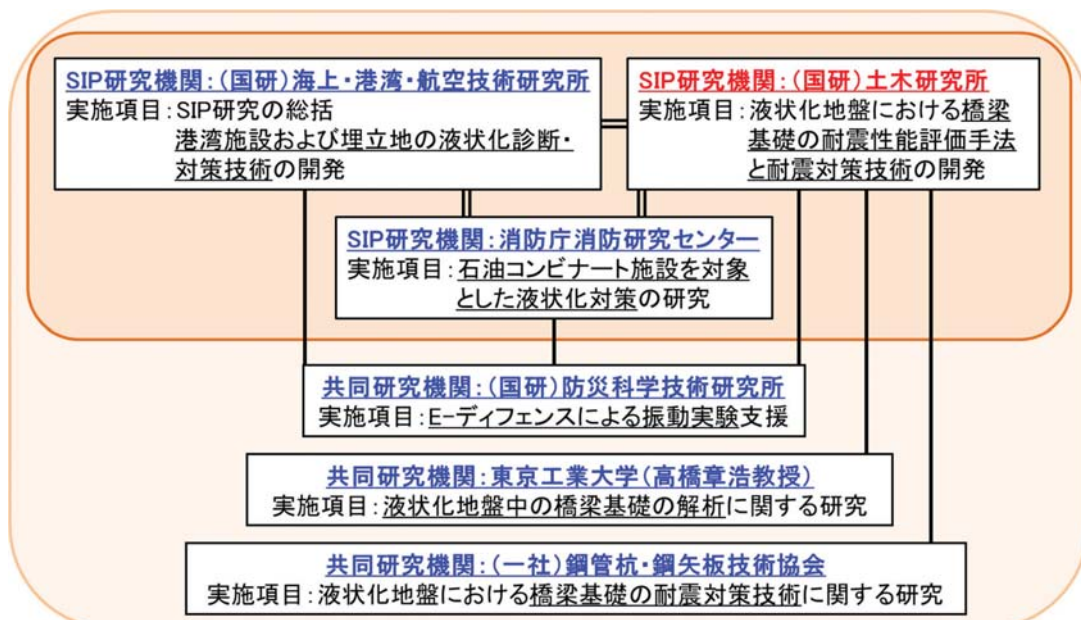


10

研究体制



- 液状化問題に取り組む各種研究機関、学識者、民間企業が連携・共同して研究開発を実施。
- ⇒ 「産・学・官」の関与により、開発技術を確実に社会に反映(基準類への反映、技術の実用化)。



11

1. 背景・目的
2. 研究項目・体制
3. 研究状況
4. 今後の取組み等

12

これまでの研究状況・成果



(1) 地震時挙動の解明と耐震性能評価技術の開発

- ・被災事例の分析(安全性、通行機能) →研究(1)①
- ・振動実験による検証 →研究(1)②
- ・解析技術の検討 →研究(1)③
- ・地盤調査法の検討(地盤評価の高度化) →研究(1)④、⑤

(2) 耐震対策技術の開発

- ・基礎の補強方法の提案(供用性、施工制約) →研究(2)①
- ・振動実験による検証 →研究(2)②

(3) E-ディフェンスを活用した検証

- ・E-ディフェンス土槽での模型地盤作成試験(港空研等と連携)
→研究(1)④

13

-

液状化による橋脚等の 沈下・傾斜



- | | 杭基礎の設計 | 背面盛土形状 |
|-------|--------|---------|
| Case1 | 旧基準 | 河川堤防タイプ |
| Case2 | 旧基準 | 道路盛土タイプ |
| Case3 | 現行基準 | 河川堤防タイプ |

拡大図

軸管 (φ48.6, t=2.3)

血ねじ

芯棒 (□8×19)

110

フーチング下面

90

100

100

100

1002

150

150

900= (クリアランス2-軸管48) φ18

202

芯棒

血ねじ

軸管

2

48

2

48

2

ピン

[単位: mm]

- 22 -

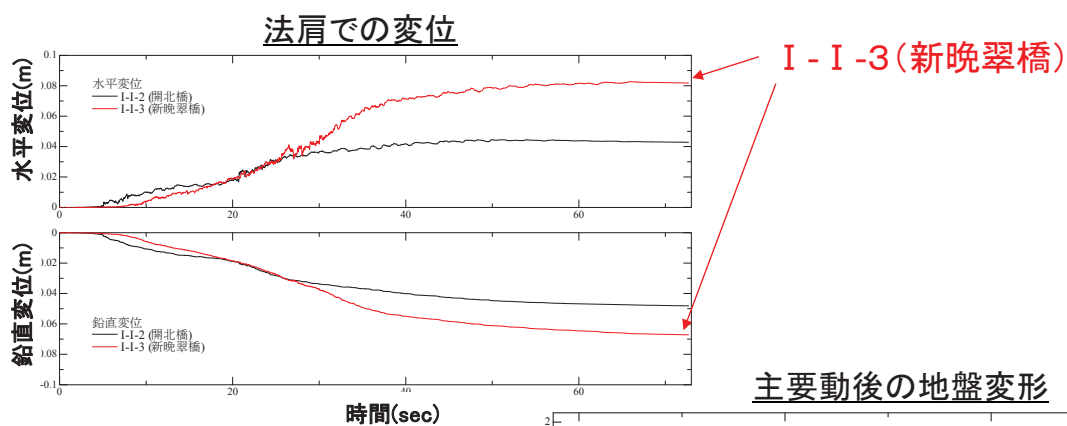
振動台と実験土槽(土研)



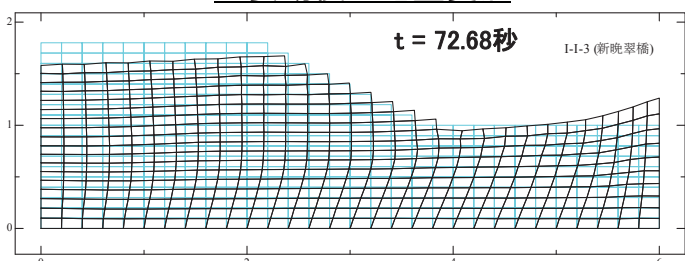
研究(1) ②: 振動実験による検証



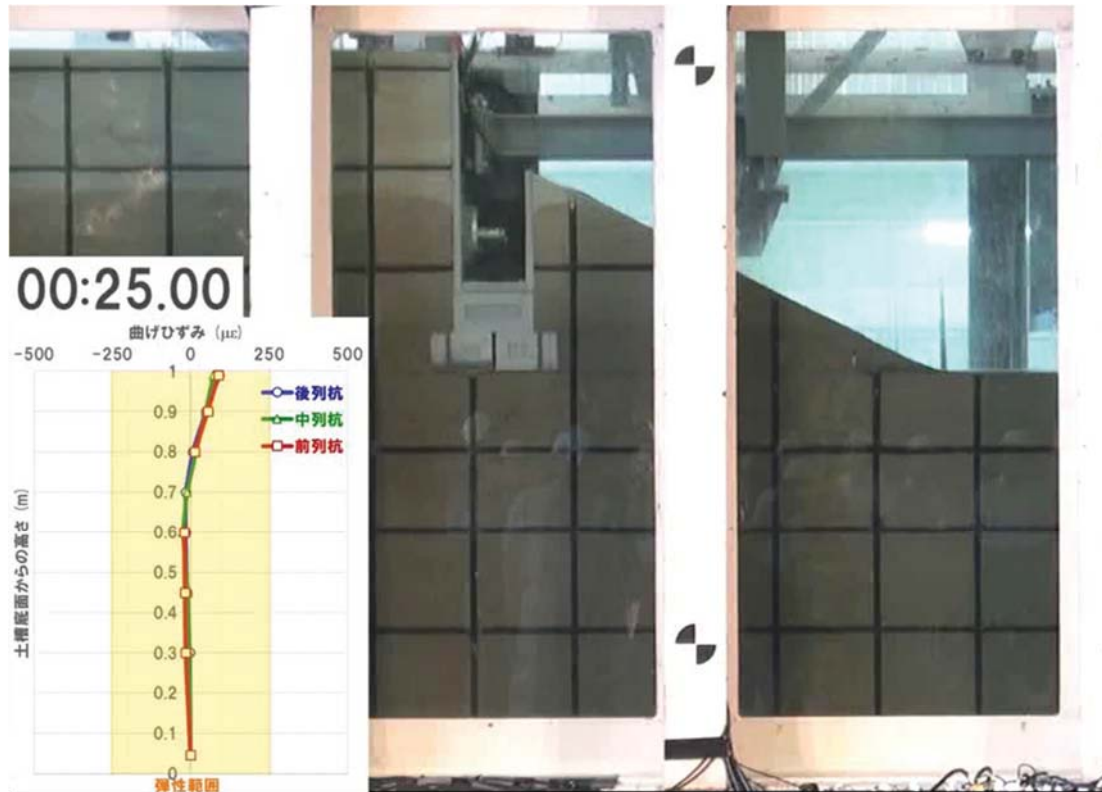
- 実験Case1の事前解析(東工大高橋教授:2次元土／水連成動的解析)
結果から、道路橋の動的解析に用いる設計用地震動のうち、最も大きな変状が生じる地震動(I-I-3:新晩翠橋)を実験で適用。



主要動後の地盤変形



Case1 実験状況 (25-40sec)



18

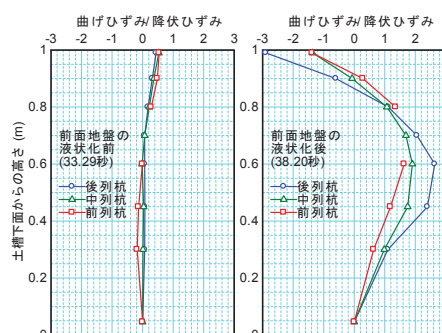
研究(1)②: 振動実験による検証



- 液状化の発生前後で曲げひずみが急変。
- 旧基準の基礎では著しく塑性化する一方、現行基準では塑性化程度は限定的。
- 遊間の違いも塑性化の程度や分布に影響することを確認。

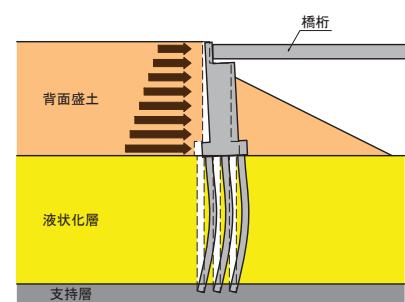
⇒ 基礎の補強に際して、遊間の影響を考慮する必要があることが判明。

杭の曲げひずみ

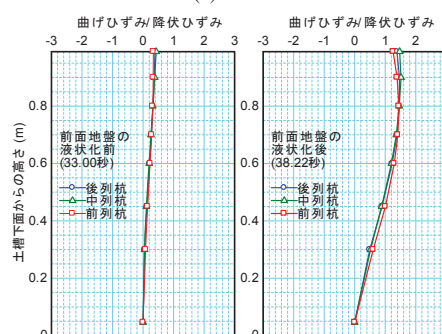


(a) Case1

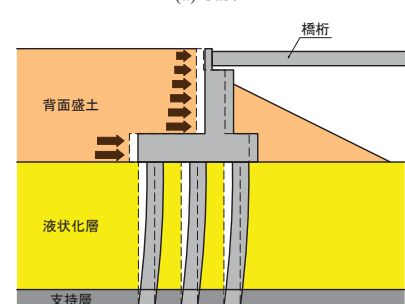
橋台の変位と背面土圧



(a) Case1



(b) Case3



(b) Case3

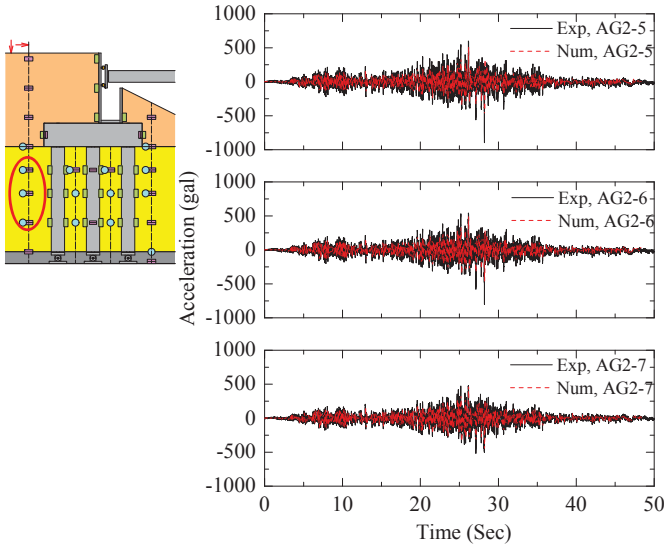
19

研究(1)③: 解析技術の検討

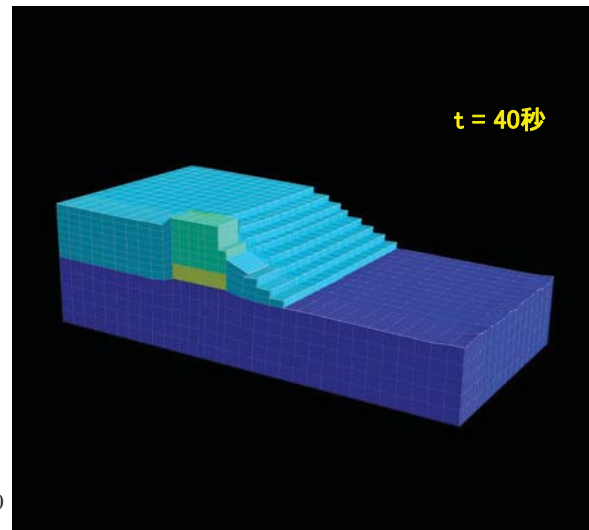


- 3次元動的有限要素モデル(地盤をソリッド要素、杭をはり要素としてモデル化)による動的解析手法を検討(東工大高橋章浩教授)。
- ⇒ 実験結果等に対する検証を経て、精度の高い評価技術として確立していく。

地盤の加速度 (Case3)



地盤および橋台の変位 (Case3)



20

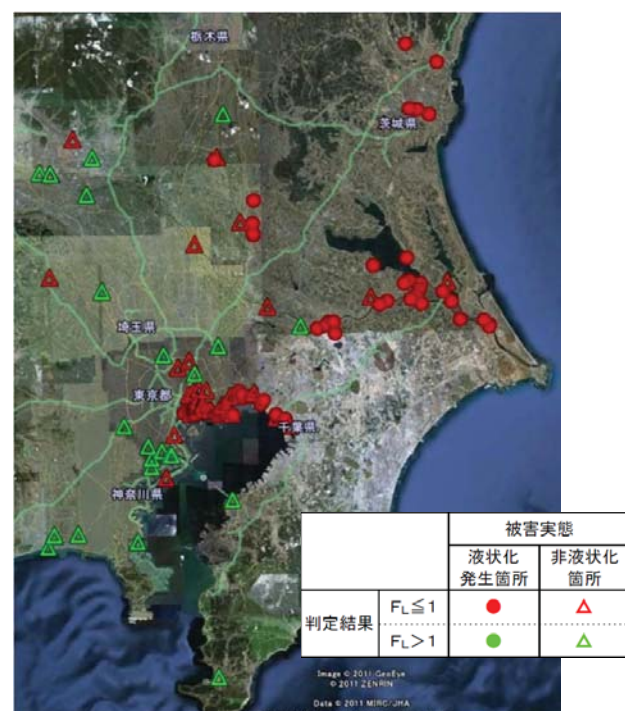
研究(1)④: 地盤調査法の検討～振動式コーン貫入試験



- 現行基準の液状化判定法は安全側の評価(液状化と判定されても、現実に液状化が生じない場合あり)。
- 既設橋を精度よく評価するためには、液状化判定法の高精度化も必要。
- このため土研では、研究課題「液状化判定法の高精度化」において、**新たな液状化地盤調査法『振動式コーン貫入試験』**の試作機を開発。

⇒ E-ディフェンス土槽で製作した模型地盤に対し、**振動貫入試験を試行的に実施。**

液状化の被害実態と判定結果
(平成23年東北地方太平洋沖地震)



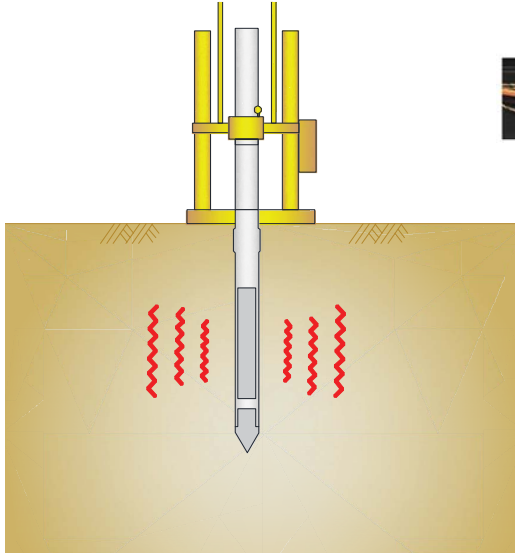
出典: 土木研究所「東北地方太平洋沖地震における液状化の発生を踏まえた液状化判定法の検証」、平成23年9月

21

振動式コーン貫入試験機の概要

- バイブレータを搭載したCPT先端プローブを用いて、①静的貫入（振動なし）、②振動貫入を2孔で実施し、先端抵抗の低下率から原位置での液状化強度を推定。
- 測定項目：①先端抵抗、②間隙水圧、③加振加速度

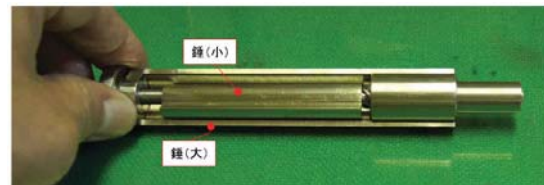
振動式コーン貫入試験機による
原位置試験（イメージ）



振動コーン内部

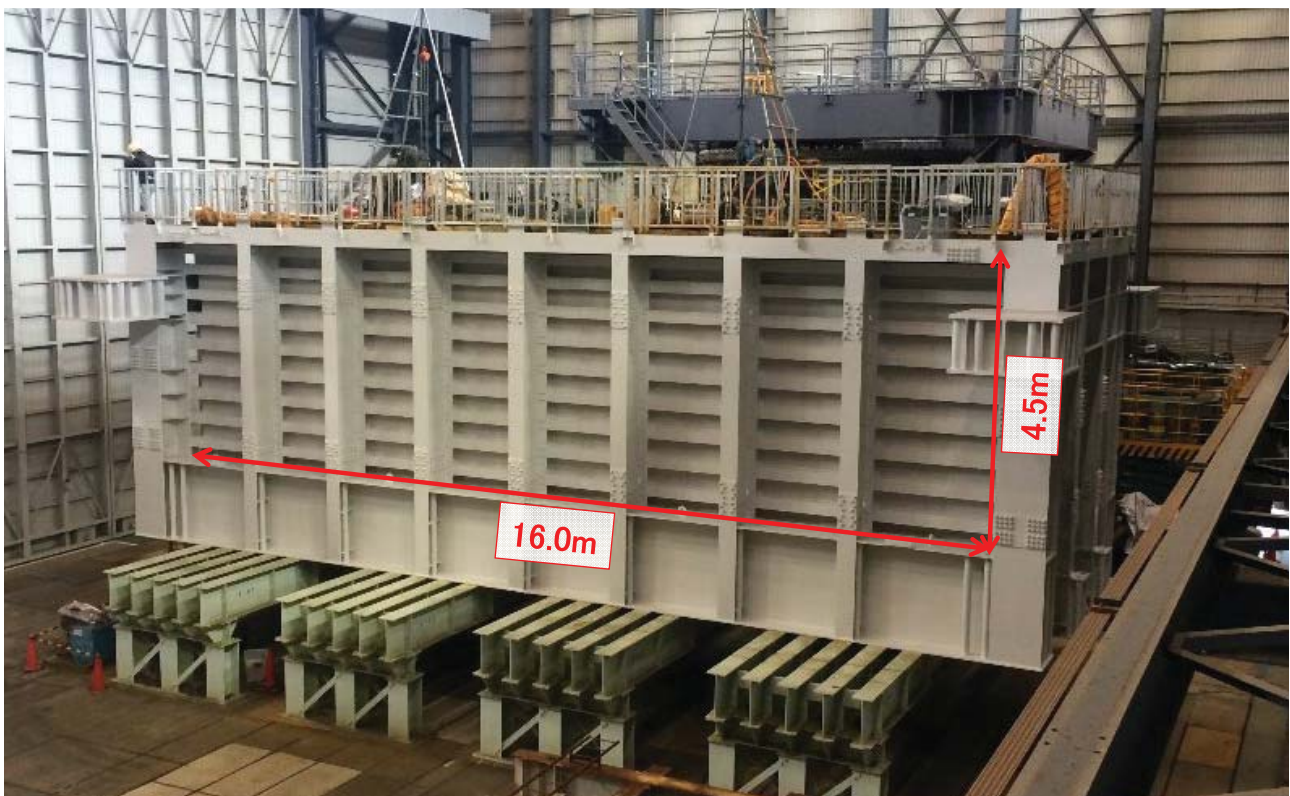


可変式の偏心ウェイト



22

実験土槽（E-ディフェンス）



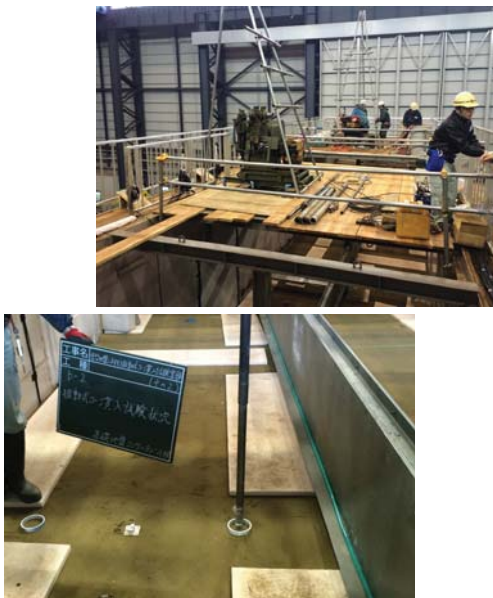
23

研究(1)④: 地盤調査法の検討～振動式コーン貫入試験

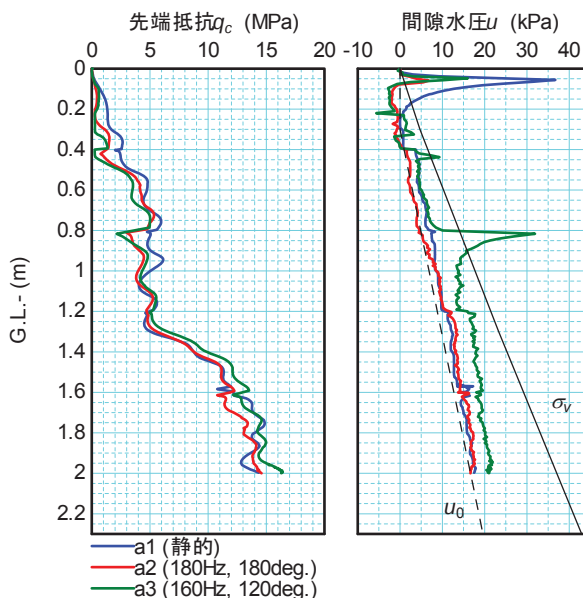


- 未改良地盤部 ($Dr=50\%$) および改良地盤部 ($Dr=75\%$) で実施。
 - いずれも、振動貫入による先端抵抗の低下度合いが鈍い結果。
- ⇒ 今後、試験機の振動能力を向上させたうえで、さらなる検証試験を実施。

E-ディフェンスでの試験状況



試験結果(未改良地盤部)



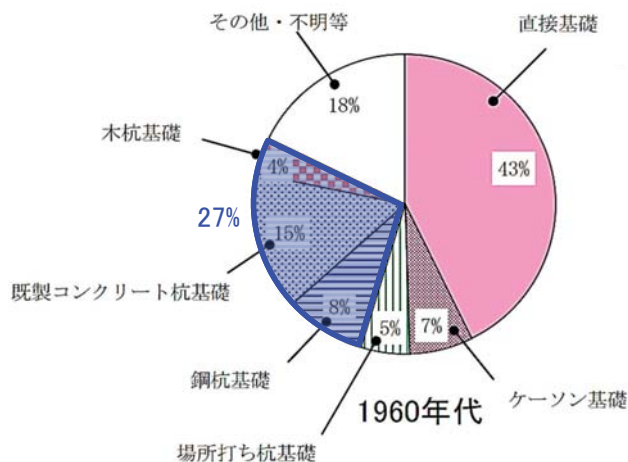
24

研究(1)⑤: 地盤調査法の検討～杭間地盤調査

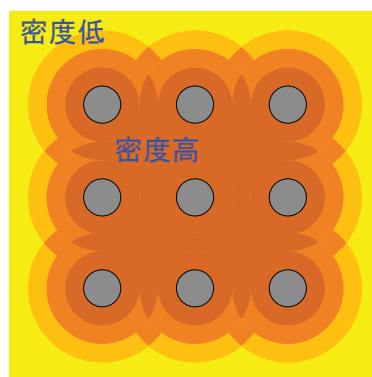


- 液状化設計が行われる以前(～1970)の基礎は、既製杭打撃工法が主流。
 - 杭の打撃貫入に伴い周辺地盤が締固められ、液状化強度が増加している可能性。
- ⇒ 密度計測が可能なRIコーン密度計を用いて、斜方向貫入試験による杭間地盤調査を試験的に実施。

基礎形式の割合(1960年代)



杭間地盤の締固めイメージ



※杭の断面積分周辺地盤の密度が増加していると想定する場合、杭間隔2.5Dで置換率 $a_s = 12.6\%$ 。

出典: 土木研究所資料第4168号「既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価手法に関する研究」、平成22年5月

25

RIコーンを用いた杭間地盤調査の概要

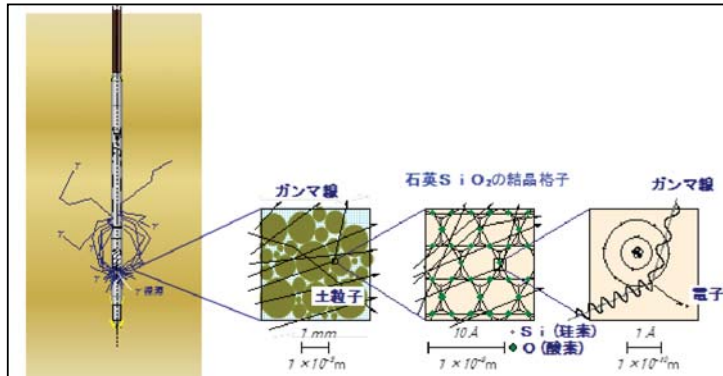
➤ RIコーン密度計の測定原理

線源部(セシウム137)から放出されるガンマ線と電子との相互作用(散乱・吸収)を利用して、電子の空間存在度に比例する質量の空間存在度=湿潤密度を測定。

➤ 地盤調査の方法

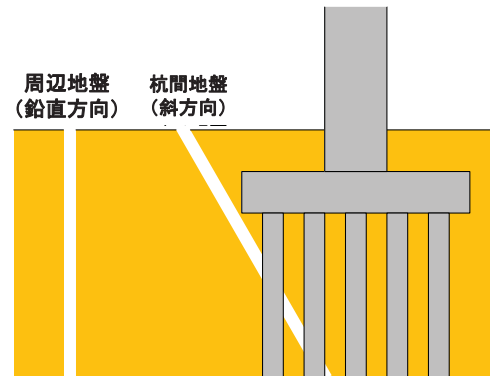
既設橋の周辺および杭間地盤(斜方向、最大傾斜角40°)に対してRIコーン貫入試験を実施し、地盤の密度を計測・比較評価。

RIコーン密度計の測定原理



http://www.soilandrock.co.jp/tyosa_shiken/cpt.html

地盤調査の方法

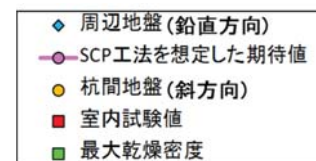
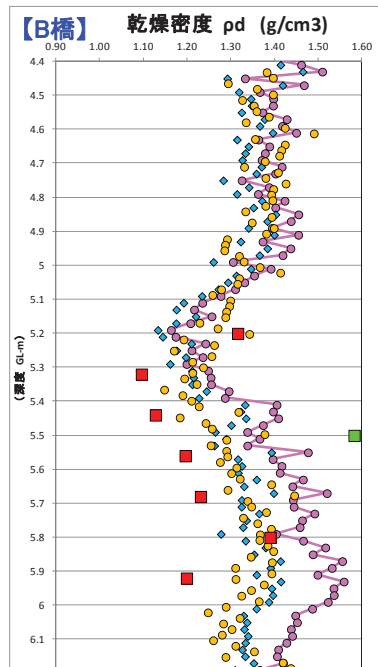
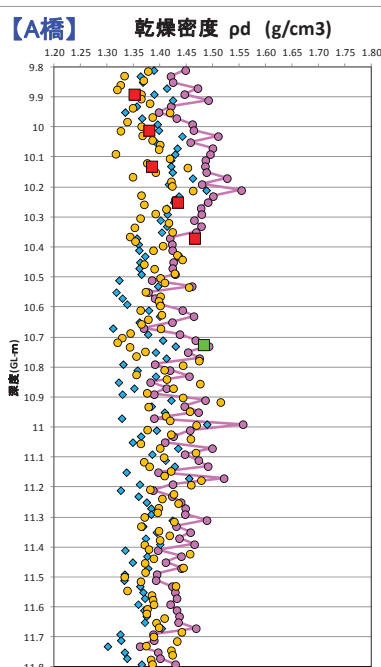


26

研究(1)⑤: 地盤調査法の検討～杭間地盤調査



- 2つの既設橋(A橋、B橋)で調査を実施(N値10以下の沖積砂質土層)。
- 周辺地盤と比べて杭間地盤で密度が増加している傾向は見られず。
(なお、RIコーンによる杭間地盤調査自体の実用性は確認。)



杭間地盤調査の状況

27

成果(2)①: 基礎の補強方法の提案

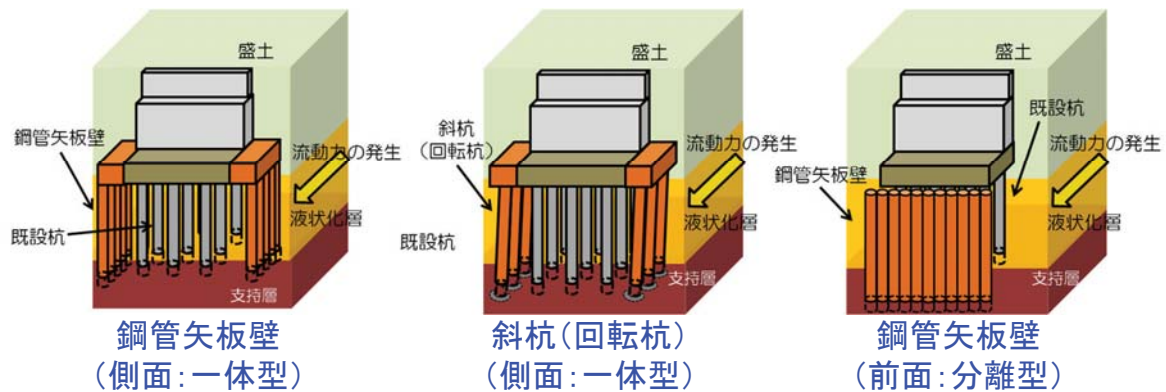


➤ 以下の観点での検討により、基礎の補強工法・構造を提案。
(（一社）鋼管杭・鋼矢板技術協会との共同研究)

- ・補強工事で交通を阻害しない(既設橋のため)
- ・液状化に伴う地盤流動に対する有効性
- ・施工機械の適用性 など

⇒ 実験等を通じて対策効果を検証。

基礎の補強工法・構造



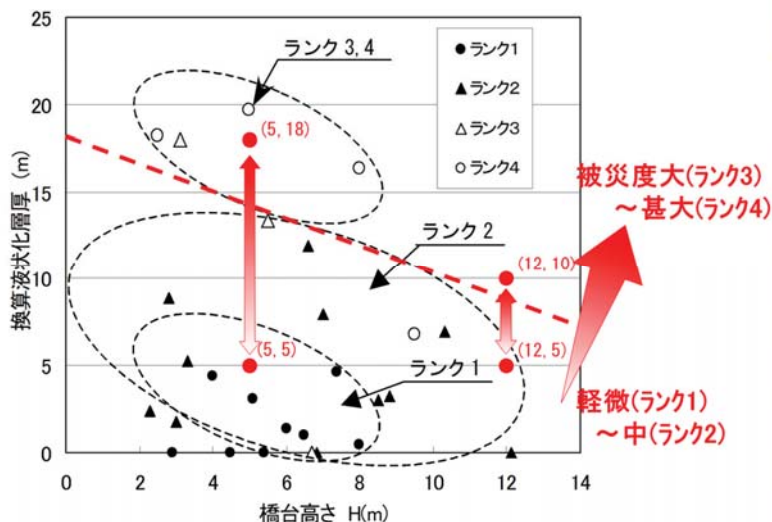
28

成果(2)②: 振動実験による検証(対策技術)



- 抽出した補強工法・構造の有効性等を検証するため、動的遠心力载荷実験を実施(現在実施中)。
- 橋台の液状化被災事例の分析から、橋台高さ・層厚をパラメータに。

橋台高さ・液状化層厚と被災度



実験ケース

	橋台高さ	液状化層厚	設計基準	補強工法
①	5m	5m	旧	無対策
②	5m	18m	旧	無対策
③	5m	18m	旧	壁(前)
④	5m	18m	旧	斜杭
⑤	5m	18m	旧	壁(側)
⑥	5m	18m	現行	—
⑦	12m	5m	旧	無対策
⑧	12m	10m	旧	無対策
⑨	12m	10m	旧	壁(前)
⑩	12m	10m	旧	斜杭
⑪	12m	10m	旧	壁(側)
⑫	12m	10m	現行	—

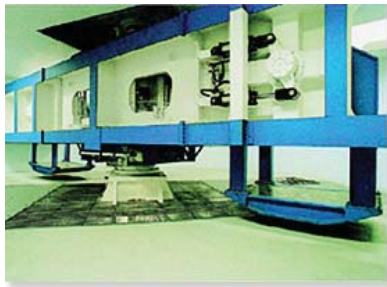
出典: 土木研究所資料第4014号「道路橋橋台およびその基礎の地震被災事例」
(平成18年5月)に加筆

29

動的遠心力载荷実験の概要

- 大型動的遠心力载荷装置(土木研究所)を使用。
- 縮尺1/60とし、60Gの遠心加速度を作用させた状態で土槽を動的に振動。

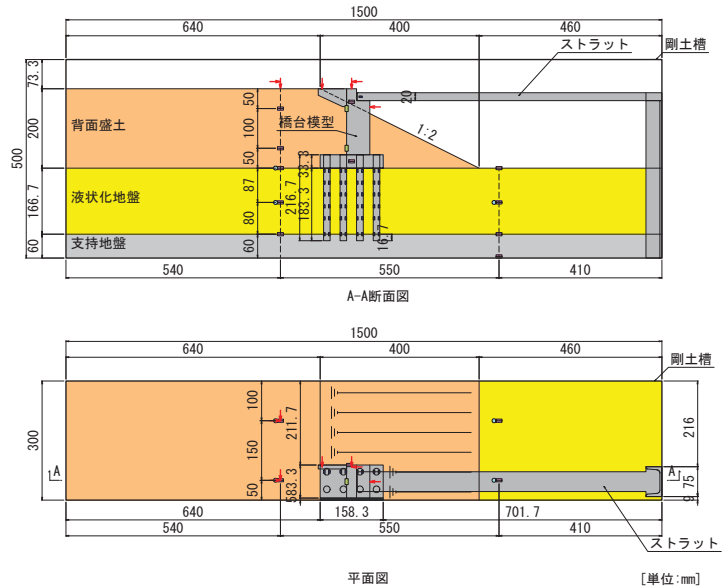
大型動的遠心力载荷装置



実験土槽および模型の状況(Case8)



側面図および平面図(Case8)



30

Case8,11(橋台高さ12m,液状化層厚10m) 実験状況(10倍速)

Case8
無対策

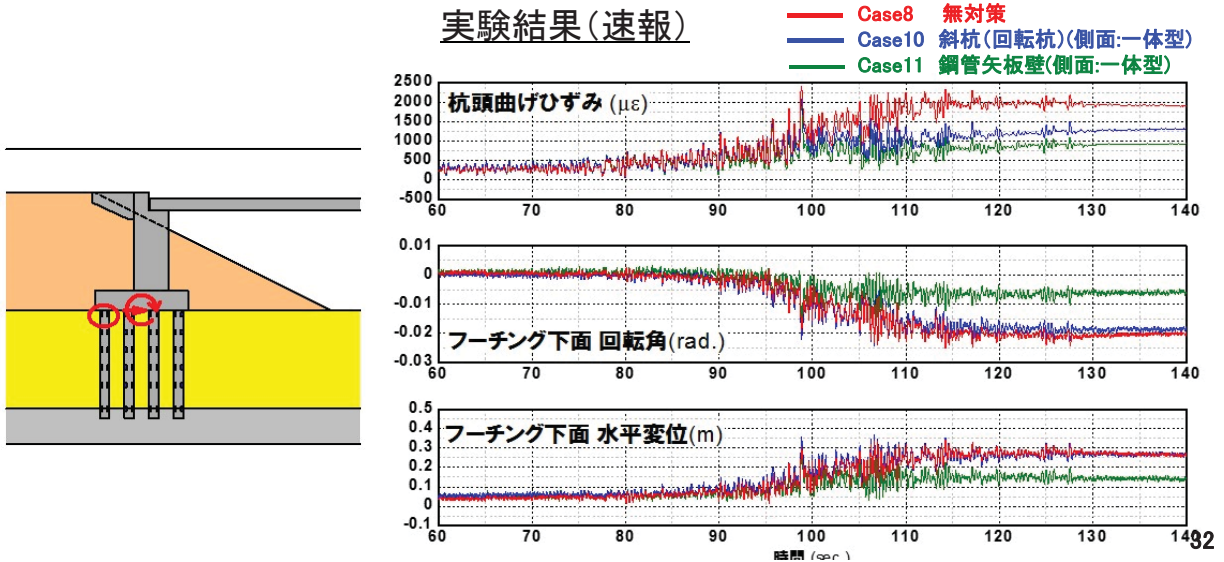
Case11
鋼管矢板壁
(側面:一体型)



31

➤ 無対策(Case8)および各補強工法・構造(Case10, Case11)の実験結果を比較すると(速報値)、鋼管矢板壁(側面: 一体型)(Case11)は、杭の曲げひずみ、橋台の傾斜・変位抑制の観点から効果あり。

⇒ 今後、土研大型振動台(H28)・E-ディフェンスでの検証実験(H29)を行い、地震後に求められる性能や施工性なども考慮したうえで、補強工法・構造を提案する予定。



1. 背景・目的

2. 研究項目・体制

3. 研究状況

4. 今後の取組み等

(1) 今後の取組み

取組み①: E-ディフェンスを活用した検証実験

取組み②: 情報システムへの反映

取組み③: 耐震設計思想の転換

(2) 社会実装 ～ 研究成果の社会への還元

34

取組み①: E-ディフェンスを活用した検証



- 世界最大級の実大三次元震動破壊実験施設(E-ディフェンス、(国研)防災科学技術研究所)を用いた大規模実証実験により、提案した対策技術の有効性を検証(平成29年度に実施予定)。



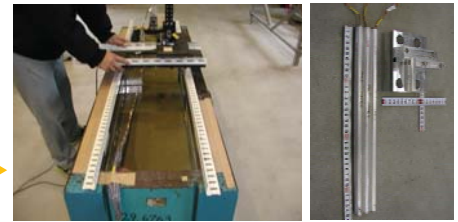
35

大規模検証実験の目的・意義

1. 遠心力载荷実験 (1/60縮尺: 杭径約1cm)

- 液状化地盤中の基礎の性能評価に影響する各種パラメータ (地盤条件、構造条件、補強方法等)を踏まえた多数の実験を実施し、パラメータの影響を評価

⇒ただし、実験時の観察、データ計測に限界
→ 液状化～基礎の挙動の関係を詳細に把握できず

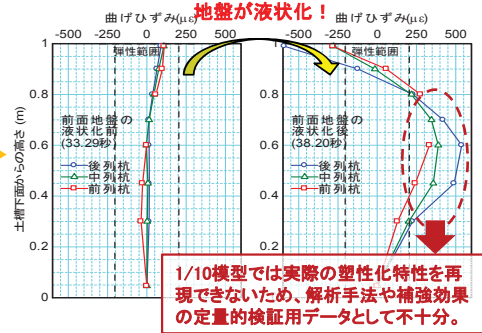


2. 振動実験: 土研振動台 (1/10縮尺: 杭径約5cm)

- 代表的な地盤条件、補強条件に対して実験(5ケース)
- 液状化の発生と基礎の挙動の変化を時刻歴で把握

→ 液状化による基礎への影響の詳細評価が可能に!

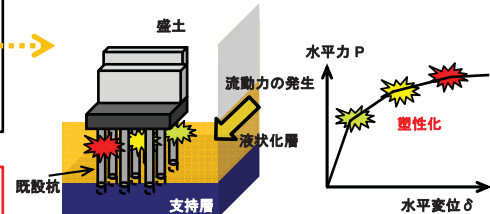
⇒ただし、実橋に即した基礎構造(RC等)のモデル化は困難
→ 基礎が塑性化後の地震時挙動の検証ができず



3. 振動実験: E-ディフェンス (約1/4縮尺: 杭径約13cm)

- 代表的な地盤条件、補強条件に対して実験(1ケース)
- 実橋に即した基礎構造をモデル化し、塑性化後の挙動を把握

→ 基礎の塑性化後の挙動も含めた液状化～基礎の挙動の関係を明らかに!



基礎の挙動評価技術および対策技術の確立

36

取組み②: 情報システムへの反映



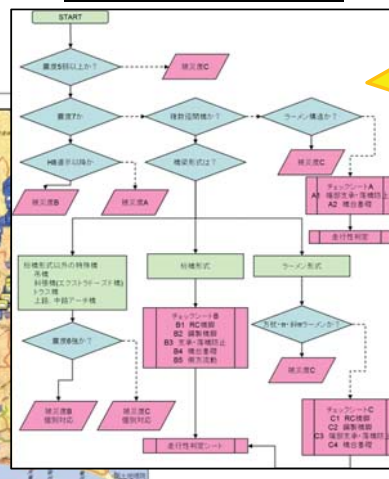
- 本研究で得られた知見に基づき道路橋被災度評価手法を改善し、課題⑤「インフラ被災情報のリアルタイム収集・集約・共有技術の開発」(国総研)において開発中の情報分析・意思決定支援システムに反映していく予定。

⇒ 過去の大地震で重篤な被害が生じている液状化被害に対する信頼性が向上。システムの精度向上に貢献(“SOCIETY 5.0”への寄与)。

情報分析・意思決定支援システムのイメージ



道路橋被災度評価フロー



研究成果を反映、
液状化被害に対する信頼性向上

国土技術政策総合研究所より提供

37

取組み③: 耐震設計思想の転換



- これまでは、“Safety Design”（安全設計）。
地震による作用力 $\leq$ (タンクや橋の) 抵抗力
- 東日本大震災や熊本地震では、タンクの破壊や落橋は防いだものの、被災により燃料供給機能や通行機能の回復が遅れ、社会的に大きな影響が発生。
- ⇒ 燃料供給機能や通行機能が速やかに確保されるよう、建設や補強を行う必要あり。

コンビナート地区の液状化被害
(東日本大震災)



高速道路の橋脚の傾斜(熊本地震)



38

これからの耐震設計 ～Usability-Based Design (UBD)への転換～



これまでの耐震設計 - Safety Design (SD) -

- ・タンクが壊れない
- ・橋が壊れない
- ...

⇒ 抵抗力が作用力を上回るよう設計

これからの耐震設計

- Usability-Based Design (UBD)-

- ・燃料供給ができる程度に変状を抑える
- ・車が通行できる程度に変状を抑える
- ...

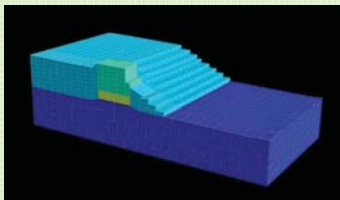
⇒ 変位が制御された設計 (Displacement Control)

USBへの転換のための大きなチャレンジ

- ・液状化による構造物変位の正確な予測は、現在の技術では困難。

SIPによるブレイクスルー！

- ・大規模実証実験(E-ディフェンス)に裏打ちされた高精度な予測技術を開発！



検証



E-ディフェンス実験

39

- 研究成果は、技術基準への反映等を通じて社会実装。
 - 液状化地盤における橋の耐震性能評価手法
⇒ 道路橋の設計基準(道路橋示方書)へ。
 - 液状化地盤における既設橋の基礎の耐震対策技術
⇒ 設計ガイドライン等を公表し、耐震補強施策を技術支援。
- CAESARとしても、出来るだけ早期に成果をあげて社会に還元していくことを目指し、引き続き重点的に取り組んでいく。

熊本地震の橋梁被害と課題



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



1

CAESARが地震被害調査を行う目的

○道路管理者の要請を受け、

- ・被害状況を調査
- ・通行規制について助言
- ・応急復旧方針について助言
- ・必要な調査内容について助言
- ・本復旧方針について助言

○地震の教訓を今後の技術行政に反映するため、

- ・被害原因を分析
- ・対策技術等について研究開発

※これらの活動は、国土技術政策総合研究所と共同で行っています



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



2

地震被害調査・助言を行うCAESAR職員



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

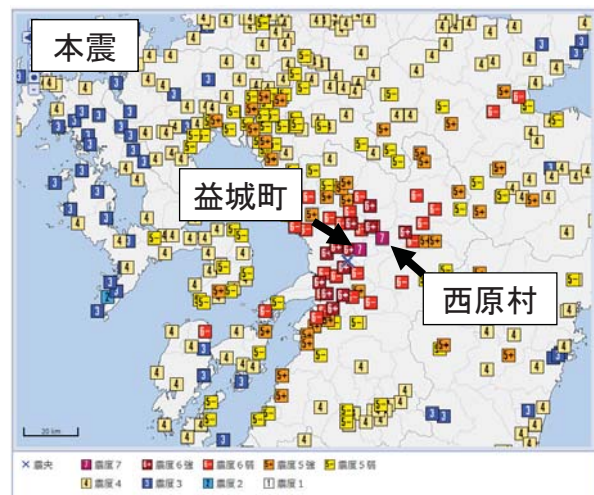
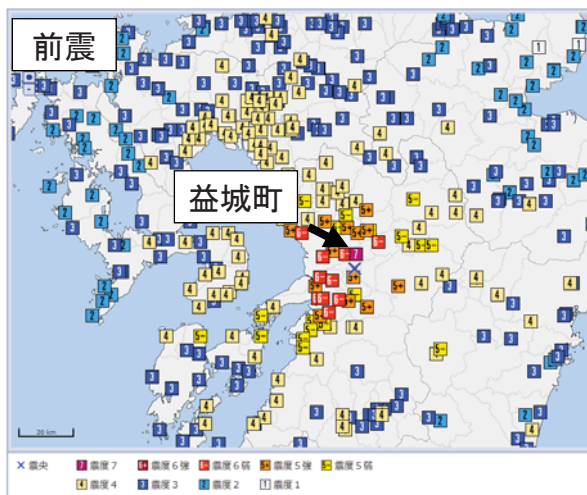


3

前震・本震による震度7の計測

- 前震(4月14日21時26分): 益城町
- 本震(4月16日 1時25分): 益城町、西原村

【参考】新潟県中越地震 (M6.8): 川口町(本震:震度7 → 同日余震(M6.5):震度6強)
東北地方太平洋沖地震 (M9.0): 築館(本震:震度7 → 4/7余震(M7.2):震度6強)
鉾田(本震:震度6強 → 同日余震(M7.6):震度6強)



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



4

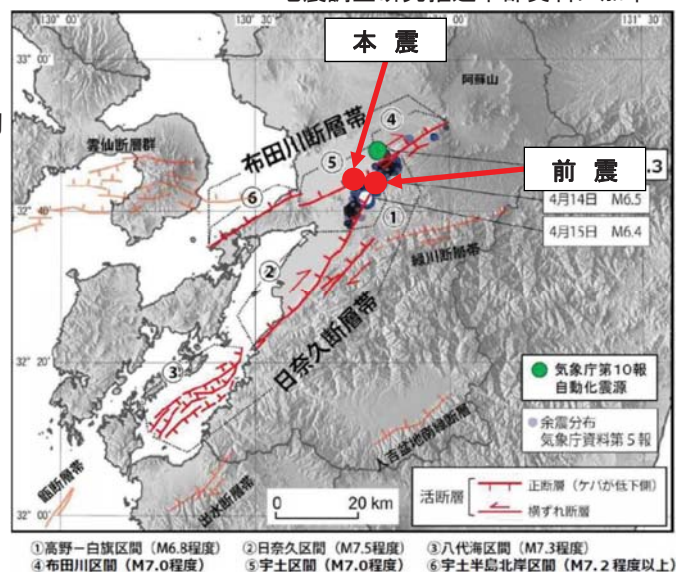
熊本地震の諸元等

地震調査研究推進本部資料に加筆

- 本震(4月16日 1時25分)
M7. 3、震源深さ12km
布田川断層帯(主に布田川区間)の活動

- 前震(4月14日21時26分)
M6. 5、震源深さ10km
日奈久断層帯(高野-白旗区間)の活動

- ・ 九州は正断層が多い地方。
- ・ 布田川断層帯、日奈久断層帯も右横ずれを伴う正断層。
- ・ 今回の地震は比較的右横ずれが卓越。

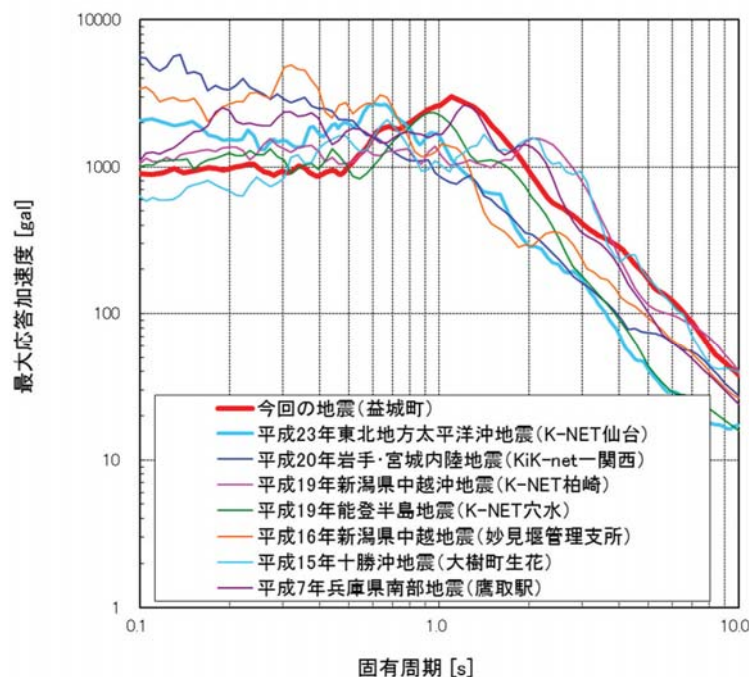


国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



5

近年の代表的な被害地震との比較

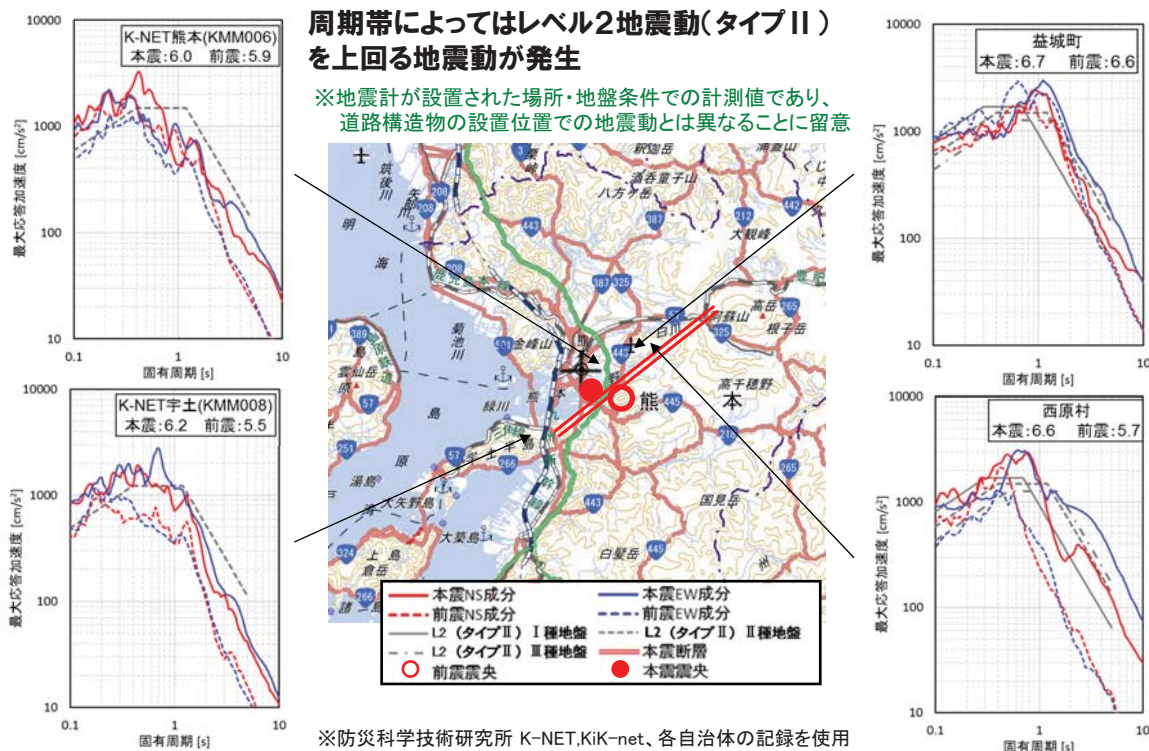


国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



6

代表的な地震動の加速度応答スペクトル



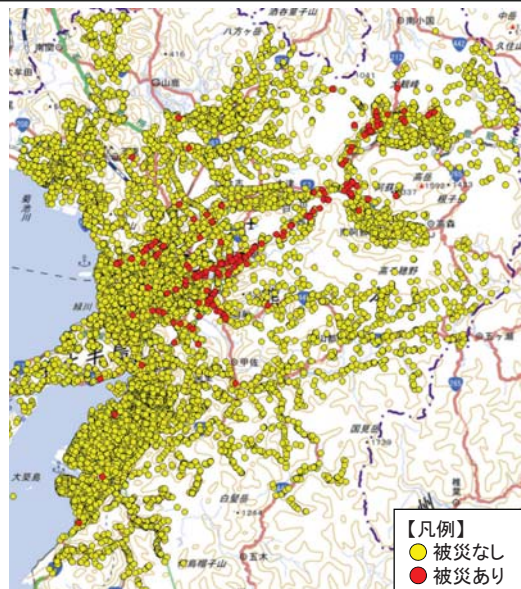
国立研究開発法人 土木研究所
 構造物メンテナンス研究センター
 CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



7

橋梁の被害の概要

- 熊本県内、大分県内の震度6弱以上を観測した地域における橋梁数は約15,700橋であり、このうち、軽微な損傷を含め、何らかの被災が生じた橋梁は182橋※¹
 (軽微な損傷には、橋梁取り付け部に生じた段差等、橋梁以外の損傷も含む)
- また、平成9年以降に建設された1,250橋のうち、何らかの被災が生じた橋は20橋(1.6%) ※¹
 ※¹ 地方公共団体が管理する橋梁の被災は国交省所管施設災害申請ベース(平成28年5月31日時点)



地図: 国土地理院地図



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



出典: 社会資本整備審議会道路分科会道路技術小委員会資料

道路橋示方書に規定される耐震性能と地震被害

設計地震動	A種の橋	B種の橋
レベル2地震動	地震による損傷が橋として致命的とされない性能 (耐震性能3)	地震による損傷が限定的なものに留まり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能 (耐震性能2)



近年の基準に基づき設計された橋について、設計基準上、許容されない損傷が生じていれば、**教訓を設計基準に反映**させることが必要

古い橋であっても、致命的な損傷が生じている場合には、**警鐘を鳴らす**ことが必要



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



9

本資料で説明する被災箇所位置図

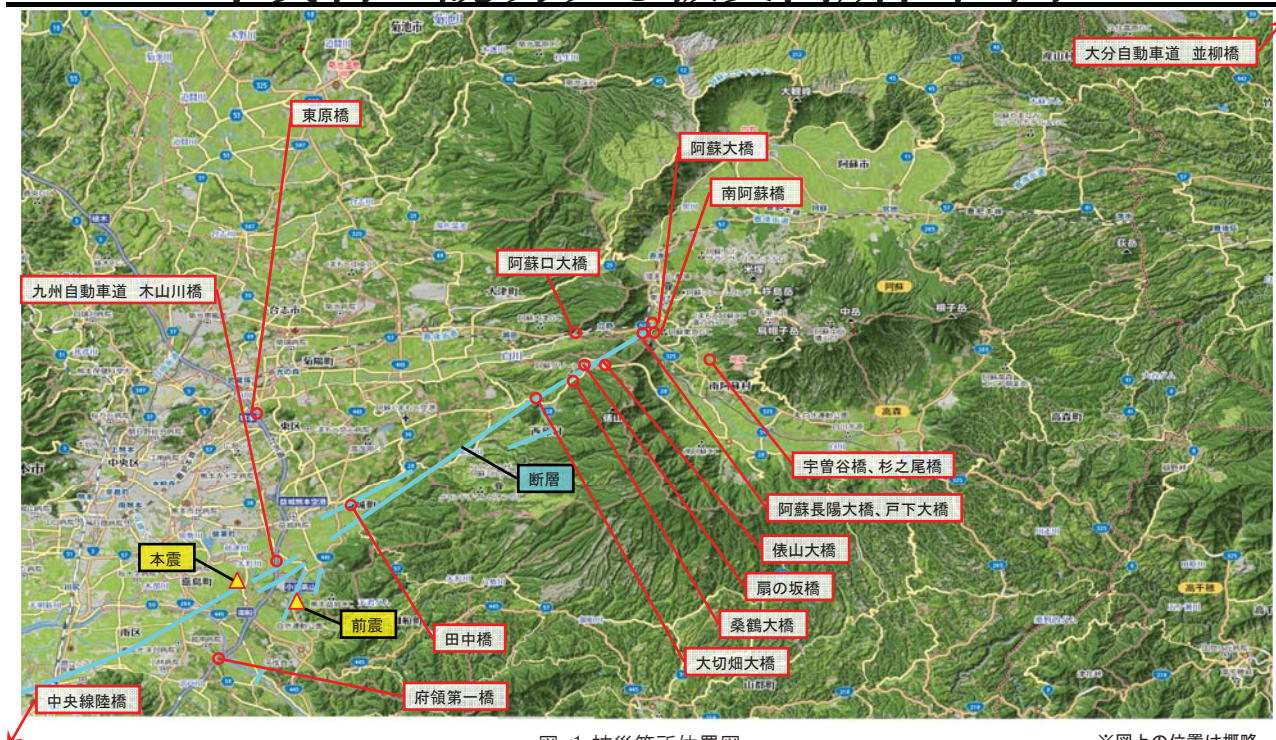


図-1 被災箇所位置図

※図上の位置は概略



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



10

損傷が致命的となった橋



国道325号 阿蘇大橋



県道小川嘉島線 府領第一橋



村道獄大道・吉岡線 宇曾谷橋



村道栃の木～立野線 戸下大橋



町道平田・小柳線 田中橋

センター
CAESAR for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



11

阿蘇大橋



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



12

阿蘇大橋

【全景】



写真-1 落橋前の状況 (google mapより)

架設竣工年: S46年
上部構造形式: 単純合成鈑桁, トラス逆ランガー,
3径間連続非合成鈑桁
下部構造形式: (橋台) 逆T式橋台
(橋脚) 壁式橋脚 (RC)
杭形式: 場所打ち, 直接基礎
橋長: 205.96m 径間数: 5径間



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



13

阿蘇大橋

■A1橋台

- ・パラペットが破壊し後ろ側に倒れ
- ・橋台本体の明らかな変位・傾斜は確認されず
- ・橋台下側(アーチアバット周辺)は岩が露出



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



14

阿蘇大橋

■A2橋台

- ・橋台を境に地山が崩落
- ・舗装と橋台に大きな段差がみられない



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



15

阿蘇大橋

- 落橋原因は特定できないが、斜面崩壊の影響、地盤変位の影響があったものと推定
- 斜面崩壊の影響を受けにくい箇所を選定
- 地盤変位があっても落橋しにくい橋種を選定

国道325号阿蘇大橋架け替え位置

国土交通省



村道柵の木～立野線
阿蘇長陽大橋

出典:国土交通省記者発表資料



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



16

戸下大橋



写真-1 被災前

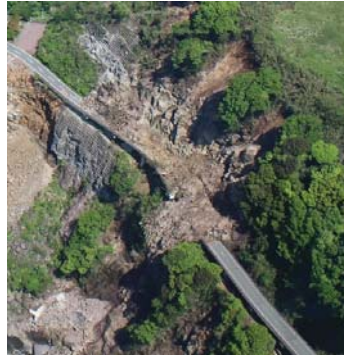


写真-2 斜面崩壊と橋梁の流出

- ・路線名: 村道栃の木～立野線
- ・橋長: 380.8m
- ・径間数: 17径間+片栈道
- ・架設年次: 1995年 (H7)
- ・橋梁形式: PCT桁橋など



写真-3 斜面崩壊と橋梁の流出



写真-4 橋脚の流出



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



17

府領第一橋



写真-1 落橋の状況

- ・路線名: 県道小川嘉島線
- ・橋長: 61.3m
- ・径間数: 3径間
- ・橋梁形式: RC中空床版橋
- ・架設年次: 1974年 (S49)



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



18

府領第一橋



写真-2 A1橋台の損傷



写真-3 斜角側橋座部に
に残された擦過痕



写真-4 ロッキング橋脚の
脱落・転倒



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



19

府領第一橋



写真-1 ピボット支承(上沓)

■ピボット支承には被災前に、劣化や損傷はなかったものとみられる。

■支承部アンカーボルトや取り付けボルトにも異常は確認されず、摺動部には発錆もほぼ確認できない。



写真-2 ピボット支承(下沓)



写真-3 ピボット支承(下沓拡大)



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



20

府領第一橋

- 特殊な橋脚(ロッキング橋脚)を有する橋
 - ・ 上下端がヒンジ構造の複数の柱で構成
 - ・ 単独では自立できない
 - ・ 水平方向の上部構造慣性力を支持することができない

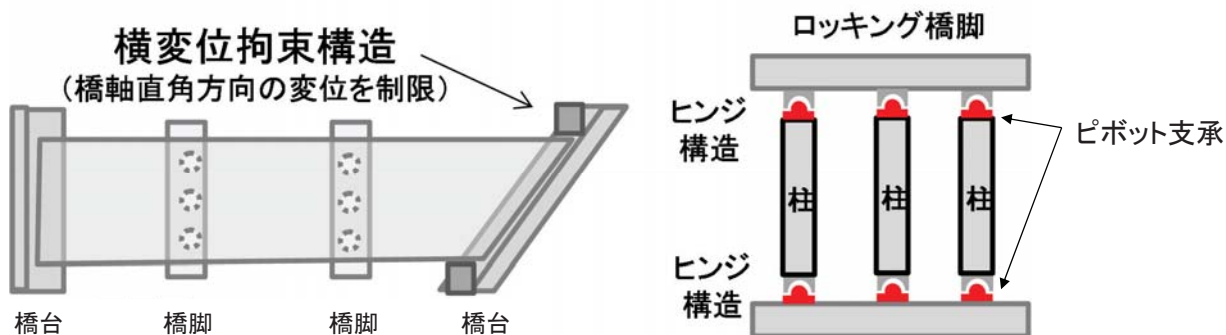


図-1 府領第一橋の構造



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



出典: 社会資本整備審議会道路
分科会道路技術小委員会資料

21

府領第一橋

- 耐震設計基準に準拠して橋台部に横変位拘束構造が追加設置されていたが、大きな地震力により横変位拘束構造が破壊され、上部構造の水平変位を制限することができなくなり、さらに、上部構造の水平変位に伴い、中間支点の鉛直支持を失い落橋に至ったと考えられる。

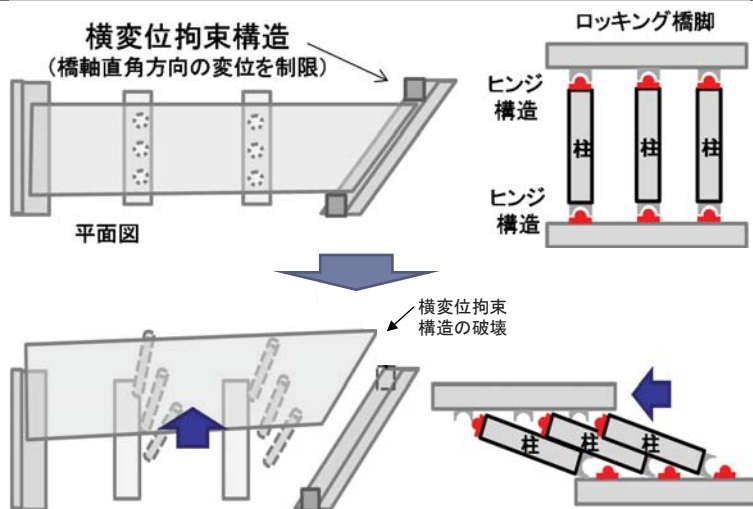


図-1 府領第一橋の想定落橋メカニズム



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



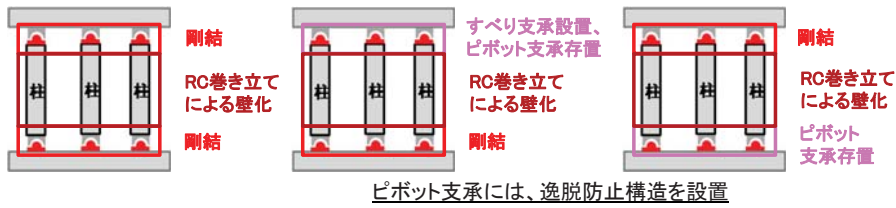
社会資本整備審議会道路分科
会道路技術小委員会資料を編集

22

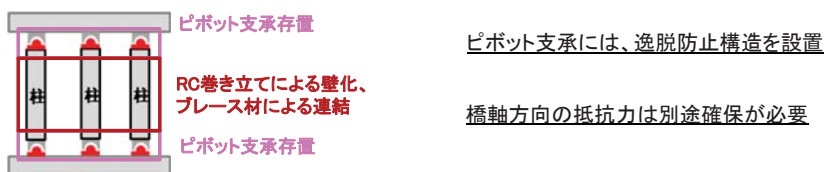
ロッキング橋脚の耐震補強の考え方

○ロッキング橋脚の安定性を確保するための構造とする

① 単独で自立可能な構造(完全自立構造)を基本とする



② 施工上の制約がある場合等には、橋軸方向には単独で自立できないが、橋軸直角方向には自立する構造(半自立構造)とする



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



社会資本整備審議会道路分科
会道路技術小委員会資料を編集

23

田中橋



- ・路線名:町道平田・小柳線
- ・架設年次:1930年(S5)
- ・橋長:28.1m
- ・径間数:3径間



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



24

田中橋

- 左岸側橋台：石積橋台の崩壊
- 右岸側橋台：桁が押し込まれた形跡
- 橋脚が破壊：比較的大きなコンクリートのブロックに分離。



写真-1 左岸側橋台



写真-2 右岸側橋台上部



写真-3 左岸側橋脚



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



25

宇曽谷橋

・路線名: 村道獄大道・吉岡線

・橋長: 11.5m

・径間数: 1径間



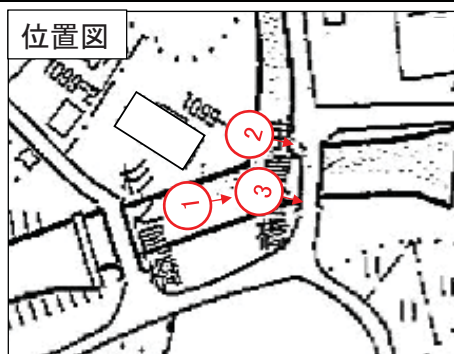
国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



H28.7.12撮影

26

宇曽谷橋



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



27

宇曽谷橋

ワトパノ 熊本 阿蘇・小国町 大分 九重町など携帯電話の利用困難

熊本など震度6相次ぐ

2:02

山王谷川

熊本～大分 地震相次ぐ
激しい揺れ 今後も警戒

宇曽谷橋

杉之尾橋



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



※NHKより引用

28

宇曽谷橋



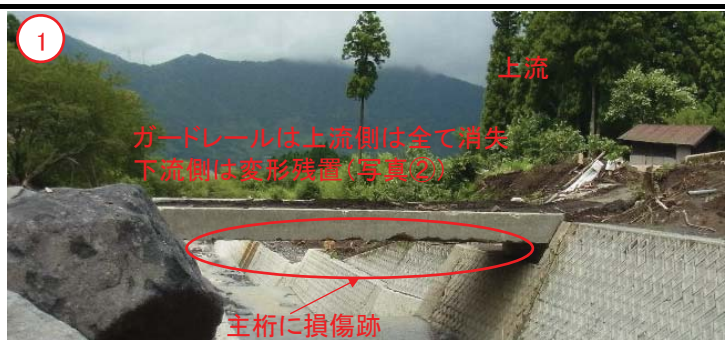
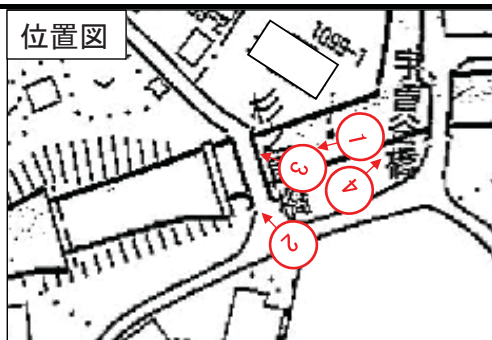
国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



H28.5.3撮影

29

杉之尾橋



宇曽谷橋 橋台



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



30

耐震補強の効果の事例

【耐震補強の効果があった事例】 (緊急輸送道路としての機能を速やかに回復した事例)



写真-1 国道3号 跨線部

耐震補強の実施により、
損傷は限定的

段落し部の損傷

【耐震補強が未実施で 被害を受けた事例】



写真-5 市道(1-3)中央線・中央線陸橋



写真-2 阿蘇口大橋
(国道57号)



写真-3 アンカーバー
のイメージ



写真-4 支承の破損の状況

支承が損傷したものの、ア
ンカーバーによる補強によ
り、損傷は軽度



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



社会資本整備審議会道路分科
会道路技術小委員会資料を編集

31

取付部の損傷



写真1 橋台の損傷



写真2 橋台の損傷



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



33

取付部の損傷



写真1 アンカーボルト定着部の損傷



写真2 ダンパー取付部の損傷



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



33

特殊橋の被害



写真-1 桑鶴大橋の全景 (A1側から)

- ・路線名: 県道熊本高森線
- ・径間数: 2径間
- ・橋長: 160.0m
- ・橋梁形式: 斜張橋
- ・架設年次: 1997年 (H9)



写真-2 A2橋台支承、変位制限構造、
パラペットの損傷



写真-3 A2橋台伸縮装置の損傷と段差



写真-4 ケーブルの損傷



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



34

特殊橋の被害

- トラス橋やアーチ橋のような特殊橋においては、支承部の損傷や端柱基部のボルトの破損等が生じた事例があった。
- これらに対しては、個々に補強対策を検討し、必要に応じて対策を講じることが必要。

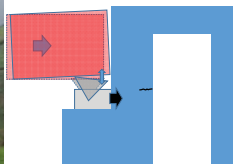


写真-1 取付けボルトの抜け出し、橋台背面の損傷(並柳橋)

写真-2 座屈拘束ブレースが取り付けられた端柱基部のボルトの破損(南阿蘇橋)



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



35

俵山大橋



写真-1 A1橋台側からの全景

- ・路 線 名：県道熊本高森線
- ・径 間 数：3 径間
- ・橋 長：140.0m
- ・橋梁形式：鋼鈑桁橋
- ・架設年次：2001年(H13)



写真-2 A1-P1間での上部構造の屈折



写真-3 A1橋台の基礎の露出



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



36

俵山大橋



写真-1 A1橋台と桁の衝突、
支承の残留変形



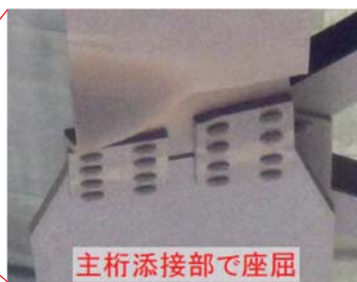
写真-2 A2橋台パラペットの押し込まれ、
支承部の破壊



写真-4 ゴム支承の破壊
(P2橋脚)



写真-3 A1-P1間での主桁の座屈

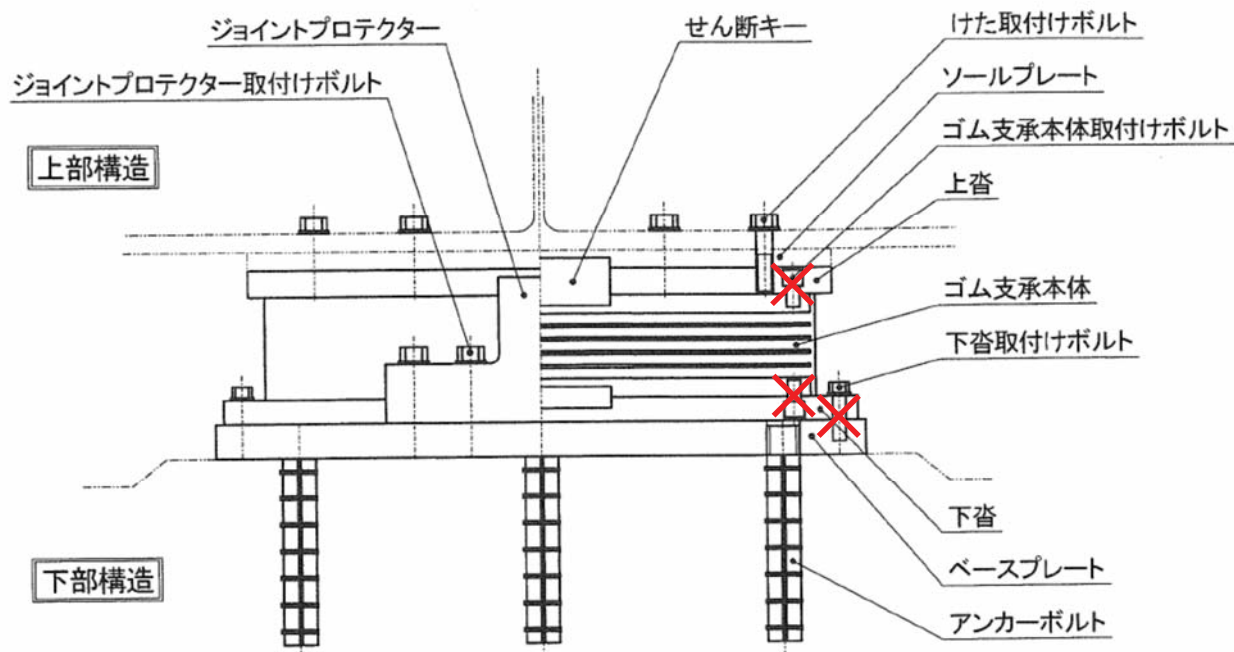


国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



37

俵山大橋のP2、A2支承の破壊箇所



鋼橋用支承の構造例



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

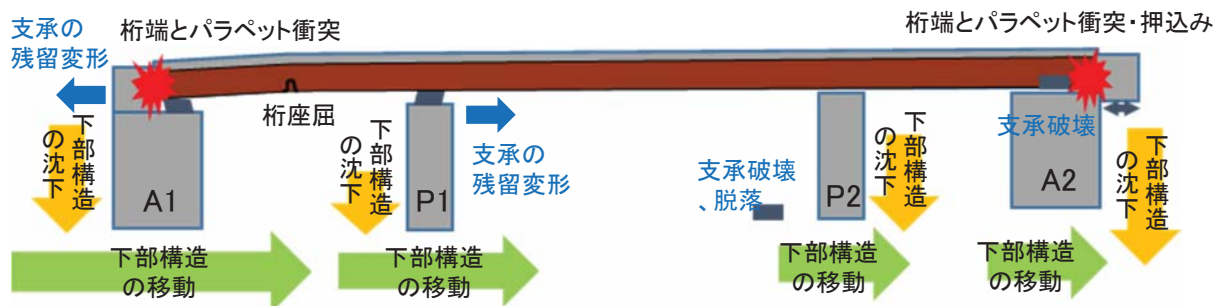


ゴム支承の鋼材部の設計標準
(案): (社)日本支承協会、ゴム支
承協会 に加筆

38

俵山大橋の被災要因の推定

- 地盤の変状により、各下部構造が水平方向に移動し、鉛直方向に沈下。
- A2側パラペットは背面側に押し込まれて損傷。
- 支承部に水平力及び引張力が作用し、支承の取付ボルトで破壊。
- A1-P1間の桁フランジ断面変化部で座屈。



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



39

扇の坂橋



写真-1 扇の坂橋

- ・路線名：県道熊本高森線
- ・径間数：3径間
- ・橋長：128.0m
- ・橋梁形式：鋼鈑桁橋
- ・架設年次：2001年(H13)



写真-3 A1橋台ゴム支承上
の下フランジの変形



写真-4 A1橋台の横変
位拘束構造の損傷



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



40

扇の坂橋



写真-1 A1橋台ゴム支承の残留変形と
ジョイントプロテクターの損傷



写真-2 A2橋台ゴム支承の残留変形



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



41

扇の坂橋の被災要因の推定

- 地盤の変状により、各下部構造は水平方向に移動。
- ゴム支承に最大で弾性範囲を超える残留変形。
- ゴム支承に生じた残留変位の方向にずれ。
- 横変位拘束構造、ジョイントプロテクター、パラペットの損傷状況から、ゴム支承には設計変位を超える応答は生じていないと考えられる。

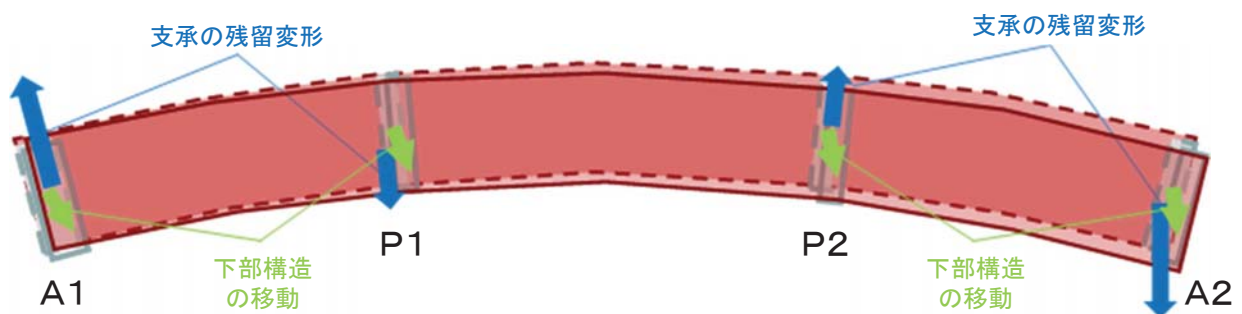


図-1 各下部構造、上部構造の移動方向(破線:地震前、実線:地震後)



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



42

大切畑大橋



写真-1 大切畑大橋全景

- ・路線名：県道熊本高森線
- ・径間数：5径間
- ・橋長：265.4m
- ・橋梁形式：鋼鈑桁橋
- ・架設年次：2001年(H13)



写真-2 大切畑大橋(A1側から)



写真-3 桁の残留変位



写真-4 落橋防止ケーブルの破断



写真-5 P2橋脚のひび割れ



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



43

大切畑大橋の支承の損傷

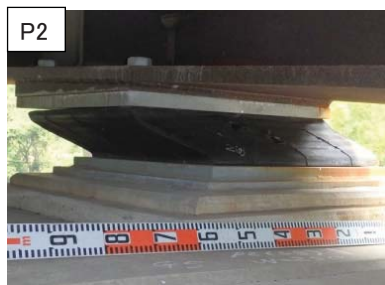


写真-1 ゴム支承の損傷状態

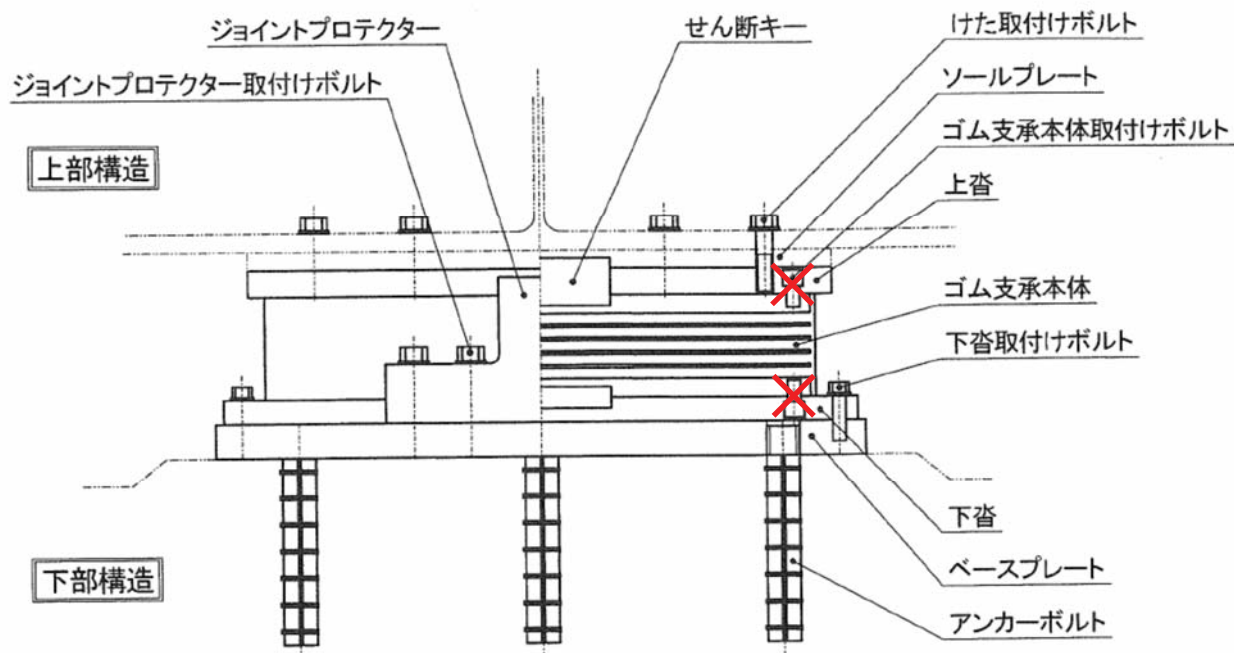


国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



44

大切畑大橋の支承の破壊箇所 (P1,P3,P4)



鋼橋用支承の構造例



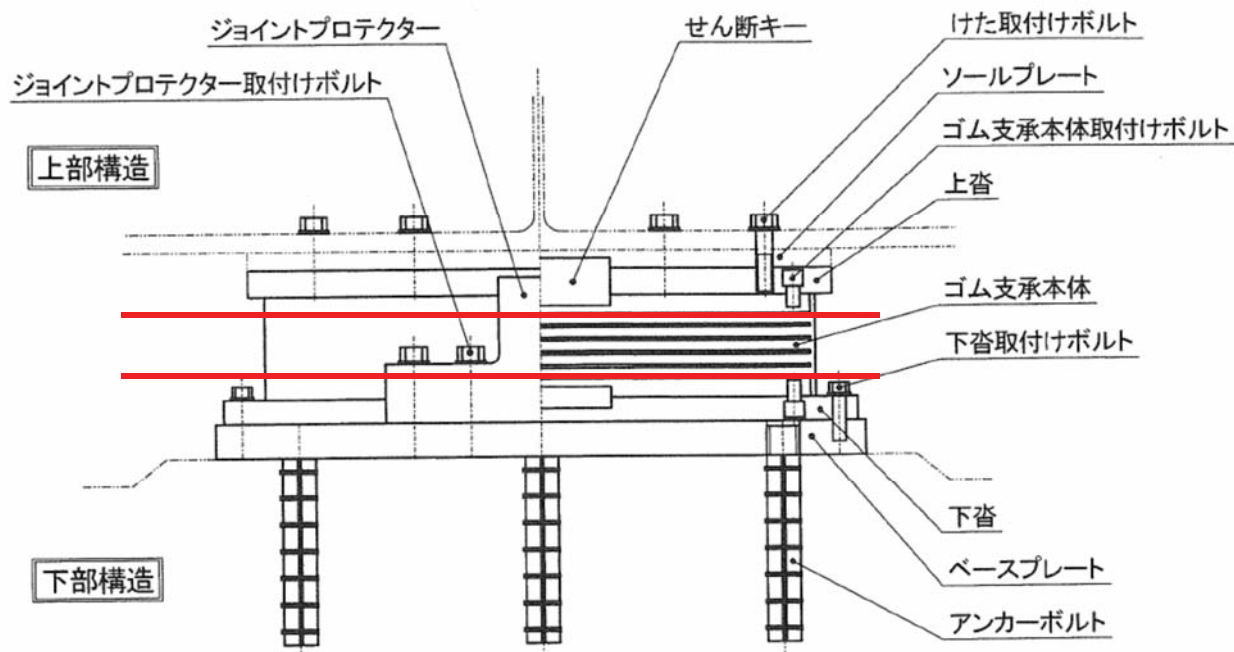
国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



ゴム支承の鋼材部の設計標準
(案):(社)日本支承協会、ゴム支
承協会 に加筆

45

大切畑大橋の支承の破壊箇所 (A1,A2)



鋼橋用支承の構造例



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(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

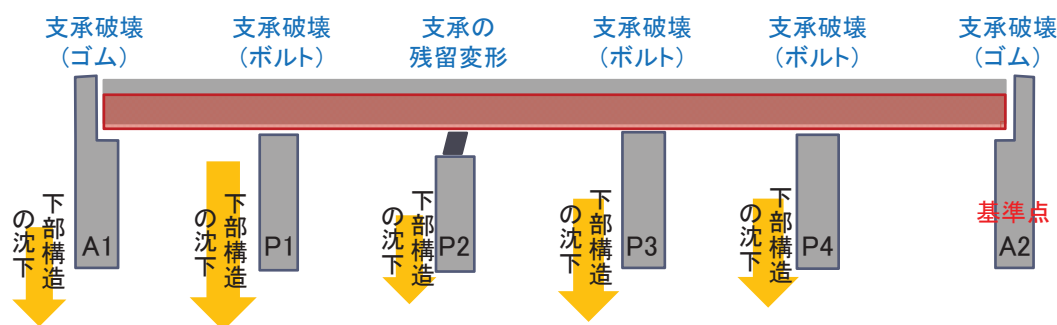


ゴム支承の鋼材部の設計標準
(案):(社)日本支承協会、ゴム支
承協会 に加筆

46

大切畑大橋の被災要因の推定

- 地盤の変状により、各下部構造が水平方向に移動し、鉛直方向に沈下。
- 下部構造の位置によってゴム支承の破壊形態に以下の特徴
 - ・A1、A2橋台（G1～G5桁全て）：ゴム層で破断
 - ・P1、P3、P4橋脚（G1～G5桁全て）：セットボルト部で破断
 - ・P2橋脚（G1～G5桁全て）：ゴム層に亀裂や破断、あるいは、残留変位が発生
- 地震動および地盤変状（水平及び鉛直方向）両方の影響



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



47

地盤変状による被災

- 大規模な斜面崩壊による落橋事例、地盤変状による橋台の沈下等により供用性を喪失した事例も存在。必要に応じて、現行基準の配慮事項に地質・地盤調査、橋の構造形式、設置位置等の配慮事項を追記。



【参考】配慮事項の例

調査関連

斜面変状の発生の有無・規模・範囲を推定するための山地部における地盤調査に関する記載の充実

下部構造の設置位置、形式・形状

斜面変状の種類・範囲とそれに応じた下部構造の設置位置、形式・形状選定の考え方の具体例の記載



写真-1 橋梁周辺での大規模な斜面崩壊(上)
A2橋台側桁端部の損傷(下)
(村道栃の木～立野線・阿蘇長陽大橋)

写真-2 橋台周辺での地盤
変状による橋台の沈下
(県道熊本高森線・俵山大橋)



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



出典: 社会資本整備審議会道路
分科会道路技術小委員会資料

48

まとめ

- 斜面変状や断層変位により、落橋した事例や橋としての機能の回復が速やかに行えなかった事例
- 特殊橋梁の落橋、橋としての機能の回復が速やかに行えなかった事例
- 支承部の損傷、支承取り付け位置の桁の損傷
- 取り付けられる部位の損傷



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



49

CAESARの行う地震関連研究課題

- 超過外力に対する道路橋のレジリエンス技術に関する研究
- 地盤・基礎を含めた橋全体系の耐震性能評価技術及び耐震補強技術
- 既設部材への影響軽減等に配慮した耐震補強技術に関する研究
- ゴム支承の耐久性に係る品質確保のための評価手法に関する研究
- 液状化地盤における橋梁基礎の耐震性能評価方法と耐震対策技術の開発 (SIP)



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(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



50

道路構造物の維持管理の高度化・効率化に向けた取り組み

第9回CAESAR講演会

2016年8月31日



国土技術政策総合研究所
道路構造物研究部長 木村嘉富

道路構造物担当者（国総研・土研）

道路構造物		国総研	土 研
附属物			内容により、関係上席
橋梁	上部工	橋梁研究室 【星隈順一】	上席（予測評価技術・上部構造担当） 【玉越隆史】 上席（検査技術・コンクリート構造物担当） 【石田雅博】
	下部工 基礎		上席（管理システム・下部構造担当） 【七澤利明】 上席（補修技術・耐震技術担当） 【大住道生】
トンネル		構造・基礎研究室 【間瀬利明】	道路技術研究G トンネルT【砂金伸治】
土工構 造物	擁壁		施工技術T【宮武裕昭】
	シェッド		寒地構造T*【西弘明】
	大型カルバート		土質・振動T【佐々木哲也】
	カルバート		
	盛土	道路基盤研究室 【久保和幸】	施工技術T【宮武裕昭】
	軟弱地盤		地質T【佐々木靖人】
舗装			道路技術研究G 舗装T【藪 雅行】

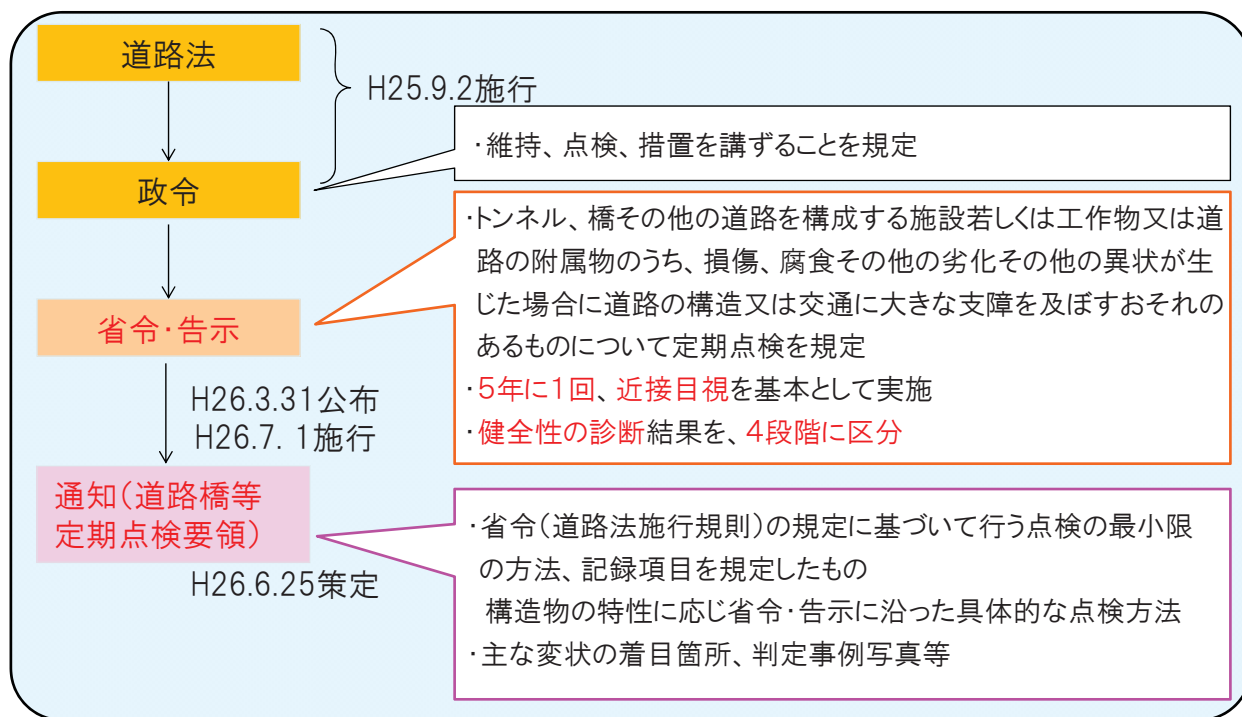


国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

*寒地土木研究所
寒地基礎技術研究G

維持管理における技術基準の体系



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

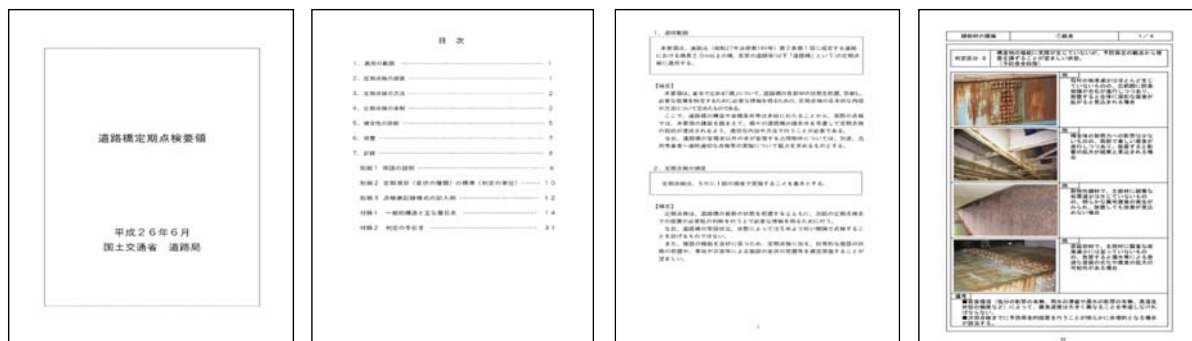
3

定期点検要領（平成26年6月）

- ① 道路橋 ② 道路トンネル ③ シェッド・大型カルバート等
④ 横断歩道橋 ⑤ 門型標識等

道路橋定期点検要領

- 道路法施行規則第4条の5の2の規定に基づいて行う定期点検について、最低限行われるべき事項と考えられる方法、記録項目を具体的に記したものを。
- 各項目について、具体の考え方や留意点を補足。
- 「一般的構造と主な着眼点」、「判定の手引き」を付録として添付。



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

4

点検の実施状況：道路メンテナンス年報

道路メンテナンス年報

国土交通省 道路局
平成 27 年 11 月

3. 点検実施状況（平成 26 年度）

(1) 全国の橋梁・トンネル・道路附属物等

- 平成 26 年度において、橋梁は全国約 72 万橋のうち、約 6 万橋の点検を実施しました。各管理者の点検実施数は、国土交通省 5,844 橋、高速道路会社 3,636 橋、都道府県・政令市等 21,708 橋、市区町村 32,451 橋となりました。
- なお、点検実施率は、全体で約 9%。管理別では、国土交通省 約 15%、高速道路会社 約 16%、都道府県・政令市等 約 12%、市区町村 約 7%となっています。
- その他、トンネル及び道路附属物等は、それぞれ約 1,400 箇所、約 6,400 施設で点検を実施し、約 13%、約 16%の点検実施率となっています。

○ 橋梁

管理者	管理施設数	点検実施数	点検実施率
国土交通省	37,766	5,844	15%
高速道路会社	23,077	3,636	16%
都道府県・政令市等	182,297	21,708	12%
市区町村	480,355	32,451	7%
合計	723,495	63,719	9%

(単位: 橋)

○ トンネル

管理者	管理施設数	点検実施数	点検実施率
国土交通省	1,459	323	22%
高速道路会社	1,889	337	18%
都道府県・政令市等	5,271	502	10%
市区町村	2,259	280	12%
合計	10,878	1,442	13%

(単位: 箇所)

○ 道路附属物等

管理者	管理施設数	点検実施数	点検実施率
国土交通省	11,934	1,381	12%
高速道路会社	11,643	2,320	20%
都道府県・政令市等	13,598	2,122	16%
市区町村	2,700	536	20%
合計	39,875	6,359	16%

(単位: 施設)

(4) 市区町村

① 橋梁

- 市区町村では、管理する橋梁 480,355 橋のうち、32,451 橋について点検を実施し、その結果は、判定区分Ⅰ 11,481 橋、Ⅱ 15,840 橋、Ⅲ 5,029 橋、Ⅳ 101 橋となりました。
- なお、判定区分のそれぞれの割合は、Ⅰ 35%、Ⅱ 49%、Ⅲ 15%、Ⅳ 0.3%となります。
- 判定区分Ⅲ（早期に措置を講ずべき状態）については、建設経過年数が長くなる傾向と異なる傾向があり、建設後 40 年を過ぎると、20%超となっています。
- 緊急措置段階である判定区分Ⅳの橋梁については、速やかに緊急措置を実施したところです。（16 頁参照）

○ 判定区分

0.3%

(101)

15%

49%

35%

11,481

15,840

5,029

101

32,451

480,355

平成 26 年度

前年度

10 年前

20 年前

30 年前

40 年前

50 年前

60 年前

70 年前

80 年前

90 年前

100 年前

110 年前

120 年前

130 年前

140 年前

150 年前

160 年前

170 年前

180 年前

190 年前

200 年前

210 年前

220 年前

230 年前

240 年前

250 年前

260 年前

270 年前

280 年前

290 年前

300 年前

310 年前

320 年前

330 年前

340 年前

350 年前

360 年前

370 年前

380 年前

390 年前

400 年前

410 年前

420 年前

430 年前

440 年前

450 年前

460 年前

470 年前

480 年前

490 年前

500 年前

510 年前

520 年前

530 年前

540 年前

550 年前

560 年前

570 年前

580 年前

590 年前

600 年前

610 年前

620 年前

630 年前

640 年前

650 年前

660 年前

670 年前

680 年前

690 年前

700 年前

710 年前

720 年前

730 年前

740 年前

750 年前

760 年前

770 年前

780 年前

790 年前

800 年前

810 年前

820 年前

830 年前

840 年前

850 年前

860 年前

870 年前

880 年前

890 年前

900 年前

910 年前

920 年前

930 年前

940 年前

950 年前

960 年前

970 年前

980 年前

990 年前

1000 年前

1010 年前

1020 年前

1030 年前

1040 年前

1050 年前

1060 年前

1070 年前

1080 年前

1090 年前

1100 年前

1110 年前

1120 年前

1130 年前

1140 年前

1150 年前

1160 年前

1170 年前

1180 年前

1190 年前

1200 年前

1210 年前

1220 年前

1230 年前

1240 年前

1250 年前

1260 年前

1270 年前

1280 年前

1290 年前

1300 年前

1310 年前

1320 年前

1330 年前

1340 年前

1350 年前

1360 年前

1370 年前

1380 年前

1390 年前

1400 年前

1410 年前

1420 年前

1430 年前

1440 年前

1450 年前

1460 年前

1470 年前

1480 年前

1490 年前

1500 年前

1510 年前

1520 年前

1530 年前

1540 年前

1550 年前

1560 年前

1570 年前

1580 年前

1590 年前

1600 年前

1610 年前

1620 年前

1630 年前

1640 年前

1650 年前

1660 年前

1670 年前

1680 年前

1690 年前

1700 年前

1710 年前

1720 年前

1730 年前

1740 年前

1750 年前

1760 年前

1770 年前

1780 年前

1790 年前

1800 年前

1810 年前

1820 年前

1830 年前

1840 年前

1850 年前

1860 年前

1870 年前

1880 年前

1890 年前

1900 年前

1910 年前

1920 年前

1930 年前

1940 年前

1950 年前

1960 年前

1970 年前

1980 年前

1990 年前

2000 年前

2010 年前

2020 年前

2030 年前

2040 年前

2050 年前

2060 年前

2070 年前

2080 年前

2090 年前

2100 年前

2110 年前

2120 年前

2130 年前

2140 年前

2150 年前

2160 年前

2170 年前

2180 年前

2190 年前

2200 年前

2210 年前

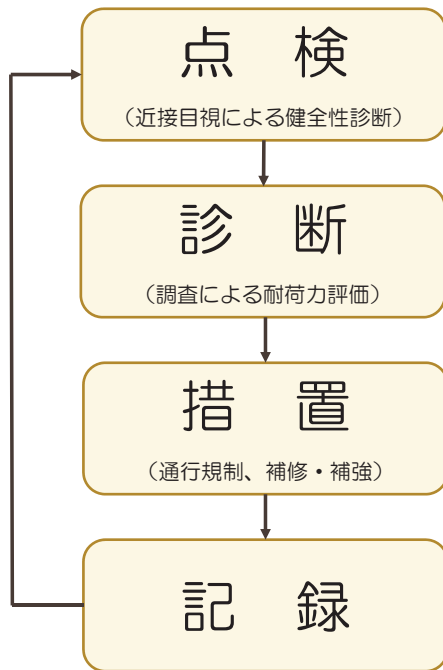
2220 年前

2230 年前

2240 年前

道路橋のメンテナンスサイクルと取組み

【メンテナンスの流れ】



【取組み・必要な技術】

- ・点検の方法: 定期点検要領
- ・健全性の診断: 判定の手引き、損傷事例写真集
- ・技術者: 研修、民間資格認定
- ・点検効率化のための技術開発・活用
- ・損傷状況に応じた耐荷力評価法
- ・部材内部の損傷状況調査法: 非破壊検査技術
- ・耐荷力照査方法
(材料の実強度や交通実態を反映できる照査法)
- ・補修・補強の考え方(荷重分担、安全余裕度)
- ・補修・補強実施時の設計法(技術基準)
- ・記録様式: 定期点検要領
- ・データベース
- ・点検結果の分析



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

道路橋の耐荷力照査、補修補強設計の流れ

補修・補強設計時の課題

- ・補修・補強範囲の絞り込み(部材内部の損傷状況の把握)
- ・材料の実強度や交通実態に応じた設計法

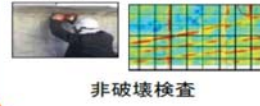
損傷橋梁



実強度の確認



損傷状況の調査



研究1)

研究2)

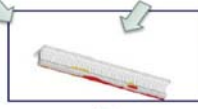
照査用荷重の設定

交通実態や供用期間等
に応じた設計自動車荷重
の設定



損傷を考慮した 断面耐力の評価

FEM等による
耐力評価



補強の考え方



- ・荷重分担
- ・必要安全余裕度
等

補修・補強設計法

$$\text{発生断面力} < \text{現有断面耐力} + \text{補強による耐力増加}$$

(部分係数設計法)

材料の実強度や交通実態等を反映できる設計法



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

交通実態等に応じた照査用荷重の検討 ～ 部分係数設計法の導入 ～

新設構造物の設計

○ 現在(許容応力度設計法)

標準的な構造・材料を前提に、荷重や調査・施工管理によらず、一律の安全余裕度を設定。

$$\frac{(\text{荷重1}) + (\text{荷重2}) + \dots}{(\text{荷重組合せによる割増係数})} < \frac{(\text{降伏応力度})}{(\text{安全率})}$$

○ 今年度改定予定(部分係数設計法)

多様な構造・材料を活用できるよう、荷重特性や構造・材料の信頼性、解析精度等に応じて複数の安全係数を導入

$$(\text{係数1}) \times (\text{荷重1}) + (\text{係数2}) \times (\text{荷重2}) + \dots < \frac{(\text{限界状態})}{(\text{係数1}) \times (\text{係数2}) \times \dots}$$

・100年に一度の断面力を与える荷重
・交通状況は2, 3種類

・標準的な施工法による強度のばらつき
・解析、調査精度に応じた係数

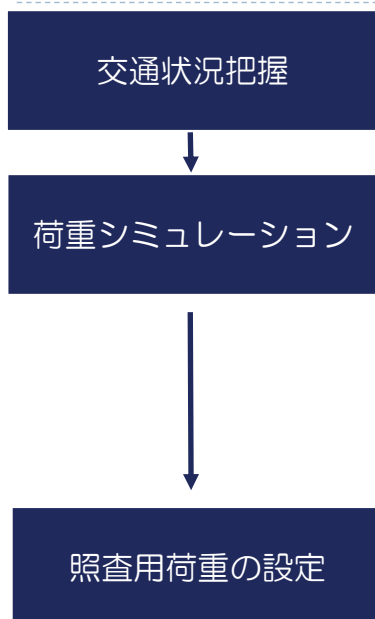
既設構造物への適用
(部分係数設計法)

・供用年数、交通実態に応じた照査用荷重の設定

・実構造物で確認した材料強度の活用

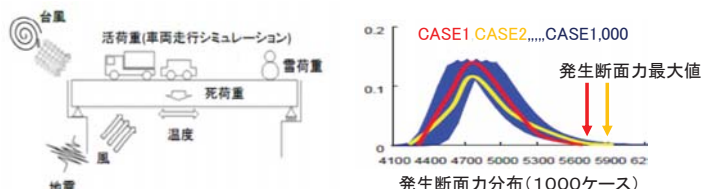


交通実態等に応じた照査用荷重の検討 ～ 荷重シミュレーションによる検討 ～

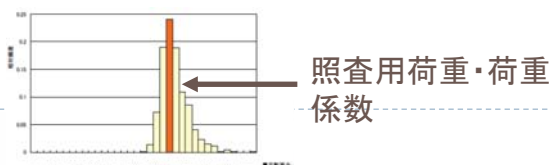


・大型車交通量、車種別交通状況

・実測した交通状況に基づき、各荷重を変動させて、橋に載荷
(荷重変動パターン1,000CASE)
・設計供用期間(100年、25年等)における、荷重作用時の橋梁各部材の断面力を算定

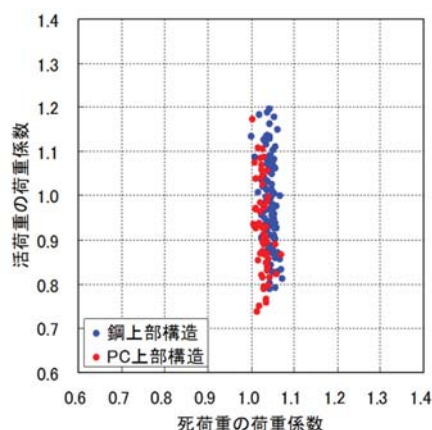


・各ケースにおける設計供用期間(100年、25年等)における断面力の最大値を集計
・最大値分布の平均値の断面力を与える荷重・荷重係数を設定



交通実態等に応じた照査用荷重の検討 ～ 荷重係数の検討結果例 ～

死荷重と活荷重に対する荷重係数



交通流の特性や設計供用期間による活荷重の荷重係数の変化

		大型車混入率		
		50%	30%	10%
設計供用期間	100年	1.12	0.99	0.61
	25年		0.93	
	5年		0.83	

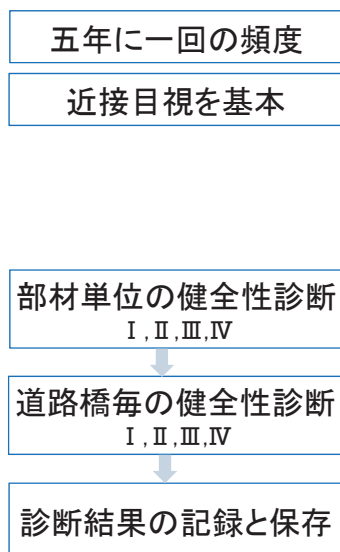


国総研

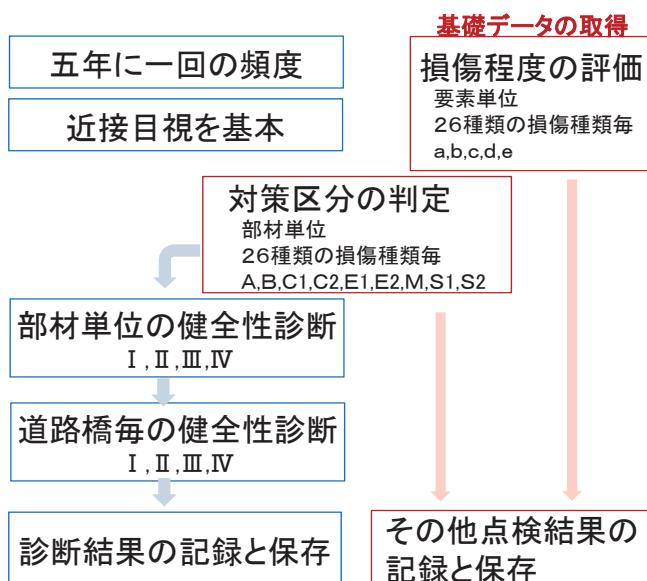
国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

道路橋の定期点検：法に基づく点検と直轄点検

道路橋定期点検要領 (全道路橋)



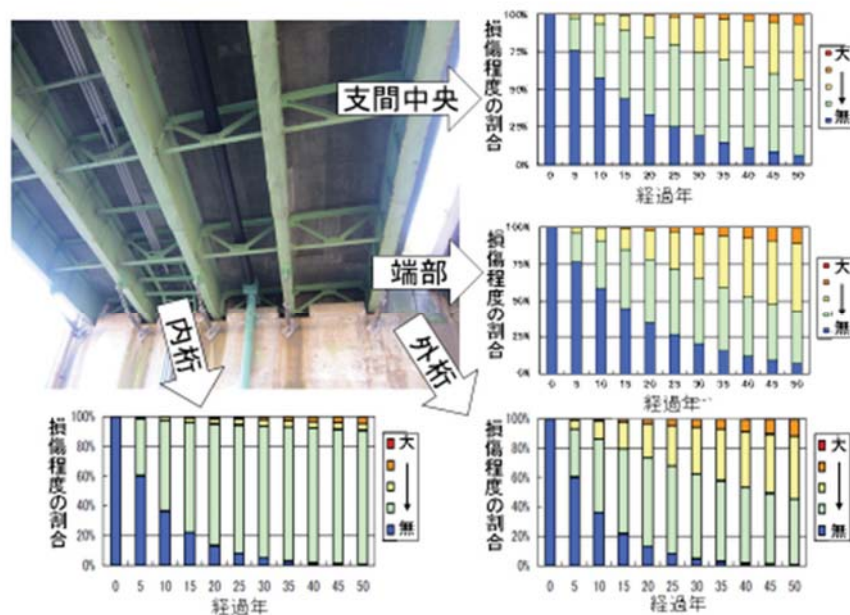
橋梁定期点検要領(直轄管理橋)



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

道路橋の定期点検の分析例



定期点検結果から得られる状態遷移確率の例

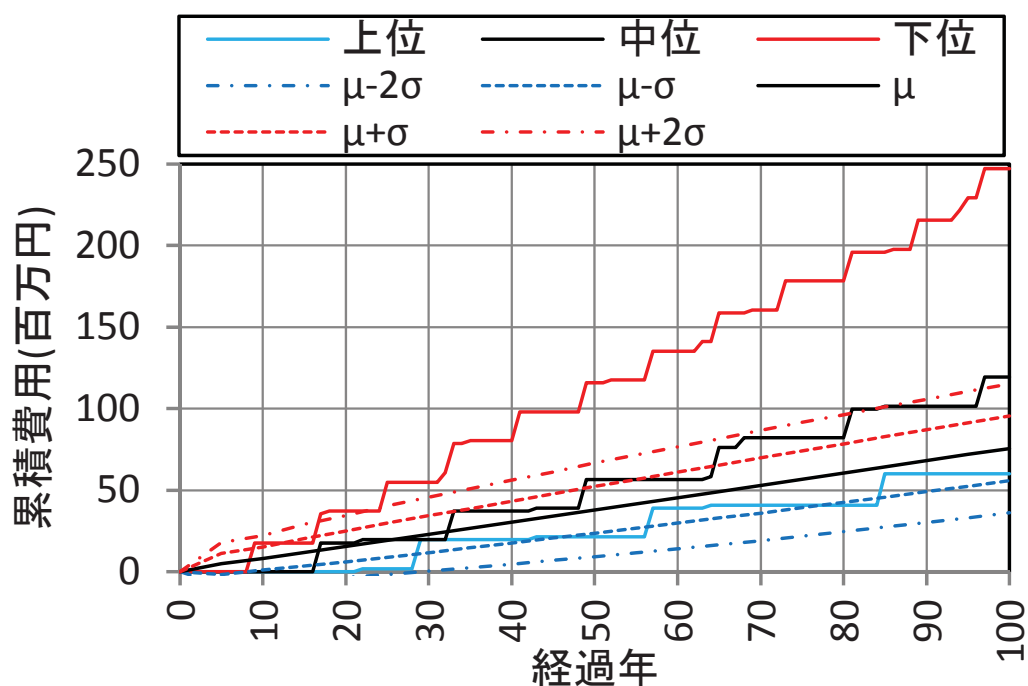


国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

15

LCC算定事例（鋼橋）



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

16

道路橋の耐久性向上のための構造細目や仕様

新たに求められる構造細目や仕様の例

桁下面の狭隘部



点検性

付属物の設置位置

サイドブロックの亀裂



維持管理性

更新可能な構造

鋼箱桁内部の滞水、および腐食



耐久性

水抜き孔の大きさ、数、箇所

構造細目や仕様を整理、標準化することで耐久性の向上をはかることができる。

道路橋の耐久性向上のための構造細目や仕様に関する共同研究

(建コン協、橋建協、PC建協)

1. 道路橋定期点検データに基づく構造細目や仕様へのフィードバック事項に関する検討



2. 道路橋（鋼・コンクリート）の新たに望まれる構造細目や仕様に関する検討



構造細目や仕様の確立

道路橋の設計基準へ反映



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

17

トンネル

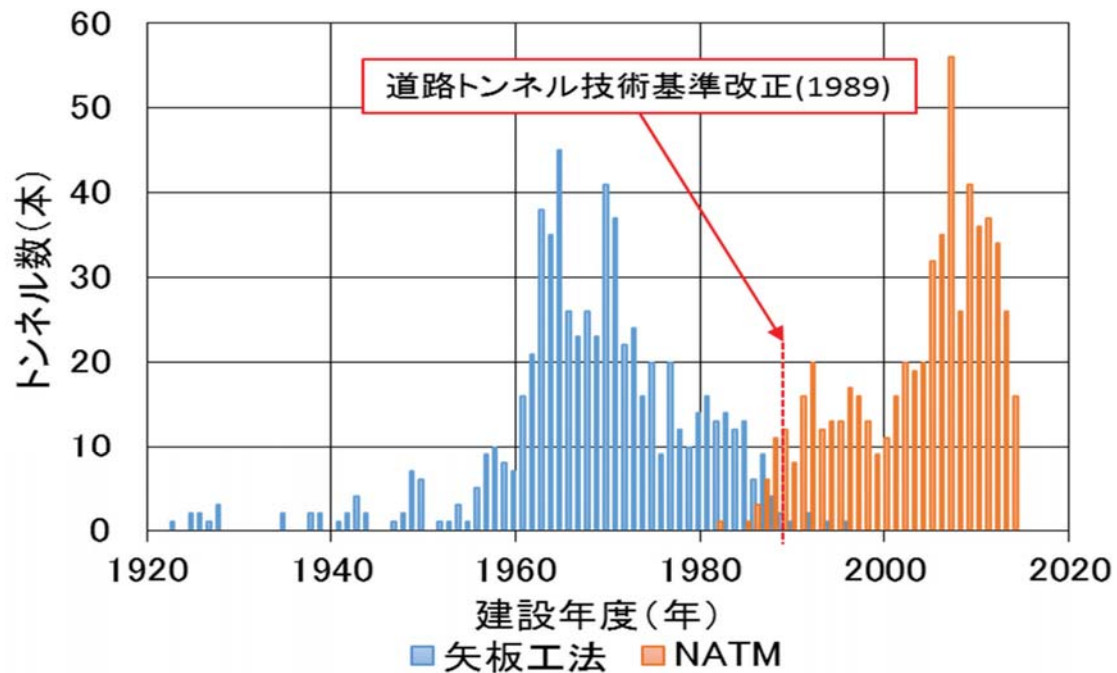


国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

18

道路トンネルの建設年数（直轄）

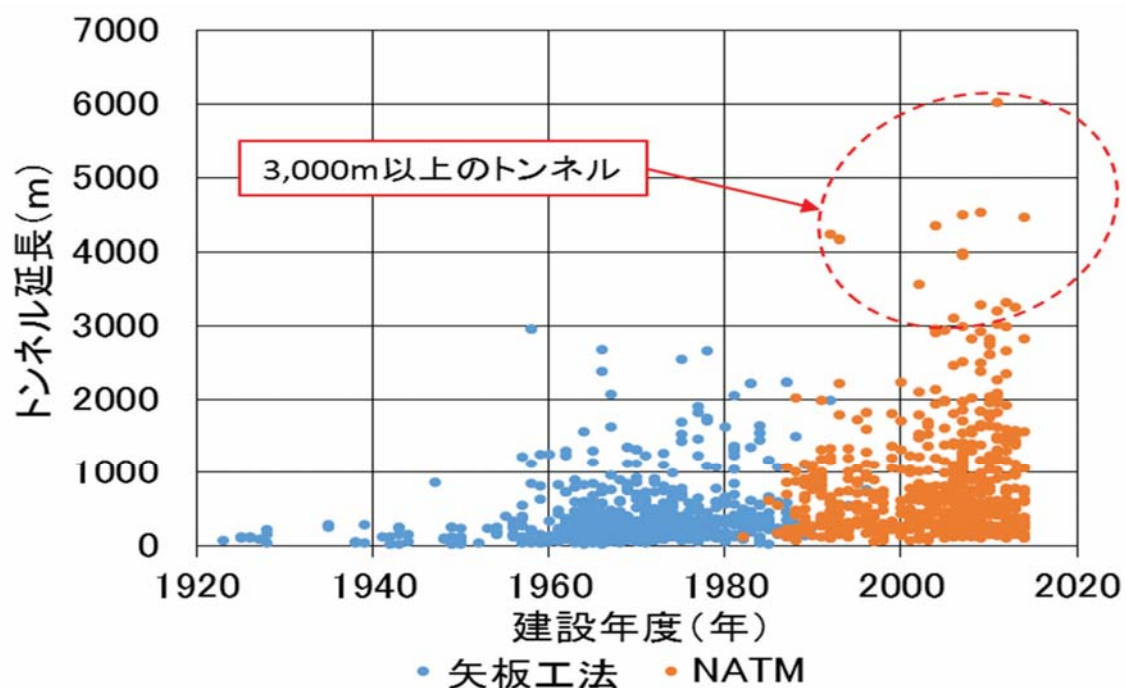


国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

19

建設年度とトンネル延長（直轄）



国総研

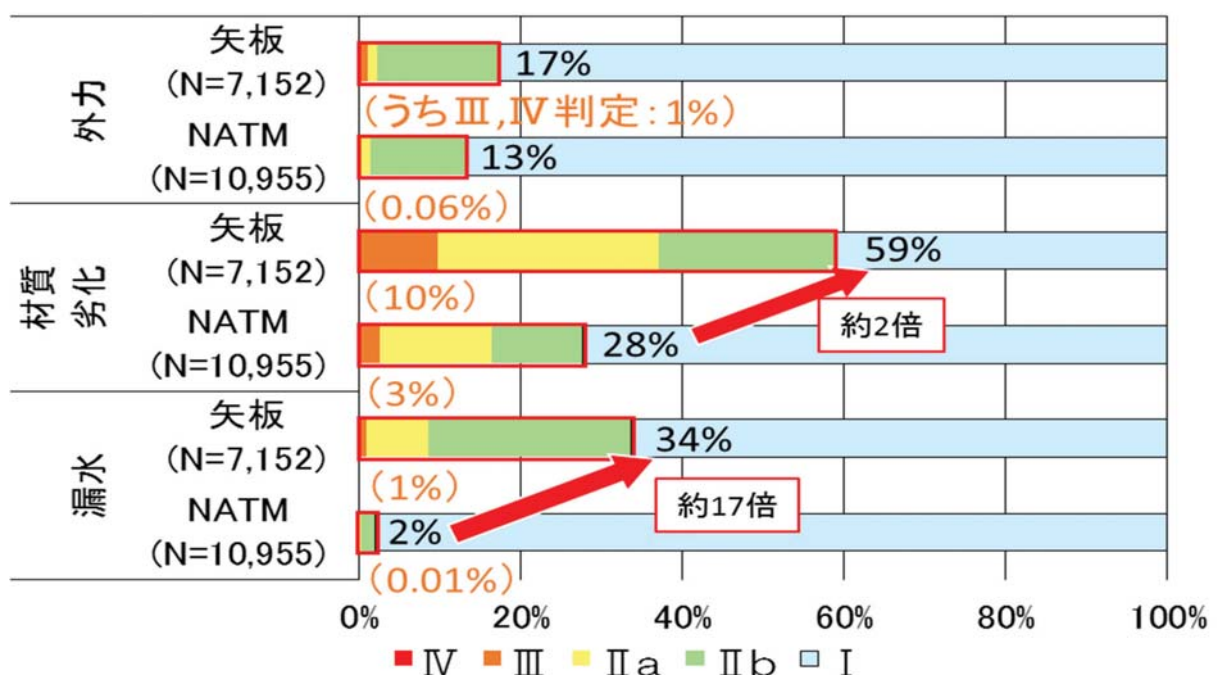
国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

20

道路トンネルの判定区分

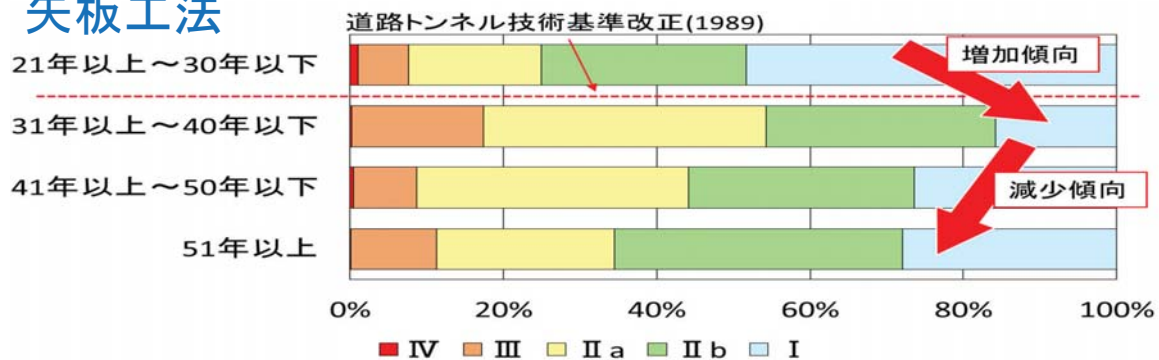
道路トンネル定期点検要領(平成26年6月)		従来(平成26年度以前)
判定区分(5区分)		点検結果判定(3区分)
I : 健全		S(変状無、軽微)
II : 予防保全段階	II b: 予防保全段階 (要監視)	B(変状有: 危険性低、要調査)
	II a: 予防保全段階 (要監視・要対策)	
III : 早期措置段階(要早期対策)		
IV : 緊急措置段階(要緊急対策)		A(変状大: 危険性高、要応急対策、要調査)

変状区分別の判定区分割合

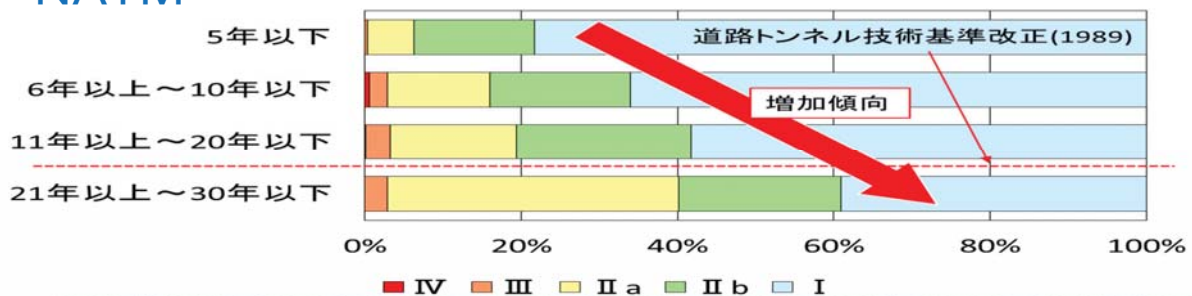


経過年数と判定区分

矢板工法



NATM

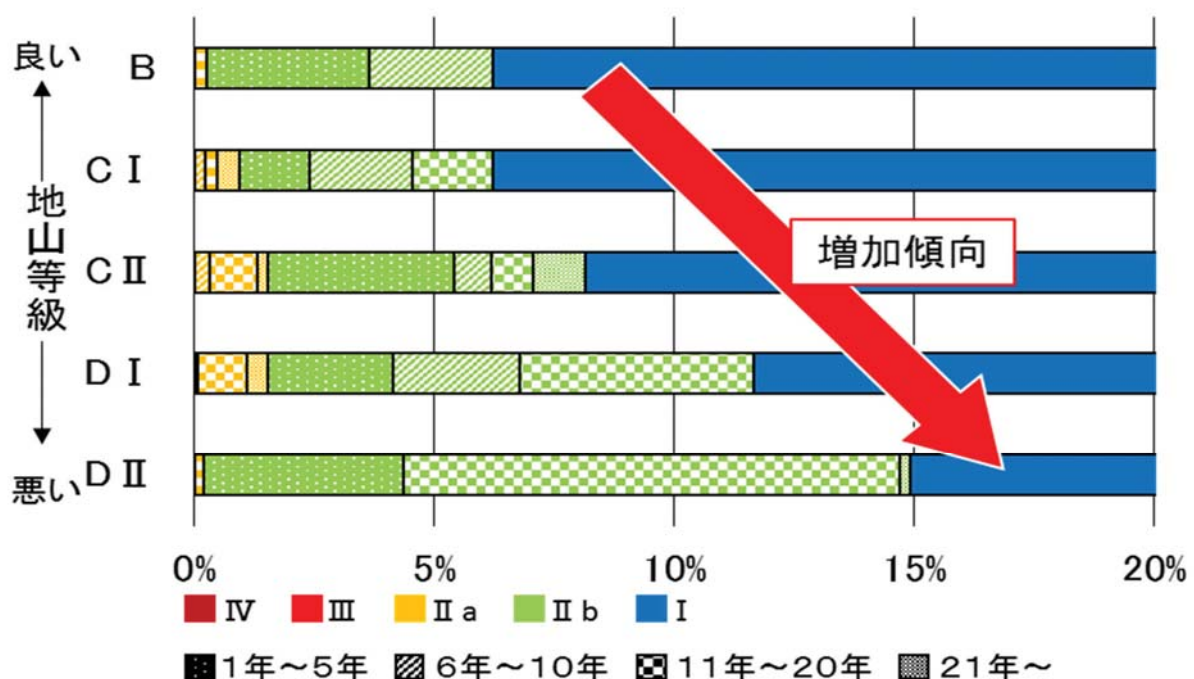


国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

23

地山等級と判定区分

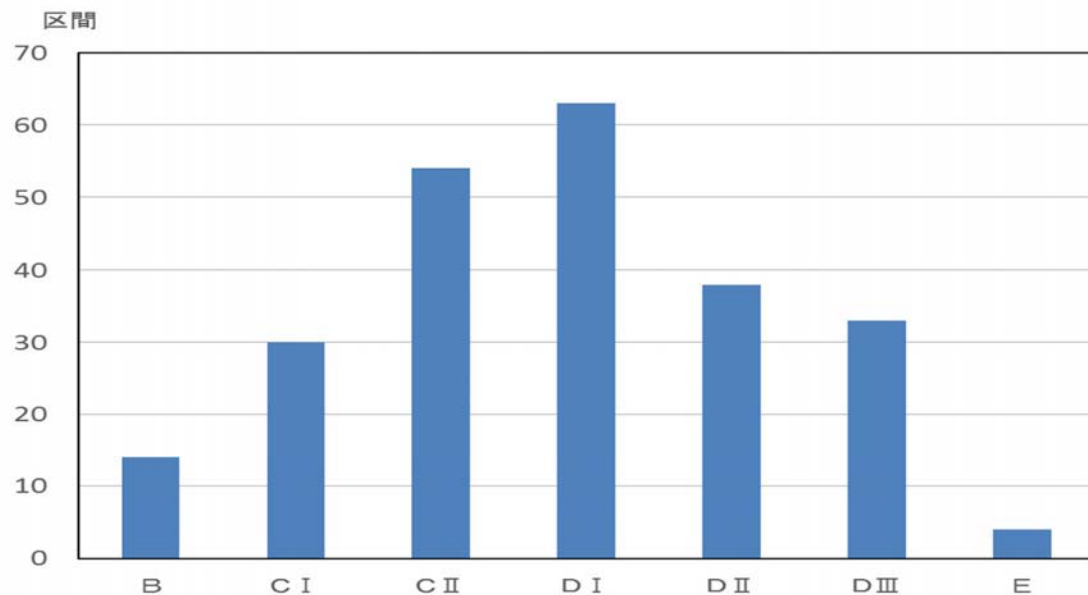


国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

24

地山等級別ひびわれ発生状況



※連続する同じ地山等級を1区間として調査。
区間が長くても同一地山等級の場合は1区間として計上。

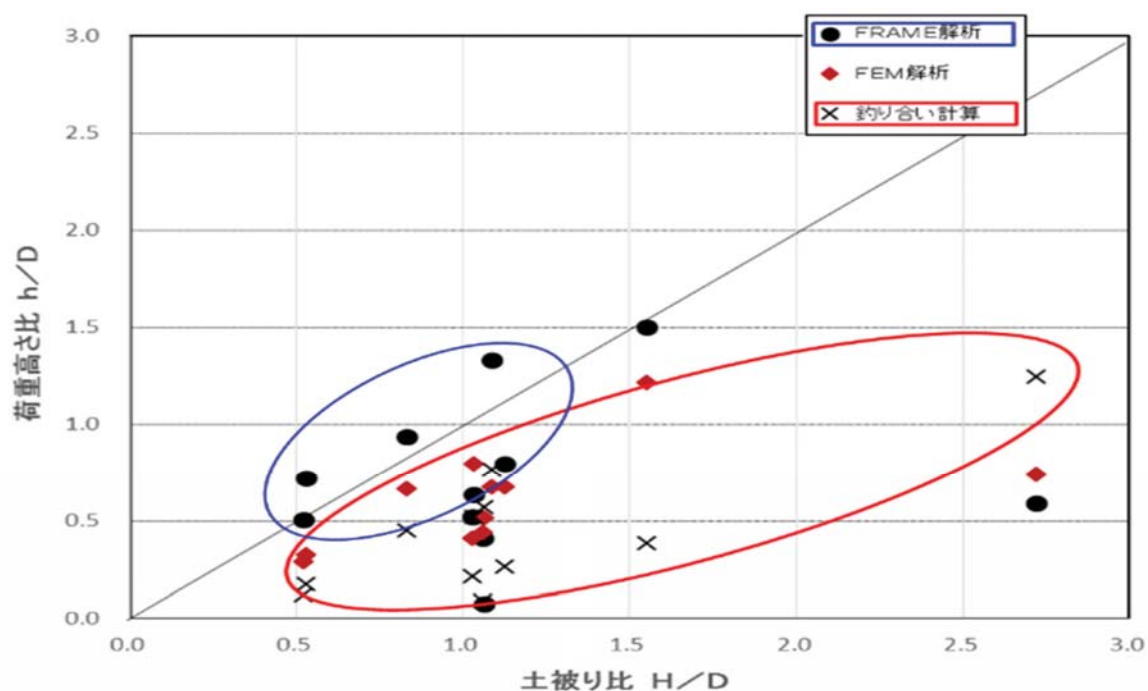


国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

25

土被りと荷重高さ

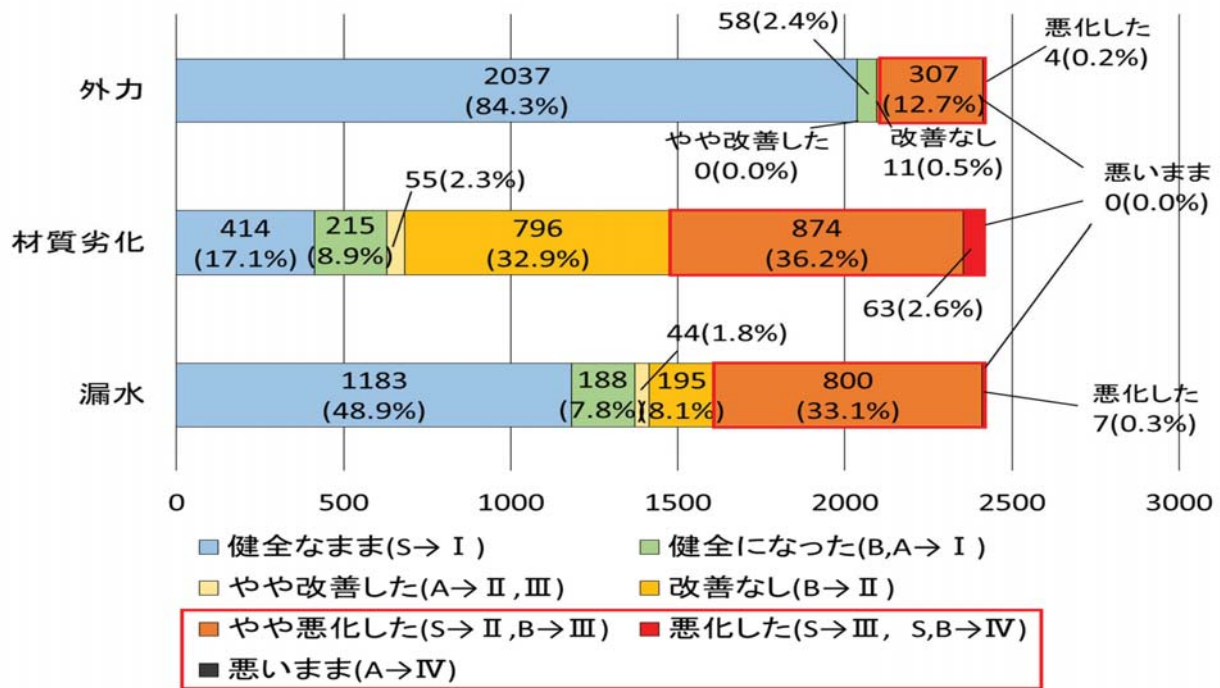


国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

26

変状の進行状況（矢板工法）

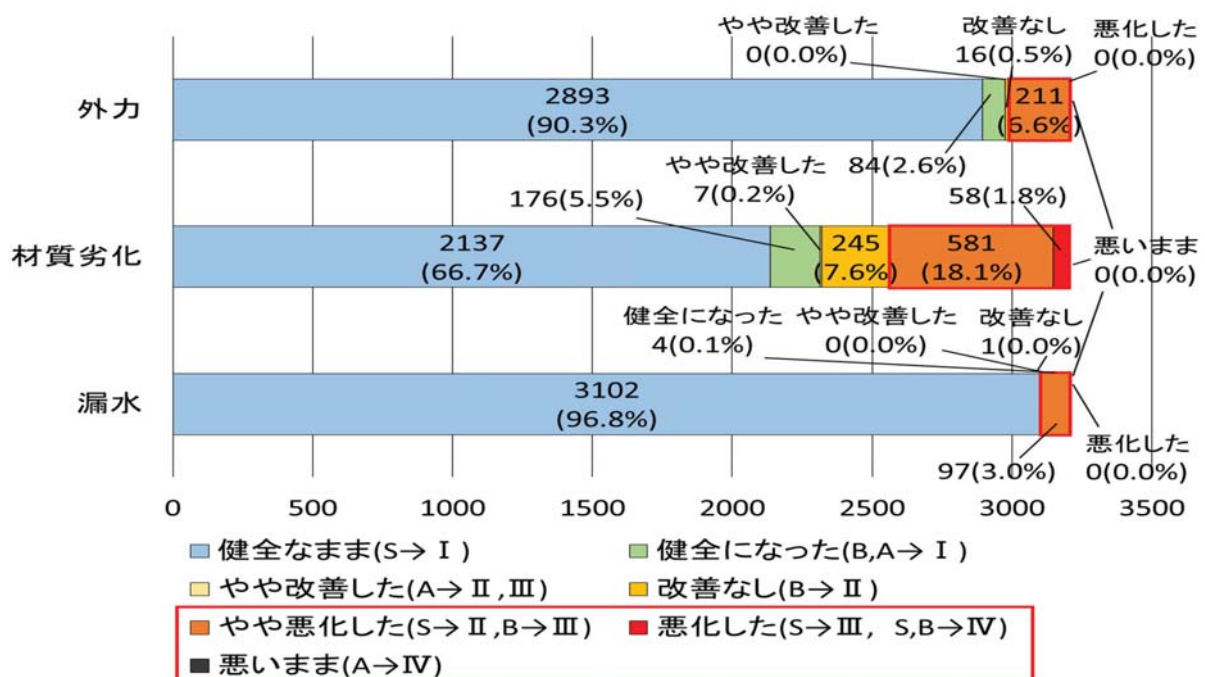


国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

27

変状の進行状況（NATM）



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

28

土工構造物



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

29

道路土工構造物

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



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

30

道路土工構造物の定期点検

○切土のり面

- ・切土のり面本体(地山)
- ・のり面保護構造物
- ・排水施設

○切土・斜面安定施設

- ・斜面崩壊対策施設(グラウンドアンカー等)
- ・落石・岩盤崩壊対策施設(ロックシェッド等)
- ・土石流対策施設
- ・地すべり対策施設
- ・その他(スノーシェッド等)

○盛土

- ・盛土本体
- ・盛土のり面
- ・補強土
- ・擁壁
- ・排水施設

○カルバート

- ・カルバート

定期点検要領で対象

○自然斜面

- ・自然斜面自体は「構造物」ではないが、上記構造物とともに維持管理していくべき対象

31

道路土工構造物技術基準 (平成27年3月)

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

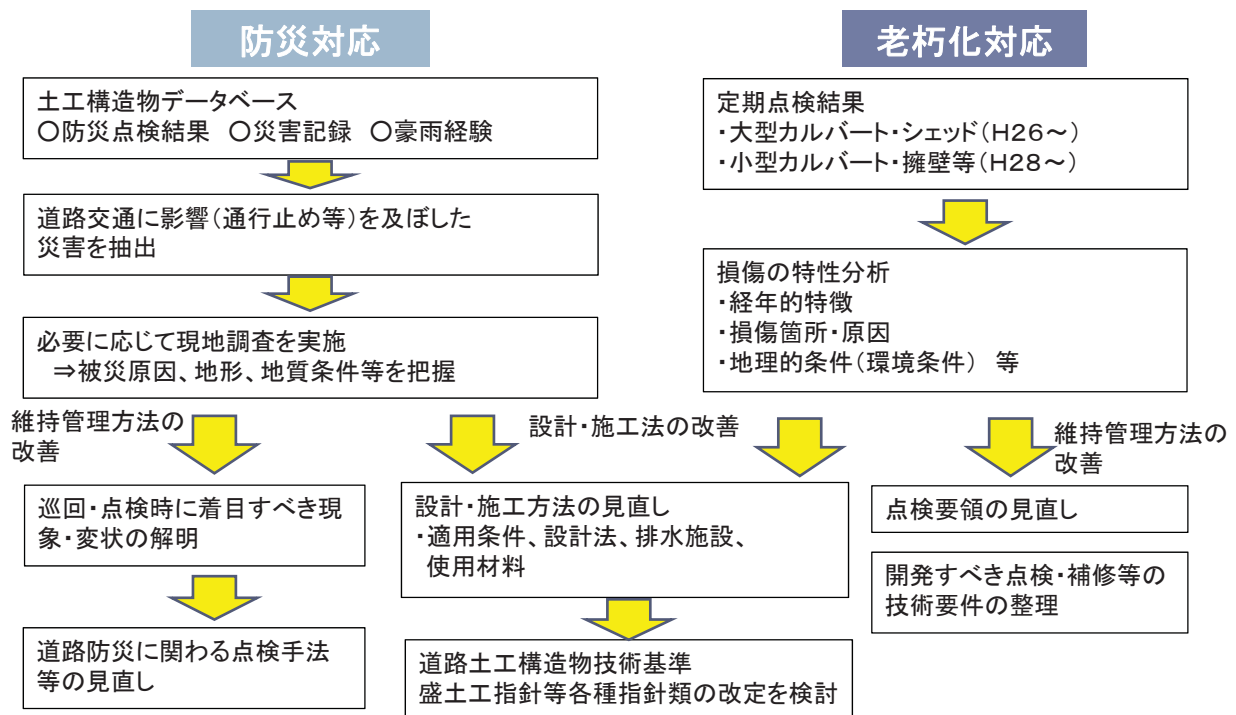
2) レベル2地震動

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

4-3 要求性能

斜面安定施設	
性能	損傷イメージ
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	防護施設が崩落土砂を捕捉 道路の通行機能に支障なし
性能2 道路土工構造物の損傷は限定的なものであり、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	片側交互規制は行いが、 道路の通行機能は確保 簡易な復旧により 通行機能を回復
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	全面通行止めは行いが、 復旧工事により 通行機能が回復

道路土工構造物の管理に関する取り組み



定期点検の項目-部材単位の健全性の診断

■シェッド

上部構造				下部構造		支承部	その他
主梁	横梁	頂版	壁・柱	受台	谷側基礎		

■大型カルバート

カルバート本体	継手	ウイング
---------	----	------

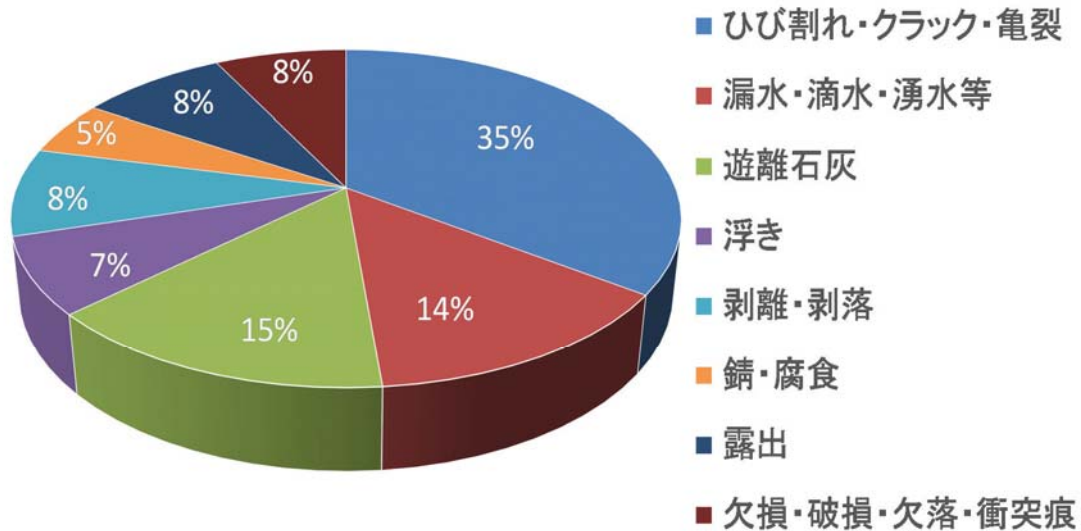


シェッドの例



カルバートの例

カルバートの主要損傷の割合

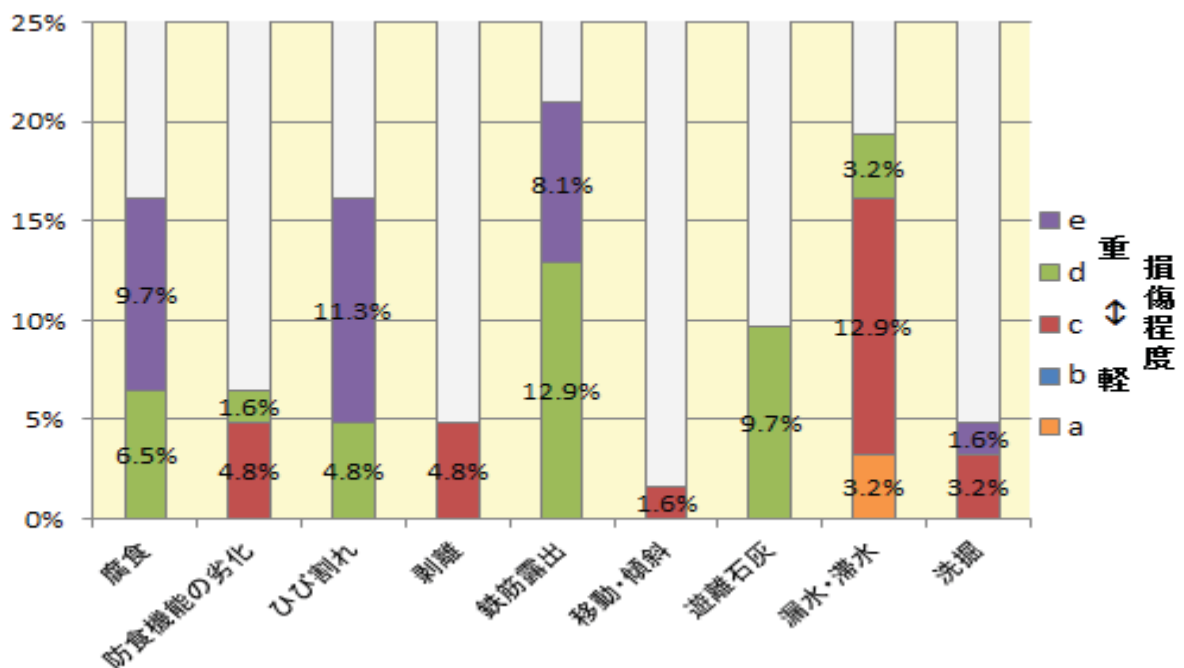


国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

35

シェッドの損傷種類と損傷程度



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

36

シェッドについての直轄診断

県名	町村名	路線名	施設名	建設年	延長(m)	緊急性・高度な技術力の必要性 (市町村での点検結果より)
福島県	下郷町	町道沼尾線	沼尾シェッド	昭和33年頃	189	建設後50年以上が経過し、シェッド上部には土砂の堆積が見られる状況の中、主梁・横梁・支柱部等のひびわれ、うき、鉄筋露出などの損傷が散見



主梁のひびわれ

道路のり面・斜面災害の発生要因に基づく 点検の着眼点



○災害記録から過去6年間の通行止めを伴う災害事例の発生要因を分析・整理



○災害の発生要因の特徴

- (A) 地形や土地利用の状況から水が集まりやすく、かつ脆弱な地質
- (B) 急勾配やオーバーハングなど不安定な形状
- (C) 排水施設の集中、機能低下及び機能不足

○日常点検(通常巡回)等において、上記に該当する区間では災害につながるような現象や状況に着目して重点的に確認する事項を整理

道路のり面・斜面災害の発生要因に基づく 点検の着眼点

■重点的に確認すべき事項(案)の例

(A)水が集まりやすく、 かつ脆弱な地質	(B)急勾配など不安定 な形状	(C)排水施設の集中、 機能の低下など	その他
○湧水・表流水の有無 ・のり尻・斜面尻の湧水 ・擁壁水抜き孔や目地からの湧水 ・日常的に湧水がある場合は、量やにごりの変化 ○土砂や小落石の有無 ○斜面上での土地の造成、道路構築等の改変や伐採行為	○小落石の有無 ○落石防護柵工・落石防護網工の破損(小落石の影響) 	○湧水・表流水の有無 ・擁壁水抜き孔や目地からの湧水 ・小段や縦排水周りのからの溢水 ○土砂の有無 ・小段や縦排水周りのからの土砂流下痕跡 ○排水施設の変状 ・側溝や擁壁水抜き孔等、縦排水の破損や閉塞など	○路面の亀裂、陥没、段差 ○のり面・斜面下部の倒木 ○モルタル片などの路面への落下 



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

39

「道路土工構造物点検要領(仮称)」制定の方向性

現状と課題	○擁壁、小型カルバート等の道路土工構造物は施設数が多く、メリハリをつけた管理が必要。 ○一方、損傷により、災害時に必要な機能を発揮できない、又は利用者等に被害を及ぼす可能性があり、適切な管理が必要。 ○また、擁壁は降雨による影響が大きいなど、構造物の特性が多様。
	
制定の方向性(案)	○被害の防止と構造物の健全性の効率的な確保を目的に策定。 ○巡視等により損傷が発見された場合、補修等の必要性を検討。 ○降雨の影響が大きい構造物については、豪雨後の異常時点検も実施。 ○必要に応じてモニタリング技術等を活用し、構造物の変状等を効率的に把握。

※盛土・切土・自然斜面については、降雨により強度が変化する等の特性があり、道路防災点検の見直しや事前通行規制制度の運用改善等とあわせて検討

p.2-1-7



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

第3回道路技術小委員会資料より

40

舗 装



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management
国土技術政策総合研究所 国土技術政策総合研究所

41

「舗装点検要領(仮称)」制定の方向性

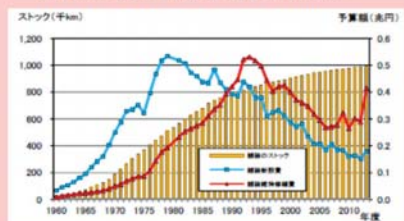
現状と課題

- 舗装道路は全国100万kmと膨大であり、さらにストックは増加。一方で、舗装の維持修繕予算は減少傾向
- メリハリをつけた管理が必要
- 経年数に関わらず、「壊れたら直す」という対応で、LCC・予防保全の視点が不足



- 効率的な方法による点検実施の必要性

舗装ストックと舗装関連予算の推移



出典：道路統計年報より

制定の方向性(案)

- 適用範囲は全道路
- 道路の機能に応じたサービス等を提供するとともに、舗装の健全性の効率的な確保を目的として策定
- アスファルト舗装は、交通量等を踏まえた基本使用年数(仮称)※を設定することや、それに基づき、各現場状況を踏まえた対応を進めること等について検討
 - ※修繕実施時期の検討を行う目安の年数
- コンクリート舗装は、交通量等を踏まえて、構造上弱点となる目地部の状況を把握
- 今後の技術開発により、舗装の状態を機器を用いて効率的に把握

今後、各道路管理者の意見を踏まえて、それぞれの実状に応じた制度とするよう検討

p.2-1-3



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management
国土技術政策総合研究所 国土技術政策総合研究所

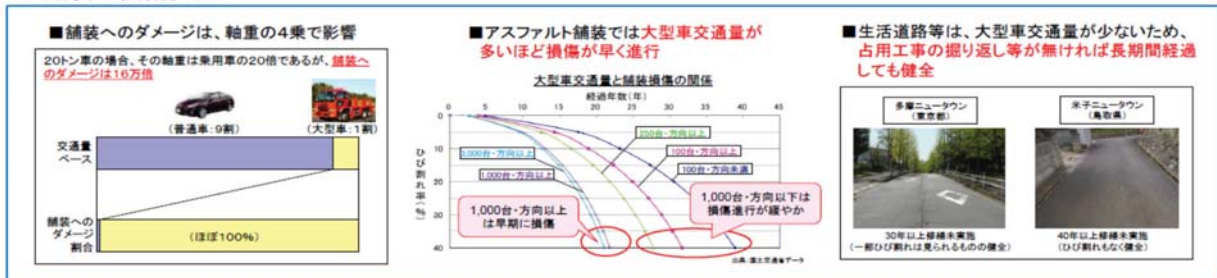
第3回道路技術小委員会資料より

42

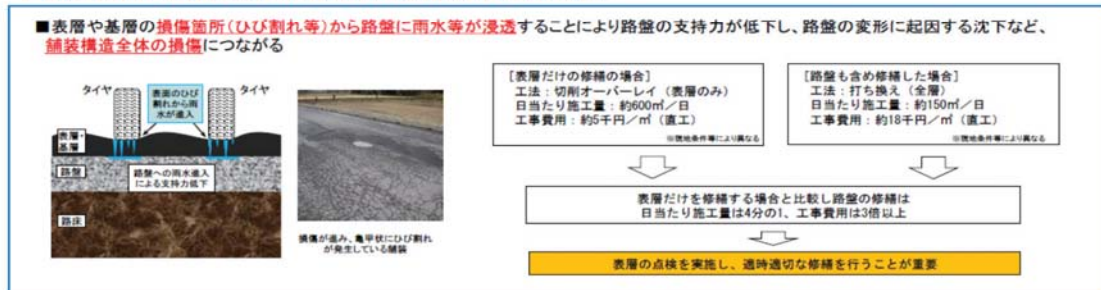
舗装の損傷要因

- 舗装の耐久性は、大型車交通量の影響が支配的 ⇒ **大型車が多いほど、舗装の損傷進行が早い**
- 損傷の進行が早く修繕サイクルが短い道路では、より長く使うことを意識した管理が必要 ⇒ **目標とする使用年数の設定**
- 大型車交通量が極めて少ない生活道路等では、基本的に長寿命
- 舗装の効率的な管理には、**表層や基層の適時修繕により路盤を保護する事が重要**

■舗装の損傷要因



■舗装構造の損傷を防ぐには適切な表層の管理が重要



4



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

第5回道路技術小委員会資料より

43

これからの舗装マネジメントの方針(案)

- 大型車交通量で大きく2つに分類し、道路特性でさらに4つに分類（Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・Ⅳ）
- 分類Ⅰ・Ⅱ・Ⅲは、表層や基層の適時修繕による路盤の保護により、LCCの縮減を図る
- 分類Ⅱは、使用目標年数を設定し、長寿命化を意識した管理を実施
- 分類Ⅲは、点検・記録を実施し、修繕計画立案を行うことで修繕の適正化を図る

特性	分類 ^{※1}	主な道路 ^{※2} (イメージ)	マネジメントのあり方	備考
・高速走行が求められる道路 (求められるサービス水準が高い)	Ⅰ	高速道路	・表層や基層の適時修繕による路盤の保護を目的に、点検、記録を実施 ・走行性、快適性を重視した路面管理の実施	
・大型車交通量が多い道路 (損傷が早い)	Ⅱ	直轄国道	・表層や基層の適時修繕による路盤の保護を目的に、点検、記録を実施 ・修繕サイクルを長くしていくために、使用目標年数を導入し、早期劣化箇所の原因把握と適切な措置の実施 ・走行性を考慮した路面管理の実施	・占用工事の路面復旧方法等への指導のあり方について別途検討
・大型車交通量が少ない道路 (損傷が遅い)	Ⅲ	政令市・一般市道 補助国道・県道	・表層や基層の適時修繕による路盤の保護を目的に、点検、記録を実施	
・生活道路 (損傷の進行が極めて遅く占用工事等の影響が無ければ長寿命)	Ⅳ	市町村道	・巡視による路面管理	

※1:分類記号については、引き続き、分野別会議で検討・確認する事項

※2:分類毎の道路選定は各道路管理者が決定



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

第5回道路技術小委員会資料より

44

■現状における路面性状把握手法と取得データの活用方法

○高速道路(NEXCO)

⇒専用車両により、全車線のひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性を計測し、補修目標値と比較
(すべり摩擦係数は走行車線のみ、段差は別途調査により計測し補修目標値と比較)

○直轄国道

⇒専用車両により、代表車線のひび割れ率、わだち掘れ量を計測し、修繕実施の判断基準と比較

○都道府県

⇒点検を実施している多くの都道府県では、専用車両により、代表車線のひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性を計測し、各道路管理者が個々に設定した指標と比較

○市町村

⇒大部分の市町村が点検(計測・記録)を実施していないが、一部の市町村では車両に搭載したスマートフォンを活用し、路面損傷を把握している事例も存在

■技術開発の動向(例)

[路面性状]

○路面性状を簡易に安価で計測・分析・記録する技術

⇒一般車両にレーザスキャナ、カメラ等を取り付け、路面性状(ひび割れ、わだち掘れ、平坦性)を計測

○スマートフォンにより路面性状を簡易に計測・分析・記録する技術

⇒加速度、GPS情報、動画などを計測することで平坦性を把握

[舗装構造]

○路上規制を伴わない、舗装構造の健全性を把握する技術

⇒走行しながら規制無しで、舗装のたわみ量を計測する技術(MWD※)

※動的たわみ計測装置(MWD: Moving Wheel Deflectometer)

7



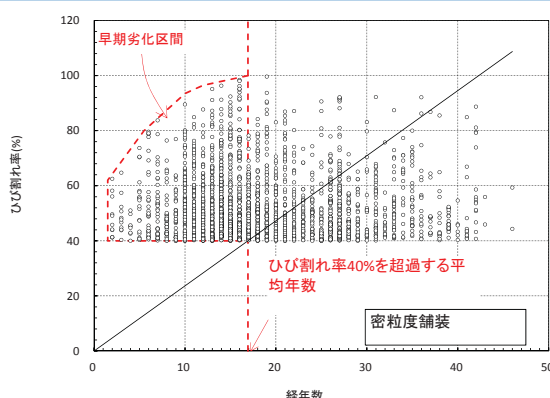
国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management
National Institute for Land and Infrastructure Management
National Institute for Land and Infrastructure Management

第5回道路技術小委員会資料より

45

舗装の長寿命化を促す



特にアスファルト舗装の場合、個々の箇所における劣化速度にばらつきがあり、補修を頻繁に行う“早期劣化区間”が存在

“早期劣化区間”の解消により全体の舗装に掛かるライフサイクルコスト(LCC)の縮減が必要



路面状態、コア採取の様子

現地調査により“早期劣化区間”の実態を把握し、当該区間における構造診断と修繕設計の必要性を確認

成果は現在、国土交通省で検討が進められている舗装点検要領に反映予定



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management
National Institute for Land and Infrastructure Management
National Institute for Land and Infrastructure Management

46

コンクリート舗装の普及を図る

- ▶ 平成24年度以降、国土交通省では「高い耐久性が期待されるコンクリート舗装の積極的活用」の方針
- ▶ 一方で、現場からは維持管理が大変、との声
- ▶ 最大の弱点である目地部について対策が必要
 - ▶ 構造面ではコンクリート板の下にアスファルト中間層を設置
 - ▶ 管理面ではより効率的な手法が必要
- ▶ スマートフォンでも簡易計測が可能なIRI(国際ラフネス指数)の活用を提案



図-1 路面性状測定車、センサー設置状況

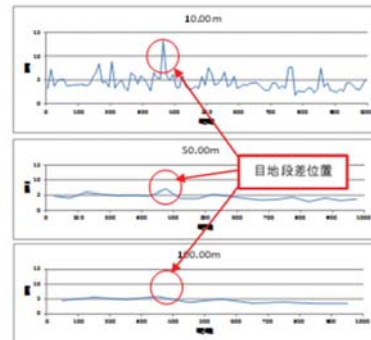


図-4 解析距離ごとの IRI 値の比較



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

47

ご清聴、ありがとうございました。

ご意見をお聞かせ下さい。

木村嘉富

kimura-y92tb@nilim.go.jp



国総研

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

48

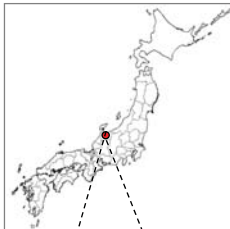
富山市における持続可能な 橋梁マネジメントの実現に向けて



富山市の概要

- ・人口は、約42万人
- ・面積は、1,241.85km²
- ・海拔0m(富山湾)から2,986m(水晶岳)までの多様な地形
- ・平成27年3月14日 北陸新幹線開業

■日本地図



■富山県全図



富山市のまちづくりの基本方針

～コンパクトなまちづくり～



公共交通を軸とする

-3-

ロックフェラー財団「100のレジリエント・シティ」に日本で唯一選定

- 自然災害や犯罪、テロなど各都市が直面する様々なショックやストレス
- 耐え、回復する強靱な都市を目指すレジリエント・シティを選定

成熟型都市の課題は近い将来、世界の都市が直面する課題

富山市が直面する危機 ～自然災害及び、成熟型都市の課題～

- ① 洪水、土砂災害
 - ・1858年の「安政の大地震」
- ② 人口減少及び高齢化
 - ・2010年の42万2千人をピークに減少
 - ・高齢化率は26%超、30年後には約38%
- ③ 社会資本インフラの老朽化
 - ・高度経済成長期に築造した社会資本が急速に老朽化、維持管理の負担が増大



「持続可能な都市」

(自然災害のリスク低減、公共交通の活性化、社会資本の老朽化対策、地域医療・介護予防の充実など)

富山市を取り巻く課題と望むスタイル

- | | |
|--------------------------|--------------------|
| ① 人口減少と超高齢社会による、市民ニーズの変化 | ⑤ 高度成長期に増えすぎたインフラ |
| ② 過度な自動車依存による公共交通の衰退 | ⑥ 市町村合併による、守備範囲の拡大 |
| ③ 郊外化の進行とドーナツ現象 | ⑦ 財政の不足 |
| ④ 自然災害の増加 | ⑧ 人材の不足 |

持続可能な富山市

《施策》

- ・コンパクトシティ
- ・環境未来都市
- ・レジリエントシティ
- ・公共交通網の充実
- ・インフラの老朽化対策

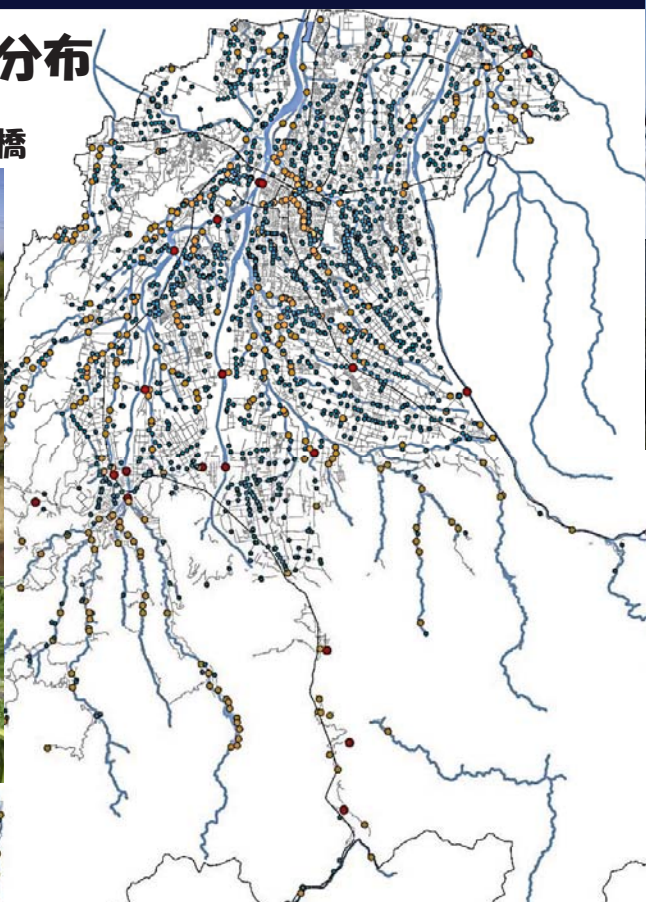
人材(職員)
育成が重要

インフラの老朽化対策 は、未経験分野。
新たな方策(しくみ)が必要となる。

-5-

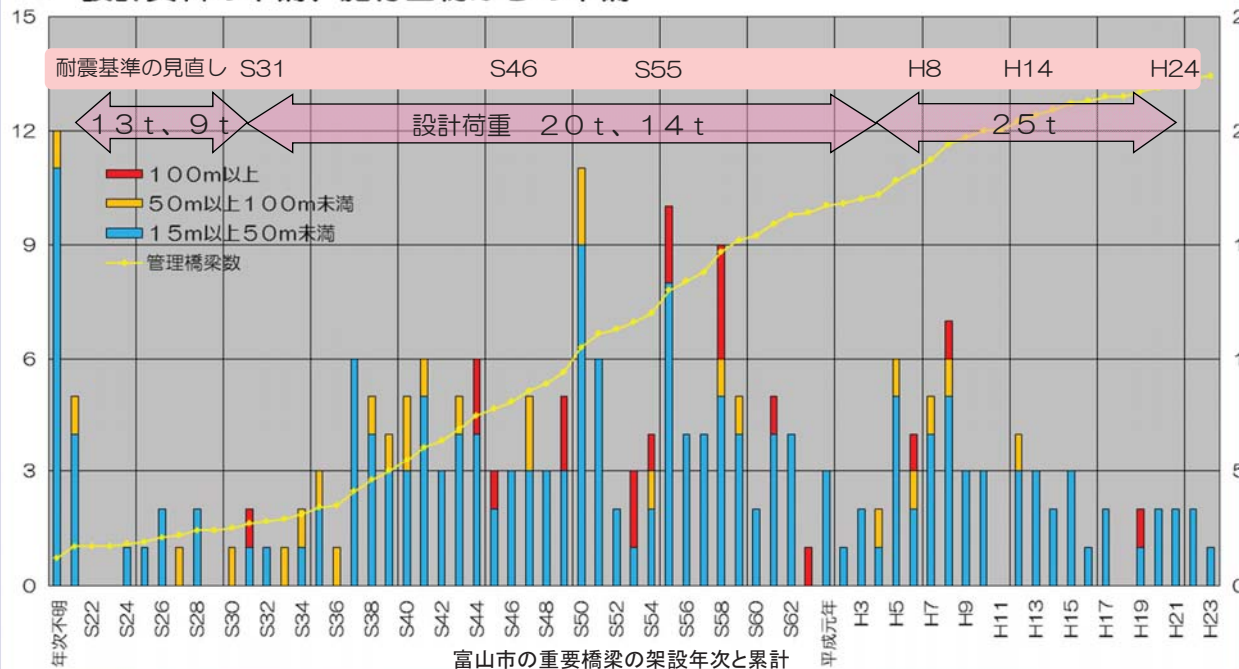
管理橋梁の分布

約2,200橋
重要橋梁 224橋



富山市の管理する道路橋の状況

- 多くが昭和30年代から50年代に架橋
- 耐震対応の遅れ、設計荷重対応の遅れ
- 設計資料の不備、施行当初からの不備



-7-

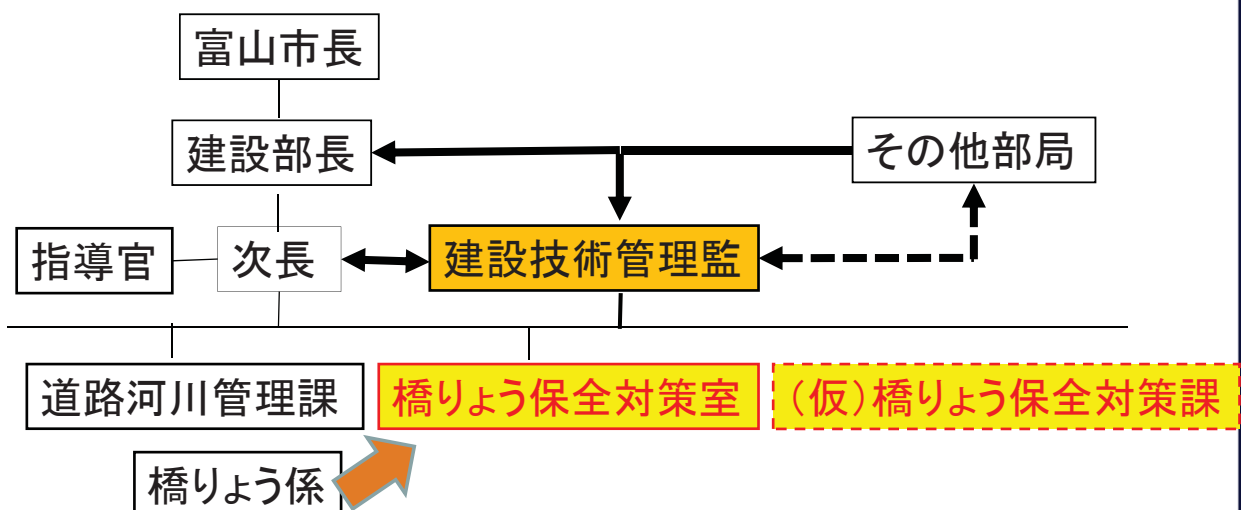
富山市の橋梁管理体制の改革

平成24年度 「橋りょう係」(4人)の設置。道路河川管理課内

平成26年度 「建設技術管理監」の設置

平成27年度 「富山市橋りょうマネジメント基本方針」策定

平成28年度 「橋りょう保全対策室」計画係・保全係 (9人)設置



-8-

「建設技術管理監」も富山市の施策のひとつ

インフラ監理の軍師的役割

- ・技術的アドバイス、技術監理
- ・戦略・戦術立案・実施
- ・職員教育・指導

軍師の悩み

インフラの監理は、新たな戦い

勝利するには、工夫(戦略)が必要。

理解者少ない。最初から富山市に居るわけではないので、やりづらい部分が多々有る。
(県民性、地域性、組織の性質 等)

出身: 栃木県小山市

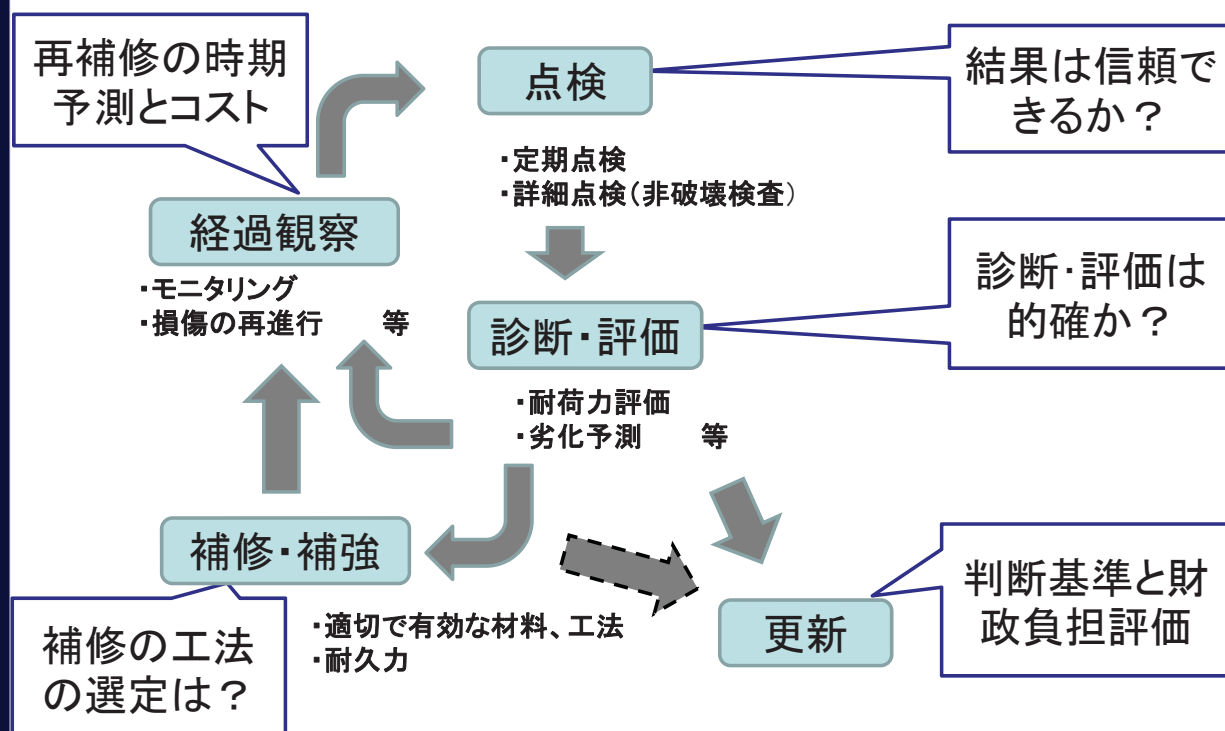
《職歴》

橋梁メーカー、コンサル、行政、非破壊検査、社団法人役員 等

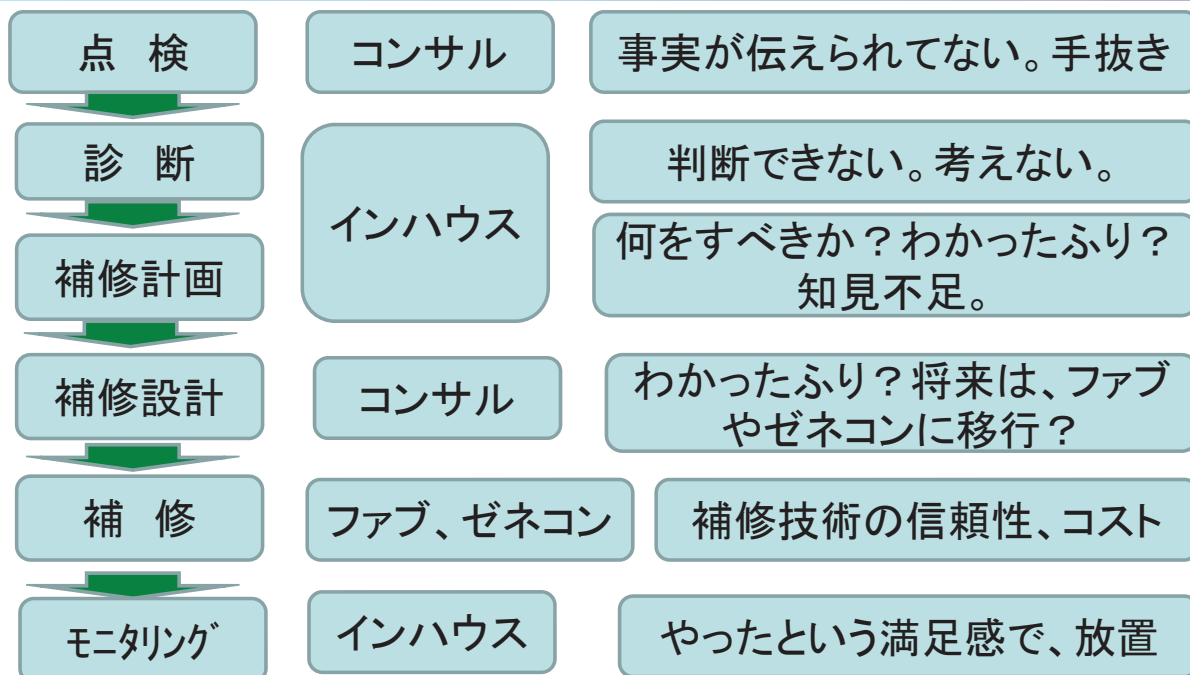
《実績》

「土木構造物設計標準化」「兵庫県南部地震震災対策委員会」「鋼橋積算体系大改定」「鋼橋設計ガイドライン」「木橋技術基準」「施行総プロ」「技術審査証明」「韓国高速道路PFI事業」「各種基準」 等

維持管理の課題



維持管理における役割分担 と 課 題



最大の課題は、インハウスの能力不足と迷い。
プライドを捨て、信念と覚悟を持って淡々と対処すべき。

-11-

富山市橋梁マネジメント基本方針

限られた資源においても実行力の有る
橋梁マネジメントを実現

新たなしくみの導入により業務の
高度化・効率化を推進

選択と集中によるメリハリのある
橋梁マネジメントの実施

17の施策 ⇒ 試行、効果確認
より高度化へ

新たな“しくみ”

-12-

富山市橋梁マネジメント基本計画による役割分担と施策

主体	役割	施 策 例
富山市	・業務執行と監理 ・業務改善 ・長期的マネジメント	施策⑨効率的補修工事の発注法の検討 ※施策の是正、マネジメント計画の見直し
専門技術者 学識経験者	・診断支援 ・技術支援	施策①橋梁技術コンソーシアムの設置 ⑥診断支援体制
民間業者	・点検・設計・工事の実施 ・新技術等の開発・導入提案 ※技術力に応じた役割分担 ※地元育成	施策②技術力に応じた発注 ③点検方法の工夫による精度向上 ④小規模橋梁の点検の効率化 ⑩設計・施行簡略化のための標準化 ⑭新技術導入の仕組み
市民等	・日常的情報提供 ・橋梁マネジメントへの理解	施策⑯小規模橋梁への市民参加型日常管理(市民の興味)

- ・「維持管理」の分野は、幅広い経験と実績が必要。官も民も、付け焼刃的知識やプライドだけでは、対処不能である。(事故を起こす)
- ・維持管理は、“現実”である。評論家や机上論は必要ない。
信念と覚悟を持って、経験と実績を積み重ねる必要が有る。

-13-

点検しても、見逃せば・・・



八田橋
コンサルが点検を実施
しかも近年で2回も

ゲルバー桁であることを見逃した
ゲルバー構造、知らないの？

橋がわかってるの？

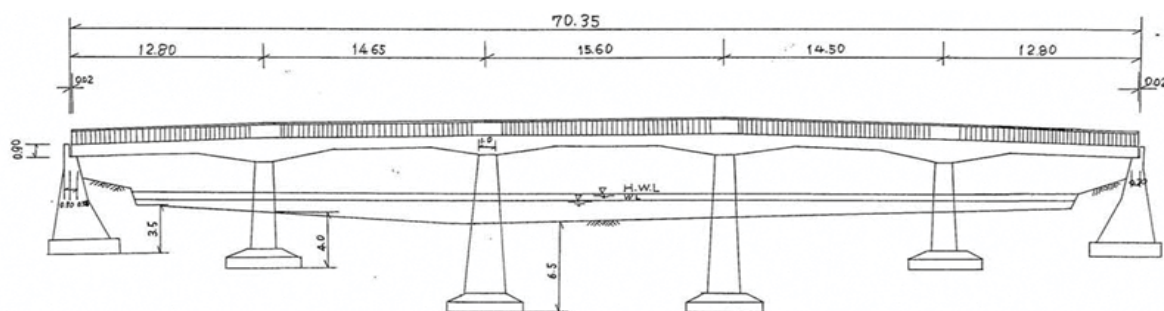
見逃したことにより、後々
問題が発生
対応の遅れ、不信感

地元コンサルの技術力不足

セカンドオピニオンの必要性



セカンドオピニオンの実施



セカンドオピニオンを実施し、カンバーの垂れ下がり
剥落、鉄筋露出 等 、不適切な補修の実施 等を指摘し、再調査



-15-

点検し補修工事実施、問題なし？



点検2回実施
補修工事実施

- ・点検不備
- ・補修工事の不適切

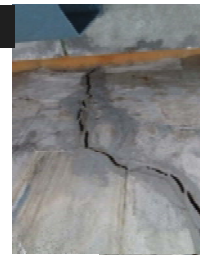
橋の理解不足

-16-

富山の宿命「ASR」



橋台



コンクリートの癌
ASR

確実な補修方法が無い

補修しても再劣化

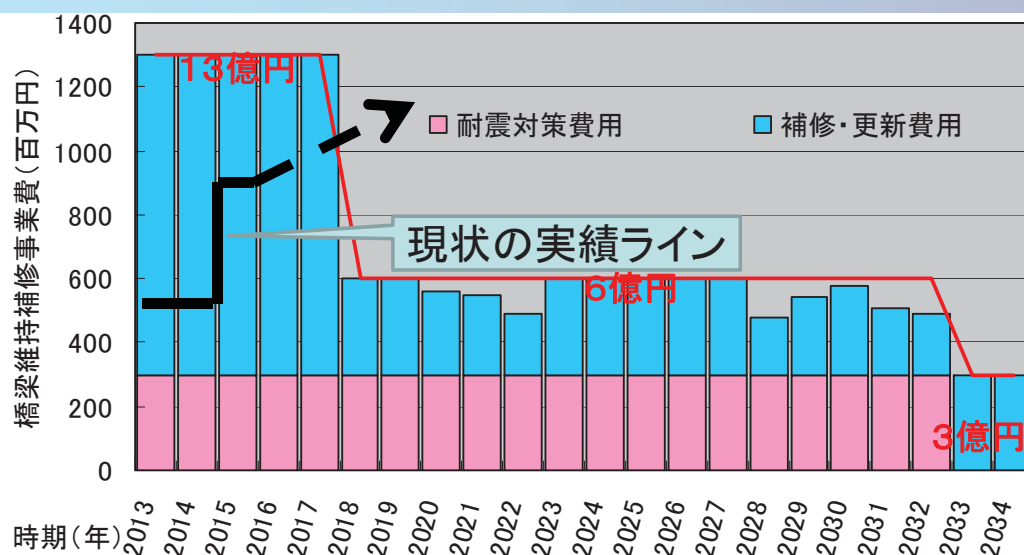
意外に、塩害や凍害は

少ない



-17-

橋りょう長寿命計画(24年度)の実現性の疑問



H24年度策定された、長寿命化計画は、現実性がない！！

さらに、やれることは限られてしまう。

⇒市長に直談判し、毎年2億円増加

⇒あらたな「しくみ」作りへ本格スタート

橋梁トリアージによる管理区分に応じた管理方針



トリアージ・タッグ

(任意) 氏名 (Name): _____ 年齢 (Age): _____ 性別 (Sex): _____
 住所 (Address): _____ 電話 (Phone): _____
 トリアージ実施月日・時刻: _____ トリアージ実施者氏名: _____
 月 日 時 分 AM PM
 実施機関名: _____ 実施者氏名: _____
 トリアージ実施場所 (区画): _____
 トリアージ実施結果: _____
 記録・評価者: _____
 記録日: _____

0
I
II
III

コンパクトシティ構想 ⇒

「選択と集中」の維持管理



「選択と集中」の判断で通行止めも。通行止めによって、意思を示すことにより、はじめて適正な議論を行える場合も

「トリアージ」とは点検を行わないことではない。
点検後の判断を明確に実施していくこと。

今後の、個々の橋梁に対し措置の優先度、点検手法、委託業者のレベル、等を総合的に判断

“迷い”“温情”は禁物。淡々と冷酷に判断するためにも、点検は正確な事実が必要

-19-

管理者による管理方法の差別化が現実的

区 分	現 在	将来像	事業者例
検査徹底型 予防保全	点検・検査を徹底 止めない事が目的	予防保全	新幹線 主要高速道路 (NEXCO、首都高等)
資産管理型	LCCの最小化、 管理の効率化	アセットマネジメント	国 JR各社 幹線道路
「選択と集中」 の計画的保全型	事後保全	減築や除却、通行止め 等も考慮した、計画的 更新計画を含めた 選択と集中の 計画的保全	(自治体) 富山市 路面電車 ライトレール

新補修・補強(材料)技術の検証・標準化



業者の言うなりの補修で
リスクを背負いますか？

補修後の検証が必要

良い技術は、富山市標準工法に

- ・補修技術、補修材料の選定評価をどうするか？
⇒情報、補修設計へのフィードバックが必要
- ・「NETIS」では不十分、「技術審査証明」程度は必要
新たな技術評価制度の必要性も。責任の所在の明確化
- ・希望があれば、フィールドは富山市で提供する。

伸縮装置の標準化検討
の試行



今後コンクリートの補修関連
の富山市標準化へ

コンサルの補修設計

- ・選定の検討不足
- ・現場経験の不足
- ・安易な補修設計

補修設計の
無駄の低減

伸縮装置の標準化検討

- ・伸縮装置の工場視察
- ・検討内容の確認
- ・要求性能の検討

- ・耐久性・止水性
- ・走行性・コスト
- ・施工性

コンサルに言われるがままではダメ

考えて採用
効果の有る補修へ

先進的点検方法の実証試験

現存技術の有効性の確認

使用機材

対象橋梁

試験テーマ

単画像解析システム



ステレオ画像解析システム



ファイバースコープシステム



ウェアラブルカメラシステム



レーザ・画像解析システム



八尾大橋



神通大橋



野積橋

①床版のひび割れ点検

- ・ひび割れの把握性能
- ・装置開発の性能整理
- ・正規化処理
- ・画像の統合手法
- ・プラットフォームの構成

②劣化・損傷箇所の計測

- ・高所など近づけない劣化・損傷箇所の把握性能
- ・劣化・損傷箇所の計測性能
- ・機器の操作性

③狭隘箇所の点検

- ・視通困難な狭隘箇所の把握性能
- ・劣化・損傷箇所の計測性能
- ・機器の操作性

④遠隔指示による点検

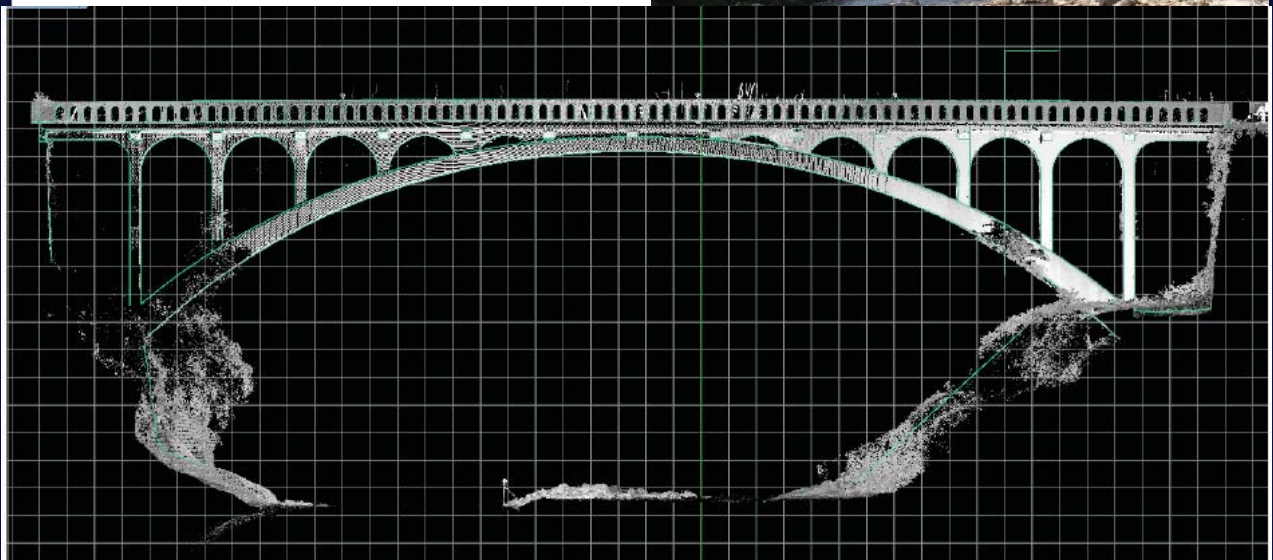
- ・機器の装着性・操作性
- ・通信ソフトウェアの実用性
- ・取得データの品質

⑤復元図の作成

- ・機器の操作性
- ・取得データの精度
- ・部位の判読性能
- ・復元図の作成方法

3Dレーザースキャン

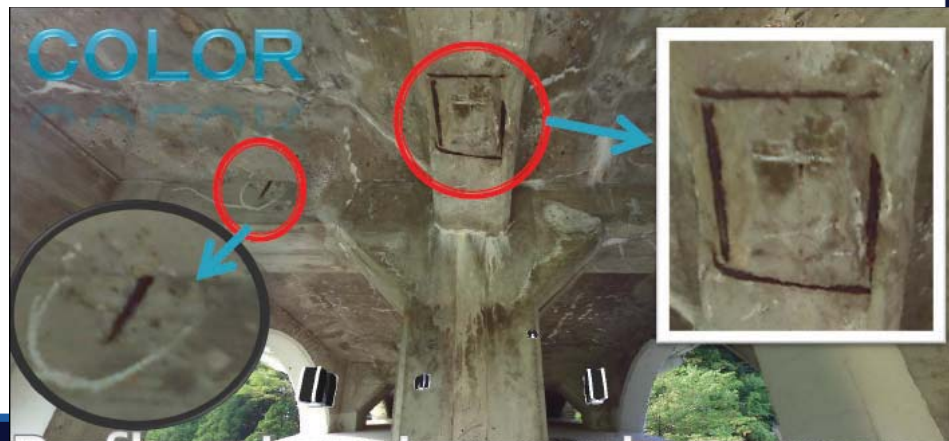
たとえば、「一般図作成」





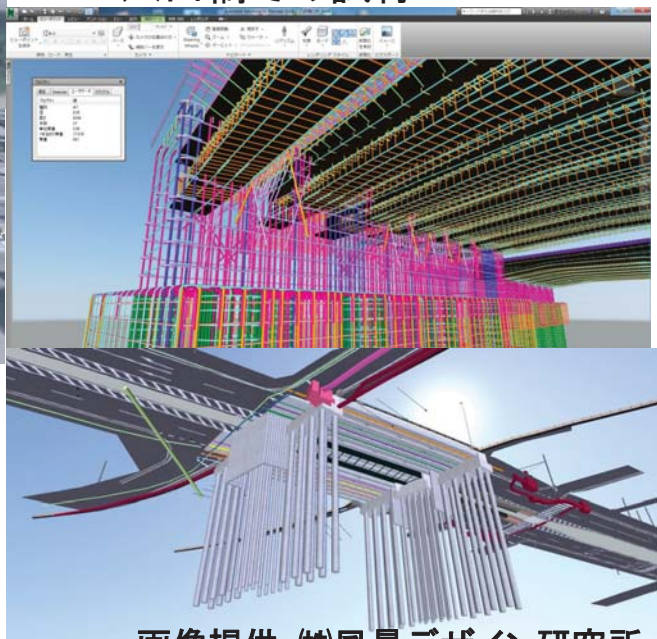
現場を
そのまま
撮影し
画像データ
として保存

コンサルの
手抜きの手検
結果よりも、
現場の事実を
データで残せる



CIMの活用

設計から維持管理まで
八田橋での試行



画像提供: (株)風景デザイン研究所

職員教育「植野塾」 毎月第3水曜日開催



課題

- ・インハウスエンジニアの心得
- ・考える職員の育成
- ・キャリア形成
- ・問題意識
- ・マネジメント能力

「橋梁技術研修」は別途実施

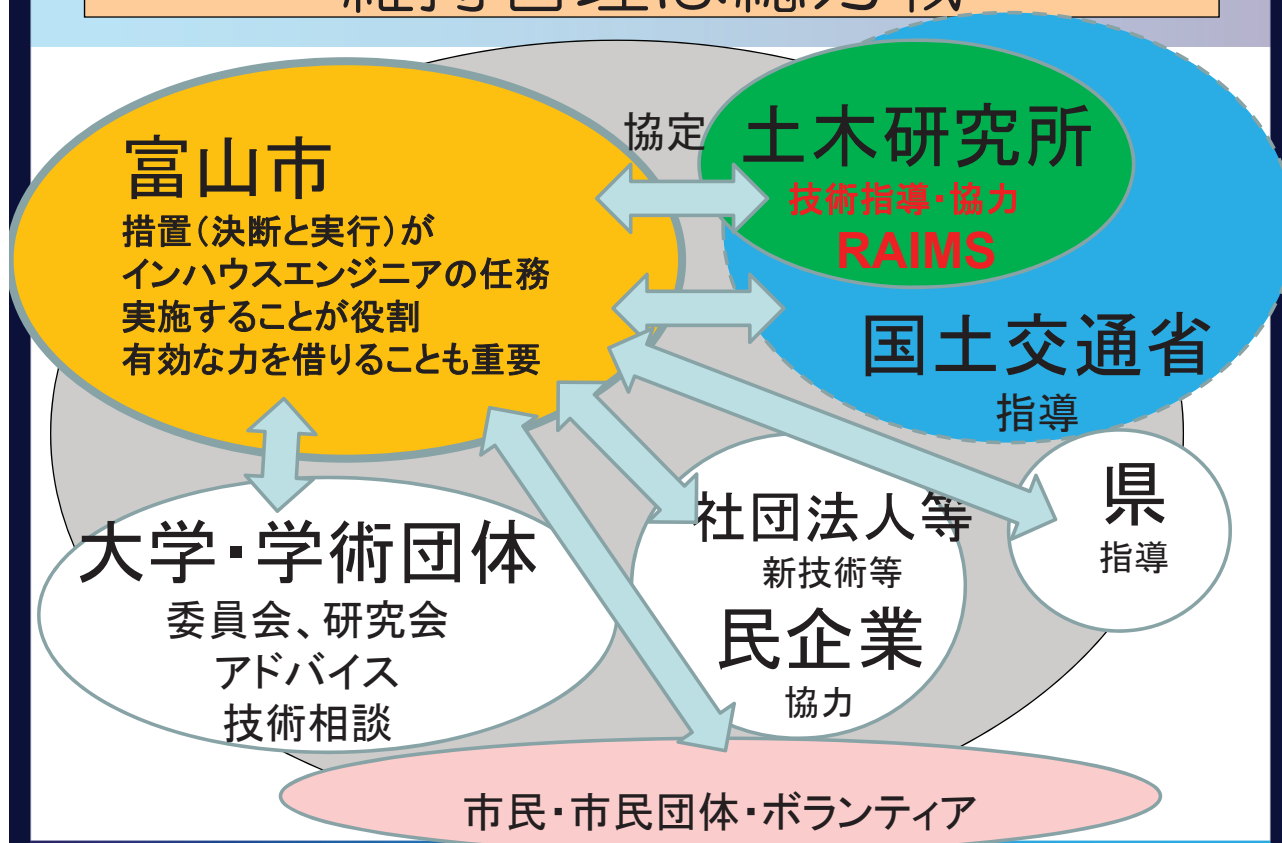
外部講師 年3回程度

「土木女子」向け講演会も



-27-

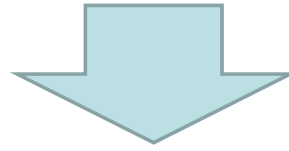
維持管理は総力戦





国立研究法人 土木研究所との 研究協力協定締結

RAIMS(モニタリングシステム技術研究組合)
との協定締結

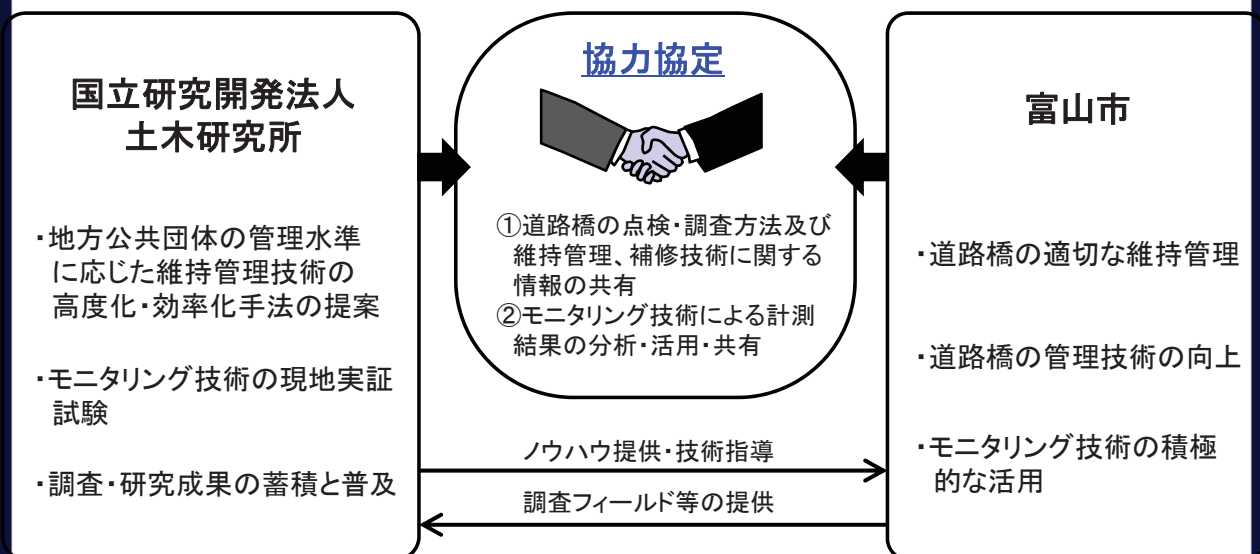


新技術等の研究、実証フィールドは、
積極的に提供する

その後、国内外へ向けて発信

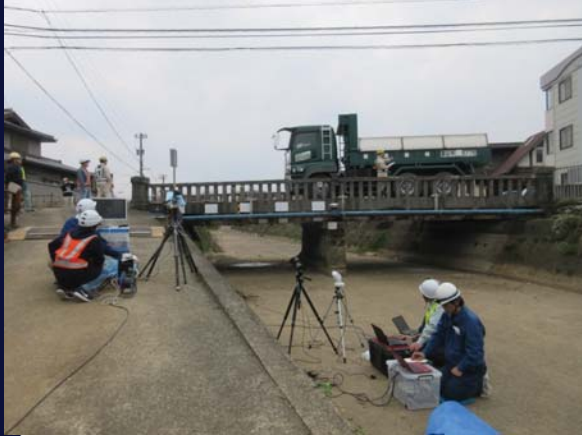
-29-

橋梁の維持管理に関する研究協力協定



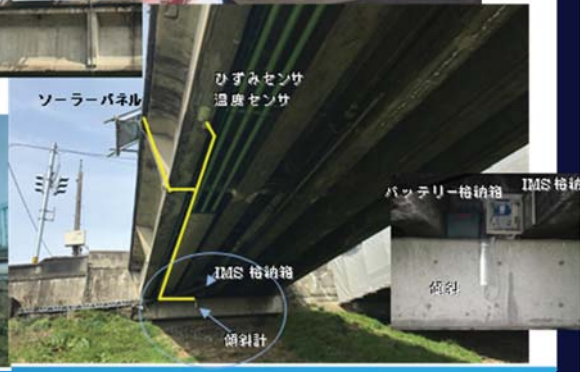
地方公共団体における道路橋の維持管理業務を高度化・効率化する手法の確立

安価で適正なモニタリングシステムへの試行



上:五福4号橋(RAIMS)

下:神通大橋(地元民間検査会社)



-31-

持続可能な富山市橋梁マネジメントの課題と対応策案

	項目	課題	対応策
ヒト	人材の育成	従来どおり主義 何も考えない風土	意識改革、考える職員、考える組織の育成、マネジメント思考
モノ	装備、手法の確保	・各種新技術の有効性が明確でない ・コンサルタントの能力、知見に疑問、新たな業態が必要か？	・有効な点検、補修の手法、材料、技術の、積極的情報収集と検討、有効と判断される技術導入 ・能力のある協力者は不可欠 ・一方で能力不足、不正を行う者は、排除も必要、現状では、お互いにリスクとして残る
カネ	財源	・限られた財源 ・今後の減少も予測される ・積算の安さ	・限られた財源の中で、いかに執行していくか合理性、最適化、生産性向上、コスト縮減、標準化 ・維持管理の積算体系の充実 ・新たな交付金、財源

備考

- ・持続可能な組織、マネジメントを実行していくためには、人材の育成が重要である。
- ・インフラ維持管理のための、新たな「システム(しくみ)」の構築が必要
- ・今後、永続的な検討、研究が必要である。失敗したら是正する。

今後の取り組み(予定)

	項 目	施 策 案
ヒト	人材の育成	・さらなる改革。資質アップ。危機感の醸成
モノ	装備、手法の確保	・コンサルに今後、何をやってもらうか？ ・新たな業態の創設(エンジニアリング会社？) ・さまざまな「新たなしくみ」の創設 ・あらたな検査手法、モニタリング手法の確立、導入 ・補修・補強技術の仕様標準の策定
カネ	財源	・将来の財源難に備える、低コストで有効且つ効果的な維持管理手法の確立への挑戦 ・民間資金導入 ・維持管理コンソーシアム等の確立 ・架替え・撤去・減築・使用法変更等も考慮できる橋梁のトータルマネジメントの 検討
備考		・多くの自治体間で共通する課題の情報の共有。協同。発信 ・市民を巻き込んだインフラ管理 ・地元企業の「パブリックマインド」の醸成 ・富山での広域圏対応

御清聴、ありがとうございました。



北陸新幹線 開業
東京から 2時間少々

鎖国 “富山”は、
これまでと違った変化を生む

ご意見、反論、提案、
フィールド提供依頼、ご相談 等
は「来たれ黒船！！富山市へ」

富山市 建設技術管理監
植野 芳彦 まで

ueno.yoshihiko.47@city.toyama.lg.jp

