

インフラの維持・更新の意義

～人のためにこそコンクリートを～

京都大学
藤井 聡

橋が落ちる。

- ▶ 高度成長期に大量に作られた橋が2010年頃から一気に寿命を迎える(これは、**日本は経験したことのない大更新時代を迎える**ことを意味している)。
 - ・定期点検をしている(政令市除く)市町村はたった2割
 - ・そのため地方が管理する大規模橋梁(15m以上)の約13万橋の約7割が未点検
 - ・老朽化のため「通行止め・通行規制」をしている(地方管轄の)橋梁は977
 - ・長野県・新菅橋が24年目に**落橋**、岐阜県・島田橋が27年目に**落橋**、沖縄県・辺野喜橋が28年目に**落橋**している。
 - ・それにも関わらず、昨今の公共事業関係費の削減のため保守・管理費用は年々減少
- ▶ 今、どこで、「**橋が落ちる事故**」がおきても、全く不思議ではない！

この状況は、既にアメリカで生じている

- ▶ 全国の橋が一気に劣化した1980年頃の米国では、様々な都市で重要な橋が落ち、多くの人命が失われ、大きな経済損失が生じた。

1983 コネチカット州マイアナス橋崩落(→)

1973 マンハッタン・ウェストサイド

ハイウェイ部分崩落

1981 マンハッタン・ブルックリン橋

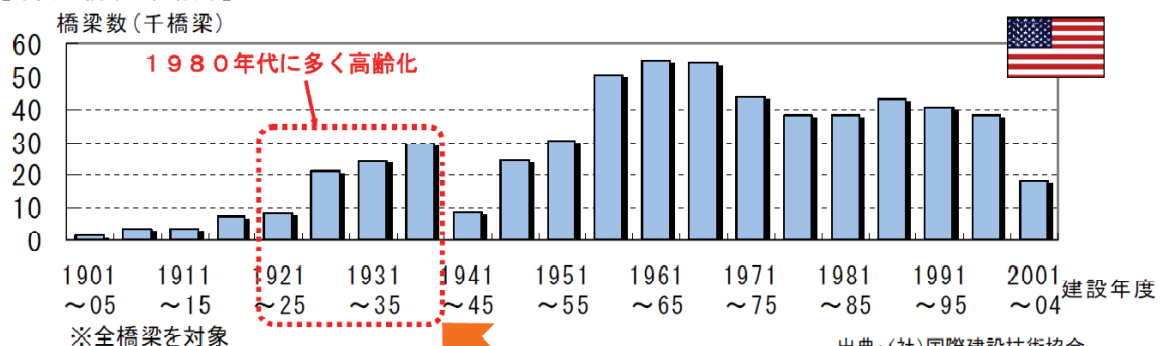
ケーブル破断 (日本人が死亡)



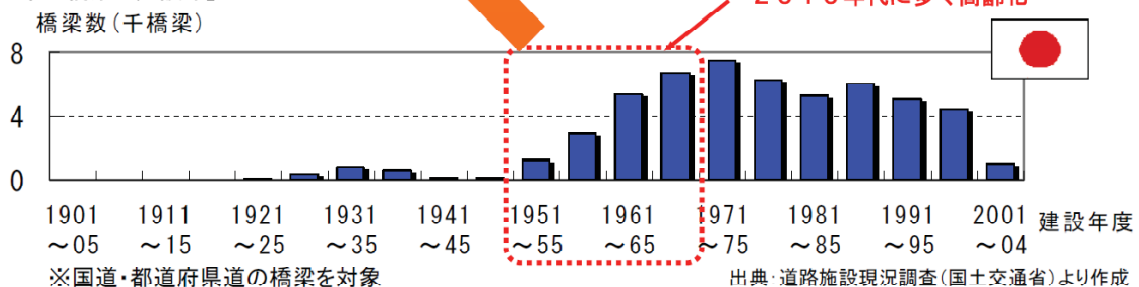
→ 米国ではこれらをきっかけに、道路予算が増額され、インフラの維持補修が大規模に進められた。

同じことが、まさに2010年頃から日本でも！

【米国の橋梁の建設年】

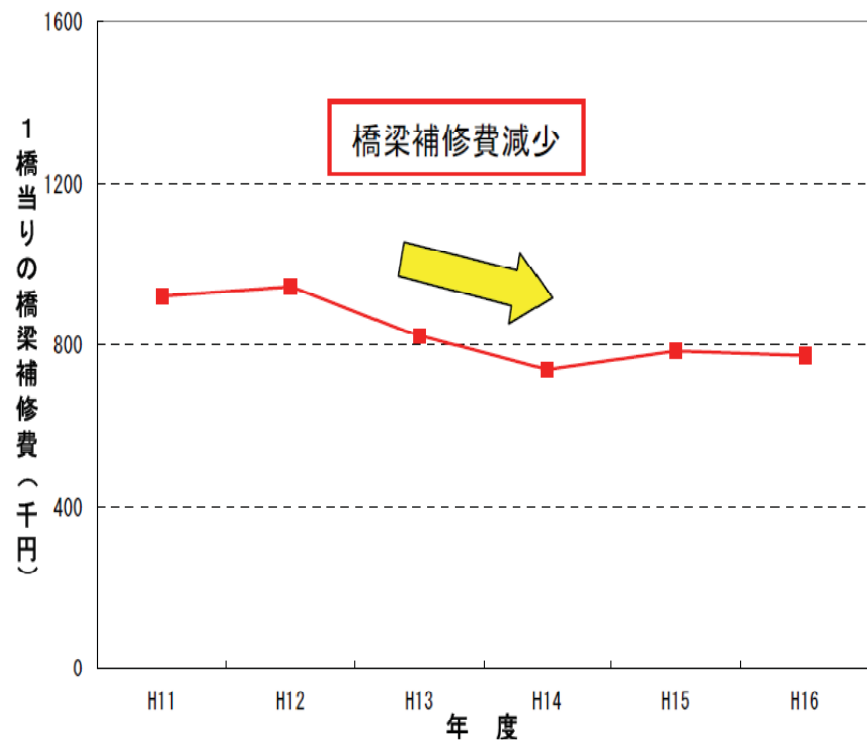


【日本の橋梁の建設年】



しかし....

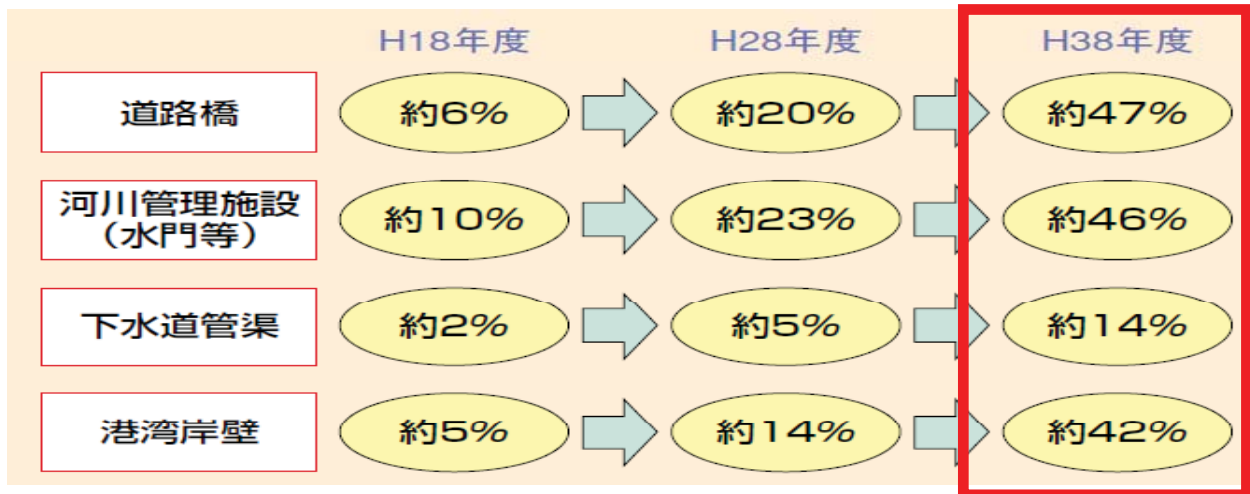
補修のための
予算は、
年々削減....



橋梁のメンテナンスに必要な予算＝ **80兆円程度**

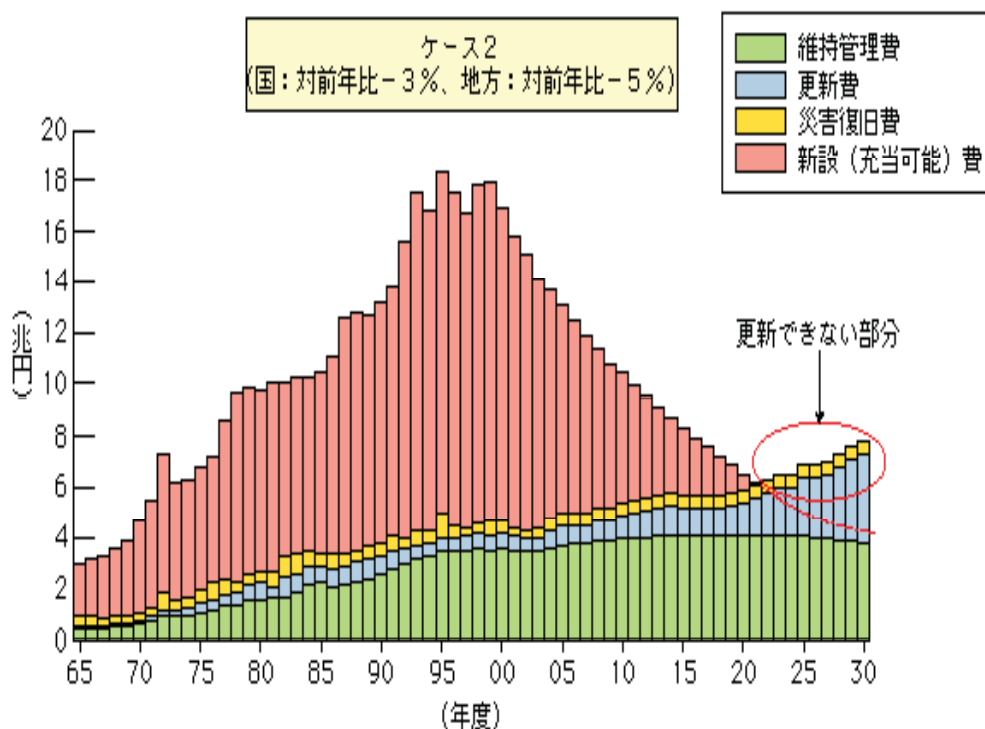
- ▶ アメリカでは「130兆円」が必要と資産されている（アメリカ土木学会）
- ▶ 日本は、アメリカのおおよそ三分の二程度の橋がある。ことから、80兆円程度と試算
- ▶ 40年かけてゆっくりやっていくとしても、**年間2兆円**は、橋梁のメンテナンス「だけ」に必要！

建築後50年以上経過する社会資本の割合



※下水道については、侵食が激しく、50年持たないと言われている。

「コンクリートから人へ」では、インフラのメンテナンスすら出来なくなることは**明白**。



こうした、
「インフラ大更新時代」
の、意味を考えてみる。



「土木」とは何か？

- ▶ Civil Engineering = 文明を維持し、改善していく営み
- ▶ 築土構木 = 「聖人」による「公的・倫理的」取り組み
- ▶ 土木の原罪



コンクリートの意義

- ▶ 木の文化 石の文化

それぞれの原罪



- ▶ コンクリートの文化(=“近代文明”)

それぞれの原罪



- ▶ 急激な老朽化

=人類がはじめて経験する「インフラ大更新時代」

このタイミングで、

インフラの維持(我々の文明の生き残り)と、

「余裕」に応じた高度化 (この近代文明の質的改善！)
を果たすべきではないか。

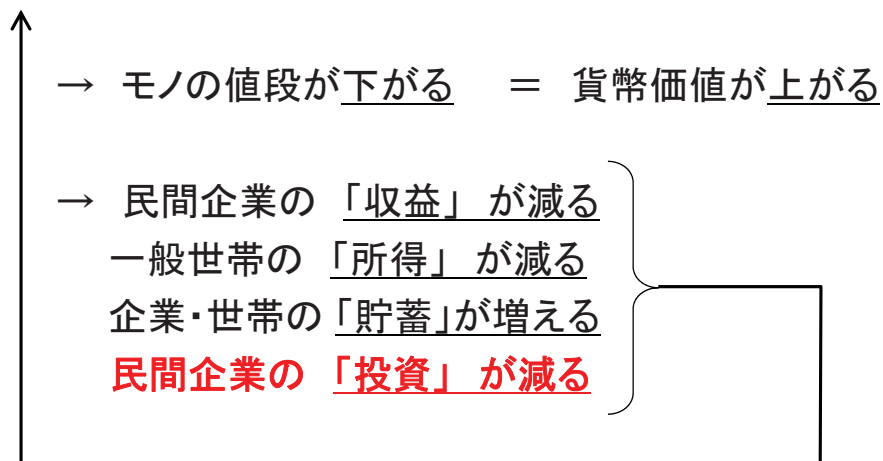


(付録) 公共事業のマクロ経済政策的意義



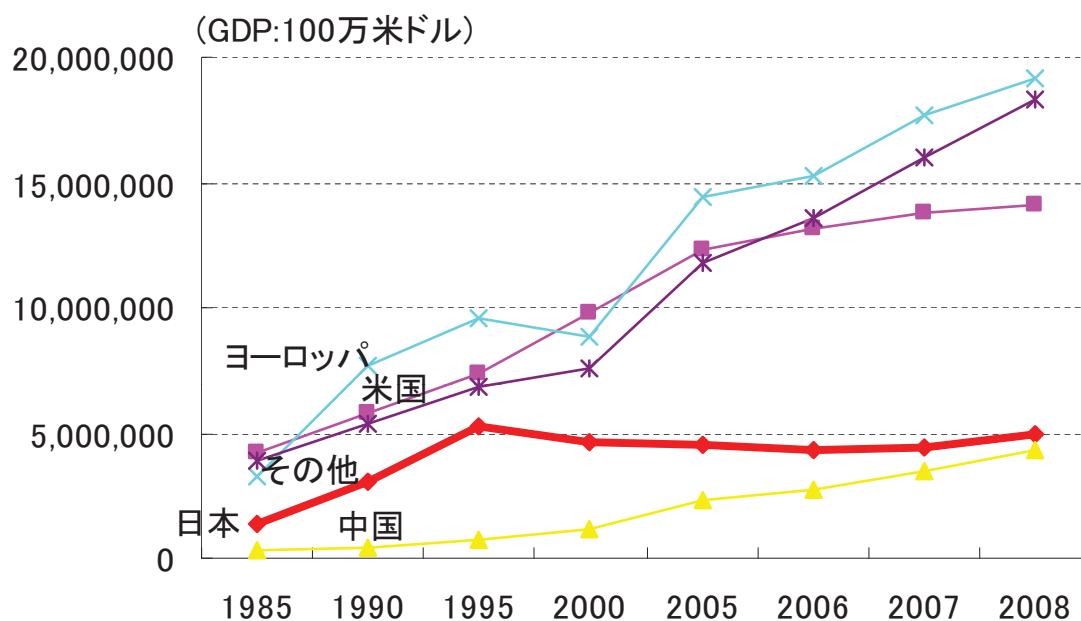
疑問 1 デフレとは？

- ▶ 「供給」(売ろうとする量)が多いのに、
「需要」(買おうとする量)が少ない。

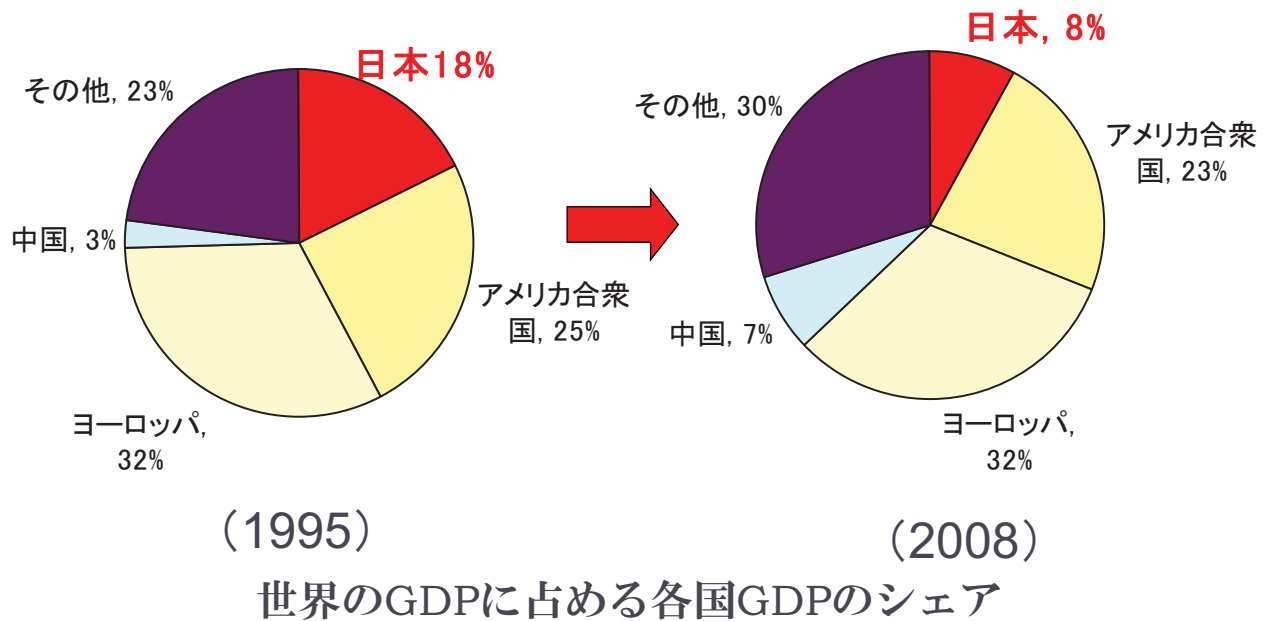


- ▶ こうして、**GDPは減り、失業者が増え、国民が貧しくなる**

(デフレのせいで、凋落していく日本)



(驚くほどにプレゼンスを低下させた日本)



疑問2 デフレから抜け出すには？

- ▶ 待っていても、デフレから脱出できない。

理由： それは「スパイラル」なのだから。

「景気循環」でデフレはおわらない。

- ▶ デフレから脱出する最善の策は、
「公共投資による内需拡大」

理由： 「不足した需要」(デフレギャップ)を埋める以外に
デフレは終わらない。

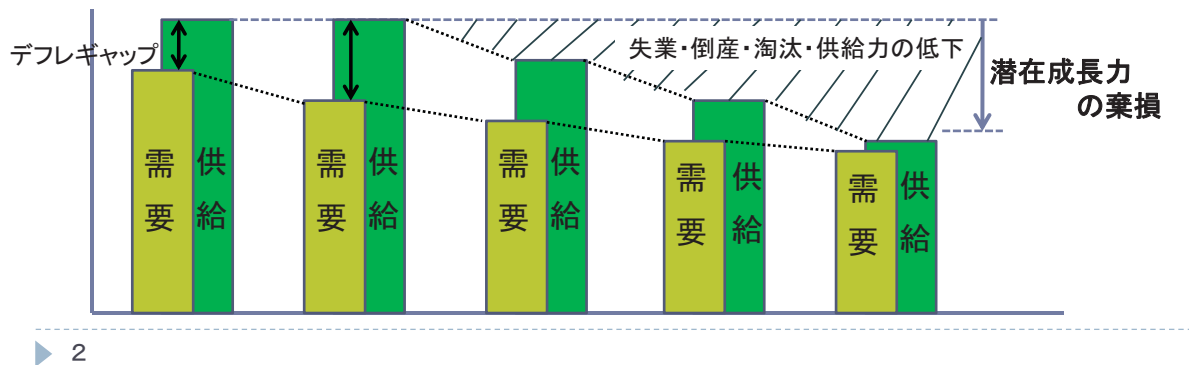
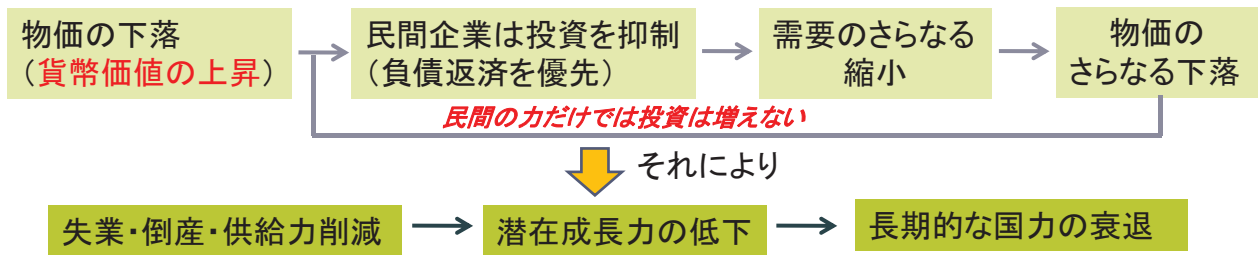
しかし

何十兆円にも上るギャップを埋められる体力を
持つ経済主体は**「日本国政府」以外にない！**

(デフレメカニズム)

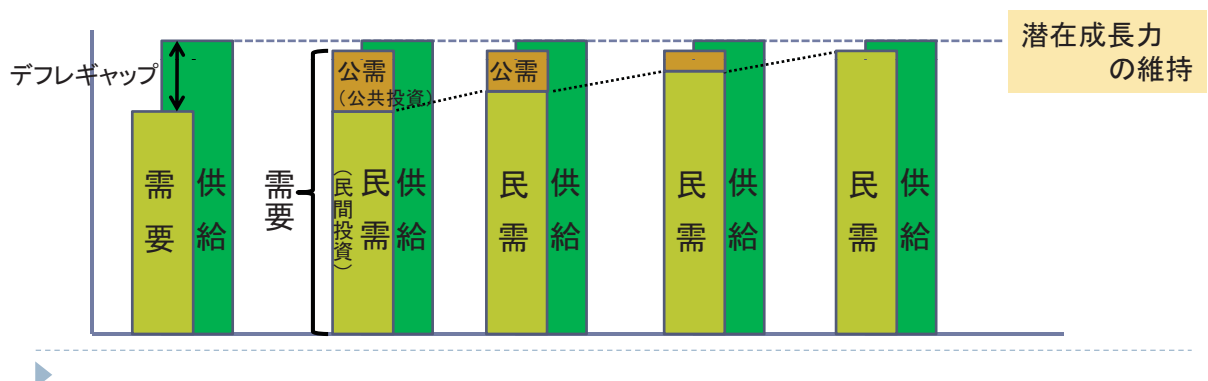
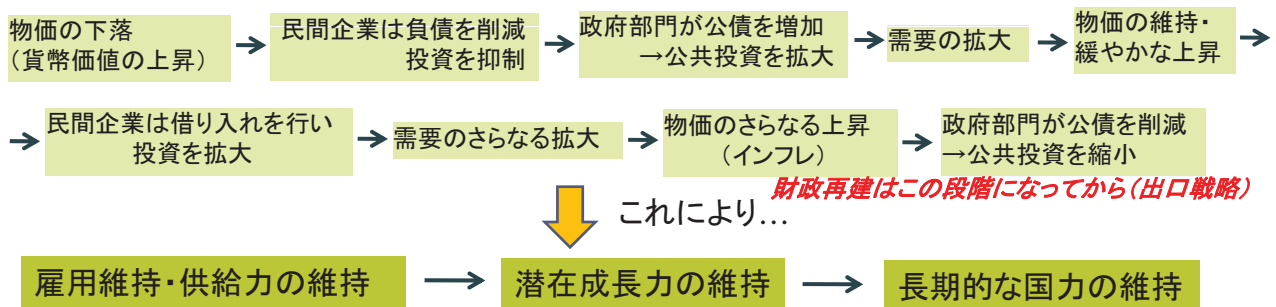
デフレは...

需要<供給の状態によってもたらされる



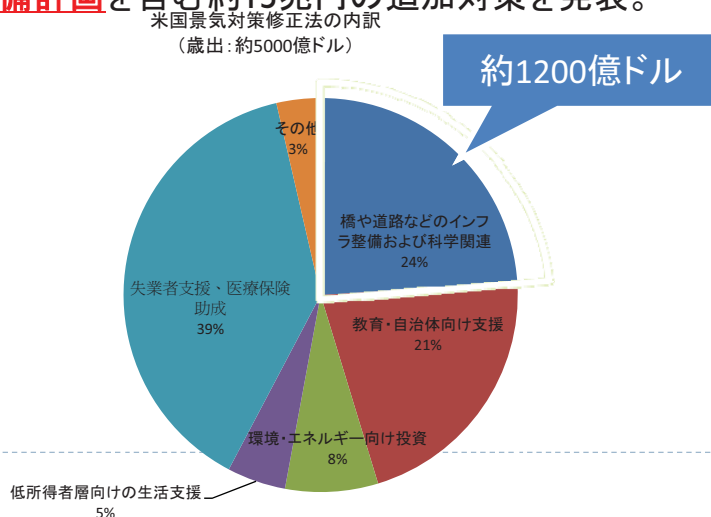
(公共投資によるデフレ脱却)

需要<供給



(例えば、リーマンショック後のアメリカでは.....)

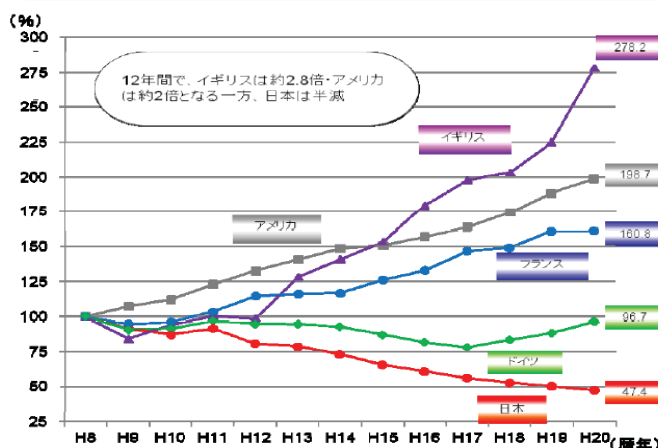
- ▶ 2008年12月、オバマ大統領は、**1950年代以降最大となる包括的なインフラ整備計画**を発表。
- ▶ 既存の国内輸送網への投資強化を目的とする「**国家インフラ再投資銀行**」構想を提唱。
- ▶ 2010年9月、米経済の二番底が懸念される中、オバマ政権は、**4.2兆円の輸送インフラ整備計画**を含む約15兆円の追加対策を発表。



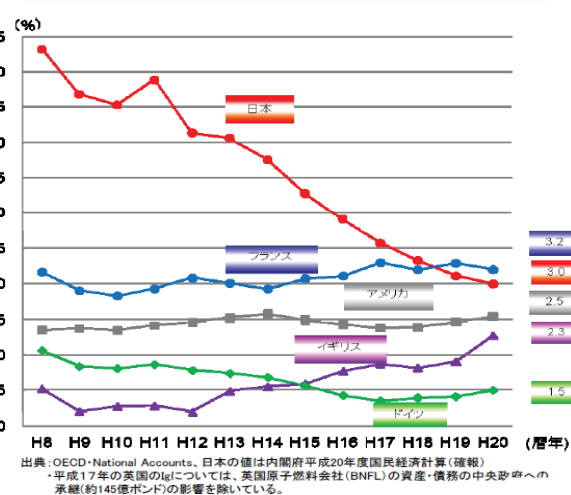
疑問3 なぜ、今デフレなのか？

- ▶ バブル崩壊後に、**公共事業を控えているから**
(=アメリカの様な「ニューディール」をしていないから)

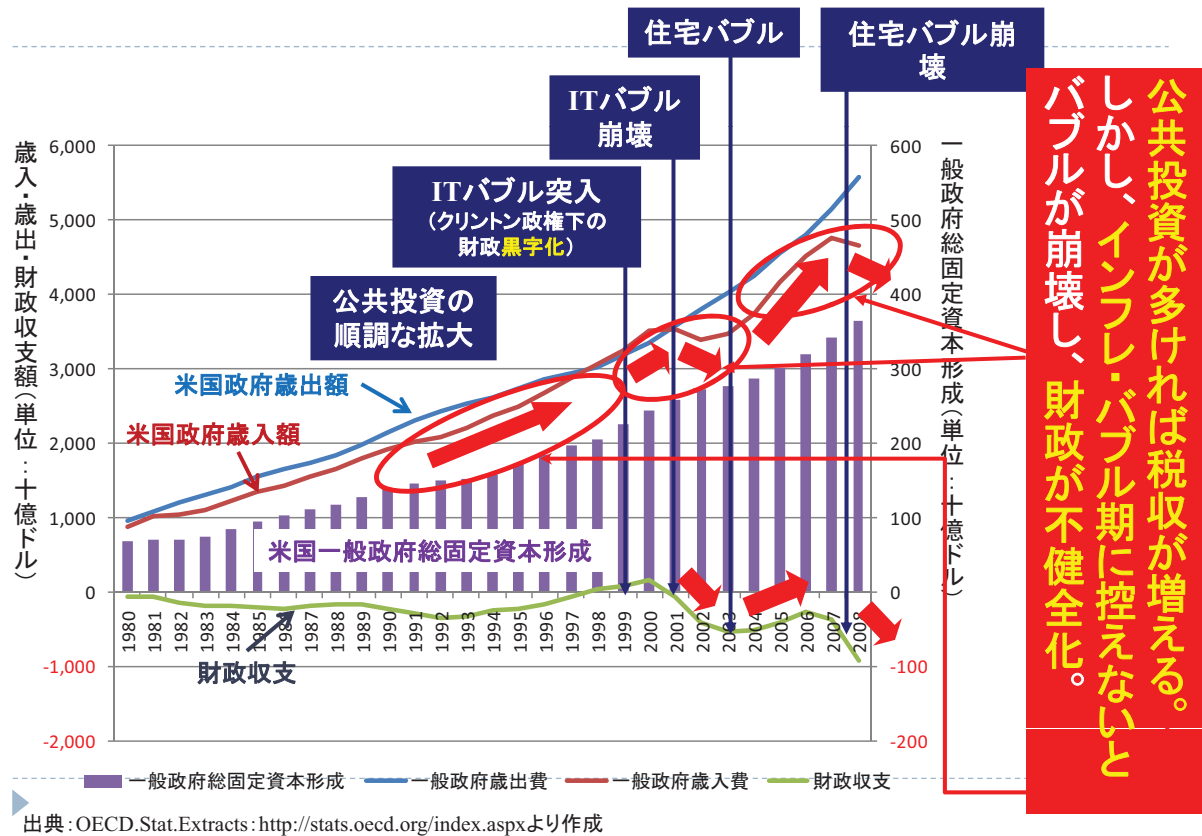
一般政府公的固定資本形成の推移(平成8年を100とした割合)



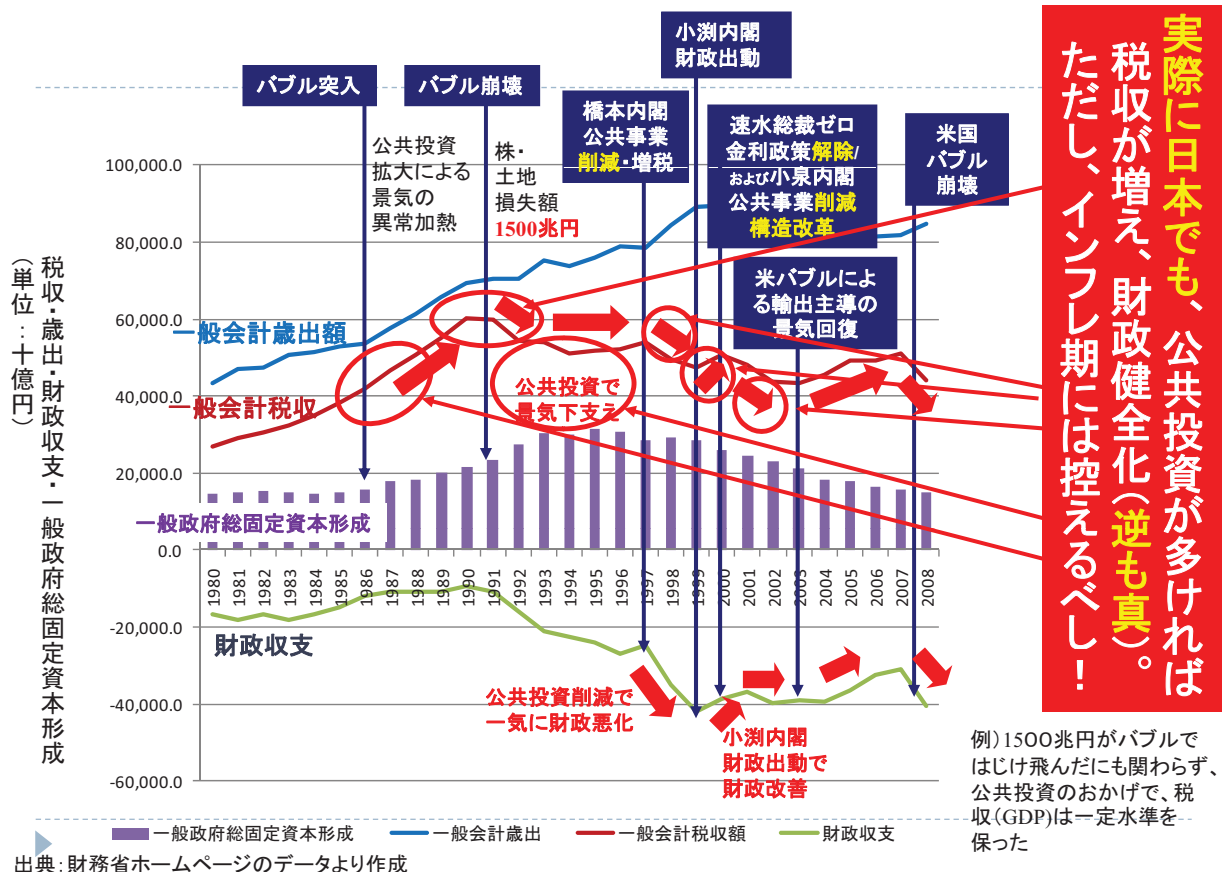
一般政府公的固定資本形成のGDPに占める割合



米国の一般政府資本形成と財政収支



日本の一般政府資本形成と財政収支



つまり.....

- ▶ 日本でもアメリカでも、**実際に**、公共投資の拡大は、**税収拡大、財政健全化**に貢献してきた。

(小渕政権の投資拡大、日本のバブル後の公共投資拡大、クリントン政権下の財政黒字化)

- ▶ ただし、**インフレ期に公共投資を縮小しないと**、景気が過熱し、**バブル→バブル崩壊**となり、**一千兆円規模の経済損失**が生ずる。

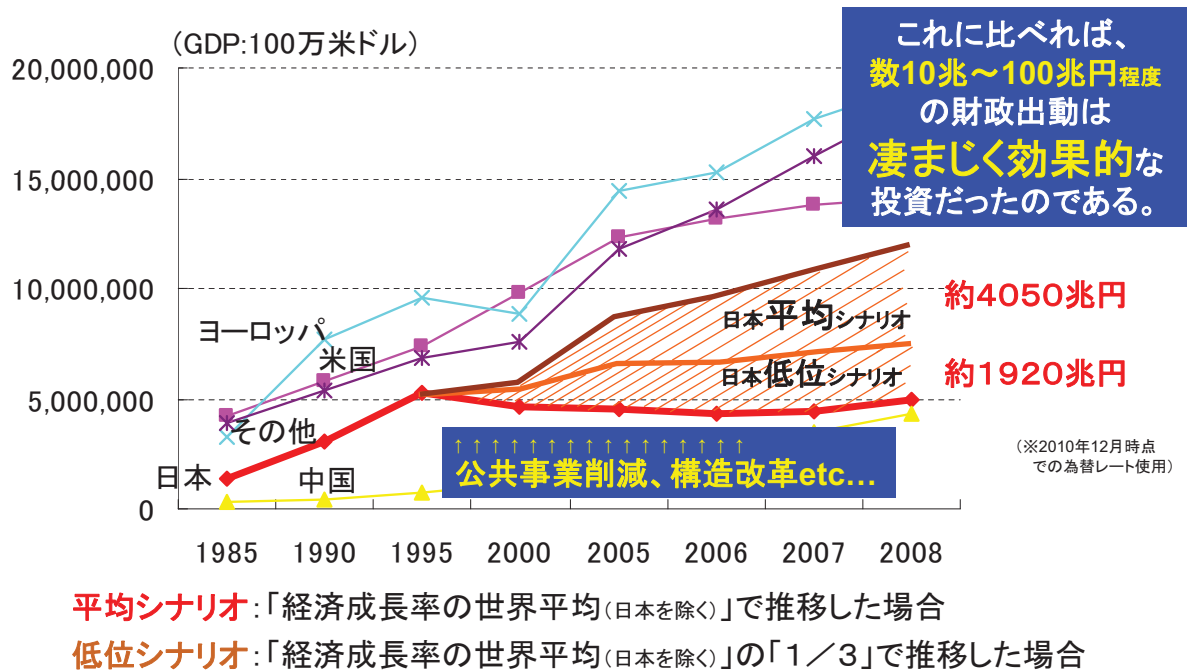
→だから、景気を見ながら公共投資の拡大／縮小(+税率)を調整していくことが不可欠。

だから...

→ 当面 (**デフレ**期間中) は、**建設国債**を発行し
徹底的に公共投資を。

→ デフレを脱却すれば (**インフレ**になれば)
公共投資を平常水準に戻し
(必要に応じて消費税) **増税で財政再建。**

我が国はそんな対策をせずに、**デフレ**を放置したために、**2000兆円～4000兆円規模の経済損失**を被ってしまった。



詳しくは.....

▶「公共事業が日本を救う」

▶「列島強靱化論」

(文春新書)

▶「正々堂々と公共事業の
雇用創出効果を論ぜよ」

(日刊建設工業新聞社)

北陸地方の損傷橋梁の現状と対応

第4回 CAESAR講演会

平成23年8月24日

北陸地方整備局
道路保全企画官 平賀 和文



北陸地方の損傷橋梁の現状と対応

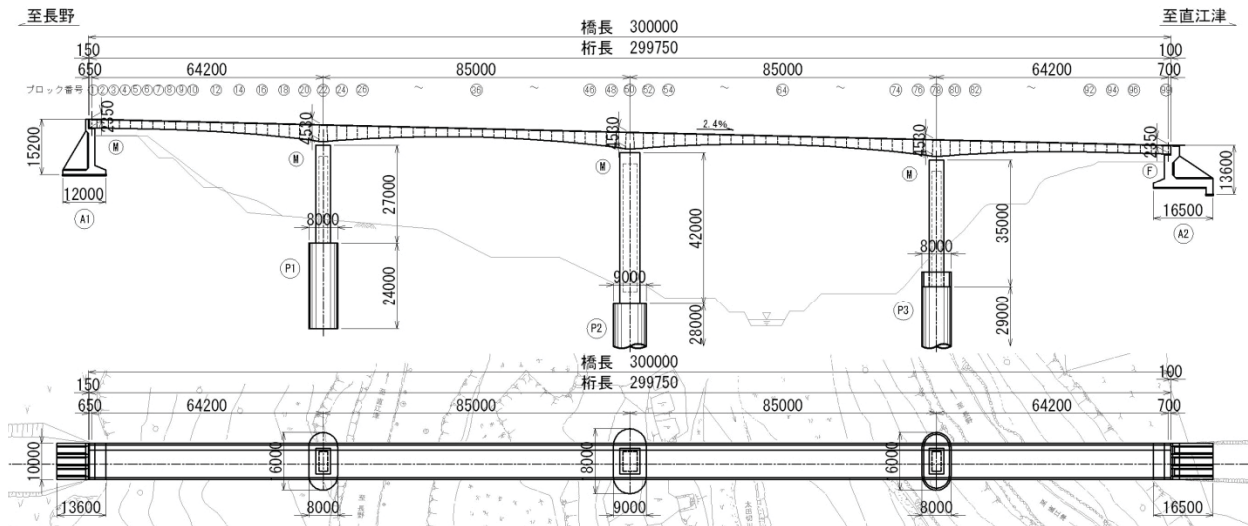
1. 妙高大橋の概要
2. 北陸の橋梁の状況
3. 今後の課題



1. 妙高大橋の概要

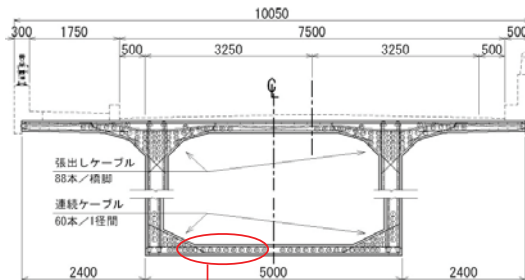
1.1 橋梁概要

橋 格 : 1等橋 (TL-20)
 竣 工 : 昭和47年
 橋 長 : 300m
 幅 員 : 9.0m (車道7.5m 歩道1.5m)
 上部構造 : 4径間連続PC箱桁橋
 プレキャストセグメント工法

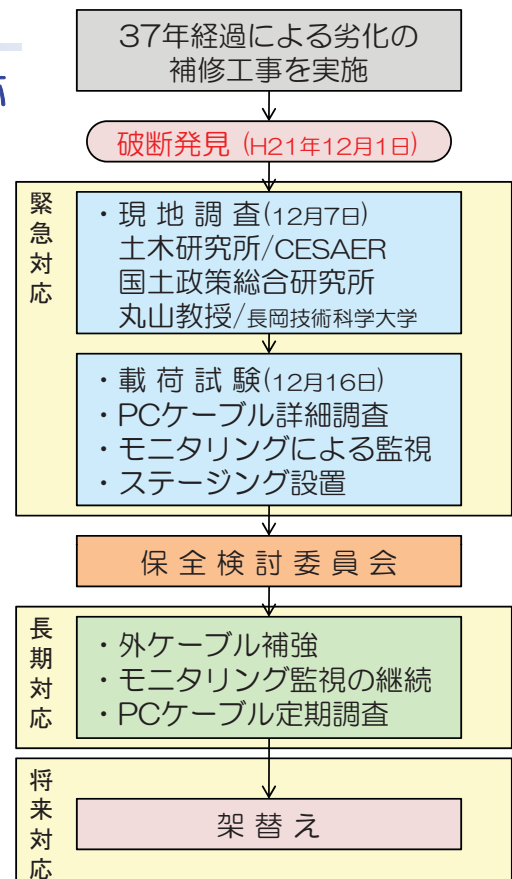
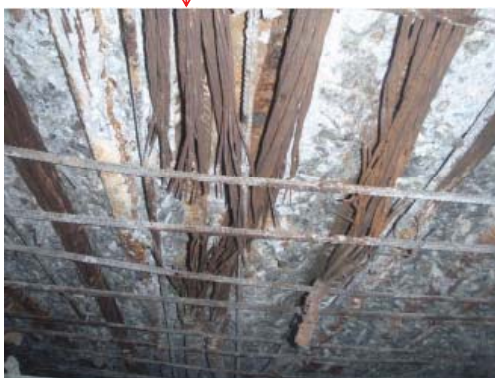


1. 妙高大橋の概要

1.2 破断発見時からの一連の対応



9本破断



1. 妙高大橋の概要

1.3 載荷試験

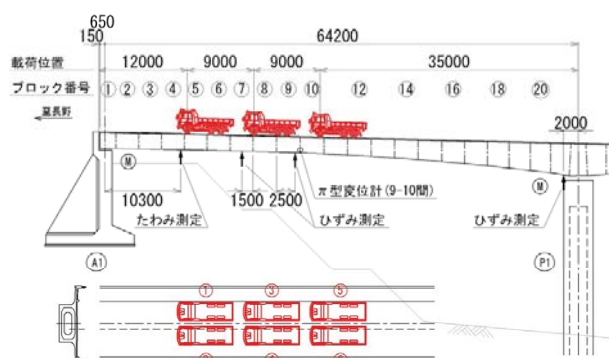
- ・コンクリート応力は計算値と概ね整合。
- ・たわみ量は計算値の約6割程度。
- ・セグメント継ぎ目に大きな開きは生じなかった。

測定箇所	応力度(N/mm ²)	
	載荷試験	計算値
第1径間 9ブロック	-3.4	-3.5
第4径間 91ブロック	-3.3	-3.6

測定箇所	たわみ量(mm)	
	載荷試験	計算値
第1径間	8.0	13.6
第4径間	6.2	9.8

※ 表は結果の抜粋値を示す
※ 応力は歩道側下床版を示す。

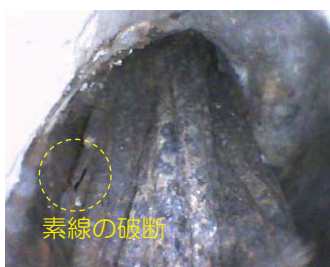
載荷荷重：120t（静的載荷）
載荷位置：第1径間、第4径間



1. 妙高大橋の概要

1.4 PCケーブル詳細調査

全体の損傷を効率的に把握するために、
削孔内視鏡調査による2段階調査を実施



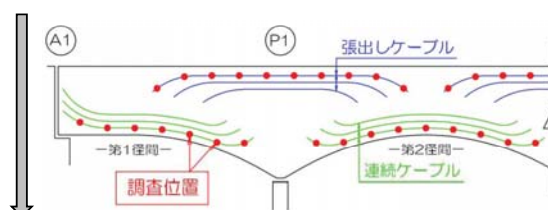
例①：素線の破断



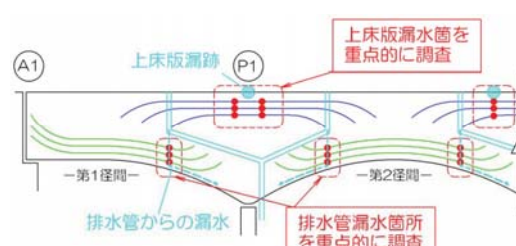
例②：大部分の素線の破断

- 調査手順概要 -

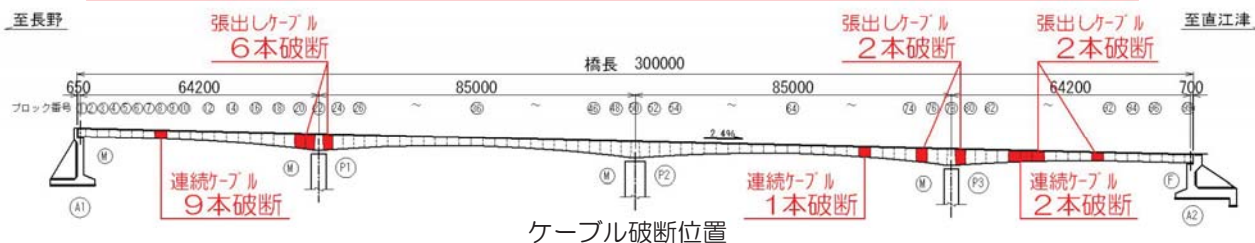
【1次調査】ケーブルの長さ方向に調査



【2次調査】損傷の激しい断面を調査



・ 詳細調査の結果、合計22本のケーブルが破断していることを確認

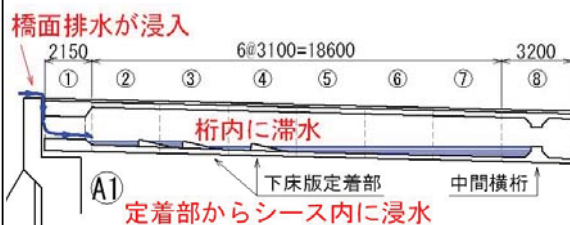


1. 妙高大橋の概要

- ・破断原因：グラウトが充填されていない箇所へ橋面排水が浸入したことによって腐食して破断

橋面排水の主な浸入箇所

① 桁端部からの浸水

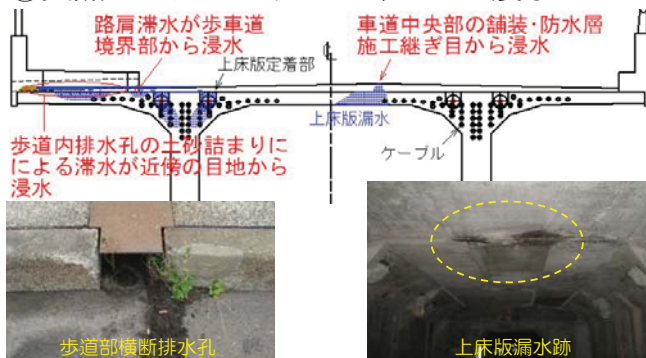


S54点検時 滞水状況
3ブロック定着部付近



S58点検時 滞水状況
8ブロック横桁位置

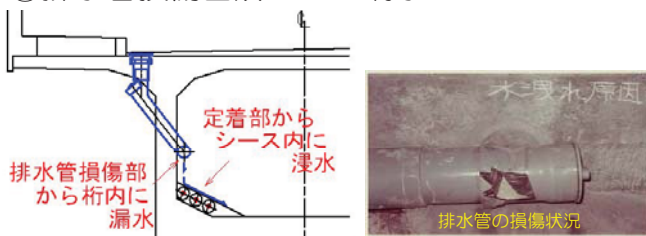
② 支点上セグメント目地部からの浸水



歩道部横断排水孔

上床版漏水跡

③ 排水管損傷箇所からの漏水



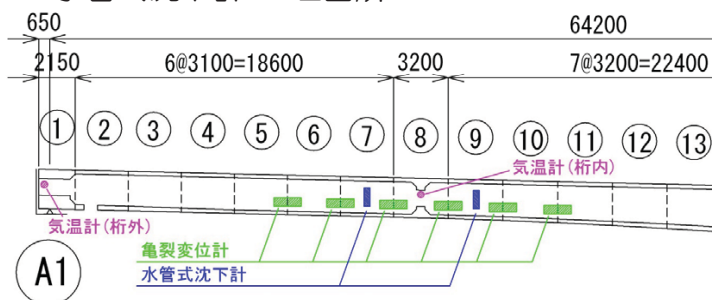
排水管の損傷状況

1. 妙高大橋の概要

1.5 モニタリングによる監視

第1径間8ブロックを中心にモニタリング

- ・ 亀裂変位計 × 12箇所
- ・ 水管式沈下計 × 2箇所



A1



亀裂変位計



水管式沈下計

1.6 ステージング設置



フェイルセーフとして第1径間にステージングを設置



1. 妙高大橋の概要

・モニタリング管理基準(案)

	管理レベル	主 な 対 応
注意 レベル	たわみ量 =15mm 目地変位 =0.2mm	・自動計測値を確認し、定時間隔で監視 ・CCTVで確認 ・パトロールにより交通状態や異常等の有無を確認 ・変形の増加原因を推定 ・原因特定や除去ができた場合は通常体制に戻す ・注意レベルが頻繁に現れる場合は警戒レベルへ移行
警戒 レベル	たわみ量 =20mm 目地変位 =0.3mm	・専門技術者等に現地調査を要請し状態確認と原因を推定 ・大型車連行防止のために交通整理員を配置 ・詳細調査を実施し、損傷状況を把握 ・委員会を招集して助言を受ける
限界 レベル	たわみ量 =40mm 目地変位 =0.5mm	・交通規制を実施（旧道や高速道路へ迂回） ・状況に応じて外ケーブルの2次緊張に着手 ・効果が確認できれば規制を緩和 ・効果が確認できない場合は迂回仮栈橋の構築等に着手

1. 妙高大橋の概要

1.7 委員会による方向性の確認

方針1 代替路線がないこと、載荷試験の荷重まで確認できたことから、当面現橋を継続供用する。

方針2 架替えの準備を開始する。

方針3 架替え完了までの間、補強と管理の両面による対策を実施する。

方針4 外ケーブル補強と、橋面防水対策による劣化原因の除去を行う。

方針5 モニタリングや定期的な詳細調査を実施し、劣化の進行把握と交通規制実施の判断材料とする。

【モニタリング：目地の開き・たわみ量・CCTV・定期水準測量 他】

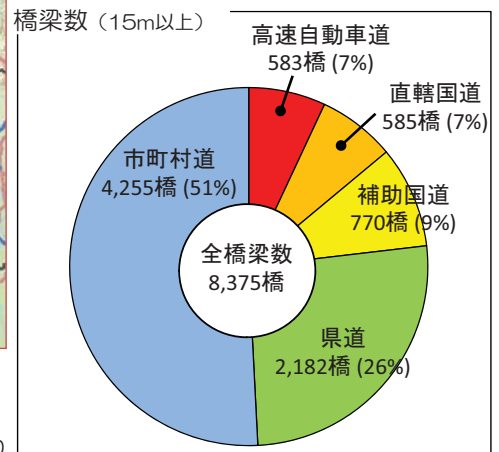
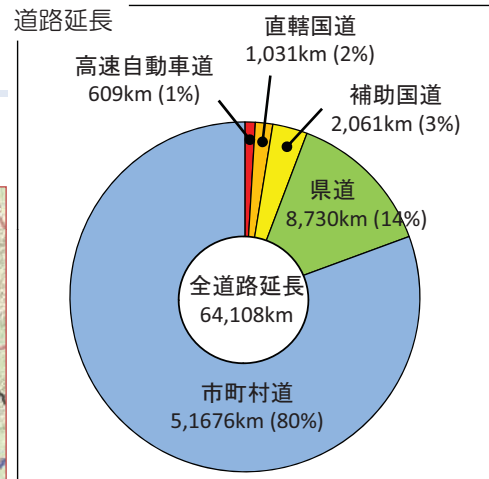
方針6 万が一に備え、関係機関と調整するなど万全の体制を取る。

2. 北陸の橋梁の状況

2.1 北陸地方の管理状況

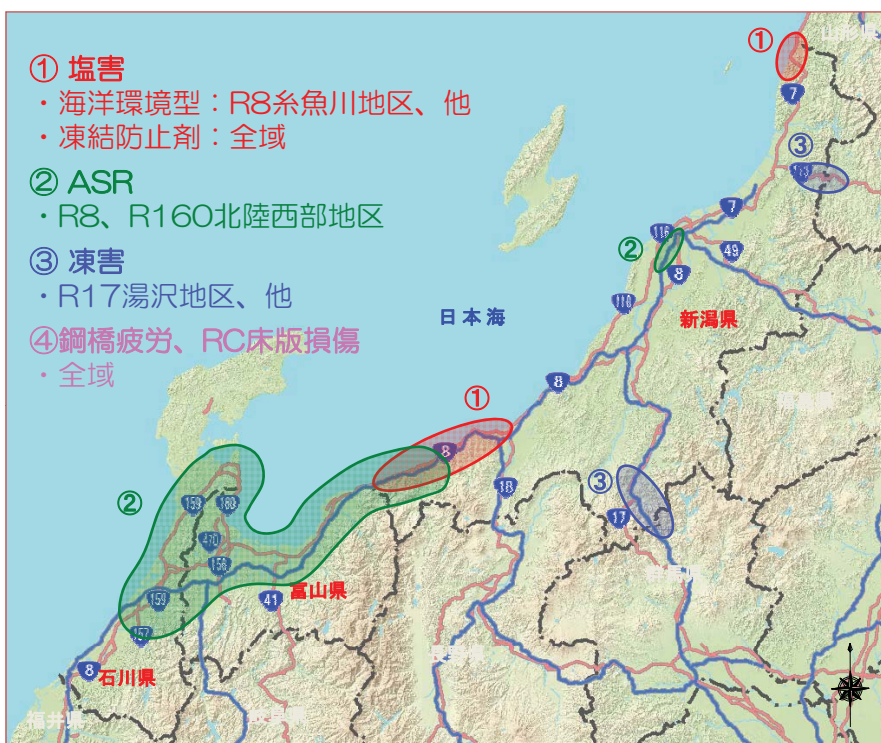


道路統計年報2010より



2. 北陸の橋梁の状況

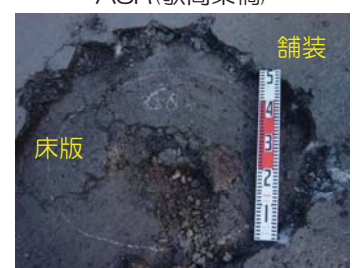
2.2 北陸地整管内の橋梁の損傷状況



塩害(能生大橋)



ASR(歌高架橋)



床版劣化(笠取橋)

2. 北陸の橋梁の状況

2.3 塩害による架替え（例:高田河国）

「管内橋梁維持管理計画策定委員会」

（H16年度～H20年度 委員長：丸山久一教授／長岡技術科学大学）

において架け替え対象橋梁**8橋**を抽出

高田河川国道事務所 管理数

	国道8号	国道18号	合 計
道路	89.2km	37.9km	127.1km
橋梁	158橋	37橋	195橋

塩害橋梁

	国道8号
塩害橋梁	35橋

腐食状況・補修回数によって架け替え8橋を抽出



2. 北陸の橋梁の状況

2.4 架替え対象橋梁の抽出方法

鋼材腐食状況が①(グレードⅣ)もしくは②(グレードⅢ)で塩害補修回数が複数回のものを選定

架替え対象橋梁

No	橋梁名	鋼材腐食状況	健全度の評価	塩害補修回数
1	有間川橋	②	グレードⅢ	3
2	筒石橋	①	グレードⅣ	4
3	弁天大橋	①	グレードⅣ	4
4	能生大橋	①	グレードⅣ	4
5	両鬼橋	①	グレードⅣ	2
6	青海川橋	②	グレードⅢ	2
7	歌高架橋	②	グレードⅢ	3
8	境橋	②	グレードⅢ	3

鋼材腐食度の評価

健全度の評価		鋼材腐食状況	
グレード	内 容	判定区分	鋼材の腐食度
I	塩害以外	⑤	腐食なし
II	塩害損傷が将来懸念される	④	ごく表面的な腐食
III	塩害の損傷が見られる	③	浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食
		②	断面欠損が著しい腐食
IV	塩害の損傷が甚大	①	鋼材が破断している場合

H18 塩害橋梁維持管理マニュアル(案)より

2. 北陸の橋梁の状況

2.5 今後の対応方針

架替え橋梁の優先順位

No.	橋梁名	竣工年	経過年	2009年 (現在)	2010年 (1年後)	2011年 (2年後)	2012年 (3年後)	2013年 (4年後)	2014年 (5年後)	2015年 (6年後)	2016年 (7年後)	2017年 (8年後)	2018年 (9年後)	2019年 (10年後)	2020年 (11年後)	2024年 (15年後)
①	有間川橋	1962	47年	管理限界											⑥位	
②	筒石橋 (第1径間)	1967	42年	管理限界			③位									
③	弁天大橋	1972	37年	管理限界											⑤位	
④	能生大橋	1966	43年	管理限界			①位									
⑤	両鬼橋	1966	43年	管理限界			②位									
⑥	青海川橋	1970	39年	管理限界											⑥位	
⑦	歌高架橋	1975	34年	管理限界											④位	
⑧	境橋	1952	57年	管理限界											⑧位	

: 耐荷力に余裕のある橋梁
 : 耐荷力に余裕のない橋梁

管理限界まで [5年以内]
 管理限界まで [5年以上]

H21年度資料より

2. 北陸の橋梁の状況

・能生大橋

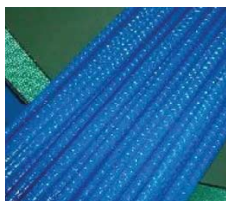
現在架替え工事中。

工事状況写真

H23.4.7現在



IP 塗装鉄筋



ステン鉄筋



被覆PC鋼材



半透明グ ラウトキャップ



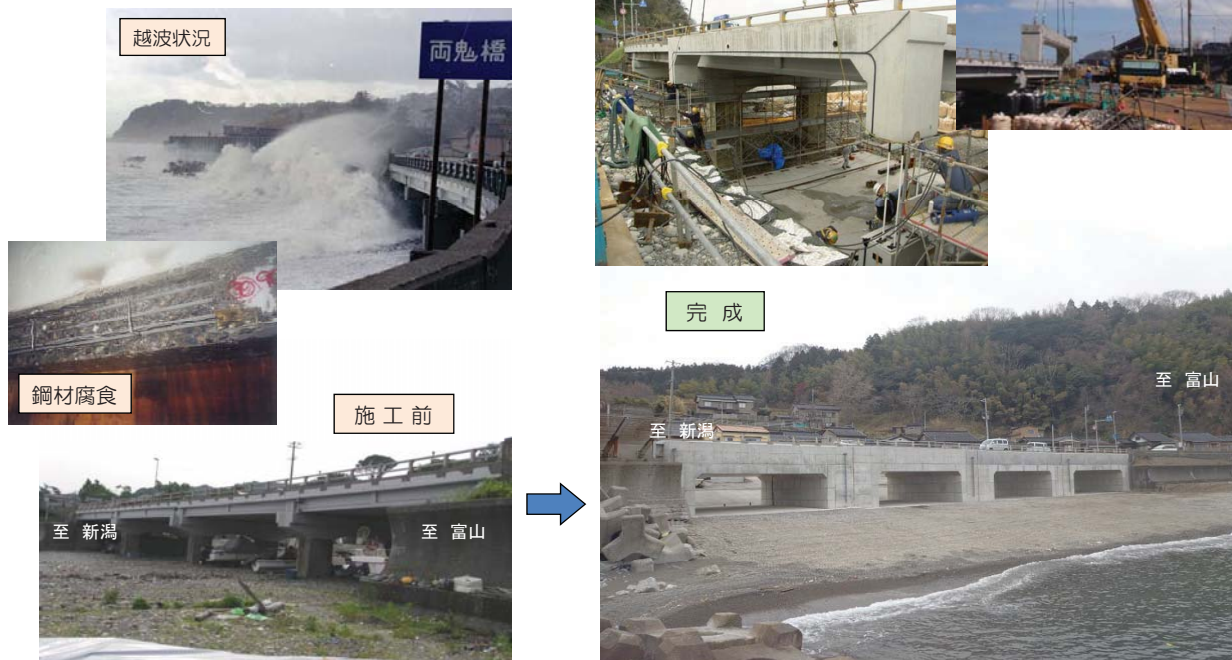
カップ ラーセス



2. 北陸の橋梁の状況

・両鬼橋

ボックスカルバート化工事を進め、平成22年度完成。



3. 今後の課題

3.1 診断・補修における課題

構造物の調査では、破壊を伴わない非破壊調査が望ましいが、現時点では有効な技術が無く、道路管理者は現在使える技術の中で対処している。

現在の主な非破壊調査の適用性

非破壊調査技術	表面 ←--- →--- 内部					
	コンクリート表面の欠陥	ひび割れ深さ	鉄筋配置	鉄筋の腐食状況	グラウト充填状況	ケーブル腐食状況
赤外線法	○	—	—	×	×	×
超音波法	○	○	—	×	×	×
電磁波法	○	—	○	×	×	×
パワートラフ法	○	○	—	×	○	×
X線透過法	○	○	○	×	○	×
衝撃弾性波法	—	—	—	×	○	×
自然電位法	—	—	—	△	×	×

ここをカバーする技術が必要

「高精度」「経済的」「簡単」な非破壊調査技術が必要

より一層の技術開発が望まれる

3. 今後の課題

3.2 自治体の管理技術力向上(1)

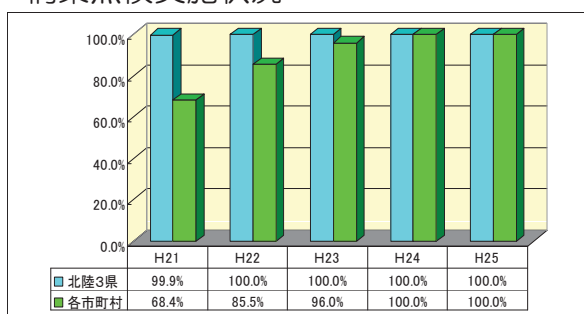
○自治体の橋梁管理状況（北陸3県）

管理橋梁数（15m以上）

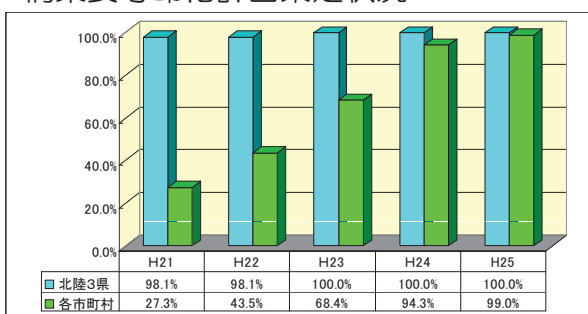
	新潟県	富山県	石川県
県道	1149 橋	545 橋	488 橋
主要地方道	534 橋	281 橋	303 橋
一般県道	615 橋	264 橋	185 橋
市町村道	2654 橋	814 橋	787 橋

「道路統計年報2010」より

橋梁点検実施状況



橋梁長寿命化計画策定状況



3. 今後の課題

3.2 自治体の管理技術力向上(2)

○自治体への橋梁保全講習会の実施

平成19年度より、整備局・国土技術政策総合研究所・土木研究所職員等を講師に招き、橋梁の長寿命化に向けた橋梁技術支援に係る講習会、および現地にて橋梁点検の実技演習を実施している。

●平成23年度講習会実施状況



●現地実習実施状況



ご静聴ありがとうございました



メンテナンスに関する 技術的な課題と取り組み

第4回CAESAR講演会

2011. 8. 24

独立行政法人土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
橋梁構造研究グループ長 桑原徹郎



予防保全実現の方策とCAESARの設立

道路橋の予防保全に向けた有識者会議提言，平成20年5月

《 道路橋保全の現状 》

見ない

見過ごし

先送り

《 予防保全を実現する5つの方策 》

1. 点検の制度化

2. 点検・診断の信頼性確保

3. 技術開発の推進

5. データベースの構築と活用

4. 技術拠点の整備

地域拠点

支援
情報
研修

損傷・補修等
情報・相談

ブロック拠点

支援
情報
研修

損傷・補修等
情報・相談

全国拠点



1. 現場の支援

課題のある橋梁の診断・処方
蓄積された知見を提供
現場技術者への技術移転

CAESAR

構造物保全技術の中核的研究拠点

2. 研究開発

臨床研究に基づき
現場で活用できる技術を開発

3. 情報交流の場

最先端の技術情報が集まり
交流・発信できる場を設定

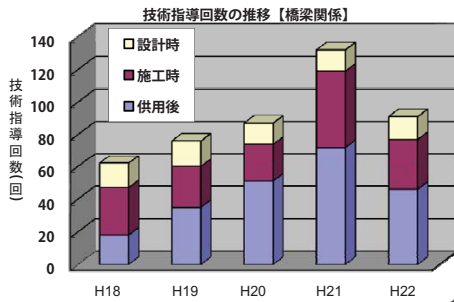


1. 現場の支援

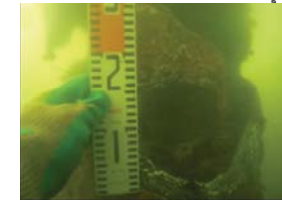
- ・課題のある橋梁の診断・処方
- ・蓄積された知見の提供
- ・現場技術者への技術移転



CAESARに寄せられた技術相談



供用中の橋に関する
相談依頼



バイルベントの腐食・断面欠損



鋼床版で発見された亀裂



ASRIによる損傷



地震による落橋



コンクリート橋におけるPC鋼線の破断

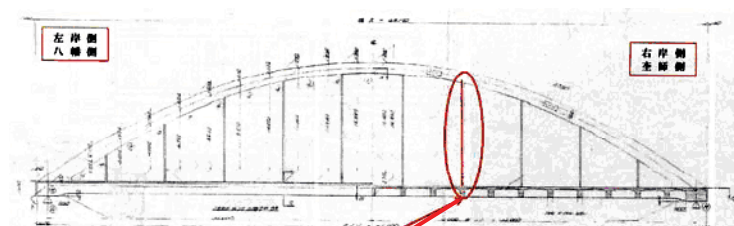


技術相談事例：アーチ橋吊り材の破断

市管理橋梁

橋梁形式：下路式PCローゼ橋
橋長：L=68.1m 幅員：W=14.0m

損傷部位：アーチ吊材(PC鋼棒)
損傷の種類：破断



側面図

国総研・CAESAR

損傷原因と補修対策

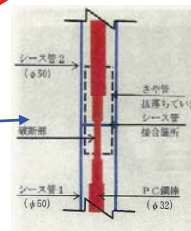
- ・異種金属接触腐食によるPC鋼棒の破断
- ・全吊材PC鋼棒をPCケーブルに交換

情報提供

全国の橋梁管理者

緊急点検

- ・吊材の緊急点検



破断状況



関連部位の損傷



技術相談事例：鋼製パイルベント橋脚の腐食

国道9号「出雲郷大橋側道橋」(直轄管理)
橋梁形式：3径間単純鋼桁
橋長：L=54.46m 幅員：W=2m

損傷部位：鋼製パイルベント橋脚水中部
損傷の種類：欠損

国総研・CAESAR

損傷原因と補修対策

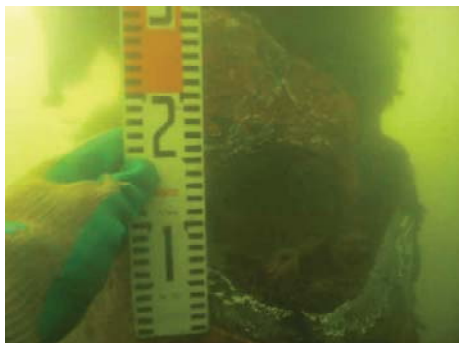
- ・汽水域における水中部の腐食
- ・コンクリート巻立てによる応急措置

情報提供

全国の橋梁管理者

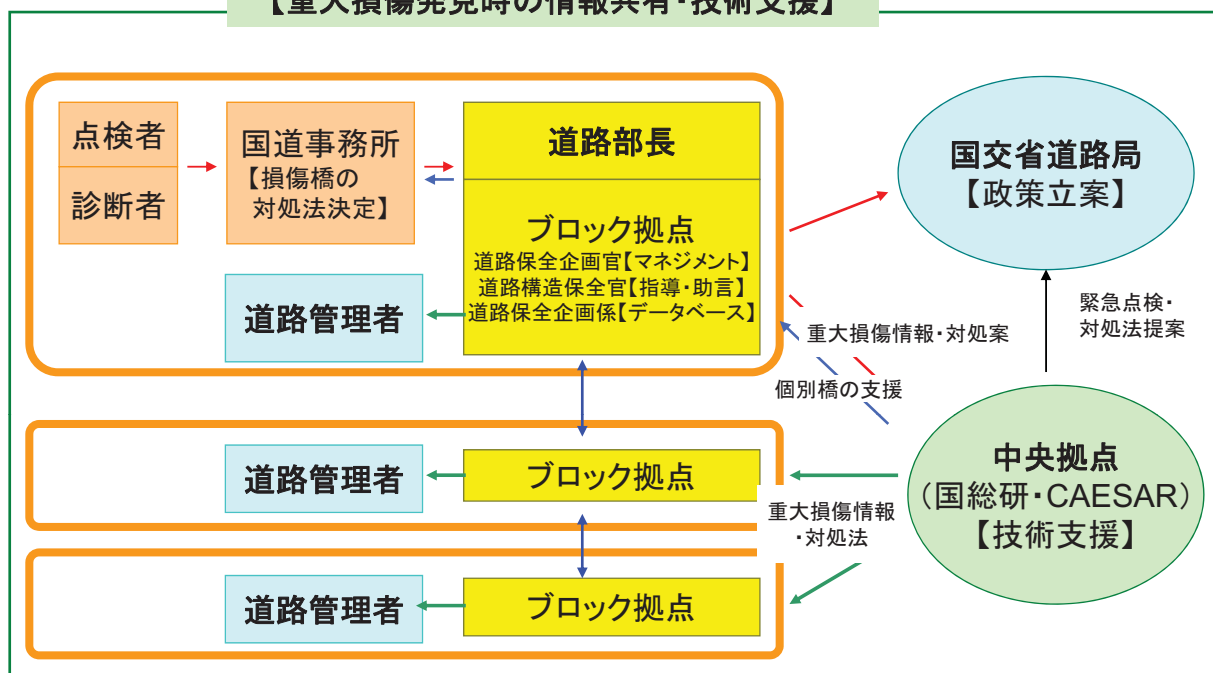
緊急点検

- ・鋼製パイルベント橋脚の水中部における断面欠損



橋梁における重大損傷情報の共有

【重大損傷発見時の情報共有・技術支援】



災害時の支援: 東日本大震災

CAESAR技術者が、被災した道路橋の調査を実施し、道路管理者へ技術的助言。

調査エリア



○調査対象橋梁(これまでに170橋)

- ・地震動の影響により被災した道路橋
- ・津波の影響を受けた道路橋
- ・液状化が生じた地盤周辺の道路橋

○調査体制

- ・国総研、土研CAESARで連携して実施



CAESAR

損傷事例の蓄積

蓄積した損傷事例を基に、**知見の周知**、**基準類の策定・改訂**、**研究開発**への反映等を実施

知見の周知

【橋梁担当者会議】

- ・鋼床版のき裂に関する留意点
- ・PC鋼材の腐食に関する留意点
- ・耐震設計基準の解釈に関する留意点など

【雑誌】

- ・土木技術資料；現場に学ぶメンテナンスシリーズ（計7編）



基準類の策定・改訂

【道路橋示方書改訂案】

- ・ケーソン基礎の先行掘削に関する留意事項
- ・側方流動の判定式に入れる盛土高の考え方についての留意点 等

【鋼道橋設計便覧改訂案】

- ・トラス橋斜材の床版への埋込部に対する配慮

研究開発

【プロジェクト研究】落橋等の重大事故を防止するための調査・診断技術に関する研究

【プロジェクト研究】道路橋桁端部における腐食対策に関する研究

【プロジェクト研究】耐久性制御による道路橋の設計技術に関する研究

【基盤研究】ひび割れ損傷の生じたコンクリート部材の性能に関する研究など

CAESAR

地方における技術者の育成

市町の道路管理技術者を対象とした実践的橋梁維持管理講座(香川高専)

実践的橋梁維持管理講座 現地研修日程表

	開講日	開催場所	担 当	内 容
第2回	平成20年 10月2日	橋梁現地	丸亀市	・丸亀市が管理する橋梁(2橋)の現地視察
第4回	11月21日	橋梁現地	三豊市	・三豊市が管理する橋梁(3橋)の現地視察
第6回	平成21年 2月6日	橋梁現地	綾川町	・綾川町が管理する橋梁(3橋)の現地視察
第8回	4月24日	橋梁現地	高松市	・高松市が管理する橋梁(3橋)に対する現地調査
第10回	6月26日	橋梁現地	観音寺市	・観音寺市が管理する橋梁(3橋)に対する現地調査
第12回	8月21日	橋梁現地	東かがわ市	・東かがわ市が管理する橋梁(3橋)に対する現地調査
第14回	10月30日	橋梁現地	坂出市	・坂出市が管理する橋梁(3橋)に対する現地調査
第16回	12月18日	橋梁現地	香川県	・香川県が管理する橋梁(3橋)に対する現地調査
第18回	平成22年 2月26日	橋梁現地	さぬき市	・さぬき市が管理する橋梁(3橋)に対する現地調査



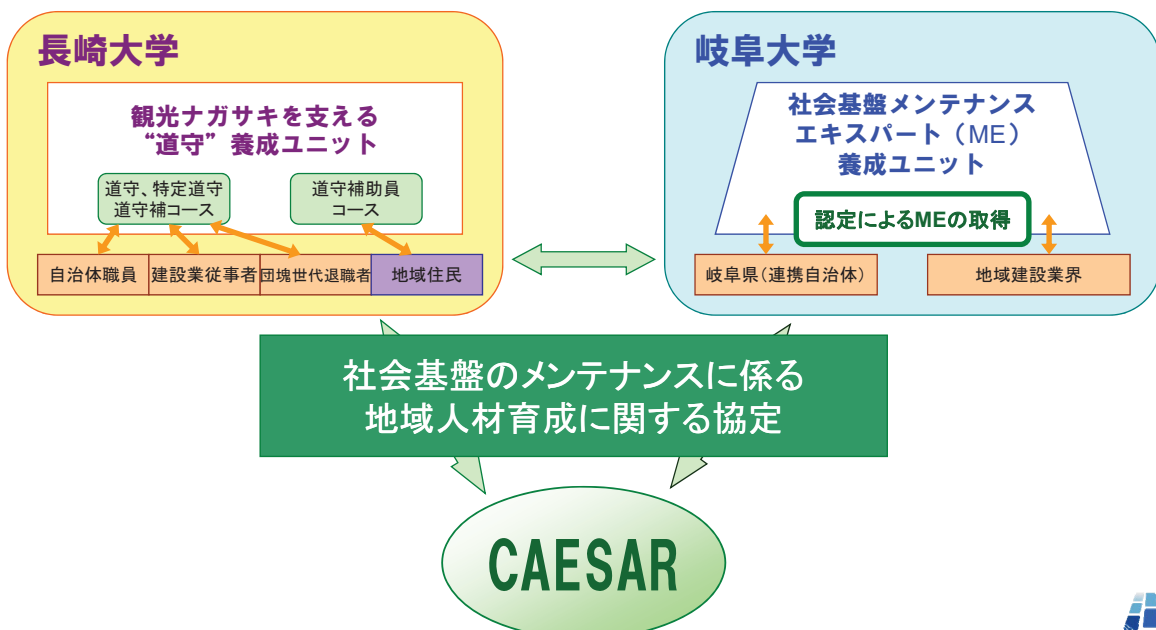
⇒ 全国10以上の高専で同様の取り組みを展開予定

〔福島高専, 群馬高専, 福井高専, 舞鶴高専,
和歌山高専, 徳山高専, 呉高専, 阿南高専,
高知高専, 熊本高専 等〕



地方における技術者の育成

岐阜大・長崎大との連携による地方の技術者育成



2. 研究開発

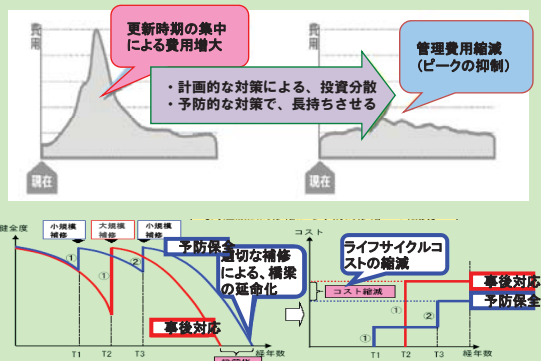
- 臨床研究に基づき、現場で活用できる技術を開発



CAESARにおける研究の方向性

計画的な保全

橋梁の状態を評価・予測し、適切な時期に、適切な補修を行う。



- 劣化状況を把握
- 劣化の進行を予測
- LCCを最小にするための補修の実施時期の選定法

他

機能の保持
(通行止めさせない)

安全管理

落橋に至る致命的な損傷を見逃さない。



損傷状態を評価し、交通規制等、適切な対応を行う。

- 致命的な損傷の事前検知
- 耐荷力評価に必要な情報を調査
- 通行規制等判断のための耐荷力評価
- 構造物の性能回復法
- モニタリング

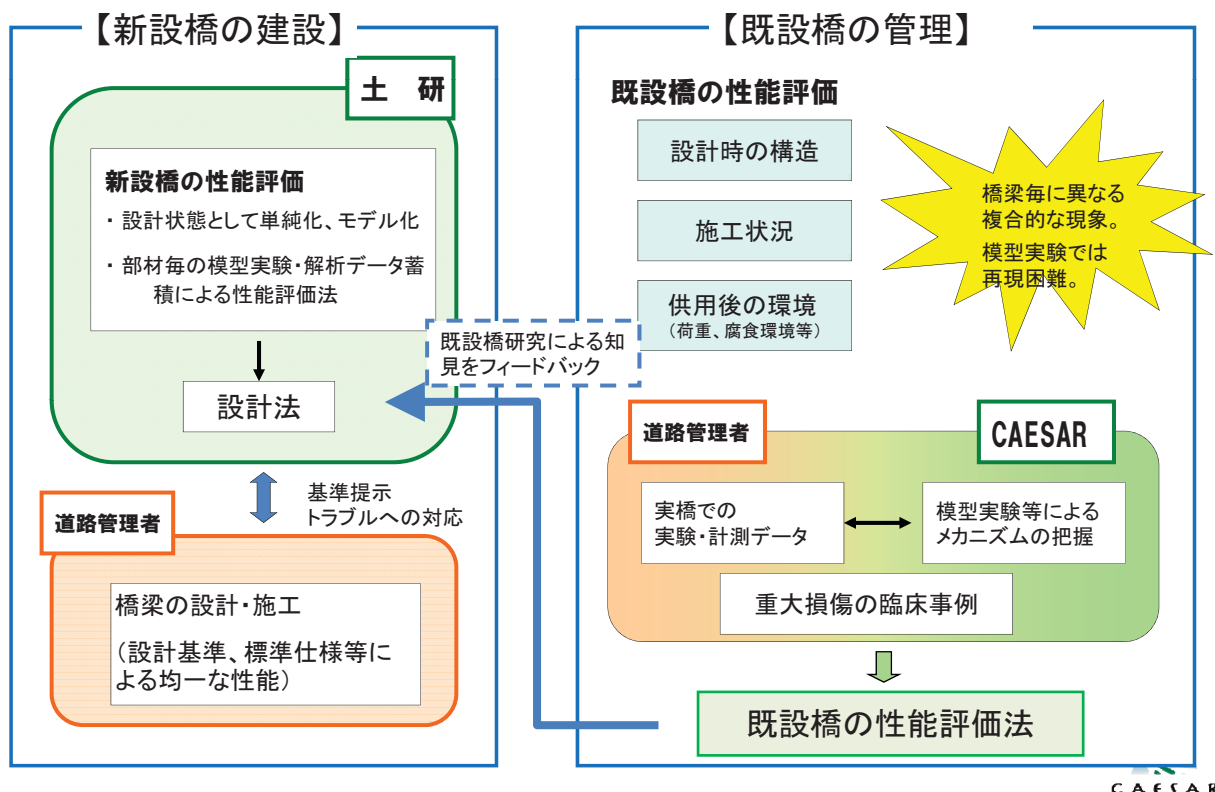
他

利用者の安全
(落橋させない)



CAESARにおける研究の方向性 ～臨床研究～

既設橋の管理技術の開発には、臨床研究が不可欠



臨床研究：損傷部位の耐荷力評価

- ・腐食劣化の著しい鋼トラス橋を対象に、橋全体系の挙動を確認するため、撤去前に、荷重車による載荷試験を行い、構造解析によるモデル化の方法について検討
- ・撤去後の腐食部材を対象に腐食状況の調査や、数値解析や載荷試験により残存耐荷力の評価方法について検討



検討対象の鋼トラス橋



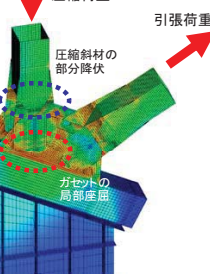
荷重車載荷試験



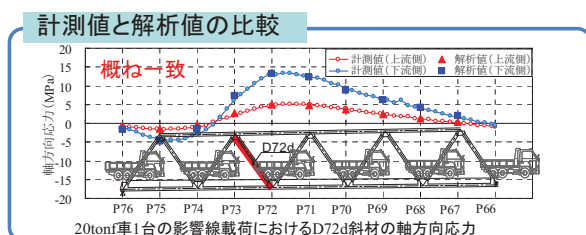
トラス格点部の腐食状況



載荷用治具に固定した供試体



実験予定のトラス格点部供試体とFEM解析結果



⇒解析により橋全体系の挙動を概ね把握できることを確認

レーザー変位計による腐食量計測

⇒今後、実部材を用いた載荷試験を実施予定

臨床研究：損傷部位の耐荷力評価

- 漏水により劣化が著しい、鋼板接着されたRC桁の載荷試験を実施
⇒劣化状況とその原因について調査を継続中



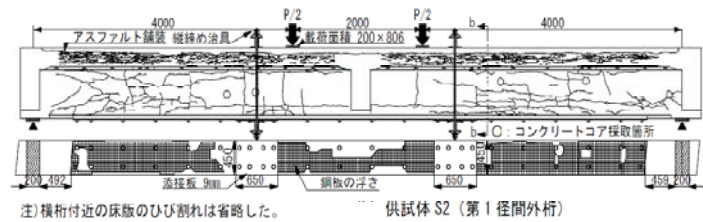
供試体S2

対象部材の撤去前の状況
床版の補強鋼板端部からの漏水が著しく、RC主桁に無数のひび割れあり。



長さ 10 m

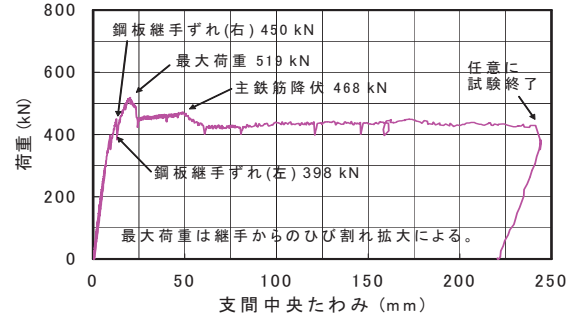
載荷試験後の破壊状況 (全景, 最大荷重53トン)



注) 横桁付近の床版のひび割れは省略した。 供試体 S2 (第1 径間外桁)

主桁の劣化によるひび割れ

荷重—たわみ



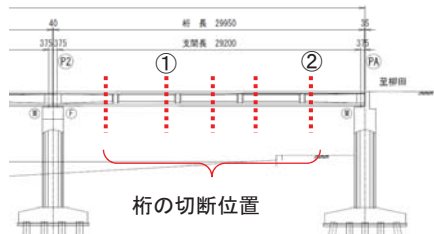
⇒添接板の破壊により、鋼板接着の補強効果が発揮されない。

臨床研究：ポステンPC橋のグラウト充填調査

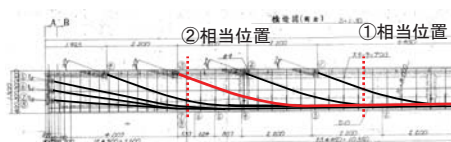
- PC橋梁撤去時に、シース内のグラウト充填状況を調査(4橋)
⇒今後、調査結果を年代別等に区分して実態を分析



手前の主桁2本が撤去対象



桁の切断位置



②相当位置 ①相当位置

〔①断面の調査結果〕



下フランジのグラウトは良好

〔②断面の調査結果〕



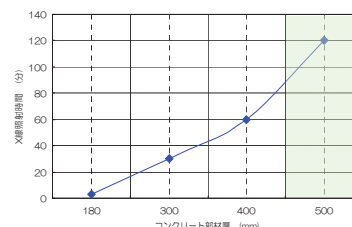
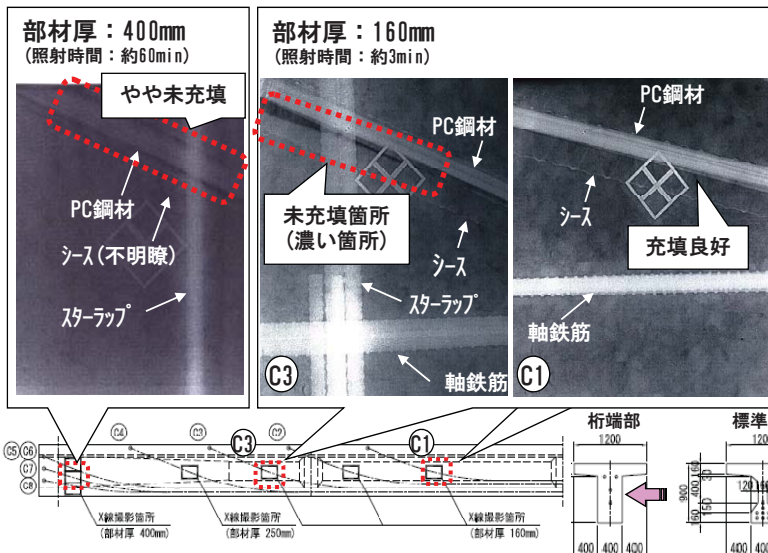
床版付近の曲げ上げ部でグラウト未充填部を確認

X線透過法によるPC桁のグラウト充填度調査

- PC桁の載荷試験に先立ち、X線透過法によりグラウト充填状況を調査



検討対象のPC橋
(手前の歩道部)

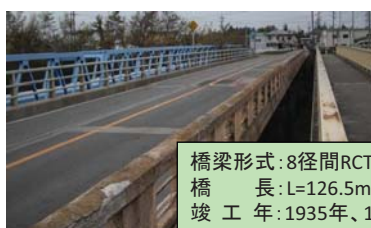


部材厚と照射時間の関係



臨床研究：非破壊検査技術の適用性確認

- 鋼板接着により補修したRC床版が抜け落ち
⇒撤去に際し、各種非破壊検査法により調査し、解体調査で確認



橋梁形式：8径間RCT桁橋+2径間PC床版橋
橋 長：L=126.5m
竣 工 年：1935年、1985年拡幅

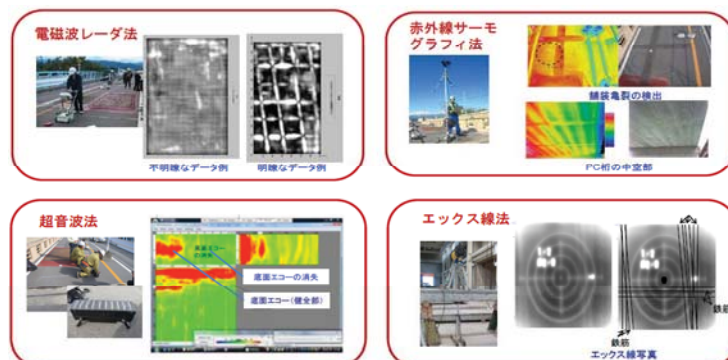


床版の抜け落ち



接着鋼板のため
床版の劣化状況の把握困難

撤去橋梁での各種非破壊調査



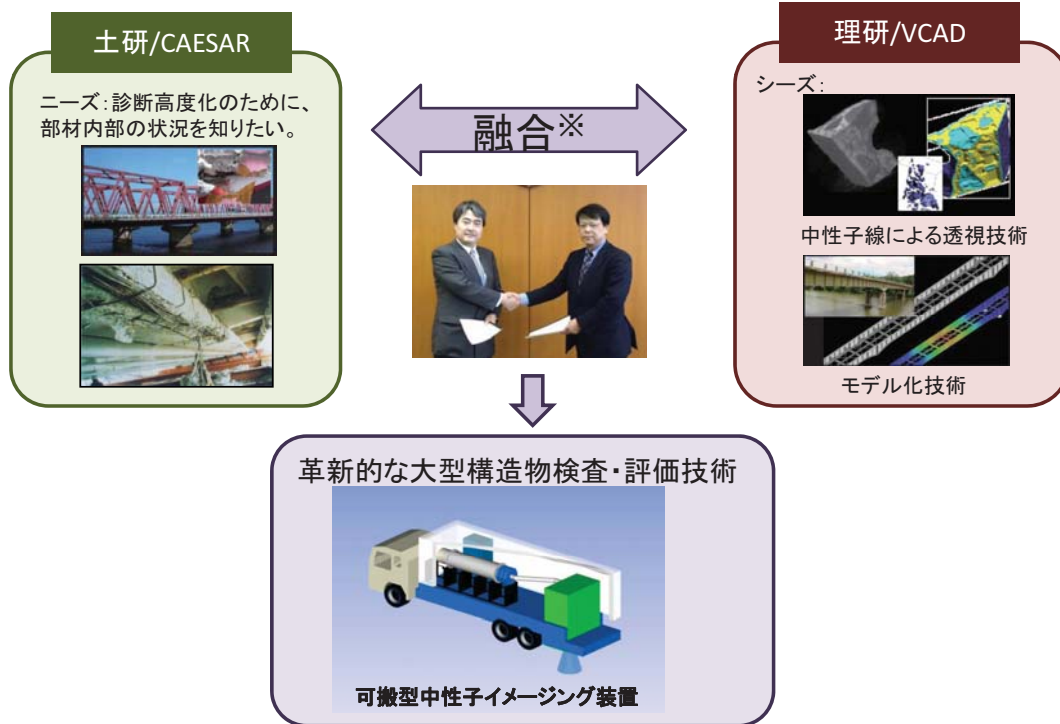
適用性
確認

解体調査：CAESAR

床版切出し → 解体調査



他分野と連携した研究開発 ～中性子線による橋梁透かし撮り～

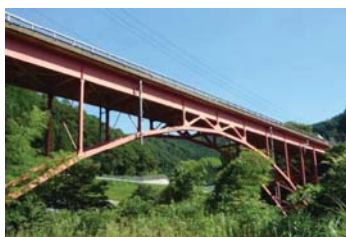


※連携協定：小型中性子イメージングシステムの研究に関する連携協力協定



臨床研究：橋梁応答の計測

・撤去予定の鋼アーチ橋において、起振機および荷重車を用いて現地载荷試験を行い、既設橋の振動特性や活荷重応答を把握



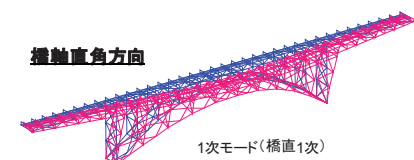
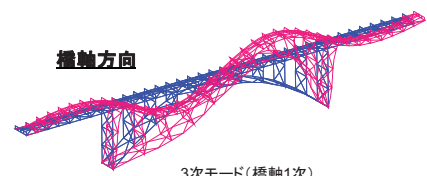
調査対象の鋼アーチ橋



起振機による振動試験



大型車を使った段差加振



橋軸および橋軸直角方向の振動モード図
（試験前に実施した事前解析より）

※現地载荷試験は近畿地方整備局の協力を得て実施

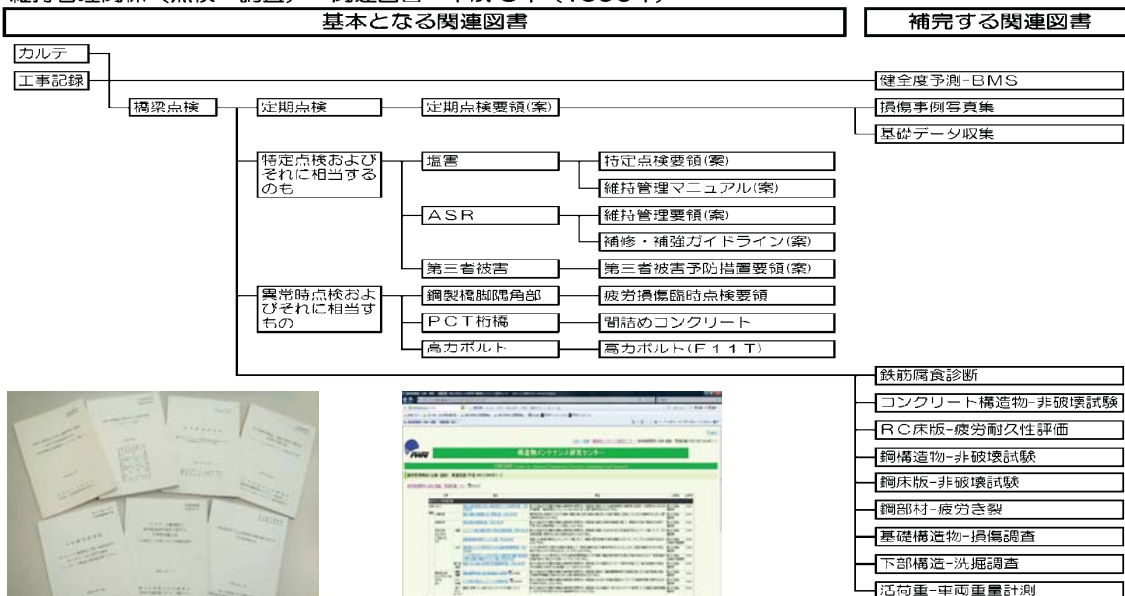
⇒構造解析手法高度化のための基礎データを得ることで、既設橋の耐震性能や耐荷性能の評価において、より合理的な評価ができる可能性



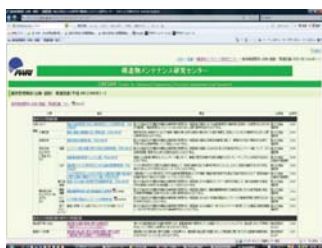
維持管理関係マニュアル類

- 橋梁の維持管理において参考とすべきマニュアル類を整理・分類
⇒CAESARのホームページで公開

維持管理関係（点検・調査） 関連図書 平成 8 年（1996 年）～



維持管理関係マニュアル類



CAESARのホームページで公開



海外調査・国際協力活動

《活動例》

チリ地震(2010年2月27日, マグニチュード8.8)に関する調査・支援

- 土木学会調査団の一員として,
被害橋梁の調査を実施
(2010. 3.28~4.5)
- 日本の耐震設計基準を紹介,
チリの基準に反映



海外機関との協力による調査

《活動例》

東北地方太平洋沖地震(2011年3月11日, マグニチュード9.0)に関する調査

- ・連邦道路庁(FHWA)を中心とした米国の技術者と合同で東北及び関東地方の被害橋梁調査を実施(2011.6.3~6.6)



CAESAR ～情報交流の場としての機能～

CAESAR メンテナンス技術交流会

構造物メンテナンスに関する
各種技術開発を促進させるために、
交流会を設立。

施設管理者

国

地方自治体

高速道路
会社

技術者

産

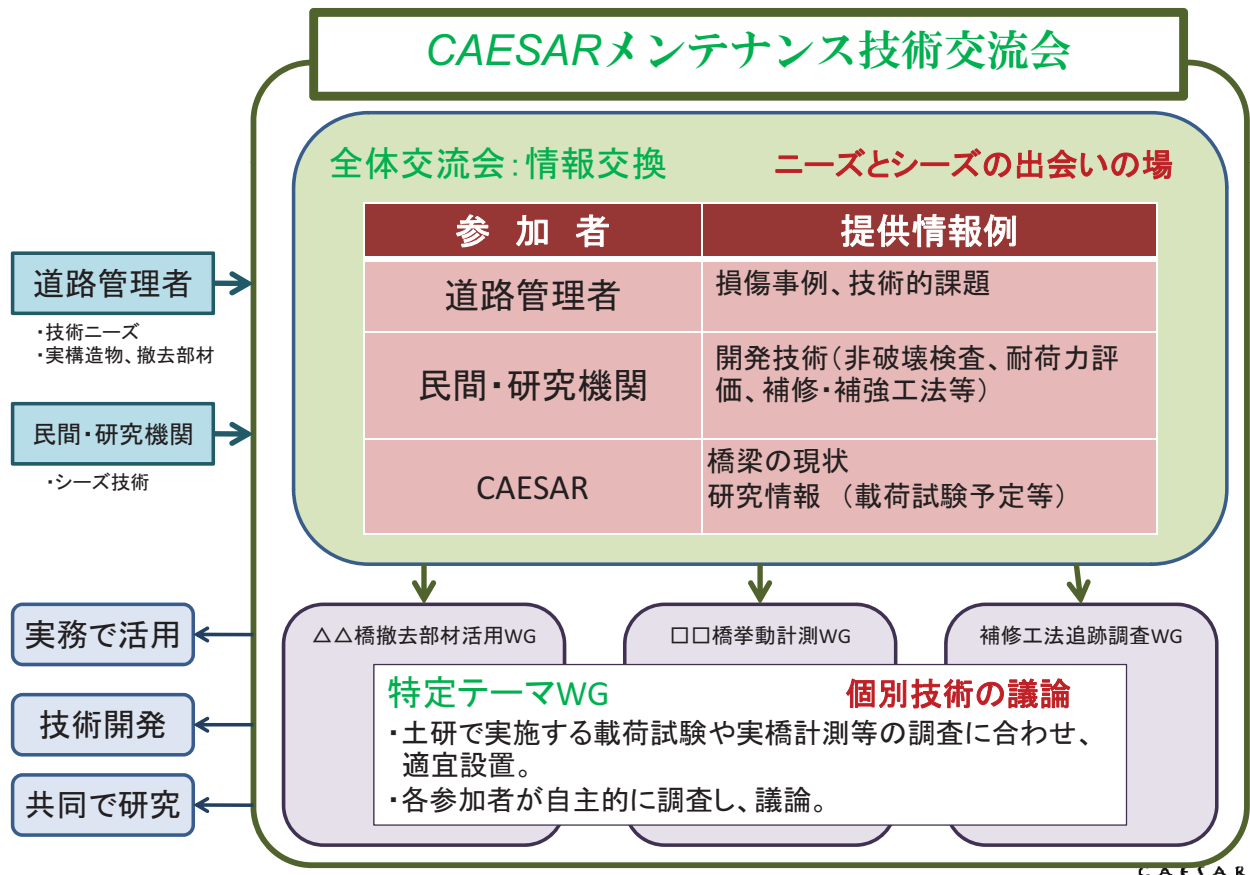
研究者

学

CAESAR



CAESAR ～情報交流の場としての機能～



CAESARは
構造物保全技術の中核的研究拠点を
目指します。

『東日本大震災』への対応と課題

平成23年8月24日



国土交通省

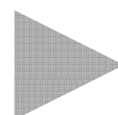
東北地方整備局 道路部

道路情報管理官 赤川 正一

「東日本大震災」への対応と課題

一 目 次

1. 地震発生からの対応の流れ
2. 道路啓開、応急復旧、自治体、被災者支援
3. 道路橋の緊急点検(調査)について
4. 流出橋梁の被災状況と復旧の概要
5. まとめ(被災から考えさせられた課題等)



釜石港湾事務所屋上からの 津波映像

2

「東日本大震災」東北地方の被災概要

- ・M9.0の地震により、東北地方では死者15,544人、行方不明4,934人 計20,478人（H23年7月22日 警察庁公表）
- ・直轄国道では、国道45号において5橋の上部工が津波により流出するなど、岩手・宮城・福島3県の計52区間で通行止め

▼ H23.3東北地方太平洋沖地震による東北地方における人的被害 出典）警察庁 HP

県名	死者・行方不明者数(人)			負傷者数(人)	合計(人)
	死者(人)	行方不明者(人)			
青森県	4	3	1	61	65
岩手県	6,706	4,603	2,103	186	6,892
宮城県	11,889	9,336	2,553	3,785	15,674
秋田県				12	12
山形県	2	2		29	31
福島県	1,877	1,600	277	236	2,113
合計	20,478	15,544	4,934	4,309	24,787

▼ H23.3東北地方太平洋沖地震による東北地方直轄国道における道路被災（通行止めとなった区間） 出典）東北地方整備局

県名	路線別被災区間内訳(区間) ()内は上部工流出箇所数						合計(区間)
	国道4号	国道6号	国道45号	三陸道	国道108号	国道283号	
岩手県			11 (2)			1	12
宮城県		2	11 (3)	1	1		15
福島県	1	24					25
合計	1	26	22 (5)	1	1	1	52

3

1. 地震発生からの対応の流れ

- 3/11 14:46 三陸沖を震源とする、マグニチュード9.0の地震が発生。
14:49 岩手県～福島県の太平洋側で大津波警報発表(のちに範囲拡大)。
非常体制移行。
- 15:23 防災ヘリ「みちのく号」発進。
(その直後、仙台空港は津波により水没。)
・所定の手順に沿って、被害の状況確認に着手。
・リエゾンとして、青森県庁へ2名、岩手県庁へ2名、宮城県庁へ4名、
福島県庁へ2名を派遣。(判断できるレベルの担当責任者。)

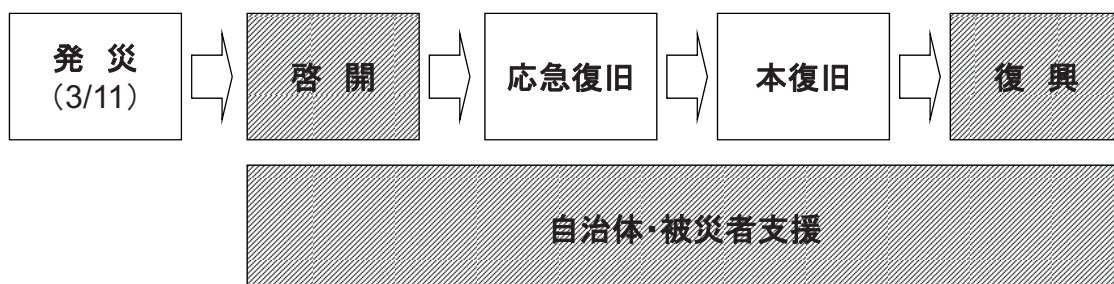
(前提) ・太平洋沿岸に大被害が発生。

・最悪を想定して準備。

- | | |
|-----------|------------------------|
| ①情報収集 | (防災ヘリ4機体制、太平洋沿岸部の情報) |
| ②救援・輸送ルート | (道路啓開、業者・機材確保、港湾利用可能性) |
| ③県・自治体の応援 | (前例にとらわれない支援、救援物資調達) |

4

1. 地震発生からの対応の流れ



- ・道路啓開: 1車線で、緊急車両のみでもとにかく通れるように(迂回路も含め)、ガレキを処理し、簡易な段差修正などにより救援ルートを開けること。
- ・応急復旧: 一定の工事を行い、一般車両も含め通行できるようにすること。

5

2. 道路啓開、応急復旧への対応

2. 2 道路の応急復旧が早く進められた背景

① 災害時等の緊急随意契約により迅速に契約できたこと

- ・災害時の特例である会計法の「緊急随意契約」により、速やかに工事契約が行えたこと
- ・東北管内で施工中の工事すべてに工事の中止命令の通知を行い、災害復旧に全力(人材、資材、機材等)を取れる体制にしたこと

② 現地にTEC-FORCEを早期に派遣できたこと

- ・全国の整備局職員255名が早期に出動できたこと
- ・情報収集手段としてマイクロ波専用回線(国交省自営回線)等を活用

③ 時間を要する橋梁の復旧に応急組立橋の活用が図れたこと

- ・自衛隊所有の物や他の整備局所有の物を活用
- ・道路盛土材に他工事の土を活用
- ・JR交差箇所において暫定で仮盛土での了解が得られたこと

8

2. 自治体、被災者への支援

1) 災害対策機械

- ・これまで、3県27市町村(17市8町2村)へ、排水ポンプ車、照明車、対策本部車、待機支援車、衛星通信車、Ku-SATをピーク時(4/14)合計180台配備し、様々な復旧活動を支援。

2) リエゾン

- ・これまで、4県31市町村(17市12町2村)、自衛隊へ派遣。ピーク時(3/23)で96人(現在まで延べ3,000人・日以上)。
- ・衛星通信装備などを持参。自治体ニーズの的確な把握と、迅速な対応。

3) TEC-FORCE

- ・迅速な課題解決のため、種々の調査、検討、調整等を、国が一部応援。
- ・全国の地方整備局から結集し、ピーク時(3/16)には、63班255人が活動(リエゾンと重複する職員を含み、現在まで延べ14,000人・日以上)。

4) 救援物資調達

- ・3/13～3/31までリエゾン情報による市町村ニーズ対応(218品目)

5) HPによる情報提供

- ・3/14から地震関連情報の提供
- ・3/20から臨時掲示板を掲載。(20市町村が参加)

9

3. 道路橋の緊急点検(調査)について

東北地方整備局では、今回の東日本大震災に伴う橋梁点検を2段階で実施した。

- 第1段階(緊急な対応が必要な44橋)
 - ・震災直後～3/18 緊急点検
(被災地への道路啓開＝緊急調査)
- 第2段階(震度5以上の1831橋)
 - ・4月上旬～中旬 損傷点検及び
余震対応緊急点検(応急調査)
- 業界関係者による自主点検
 - ・3/15～4/29 (鋼橋427 CO橋113)

10

3.1 道路橋の緊急点検(調査)の概要について

緊急点検の方法

◆被災度の区分

①耐荷力に関する被災度(5ランク)

- | | |
|---------|--|
| As:落 橋 | 落橋あるいは倒壊・半倒壊した場合 |
| A :大被害 | 耐荷力の低下に著しい影響のある損傷を生じており、
落橋等致命的な被害の可能性がある場合 |
| B :中被害 | 耐荷力の低下に影響がある損傷であり、余震、活荷重
等による被害の進行がなければ、当面の利用が可能な場合 |
| C :小被害 | 短期的には耐荷力の低下に影響がない場合 |
| D :被害なし | 耐荷力に関しては特に異常が認められない場合 |

②走行性に関する被災度(3ランク)

- | | |
|------------------------|-------------------|
| a:通行不可 | 走行できない場合 |
| b:走行注意 | 異常は認められるが、走行できる場合 |
| c:走行性に対して特に異常が認められない場合 | |

11

3. 1 道路橋の緊急点検(調査)の概要について

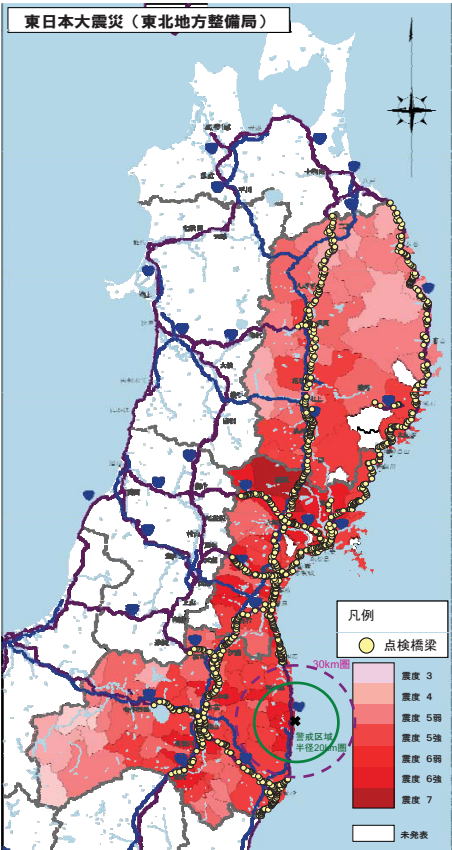
調査・点検の対象橋梁

①対象路線と範囲

- ◆震度6弱以上を観測した3県(岩手、宮城、福島)の直轄国道11路線を対象(対象範囲は震度5強以上を目安)
- ◆津波の影響区間
- ※福島原発の半径20Kmを除く範囲

②緊急点検橋梁数

本線橋	1,118橋
側道橋	386橋
直轄国道横架橋(OV)	327橋
合計	1,831橋



12

3. 1 道路橋の緊急点検(調査)の概要について

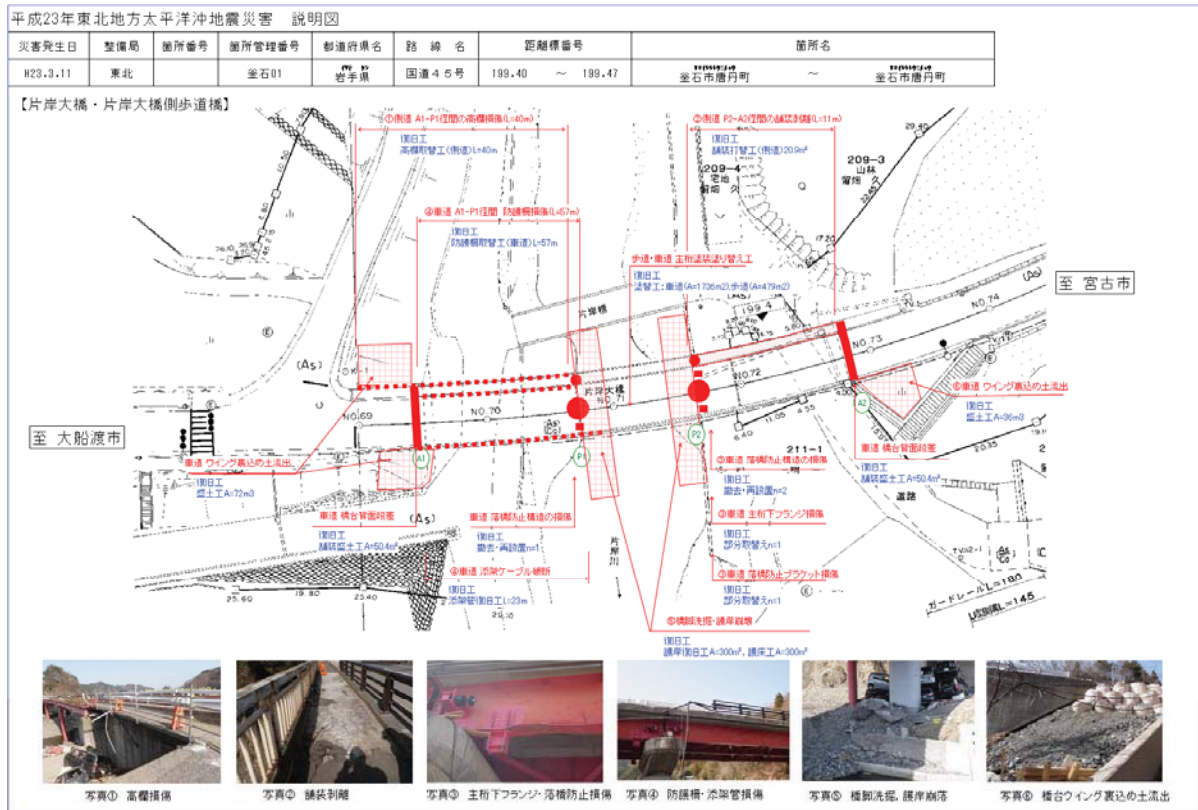
《緊急点検調査書様式》

様式1				ID E 1412733 N 384120 箇所番号 NO.765			
橋名	橋の沢橋	路線名	一般国道45号	所在地	宮城県本吉郡南三陸町志津川	形態	河川橋
橋長	25.60m	幅員	8.80m	上部工形式	単純鋼桁橋	竣工年次	1970年(昭和45年)
写真1 正面				写真2 側面			
写真3 損傷写真(A2橋台背面段差)				写真4 状況写真(床版ひびわれ)			
写真5 状況写真(A1橋台G1桁支承の腐食)				写真6 状況写真(A2橋台G2桁支承のモルタル欠損)			
場 所				異常の有無			
全体				0-1 橋梁全体 無			
路面				1-1 路面 無			
1-2 単端装置 無				1-3 橋台背面 異常有 段差 クラック			
1-4 高欄 無				2-1 支 承 異常有 クラック			
2-2 落橋防止装置 無				2-3 上部工 無			
2-4 下部工(橋脚) 無				3-1 パラベント 無			
3-2 側壁(ウイング) 無				3-3 壁 無			
3-4 洗 掘 無				4-1 橋脚梁 無			
4-2 橋脚柱 無				4-3 洗 掘 無			
5-1 橋壁類 無				5-2 護岸工 無			
6-1 添架物 無				その他 6-1 添架物 無			
耐荷力に関する被災度 C : 小被害				走行性に関する被災度 B : 通行注意			
詳細調査の要否 不要				備考(損傷位置や変状値等を記入)			
その他(所見、上記着目箇所以外の損傷状況、詳細調査の必要性、震災以外の損傷の有無など) ・震災以外の損傷として、R0床版の2方向ひび割れと道床石炭が生じている。橋面防水工は未設置と思われることから、速やかな補修対策が必要である。また、A1G1主桁端部に層状の錆びが見られることから、再塗装等の補修が必要である。							

13

3. 1 道路橋の緊急点検の概要について

損傷点検を基本に作成したアウトプットイメージ

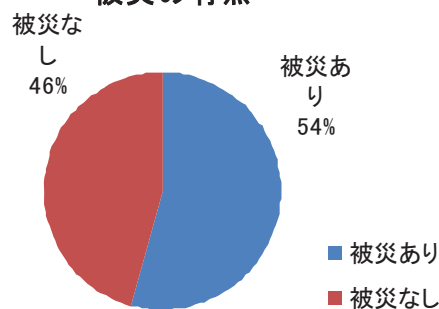


14

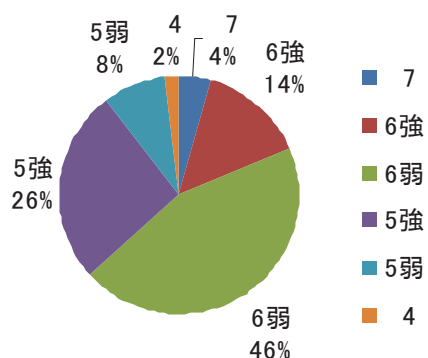
3. 2 道路橋の緊急点検(調査)の結果

《本線橋+側道橋》

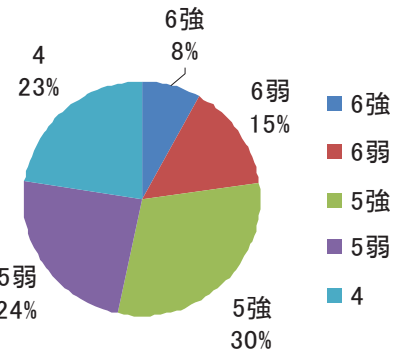
被災の有無



3月11日 本震震度



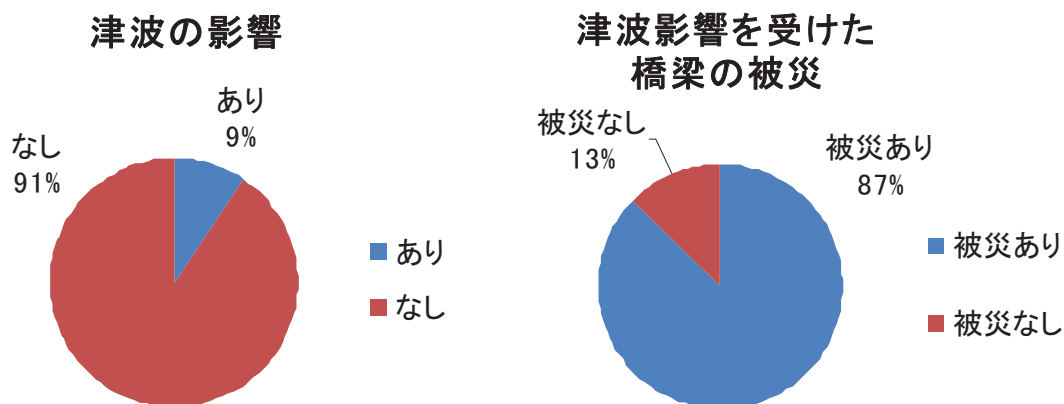
4月7日 余震震度



15

3.2 道路橋の緊急点検(調査)の結果

《本線橋＋側道橋》

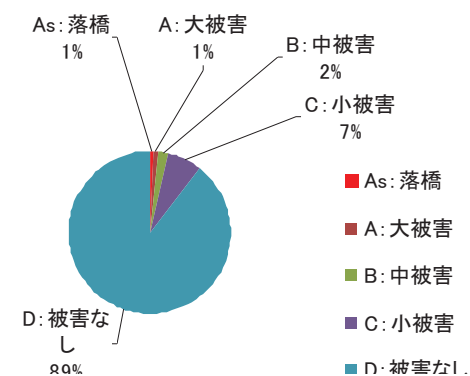


16

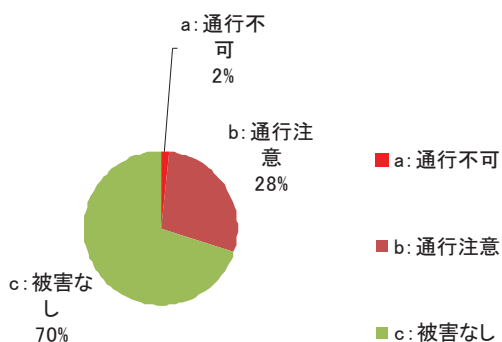
3.2 道路橋の緊急点検(調査)の結果

耐力力に関する被災度

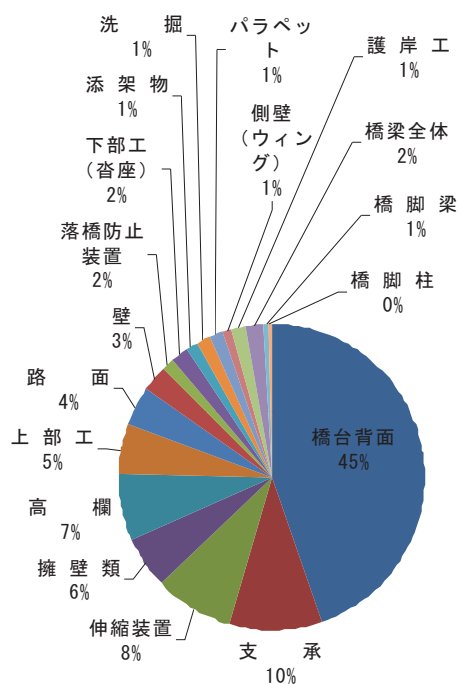
《本線橋＋側道橋》



走行性に関する被災度



損傷箇所

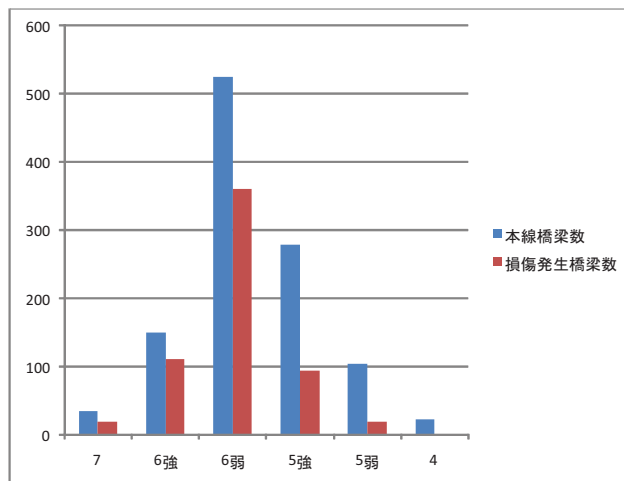


※損傷箇所は、主な損傷で1橋1箇所に代表

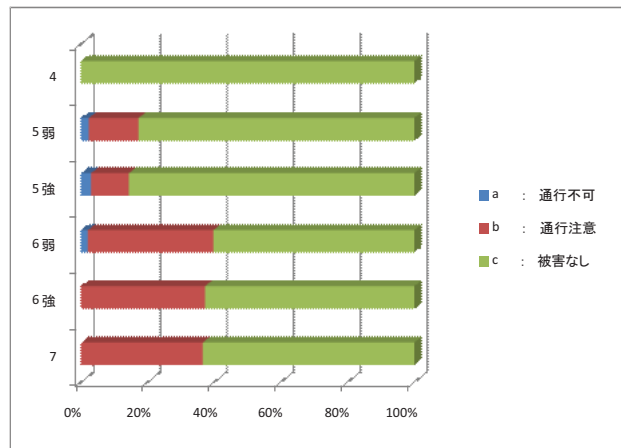
17

3.2 道路橋の緊急点検(調査)の結果

本線橋の損傷発生と震度



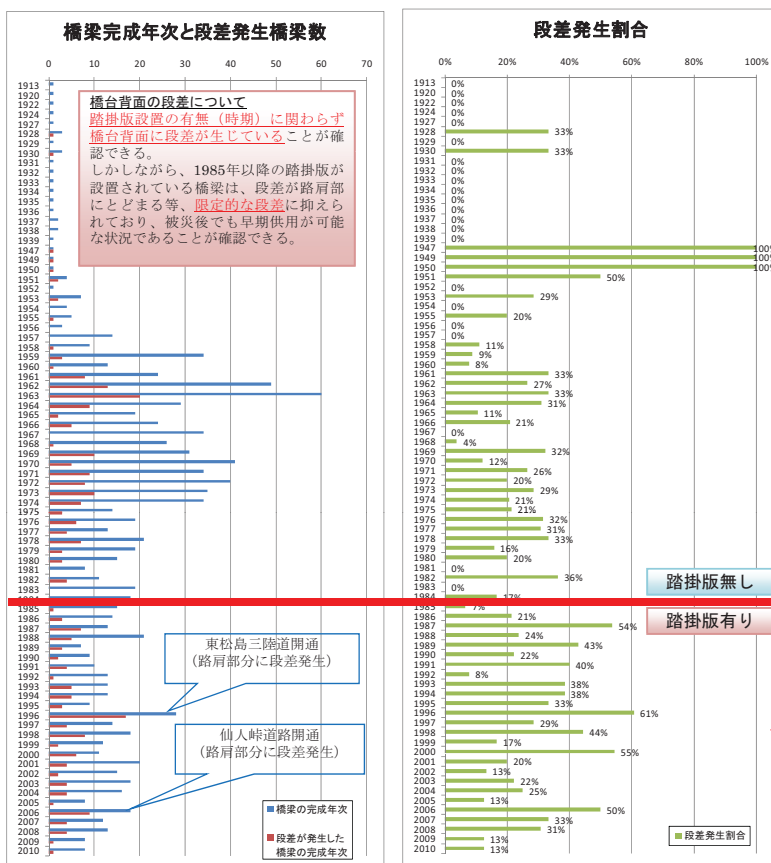
走行性に関する被災度



18

3.2 道路橋の緊急点検(調査)の結果

本線橋の橋台背面段差



19

3. 3 主な被災状況(橋台背面段差・支承部損傷)



3. 3 主な被災状況(落橋防止システム損傷)



3. 3 主な被災状況(伸縮装置損傷・主桁損傷)



3. 3 主な被災状況(擁壁等損傷・その他)



4. 流出橋梁の被災状況と復旧の概要

国道45号 沼田（ヌタ）跨線橋（岩手県陸前高田市） L=65m

【被災前】

至：青森



至：仙台



4. 流出橋梁の被災状況と復旧の概要

国道45号 気仙（けせん）大橋（岩手県陸前高田市） L=182m

【被災前】



4. 流出橋梁の被災状況と復旧の概要

国道45号 小泉（コイズミ）大橋（宮城県気仙沼市） L=182m

【被災前】



4. 流出橋梁の被災状況と復旧の概要

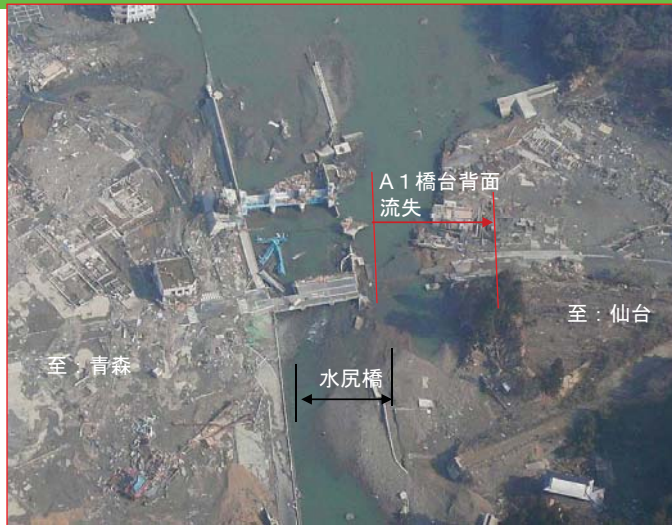
国道45号 歌津（ウツ）大橋（宮城県南三陸町） L=304m

【被災前】



4. 流出橋梁の被災状況と復旧の概要

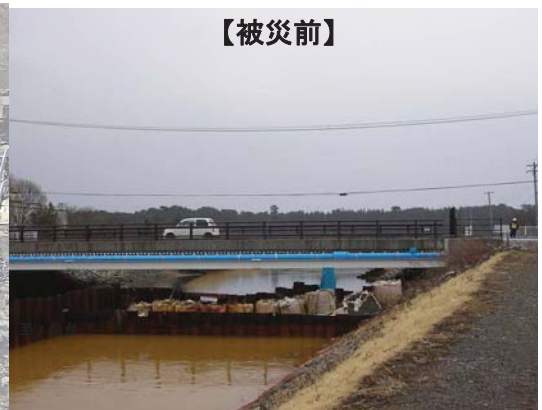
国道45号 水尻(ミズシリ)橋(宮城県南三陸町) L=34m



28

4. 流出橋梁の被災状況と復旧の概要

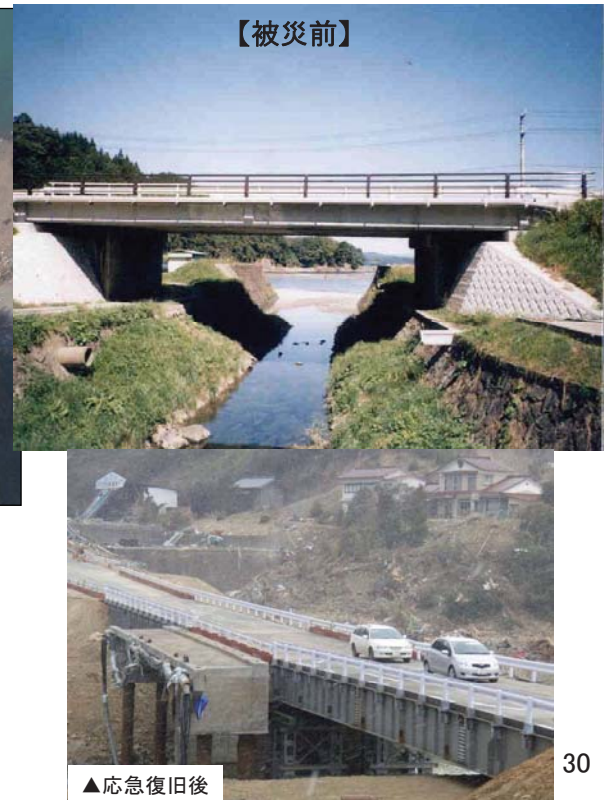
国道45号 川原川(カハラガワ)橋(岩手県陸前高田市) L=29m 【被災状況】



55

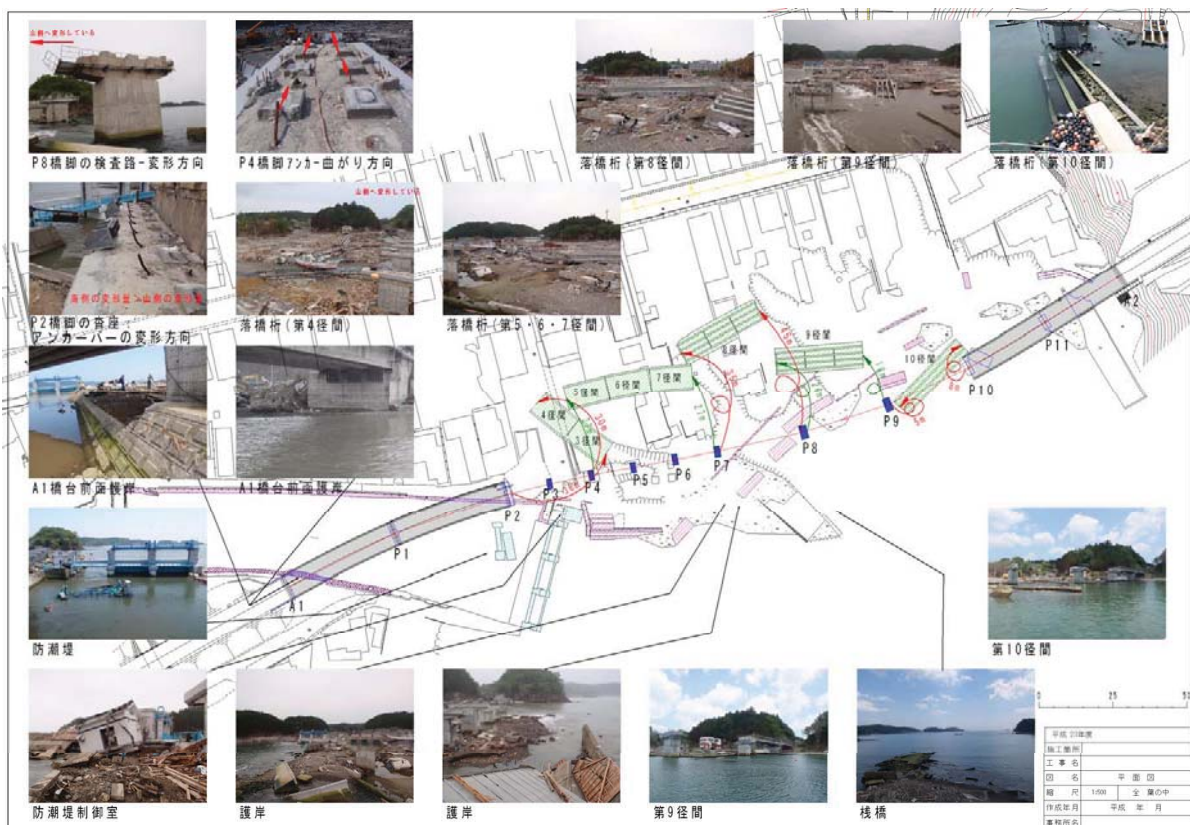
4. 流出橋梁の被災状況と復旧の概要

国道45号二十一浜(ニジュウイチハマ)橋 (宮城県気仙沼市本吉町二十一浜) L=17m



30

流出橋梁 概要図(歌津大橋)



31

5. まとめ（被災から考えさせられた課題等）

- 高速道路等の道路ネットワークの整備
- 検査路の充実
- 災害時の情報収集手段の充実
- 支承の耐久性（機能低下、経年劣化）と耐震性能
- 災害時における諸資材の確保
- 橋梁添架物の添架方法の検討
- 点検啓開に向けた橋梁点検方法の検討
- 損傷状況と冬期管理

32

5. まとめ（被災から考えさせられた課題等）

- スピーディーに設置できる応急組立橋
- 盛土と橋梁構造のギャップ（橋台背面）
- 橋梁版Tec-Force 遠隔診断

33

5. 被災からの課題



34

5. 被災からの課題



がんばろう！東北



東北地方太平洋沖地震による 橋梁の被害状況と今後の課題

早稲田大学 秋山充良

目次

1. 地震被害

- ・ 兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要
- ・ 東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況
- ・ 耐震補強の有効性
- ・ 兵庫県南部地震後に導入された技術の有効性

2. 今後の課題

- ・ 耐震補強と地震リスク
- ・ 材料劣化と耐震性能低下の関係
- ・ メンテナンスとリプレイスメント

3. まとめ

目次

1. 地震被害

- ・ 兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要
- ・ 東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況
- ・ 耐震補強の有効性
- ・ 兵庫県南部地震後に導入された技術の有効性

2. 今後の課題

- ・ 耐震補強と地震リスク
- ・ 材料劣化と耐震性能低下の関係
- ・ メンテナンスとリプレイスメント

3. まとめ

兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要

地震	発生年月	マグニチュード	主な出来事
兵庫県南部地震	1995年1月	7.3	死者6千名超・耐震基準の大幅改訂
鳥取県西部地震	2000年10月	7.3	液状化,住宅の損傷・倒壊
芸予地震	2001年3月	6.7	新幹線高架橋の損傷
三陸南地震	2003年5月	7.0	港湾施設・新幹線高架橋の損傷
十勝沖地震	2003年9月	8.0	鉄道橋・道路橋の損傷
新潟県中越地震	2004年10月	6.8	鉄道橋・道路橋の損傷,新幹線脱線
福岡県西方沖地震	2005年3月	7.0	住宅の損傷・倒壊
新潟県中越沖地震	2007年7月	6.8	柏崎刈谷原子力発電所の事故
岩手・宮城内陸地震	2008年6月	7.2	地盤変状による落橋, 地盤崩壊
東北地方太平洋沖地震	2011年3月	9.0	死者・行方不明者2万人超, 大津波

兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要

地震	発成年月	マグニチュード	主な出来事
兵庫県南部地震	1995年1月	7.3	死者6千名超・耐震基準の大幅改訂
鳥取県西部地震	2000年10月	7.3	液状化,住宅の損傷・倒壊
芸予地震	2001年3月	6.7	新幹線高架橋の損傷
三陸南地震	2003年5月	7.0	港湾施設・新幹線高架橋の損傷
十勝沖地震	2003年9月	8.0	鉄道橋・道路橋の損傷
新潟県中越地震	2004年10月	6.8	鉄道橋・道路橋の損傷,新幹線脱線
福岡県西方沖地震	2005年3月	7.0	住宅の損傷・倒壊
新潟県中越沖地震	2007年7月	6.8	柏崎刈谷原子力発電所の事故
岩手・宮城内陸地震	2008年6月	7.2	地盤変状による落橋, 地盤崩壊
東北地方太平洋沖地震	2011年3月	9.0	死者・行方不明者2万人超, 大津波

兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要（三陸南地震）

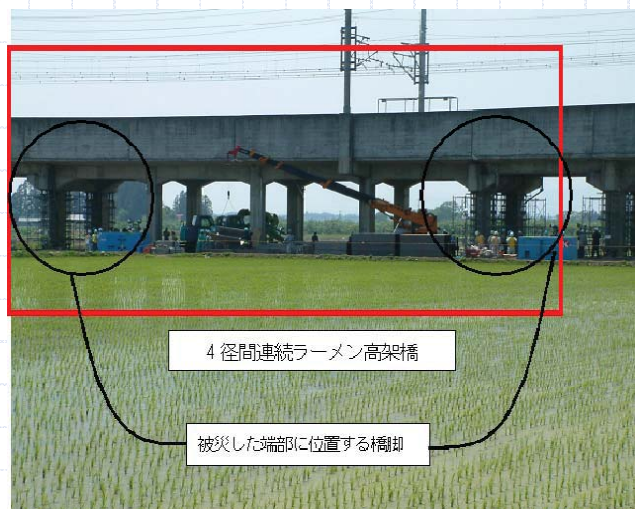
東北新幹線の水沢江刺駅～盛岡駅間にあるラーメン高架橋柱が損傷

No.	構造物名称	被害を受けた橋脚総数
1	第3愛宕B L	4本
2	第2中野B L	2本
3	第5猪鼻B L	10本
4	第2日詰B L	2本
5	第3日詰B L	4本



- ・ 構造物建設：1977年～1978年
- ・ 適用設計基準：全国新幹線網建造物設計標準(1972)
- ・ 耐震設計基準：「建造物設計標準 鉄筋コンクリート構造物および無筋コンクリート構造物，プレストレストコンクリート鉄道橋 1970」

兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要（三陸南地震）



三陸南地震により被災した東北新幹線ラーメン高架橋は、左の写真に示すように、高架橋の端部に位置する橋脚に被害が集中している点の特徴。

端部に位置する橋脚は、中間位置にある橋脚に比べ、せん断スパン比が小さく、曲げせん断耐力比が小さいことなどが原因と考えられる。

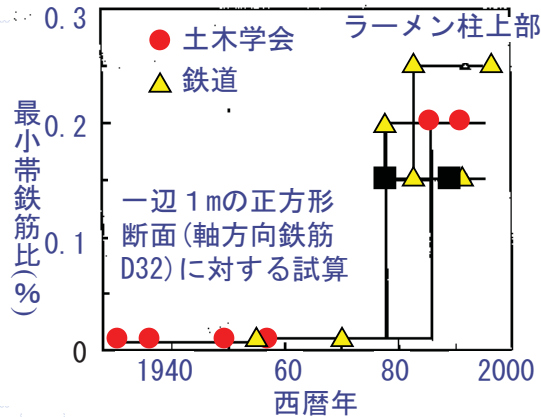
兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要（三陸南地震）

帯鉄筋量が少ない。何れの高架橋の柱も曲げせん断耐力比は1.0未満。

構造物名称	曲げせん断耐力比		帯鉄筋比
	端部橋脚	中間位置橋脚	
第3愛宕BL	0.70	0.78	0.1-0.2%
第2中野BL	0.81	0.89	0.1-0.2%
第5猪鼻BL	0.70	0.78	0.1-0.2%
第2日詰BL	0.74	0.84	0.1-0.2%
第3日詰BL	0.74	0.84	0.1-0.2%

兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要（三陸南地震）

コンクリート構造物の耐震設計基準の変遷（鉄道）



1980年以前

最小帯鉄筋量(間隔): 直径6mm
以上の帯鉄筋を柱の最小幅以下
& 帯鉄筋直径の48倍以下 & 軸
方向鉄筋直径の12倍以下

1980年

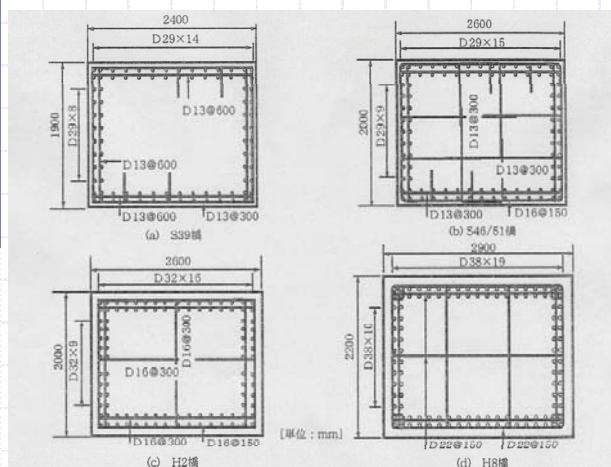
最小帯鉄筋量: 0.15%

1986年

最小帯鉄筋量: 部材接合部から柱幅の高さの範囲に配置する帯鉄筋最大
間隔は, 部材最小寸法の1/4以下とし, かつ耐震設計上重要な柱の帯鉄
筋比は0.2%以上

兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要（三陸南地震）

コンクリート構造物の耐震設計基準の変遷（道路）



	S39橋		S46/51橋		H2橋		H8橋	
	橋軸方向	直角方向	橋軸方向	直角方向	橋軸方向	直角方向	橋軸方向	直角方向
断面寸法(m)	1.9×2.4		2.0×2.6		2.0×2.6		2.2×2.9	
主鉄筋	D29 88本		D29 96本		D32 100本		D38 116本	
帯鉄筋	D13@300		D16@150		D16@150		D22@150	
中間帯鉄筋	D13@600		D13@300		D16@300		D22@150	
かぶり (mm)	0.10		0.10		0.11		0.14	
主鉄筋比(%)	1.24		1.19		1.53		2.07	
帯鉄筋比(%)	0.08		0.23		0.24		1.15	

引用: 米田慶太, 川島一彦, 庄司学, 藤田義人: 試設計に基づく耐震技術基準の改訂に伴うRC橋脚及びく基礎の耐震性向上度に関する検討, 構造工学論文集, 45A, pp. 751~762, 1999.

兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要（三陸南地震）

第5 猪鼻高架橋：柱部材のせん断破壊



兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要（三陸南地震）

第3 愛宕高架橋：柱部材のせん断破壊



兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要

地震	発生年月	マグニチュード	主な出来事
兵庫県南部地震	1995年1月	7.3	死者6千名超・耐震基準の大幅改訂
鳥取県西部地震	2000年10月	7.3	液状化,住宅の損傷・倒壊
芸予地震	2001年3月	6.7	新幹線高架橋の損傷
三陸南地震	2003年5月	7.0	港湾施設・新幹線高架橋の損傷
十勝沖地震	2003年9月	8.0	鉄道橋・道路橋の損傷
新潟県中越地震	2004年10月	6.8	鉄道橋・道路橋の損傷,新幹線脱線
福岡県西方沖地震	2005年3月	7.0	住宅の損傷・倒壊
新潟県中越沖地震	2007年7月	6.8	柏崎刈谷原子力発電所の事故
岩手・宮城内陸地震	2008年6月	7.2	地盤変状による落橋, 地盤崩壊
東北地方太平洋沖地震	2011年3月	9.0	死者・行方不明者2万人超, 大津波

兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要（新潟県中越地震）

上越新幹線：柱部材のせん断破壊



兵庫県南部地震以降に発生した地震と 被害の概要（新潟県中越地震）

上越新幹線：段落し位置の損傷



兵庫県南部地震以降に発生した地震と 被害の概要（新潟県中越地震）

小千谷大橋：段落し位置の損傷



兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要

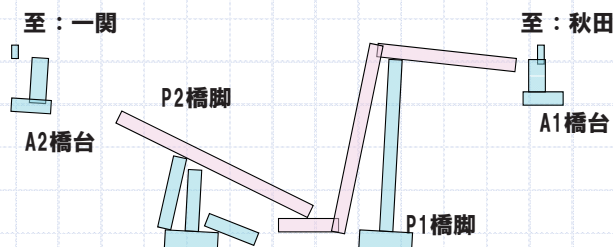
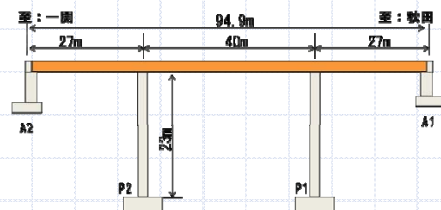
地震	発成年月	マグニチュード	主な出来事
兵庫県南部地震	1995年1月	7.3	死者6千名超・耐震基準の大幅改訂
鳥取県西部地震	2000年10月	7.3	液状化,住宅の損傷・倒壊
芸予地震	2001年3月	6.7	新幹線高架橋の損傷
三陸南地震	2003年5月	7.0	港湾施設・新幹線高架橋の損傷
十勝沖地震	2003年9月	8.0	鉄道橋・道路橋の損傷
新潟県中越地震	2004年10月	6.8	鉄道橋・道路橋の損傷,新幹線脱線
福岡県西方沖地震	2005年3月	7.0	住宅の損傷・倒壊
新潟県中越沖地震	2007年7月	6.8	柏崎刈谷原子力発電所の事故
岩手・宮城内陸地震	2008年6月	7.2	地盤変状による落橋, 地盤崩壊
東北地方太平洋沖地震	2011年3月	9.0	死者・行方不明者2万人超, 大津波

兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要（岩手・宮城内陸地震）

祭時大橋 地盤崩壊がもたらした落橋



写真提供: 国際航業株式会社(2008年6月14日撮影)



祭時大橋
 ・3径間連続鋼鈑桁
 ・橋長:94.9m
 ・架設年1978年
 ・幅員:9.0m

兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要（岩手・宮城内陸地震）

祭時大橋 地盤崩壊がもたらした落橋



大規模地盤崩壊への対応（予測・照査・補強等）
⇒課題として残されている

目次

1. 地震被害

- ・ 兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要
- ・ 東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況
- ・ 耐震補強の有効性
- ・ 兵庫県南部地震後に導入された技術の有効性

2. 今後の課題

- ・ 耐震補強と地震リスク
- ・ 材料劣化と耐震性能低下の関係
- ・ メンテナンスとリプレースメント

3. まとめ

東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況

地震	発生年月	マグニチュード	主な出来事
兵庫県南部地震	1995年1月	7.3	死者6千名超・耐震基準の大幅改訂
鳥取県西部地震	2000年10月	7.3	液状化,住宅の損傷・倒壊
芸予地震	2001年3月	6.7	新幹線高架橋の損傷
三陸南地震	2003年5月	7.0	港湾施設・新幹線高架橋の損傷
十勝沖地震	2003年9月	8.0	鉄道橋・道路橋の損傷
新潟県中越地震	2004年10月	6.8	鉄道橋・道路橋の損傷,新幹線脱線
福岡県西方沖地震	2005年3月	7.0	住宅の損傷・倒壊
新潟県中越沖地震	2007年7月	6.8	柏崎刈谷原子力発電所の事故
岩手・宮城内陸地震	2008年6月	7.2	地盤変状による落橋, 地盤崩壊
東北地方太平洋沖地震	2011年3月	9.0	死者・行方不明者2万人超, 大津波

東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況

A いつまで続く？

せん断損傷
段落し位置の損傷
鋼製支承の損傷

B 新しい被害

積層ゴム支承の破断
津波による橋梁の倒壊・落橋

C 耐震補強の有効性, 兵庫県南部地震後に導入された技術の有効性

東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（せん断損傷）



RC柱のせん断による損傷

東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（せん断損傷）

かぶりコンクリートははつきりとされている

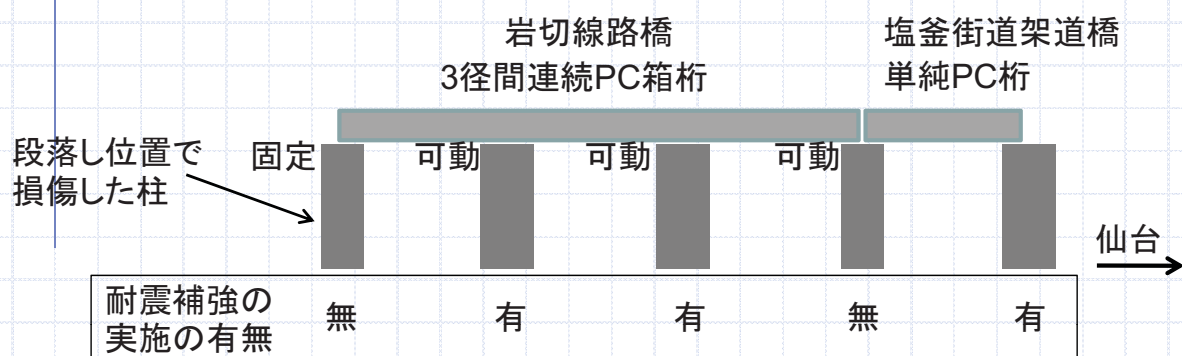


東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（段落し位置の損傷）

東北新幹線 岩切高架橋



東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（段落し位置の損傷）



各橋脚間の距離は、約25～30m程度
橋脚高さは約10mほど

東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（段落し位置の損傷）

写真：JR東日本提供



段落し位置で、繰り返し作用した曲げとせん断力により
かぶりコンクリートが大きく剥落
また、この位置にあった帯鉄筋の一部が落下

東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（鋼製支承の損傷）

天王橋



トラス上横斜材の破断

昭和34年完成
鋼製支承部・トラス構造物
耐震補強未着手

東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（鋼製支承の損傷）

天王橋



鋼製ピン支承のアンカーボルトの抜け出し

東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（鋼製支承の損傷）

天王橋



歩道橋部
ローラーの逸脱・サンドルによる仮支持



東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況

A いつまで続く？

せん断損傷
段落し位置の損傷
鋼製支承の損傷

B 新しい被害

積層ゴム支承の破断
津波による橋梁の倒壊・落橋

C 耐震補強の有効性, 兵庫県南部地震後に導入された技術の有効性

東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（積層ゴム支承の破断）



仙台東部道路：
平成8年道路橋示方書適用

東北地方太平洋沖地震による橋梁の 被害状況（積層ゴム支承の破断）



東北地方太平洋沖地震による橋梁の 被害状況（積層ゴム支承の破断）



東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（津波による被害）

新北上大橋（竣工76年3月、72年道示一等級）



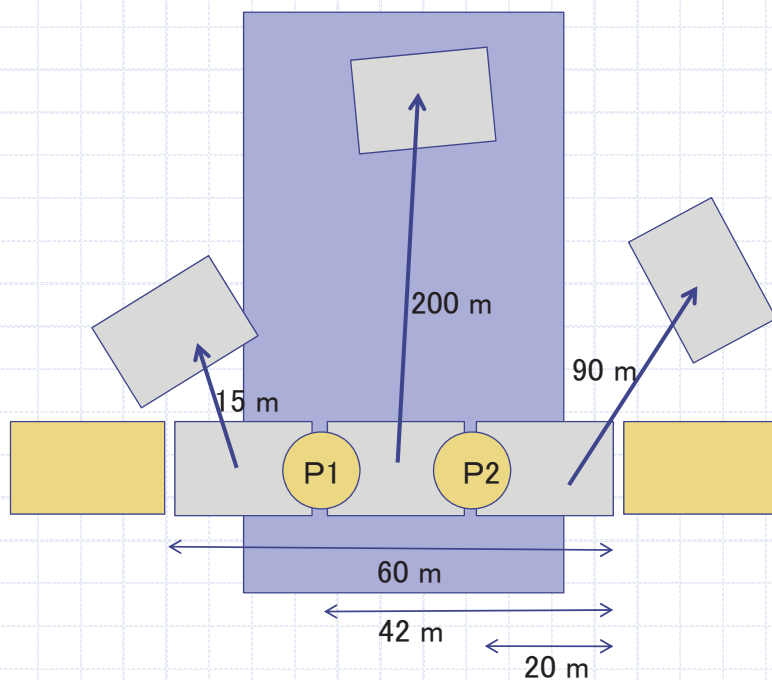
東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（津波による被害）

鋼製支承は、浮き上がりに弱い。
下図のような転倒力を受けたか？



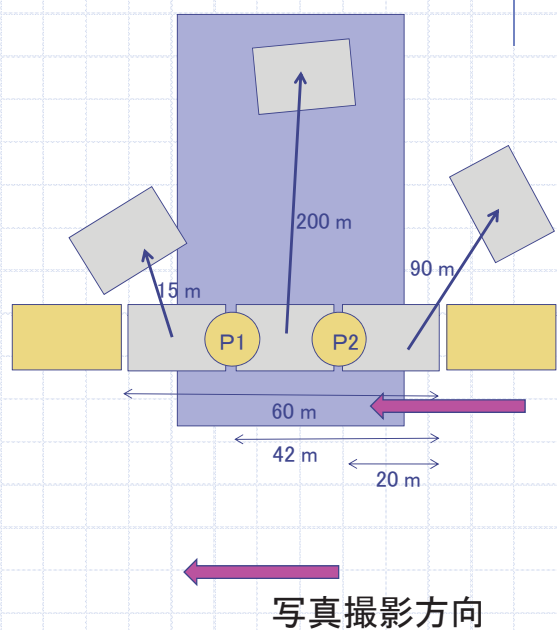
東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（津波による被害）

水尻川橋梁（竣工昭和46年5月）・気仙沼線



東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（津波による被害）

水尻川橋梁（竣工昭和46年5月）・気仙沼線

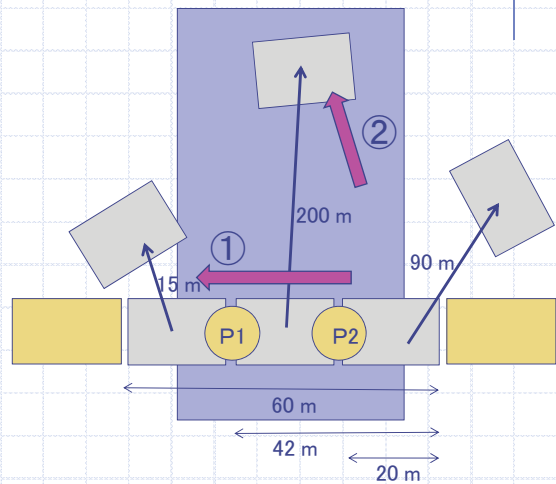


東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（津波による被害）

水尻川橋梁（竣工昭和46年5月）・気仙沼線



①



②

写真撮影方向

東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（津波による被害）



小泉架道橋

外尾川橋

レール

東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（津波による被害）



気仙沼線・小泉大橋から
600m程度北



津波による洗掘か？

東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（津波による被害）

津波による落橋を免れた構造



立体ラーメン構造

重量・橋面積が大きく橋脚高
が小さいPC構造



東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（津波による被害）

橋梁を守れたとしても・・・

黒線上：列車の走行位置

前後の盛土は全て流出



東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況（津波による被害）

一方，道路橋の地震後の役割は非常に大きい...



仮橋

東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況

A いつまで続く？

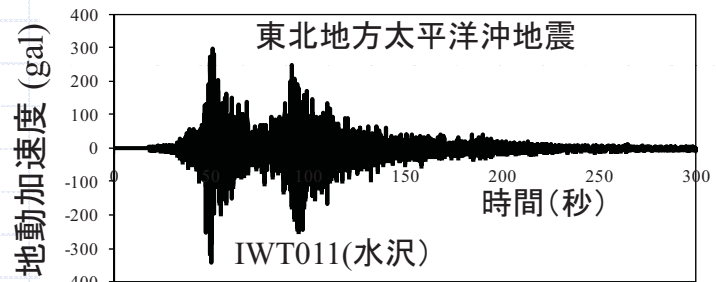
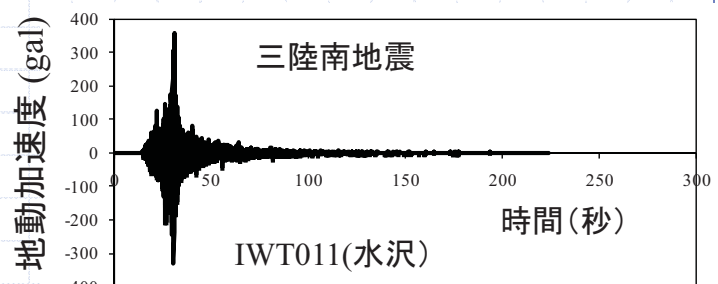
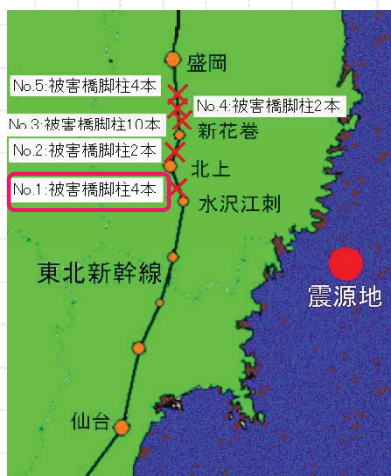
せん断損傷
段落し位置の損傷
鋼製支承の損傷

B 新しい被害

積層ゴム支承の破断
津波による橋梁の倒壊・落橋

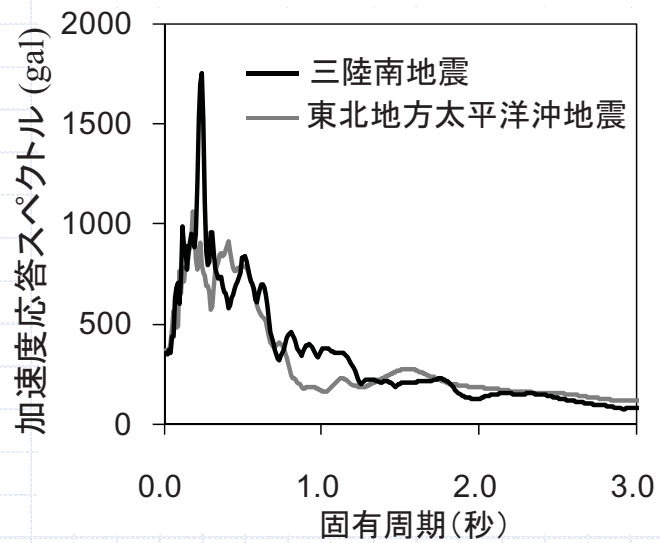
C 耐震補強の有効性, 兵庫県南部地震後に導入された技術の有効性

耐震補強の有効性



三陸南地震の後に実施されたNo. 1橋脚（第3愛宕高架橋）の被害分析の際に使用した地震動はIWT011(水沢)のK-NET強震記録

耐震補強の有効性



加速度応答スペクトルの比較 (IWT011)

No. 1橋脚（第3愛宕高架橋）は、三陸南地震と東北地方太平洋沖地震で同程度の地震作用を受けたと推察される

耐震補強の有効性



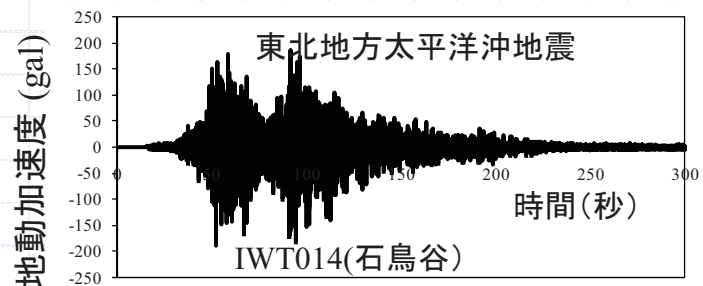
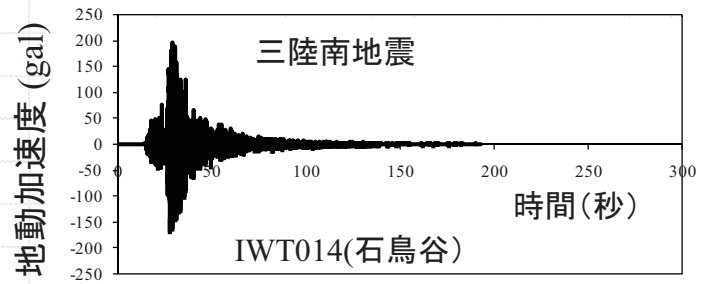
(a) 2003年撮影(三陸南地震後)



(b) 2011年撮影(東北地方太平洋沖地震後)

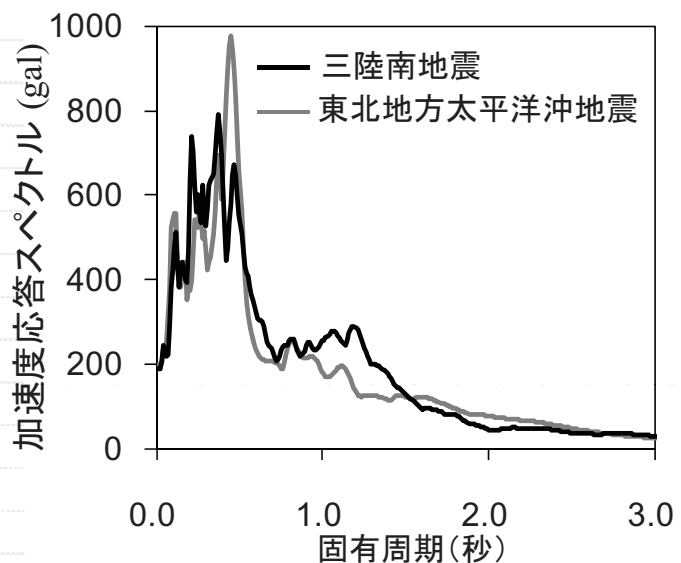
東北新幹線第3愛宕高架橋(R2)

耐震補強の有効性



三陸南地震の後に実施されたNo. 3橋脚（第5猪鼻高架橋）の被害分析の際に使用した地震動はIWT014(石鳥谷)のK-NET強震記録

耐震補強の有効性



加速度応答スペクトルの比較 (IWT014)

No. 3橋脚（第5猪鼻高架橋）は、三陸南地震と東北地方太平洋沖地震で同程度の地震作用を受けたと推察される

耐震補強の有効性



(a) 2003年撮影(三陸南地震後) (b) 2011年撮影(東北地方太平洋沖地震後)

東北新幹線第5猪鼻高架橋

耐震補強の有効性

千代大橋



千代大橋: 国道4号線. 橋長310m. 竣工1965年. 宮城県沖地震の際には橋脚が損傷した. RC橋脚の補強, 積層ゴム支承への取り換え, 落橋防止構造の設置などが2006年までに行われた

耐震補強の有効性

千代大橋



耐震補強の有効性

阿武隈川

仙台

ダンパー

ダンパー



手すりやジョイント部に上部工の移動痕がある。
ダンパーが機能し、橋脚等に損傷は見れない

耐震補強の有効性

阿武隈川

仙台

鋼製支承が大きく腐食している(凍結防止剤?)

耐震補強とメンテナンスのバランス

ダンパー

ダンパー



兵庫県南部地震後に導入された技術の有効性



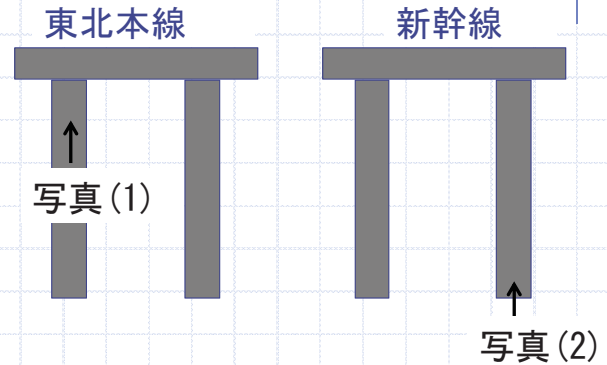
仙台市長町駅周辺

長町駅周辺メモ：

東北新幹線と在来線・東北本線が並走している。長町駅は仙台駅の約5kmほど南に位置している。

東北本線は、長町駅周辺の再開発のため、2000年以降に高架化工事が進められた。高架化工事の際は、JR東日本で技術開発された内巻スパイラルを用いた1層ラーメン構造が採用されていた。

兵庫県南部地震後に導入された技術の有効性



適用基準

東北本線：兵庫県南部地震以後に
制定された基準

新幹線：宮城県沖地震以前に
制定された基準

兵庫県南部地震後に導入された技術の有効性



東北本線



新幹線

○兵庫県南部地震以降に制定された耐震基準に準拠する
コンクリート構造物はほぼ無損傷であった。

兵庫県南部地震後に導入された技術の有効性

亘理 吉田橋

吉田橋は、5径間連続鋼箱桁である。
高減衰積層ゴム支承を使用。
橋脚は、高さ1mほどの津波を受けた跡が見られる。



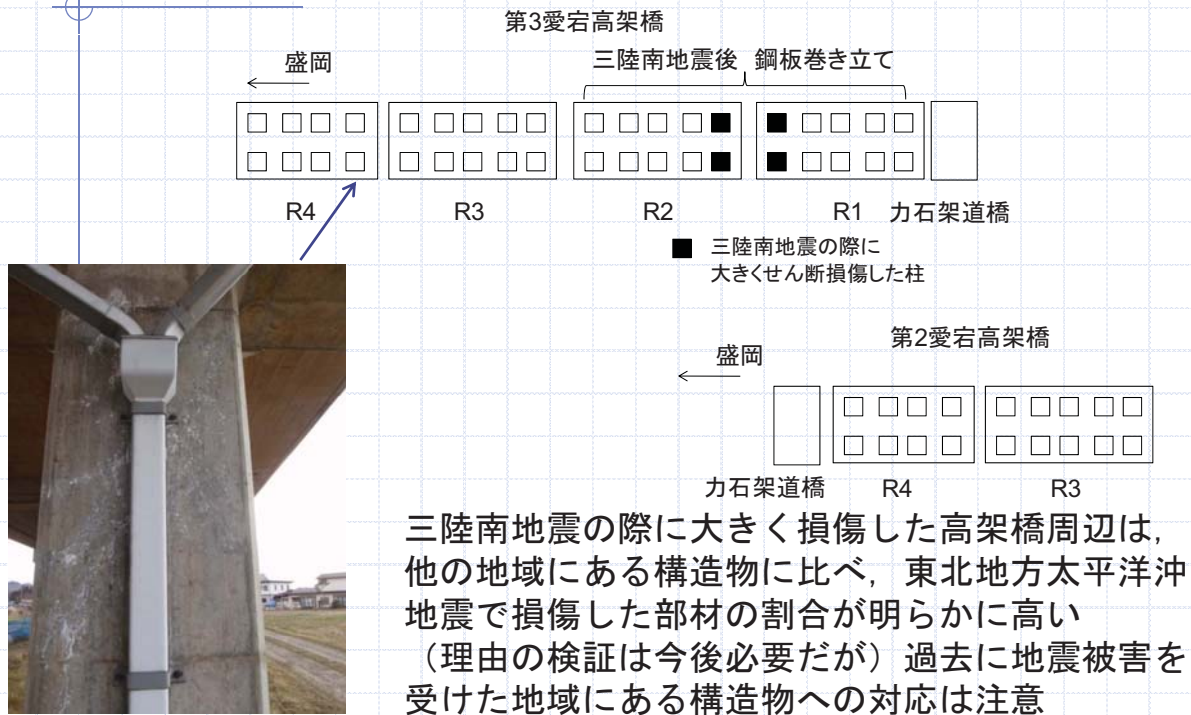
橋台上

兵庫県南部地震後に導入された技術の有効性

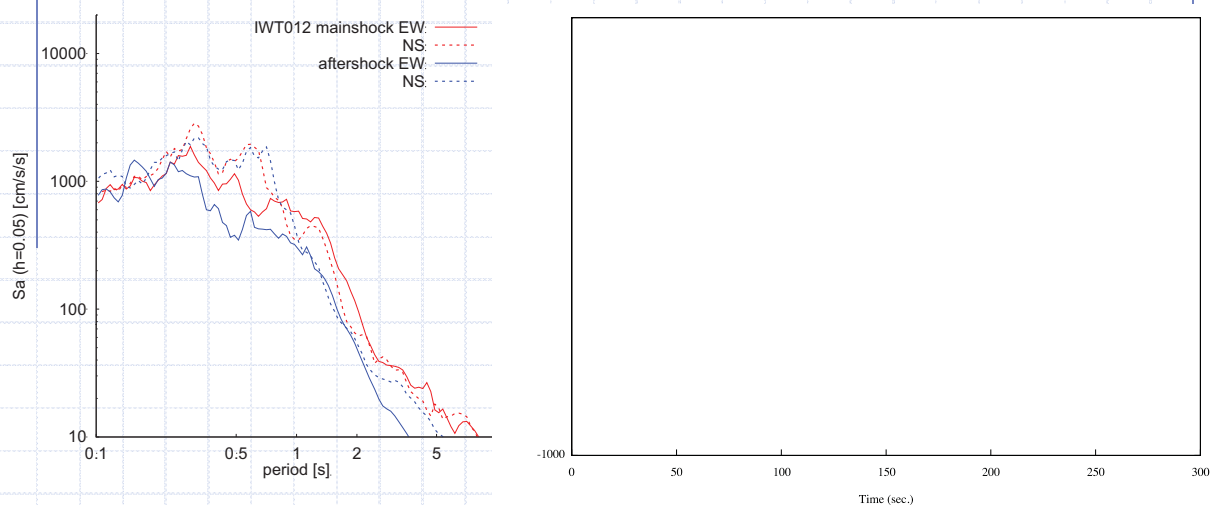


(仙台東部道路の例を除き) 積層ゴム支承を用いた橋梁に大きな損傷は観察されない。

東北地方太平洋沖地震に関するその他話題 1



東北地方太平洋沖地震に関するその他話題 2



2011年4月7日に発生した余震
京都大学：高橋良和准教授提供

東北地方太平洋沖地震に関するその他話題 2

4月7日余震後

断面修復を行ったモルタルに
斜めひび割れが発生し、剥落
している。

4月9日の時点では、再度の修
復工事が行われていた。



1. 地震被害のまとめ

- ✚ 1978年宮城県沖地震，1995年兵庫県南部地震からそれぞれ33年，16年が経過している。それにも関わらず，せん断損傷，段落し位置の損傷，また鋼製支承の損傷などの損傷形態が東北地方太平洋沖地震でも多数観察されている。
- ✚ 一方，東北地方太平洋沖地震では，耐震補強の有効性，また兵庫県南部地震以降に進められている技術の方向性が適切であることが示された。耐震補強未着手の構造に対して，迅速な対応が求められる。
- ✚ 東北地方太平洋沖地震で生じた津波による落橋は現在の技術では対応できない。近い将来に発生が予想される東海・東南海・南海地震に対して，津波に対する道路・鉄道構造物の対策・検討をハード・ソフト両面から進める必要がある（実際はアイデア無…）。

目次

1. 地震被害

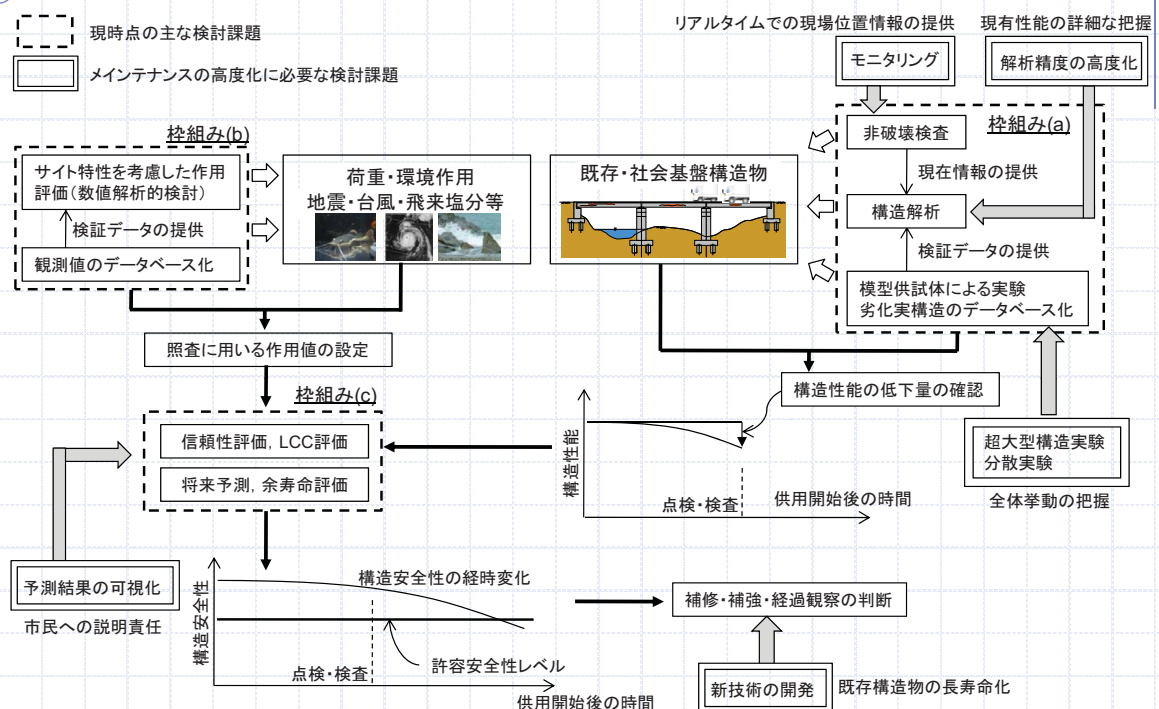
- ・ 兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要
- ・ 東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況
- ・ 耐震補強の有効性
- ・ 兵庫県南部地震後に導入された技術の有効性

2. 今後の課題

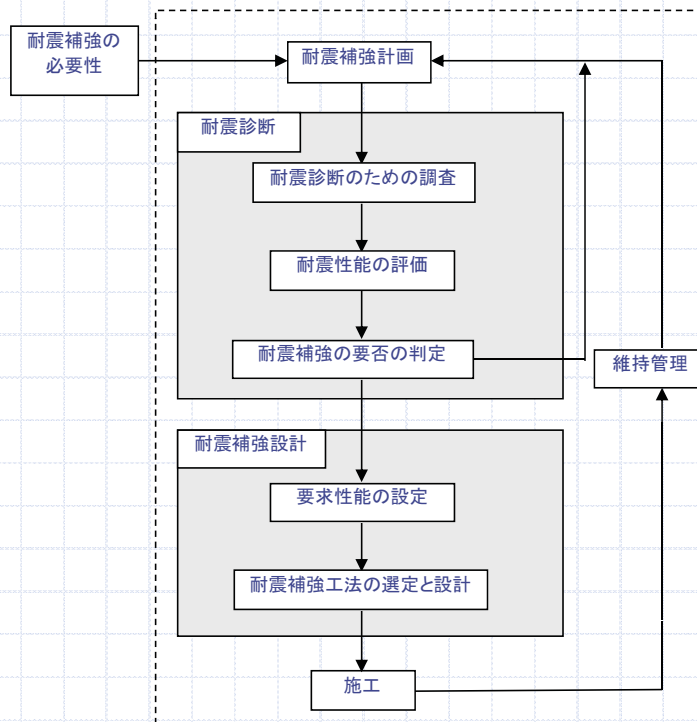
- ・ 耐震補強と地震リスク
- ・ 材料劣化と耐震性能低下の関係
- ・ メンテナンスとリプレイスメント

3. まとめ

耐震補強と地震リスク

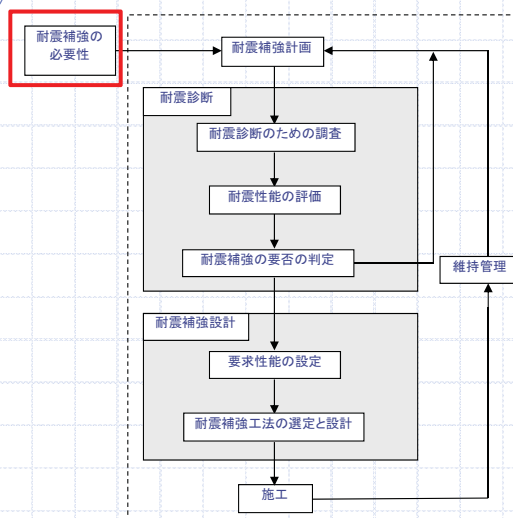


耐震補強と地震リスク



耐震診断, 耐震補強設計, 施工の流れは, 複数回繰り返される。
例えば, 第一段階としてRC柱の段落し部の補強を行い, 他の構造物に対する同様の耐震補強が終わった後に, 第二段階として柱基部の曲げ補強を行う場合など

耐震補強と地震リスク



最新の耐震基準で要求する耐震性能を満足しない既存構造物は未だ多数



耐震補強優先度を適切に判断する

- 対象構造物の重要度や地震により構造物が損傷することによる社会的影響
- 対象構造物が準拠した設計基準
- 地震危険度
- 対象構造物を構成する部材の破壊の脆弱性(部材の破壊モード)



判断基準となる指標: 地震リスク

耐震補強と地震リスク

リスクの定義 = 事象の生起する確率や頻度と、事象の結果の大きさの組み合わせ。

備考：厳密な思決定論の観点からは、全ての望ましくない結果の期待値。即ち事象の結果とその確率の積の総和。

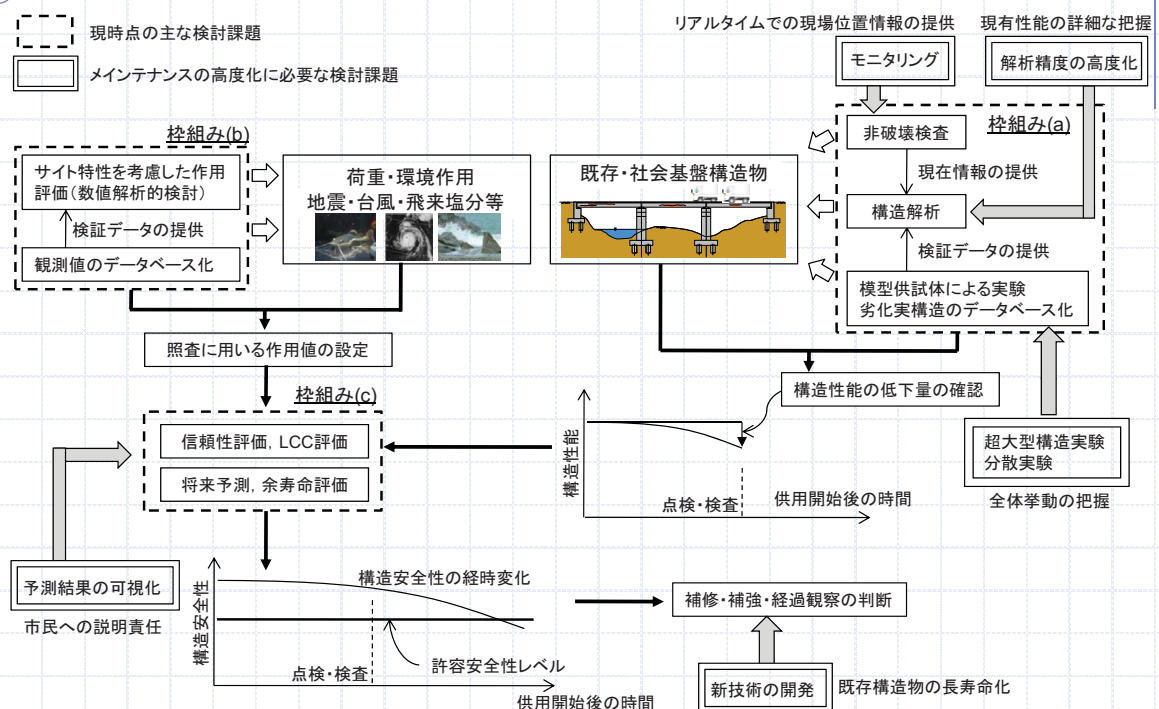
(引用：Bases for design of structures – General principles on risk assessment of systems involving structures, ISO13824)



地震リスクの検討にリスク計算は必須ではない
地震予測の特徴 = 予測に圧倒的不確定性を伴う。
想定地震動以上の生起は否定できない。

- 地震の生起の生起に対して、以下を想像することもリスク評価
 - ⇒ 個別の橋梁にどのような破壊モードがあらわれるのか？
 - ⇒ 橋梁を含むネットワークに何が起こるのか？
 - ⇒ 地震後、ネットワークを含む都市に何が起こるのか？

材料劣化と耐震性能低下の関係



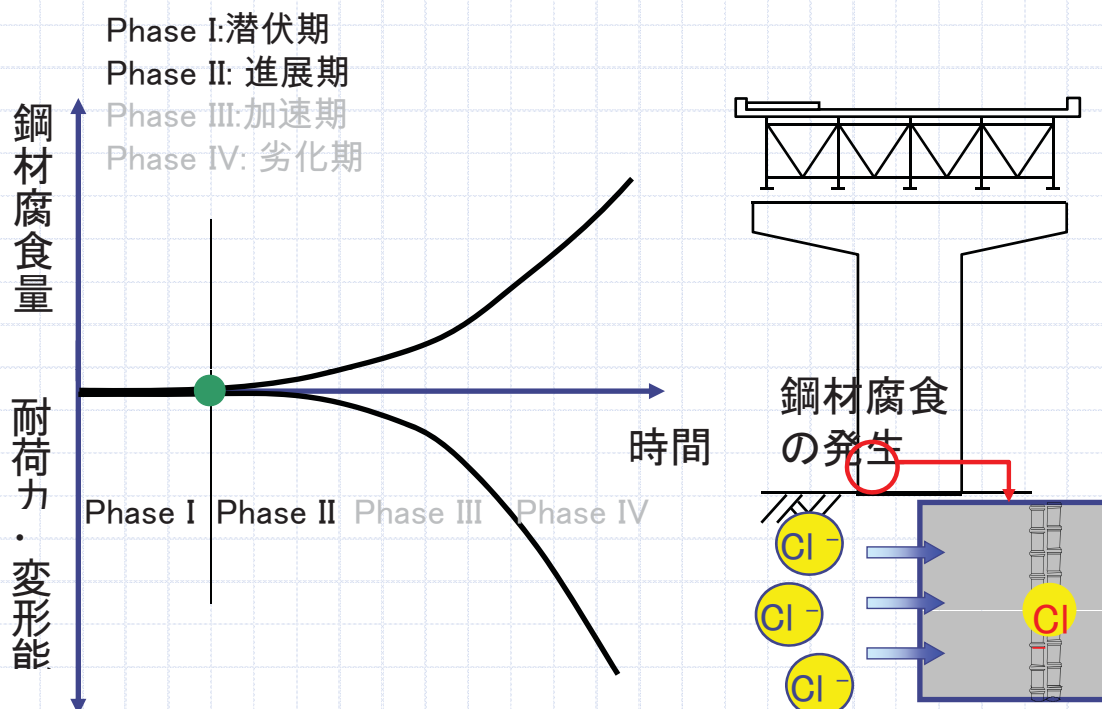
材料劣化と耐震性能低下の関係

塩害による材料劣化(鋼材腐食)が生じた橋脚

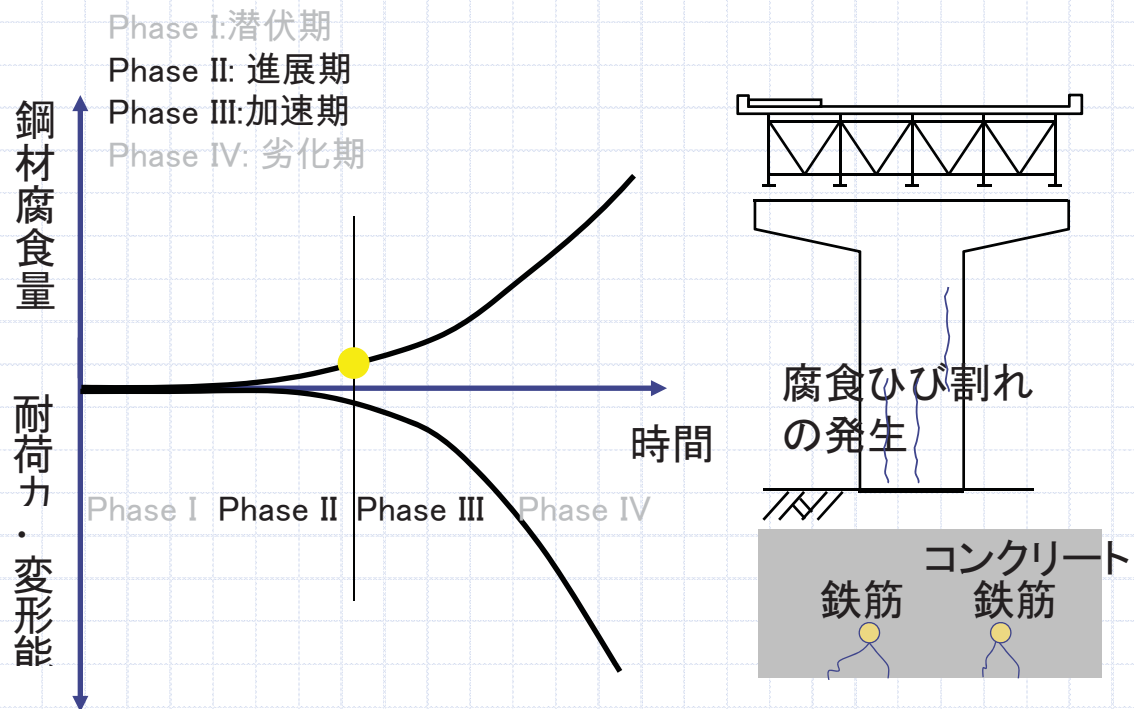


耐震性能はどの程度まで低下しているのか？

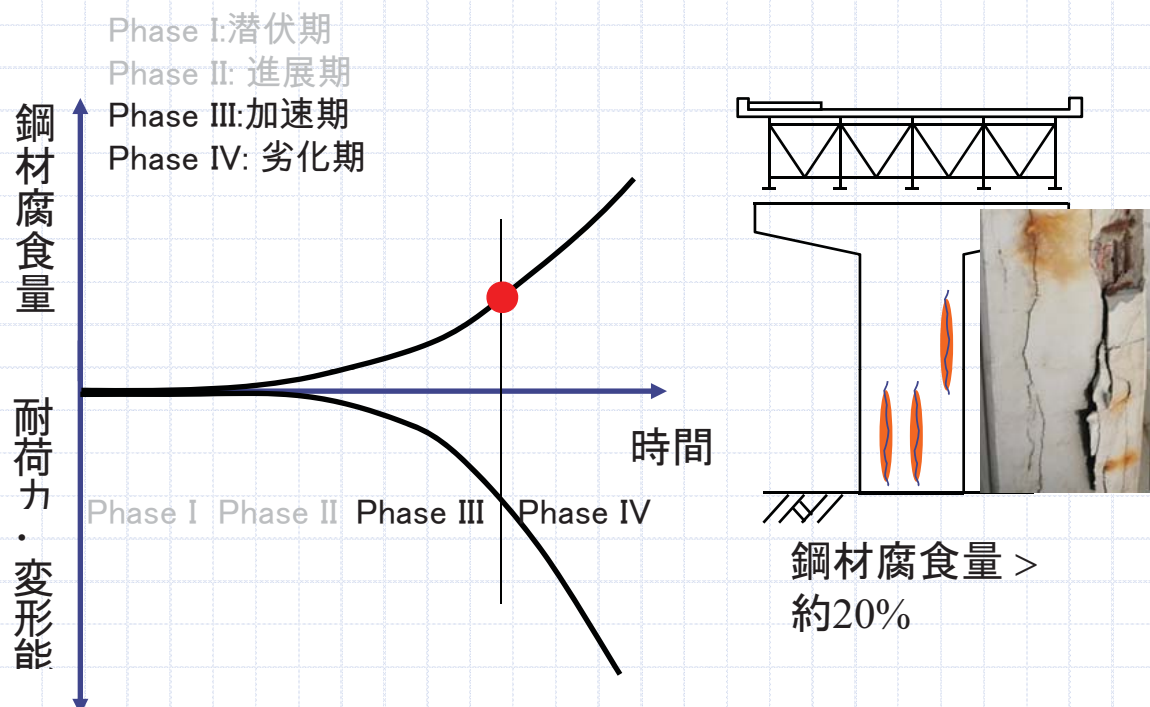
材料劣化と耐震性能低下の関係



材料劣化と耐震性能低下の関係

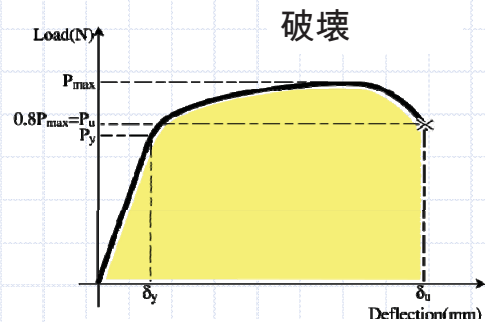


材料劣化と耐震性能低下の関係

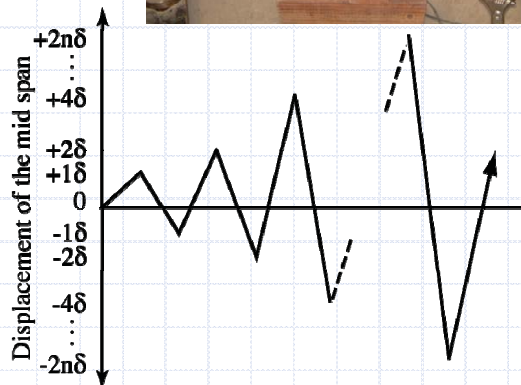


材料劣化と耐震性能低下の関係

電食



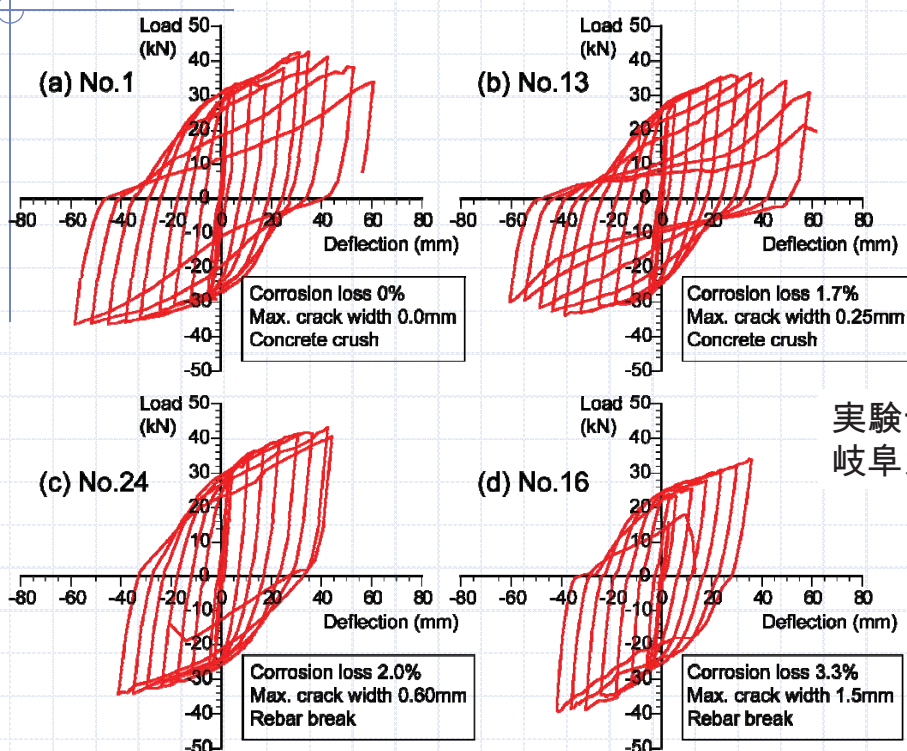
実験上の破壊の定義：
最大荷重の80%低下時



- $\delta_y, -\delta_y, 2\delta_y, -2\delta_y, 4\delta_y, -4\delta_y, \dots, 2n\delta_y, -2n\delta_y$
- $\delta_y = 3\text{mm}$

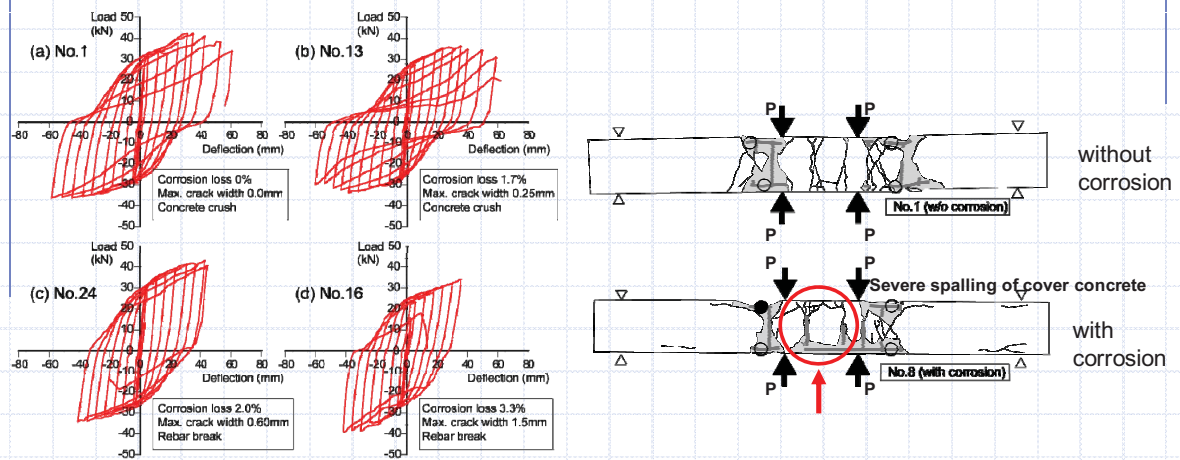
実験データ：岐阜大学・小林先生提供

材料劣化と耐震性能低下の関係



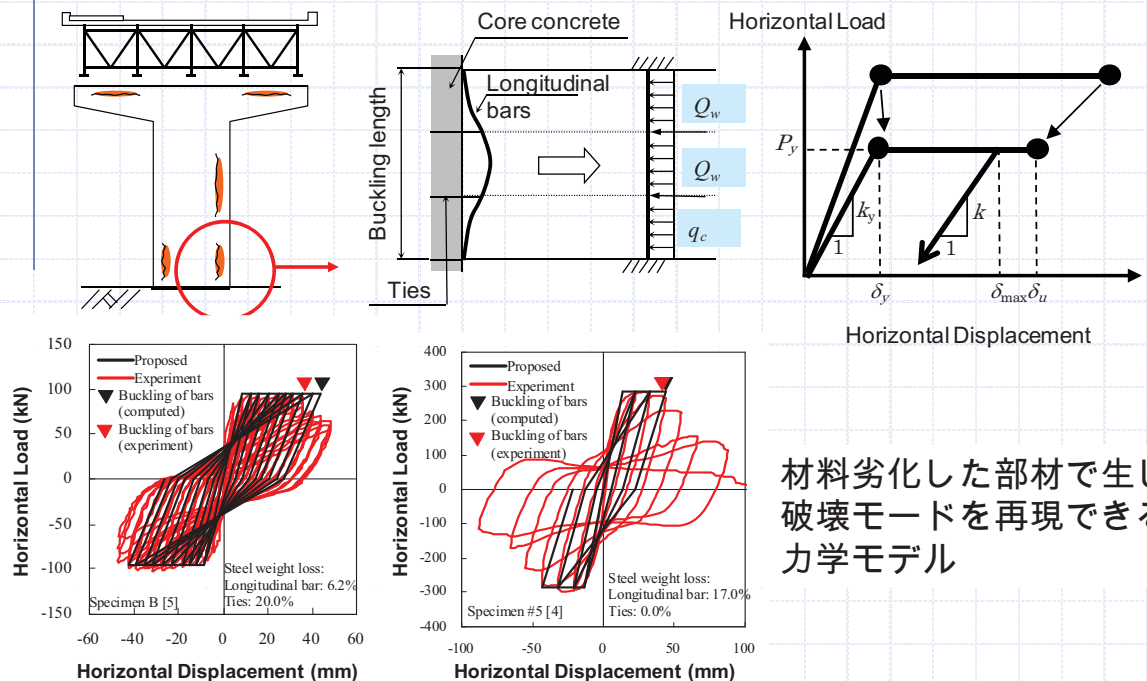
実験データ：
岐阜大学・小林先生提供

材料劣化と耐震性能低下の関係



荷重の予測⇒ある程度の鉄筋腐食量までであれば，減少した鉄筋断面積を用いて断面解析により評価可能
 変形の予測⇒減少した鉄筋断面積を用いて通常の耐震解析法を適用すると，腐食するほど変形能が改善される結果となる

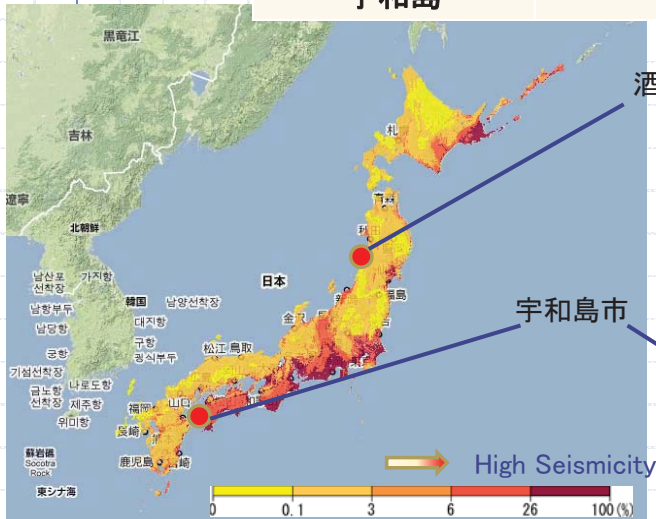
材料劣化と耐震性能低下の関係



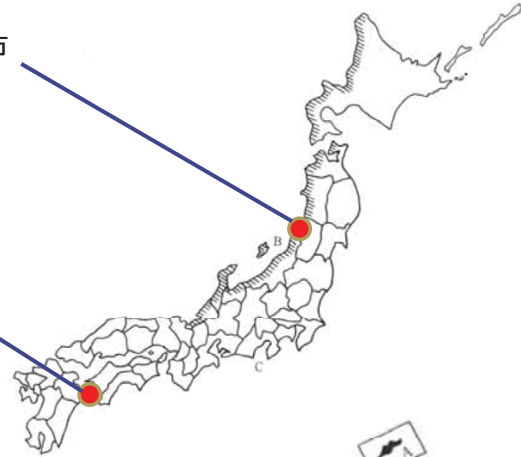
材料劣化した部材で生じる破壊モードを再現できる力学モデル

材料劣化と耐震性能低下の関係

都市	地震危険度	塩害危険度
酒田	中	高
宇和島	高	中



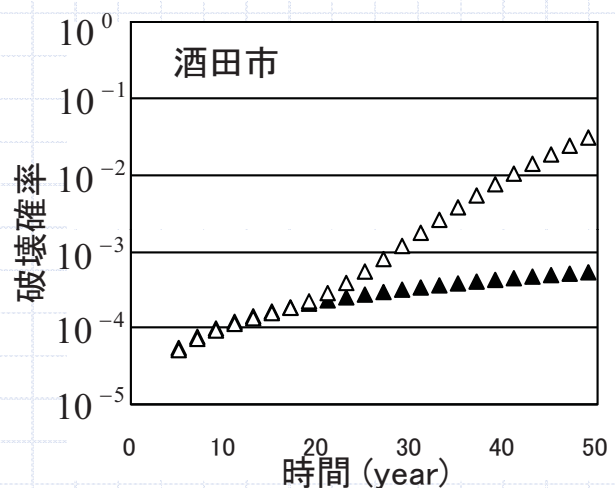
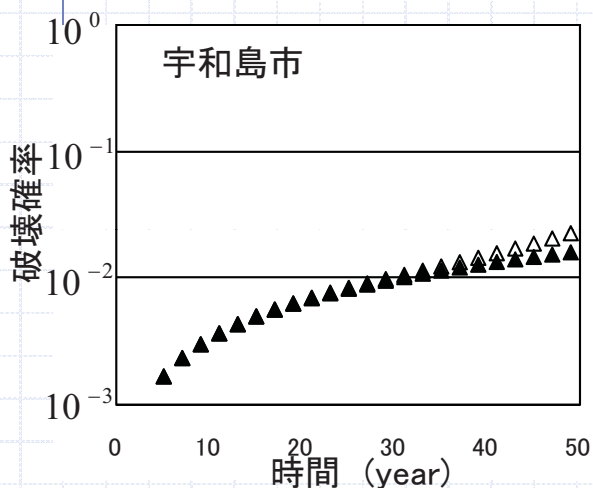
地震ハザードマップ



塩害環境ハザードマップ

材料劣化と耐震性能低下の関係

都市	地震危険度	塩害危険度
酒田	中	高
宇和島	高	中



材料劣化による構造性能の低下を考えると、地震危険度の低い酒田にある橋脚の方が最終的には破壊可能性が高いと試算される

材料劣化と耐震性能低下の関係

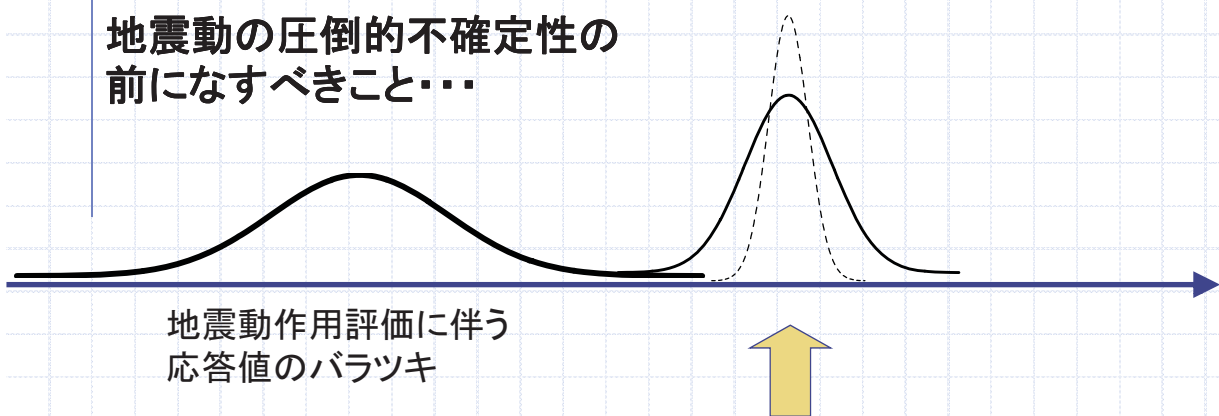


材料劣化した部位・部材が地震動を受けたときの挙動の評価には未解明な点が多い・・・

⇒こうした状態を生み出さないメンテナンス

メンテナンスとリプレースメント

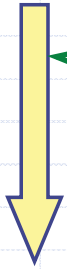
構造物の耐力・変形性能のバラツキ
地震動の圧倒的不確定性の
前になすべきこと・・・



耐力や変形性能の精度を向上しても、地震動評価に伴うバラツキの存在下では、破壊可能性の低減につながる効果は小さい

メンテナンスとリプレースメント

RC部材では、意図的に橋脚基部を曲げ破壊させ、靱性を確保することで地震エネルギーの吸収を図る。地震後にある程度の補修が必要。



橋梁は、避難路や緊急物資の輸送路として重要な役目を果たすため、地震直後でも供用可能であることが非常に重要。



重要度の高い土木構造物(新幹線・高速道路 etc...)は、兵庫県南部地震級の地震に対しても弾性応答することが理想である（が、それを目指した研究は非常に少ない）

メンテナンスとリプレースメント

一般市民を対象に行った宮路・川島のアンケートの結果、ほぼ2/3の市民が、地震後3日以内に復旧することを望んでいる。



メンテナンスとリプレイスメント

当面は、現在ある構造物を適切にメンテナンス（耐震補強を含む）

一方で、ダメージフリー（無損傷）橋梁の開発も進め、将来のリプレイスメントに備えたい。

例えば、仮に東海・東南海・南海地震でインフラ構造物が地震動により大きな損傷を受けたとき、私たちはそのとき何をするのか？

新しい技術を社会に見せ、安心させることができるのだろうか？ 単に従来よりも太い柱を使った橋梁を再構築するのだろうか？

目次

1. 地震被害

- ・ 兵庫県南部地震以降に発生した地震と被害の概要
- ・ 東北地方太平洋沖地震による橋梁の被害状況
- ・ 耐震補強の有効性
- ・ 兵庫県南部地震後に導入された技術の有効性

2. 今後の課題

- ・ 耐震補強と地震リスク
- ・ 材料劣化と耐震性能低下の関係
- ・ メンテナンスとリプレイスメント

3. まとめ

まとめ

✚ 東北地方太平洋沖地震

- ー耐震補強の有効性を確認
- ー耐震補強未着手の構造では、未だにせん断損傷、段落し位置の損傷等が生じている.
- ー新しい被害形態（津波、積層ゴム支承の破断）

✚ 今後の課題

- ー耐震補強と地震リスク
大地震 そととき何が起きるのかに思いをよせて
- ー材料劣化と耐震性能低下
メンテナンスの重要
- ーメンテナンスとリプレイスメント
将来の世代に誇れる構造を残したい

謝辞

本発表では、東北地方太平洋沖地震後に行われた土木学会地震工学委員会の被害調査(団長:川島一彦 東京工業大学教授)を通して得られた情報を用いています.

また、防災科学技術研究所K-NET強震記録を使用させて頂きました.

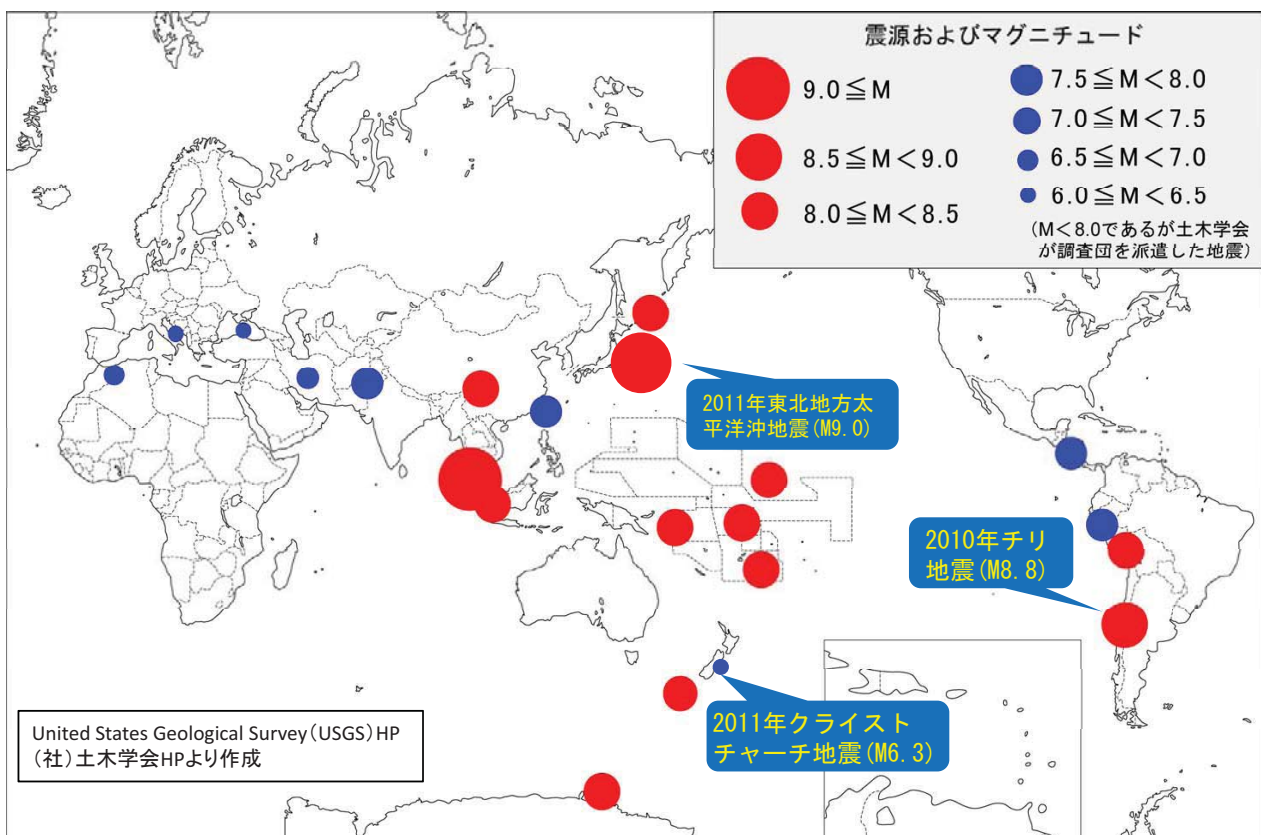
関係各位に厚く御礼申し上げます.

第4回CAESAR講演会

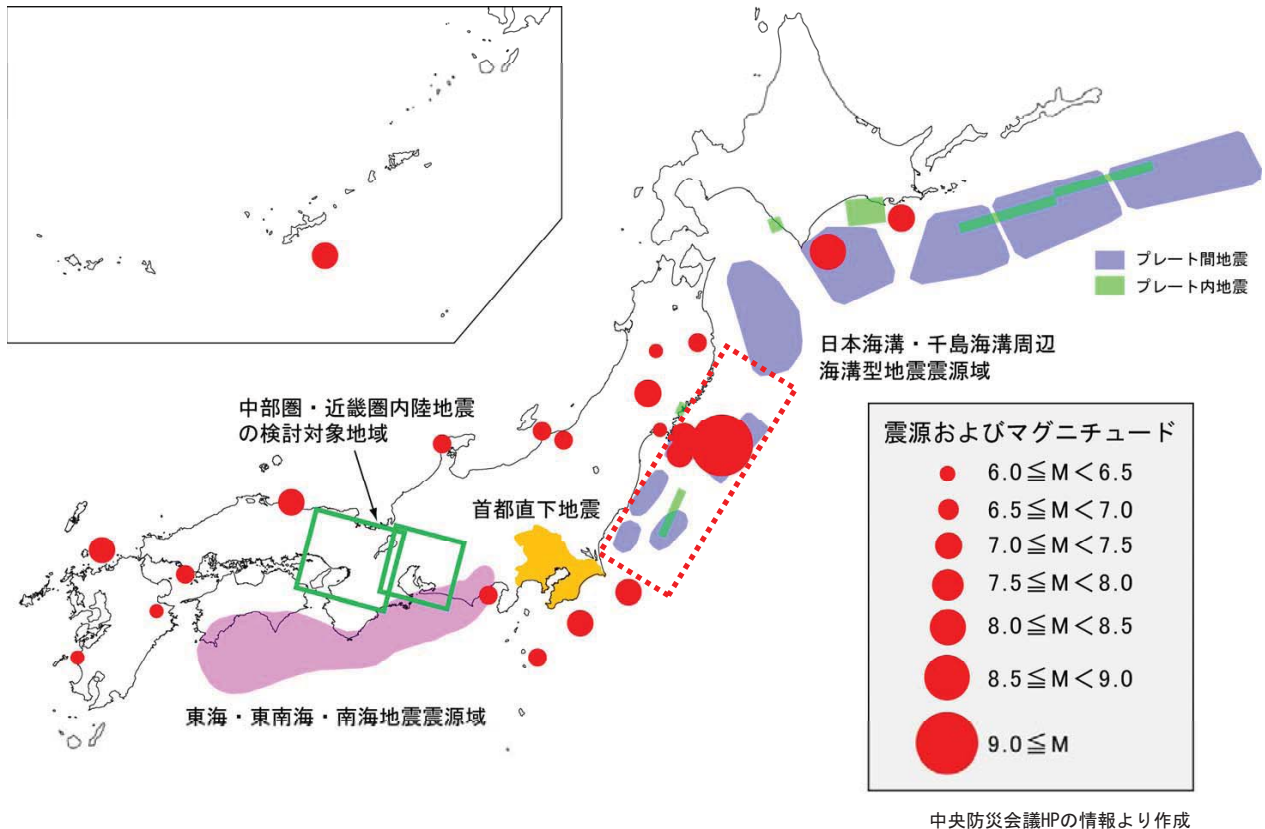
震災経験を踏まえた今後の研究の取り組み



最近15年の世界での主な地震と地震の規模



最近15年の日本付近での主な地震と逼迫する想定大地震の震源域



2011年東北地方太平洋沖地震による道路橋の被害

津波による被害



地震動による被害



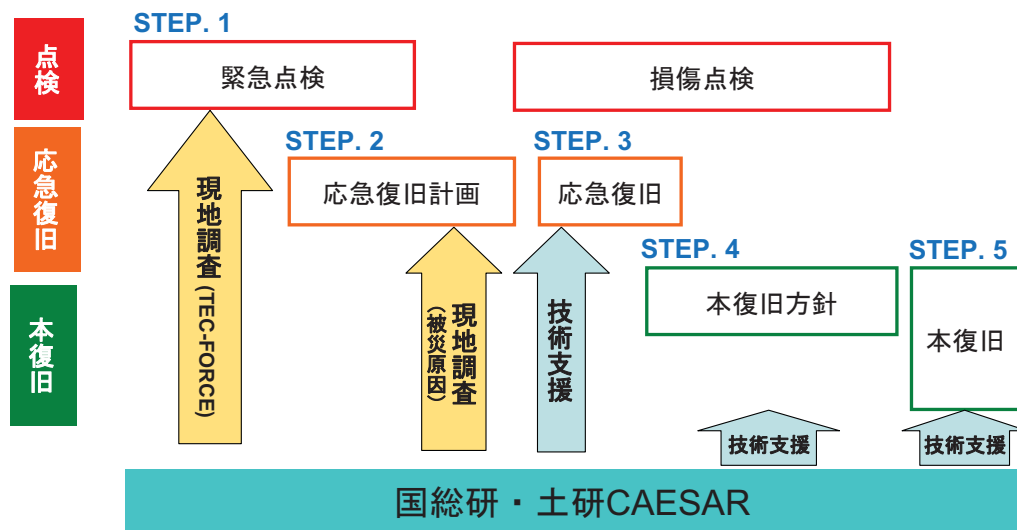
地盤の液状化の影響



土研CAESARにおける道路橋の被災調査活動の目的

① 道路管理者への技術支援

地方整備局(東北、関東)、地方自治体(岩手県、茨城県、千葉市、北上市等)



② 被災の検証、技術基準の点検のための調査

道路橋示方書

道路橋の調査の概要



○調査対象橋梁(これまでに170橋)

- ・地震動の影響により被災した道路橋
- ・津波の影響を受けた道路橋
- ・液状化が生じた地盤周辺の道路橋

○調査体制

国総研、土研CAESARで連携して実施



これまでの調査結果に基づく道路橋の被害の概要

1. 地震動による道路橋の主な被害

- 昭和55年よりも古い基準で設計され耐震補強がされていない橋の被害
 - ・RC橋脚の軸方向鉄筋段落し部の損傷
 - ・軸方向鉄筋量の少ないRC橋脚躯体の損傷
 - ・支承本体の破損
 - ・支承取り付け周辺部位の損傷（下部構造天端、支承が取り付け桁側の部位）
 - ・パイルベント式橋脚を有する橋の落橋
- 橋脚躯体が耐震補強された橋
 - ・橋脚躯体には損傷はないが、他の部位に損傷が生じた例あり
- 兵庫県南部地震後の基準で設計された橋
 - ・致命的な被害はなく、損傷は限定的であるが、ゴム支承の破断が確認された例あり
- 橋へのアプローチ部の被害
 - ・橋台背面土の大きな沈下

2. 津波による道路橋の主な被害

- ・上部構造の流出、橋台背面土の流出
- ・基礎周辺の洗掘

3. 地盤の液状化による道路橋の主な被害

- ・橋台の橋桁側への移動（遊間異常）
- ・支承の損傷やパラペット付け根部でのひび割れ
- ・橋台背面土の大きな沈下

道路橋の耐震性能の観点から見た被害と課題

1. 過去の震災経験を踏まえて耐震補強された橋や新しい基準で設計された橋が示した耐震性能

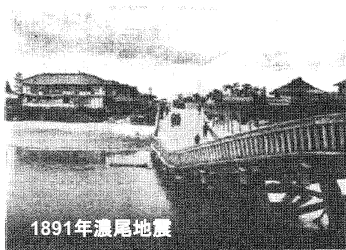
2. 耐震補強がされていなかった橋に生じた被害とその課題

3. 大規模な津波の作用による橋への影響とその課題

4. 東北地方太平洋沖地震による地震動の特徴と橋に及ぼす影響

過去の大地震による落橋事例から学ぶ

1891年濃尾地震から2008年岩手・宮城内陸地震までの地震による落橋事例をDB化



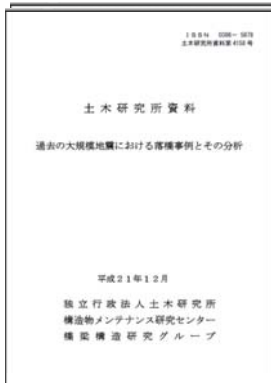
1891年濃尾地震



1923年関東地震



1948年福井地震



1946年南海地震



1964年新潟地震



1964年新潟地震



1978年宮城県沖地震

過去の大地震による落橋事例から学ぶ

1891年濃尾地震から2008年岩手・宮城内陸地震までの地震による落橋事例をDB化



シナリオA



シナリオB



シナリオC



シナリオD

シナリオ	被害原因	橋数	径間数
A	下部構造が倒壊	23	200
B	下部構造が大変位	6	15
C	上部構造の橋軸方向への変位	7	11
D	上部構造の直角方向への変位	5	7

致命的な落橋を防止
するという観点からは

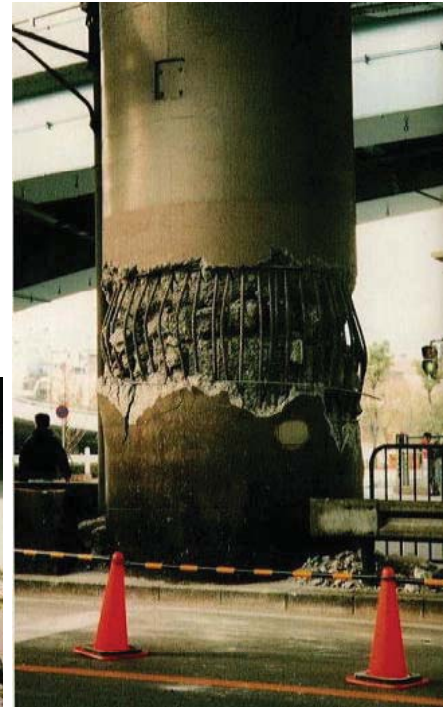
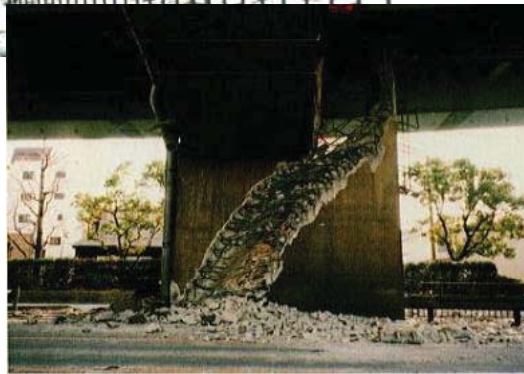


- ・上部構造を支持する部材（桁橋であれば一般に橋脚）の鉛直支持性能を確保
- ・支承破壊後の桁の下部構造天端からの逸脱を抑制

兵庫県南部地震において致命的な被害が生じた RC単柱式橋脚



段落し部での損傷、破壊、倒壊



世界最大級の実大橋脚による耐震補強効果の検証

補強前



補強後



- 断面寸法がRC橋脚の塑性変形能に及ぼす影響の解明
- 塑性ヒンジメカニズム，鋼板巻立て補強効果の解明
- RC橋脚の耐震補強設計法の構築

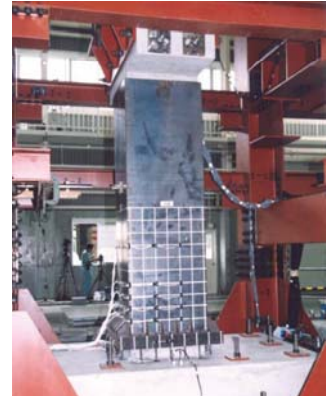
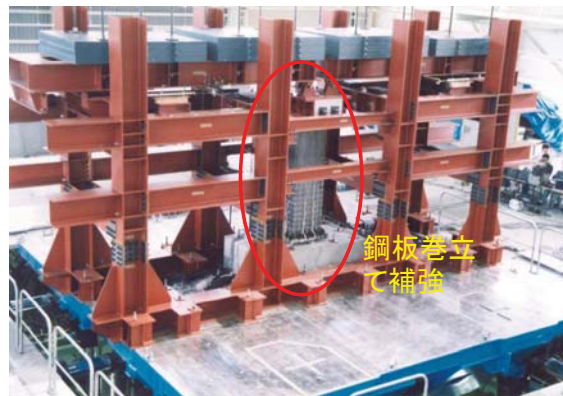
大型振動台実験による耐震補強効果の検証

補強前



- 耐震補強された橋の地震時挙動の解明
- 耐震補強効果の検証
- RC橋脚の耐震補強設計法の構築

補強後



炭素繊維シートによる耐震補強効果の検証



補強前

補強後



- 炭素繊維シートによるRC橋脚のせん断補強効果の解明
- 炭素繊維シートによるRC橋脚の耐震補強設計法

耐震補強された橋とその近傍の耐震補強されていない橋

補強済みの橋（緊急輸送路）
（3径間連続 3連）
（基準適用年：昭和49年）



写真提供：東北地方整備局

岩手県奥州市
付近

両橋間の距離
約4km



未補強の橋（緊急輸送路以外）
（9径間連続）
（基準適用年：昭和47年）



可動支承における
桁の振動跡



写真提供：東北地方整備局



RC巻立てに
よる橋脚の
耐震補強

写真提供：東北地方整備局

段落し部の損傷（地震後全面通行止め）



斜めひび割れ

耐震補強された橋とその近傍の耐震補強されていない橋

補強済みの橋
（3径間連続＋4径間連続）



茨城県水戸市付近



約
400m

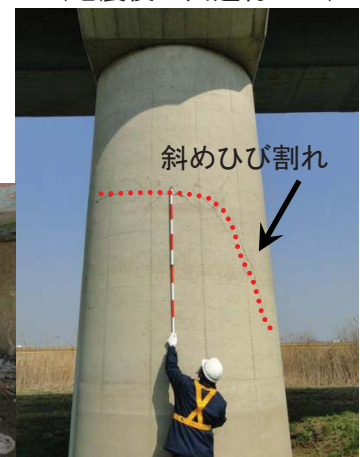
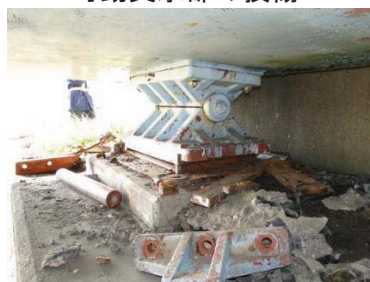
未補強の橋（緊急輸送路以外）
（3径間連続 2連）



段落し部の損傷
（地震後全面通行止め）



可動支承部の損傷



斜めひび割れ

耐震補強された橋とその近傍の耐震補強されていない橋

＜平成16年新潟県中越地震における事例＞

鋼板巻立て補強済みの1期線(上り線)は損傷なし

1期線(上り線)

2期線(下り線)



地震後の損傷状態
(段落し部で損傷)

鋼板巻立て補強

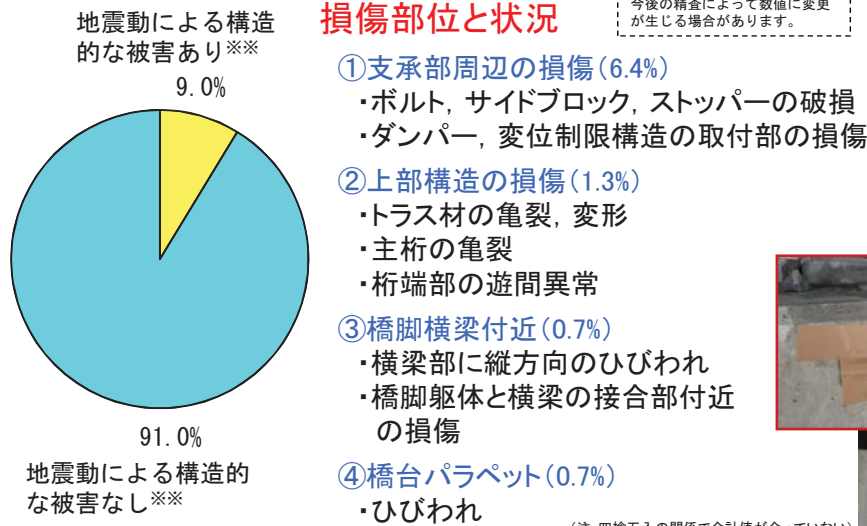
地震後に炭素繊維巻立てによる応急復旧をした状態

研究成果が生かされた橋脚の耐震設計，耐震補強技術



過去の震災経験を踏まえ橋脚の耐震補強が優先して実施された橋の地震動による構造的な被害の状況

福島県、宮城県、岩手県内の直轄管理国道※で耐震補強がなされていた橋の被害分析



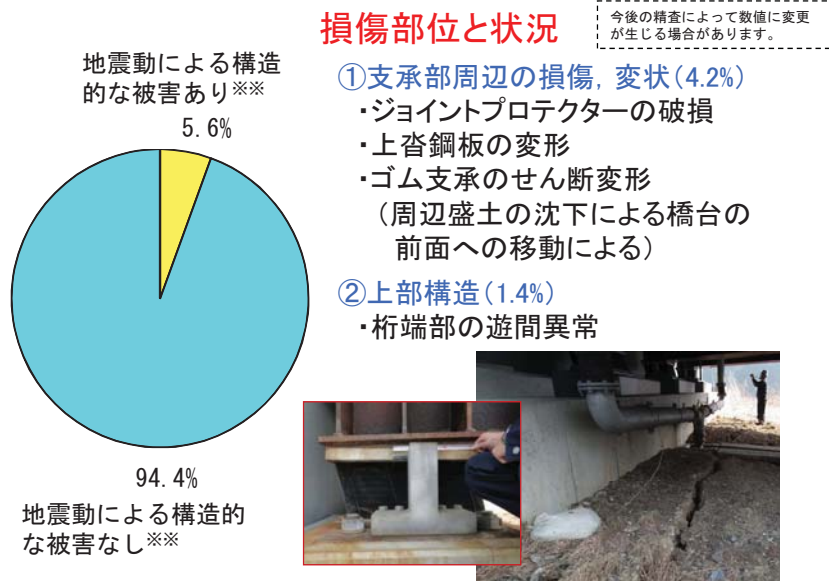
※ 福島第一原子力発電所から半径20km範囲内の橋は対象外
車道部と歩道部（側道橋）が構造的に分離している場合は、別の橋として計数

※※ 「地震動による構造的な被害」とは橋の構造部材（上部構造、下部構造、支承部等の構造部分）に生じた地震動による損傷とし、橋台背面土の沈下、アスファルト路面、高欄や添架物の損傷、擁壁や護岸のずれ、津波により生じた被害等は対象外



兵庫県南部地震後の基準で設計された橋の地震動による構造的な被害の状況

福島県、宮城県、岩手県内の直轄管理国道※でH8道示以降の基準適用の橋の被害分析



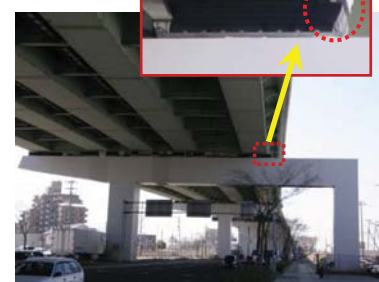
※ 福島第一原子力発電所から半径20km範囲内の橋は対象外
車道部と歩道部（側道橋）が構造的に分離している場合は、別の橋として計数

※※ 「地震動による構造的な被害」とは橋の構造部材（上部構造、下部構造、支承部等の構造部分）に生じた地震動による損傷とし、橋台背面土の沈下、アスファルト路面、高欄や添架物の損傷、擁壁や護岸のずれ、津波により生じた被害等は対象外

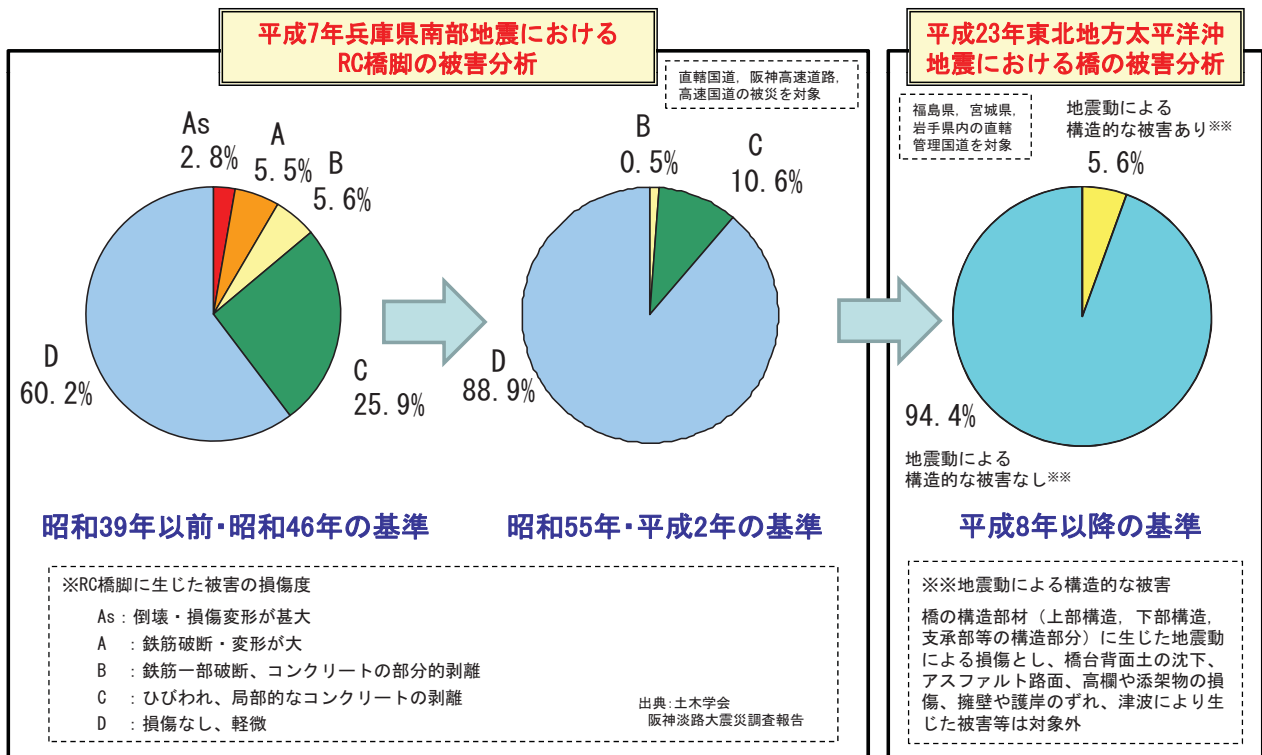


直轄管理国道以外の橋でH8道示以降の基準適用の橋の主な被害

・ゴム支承の破断



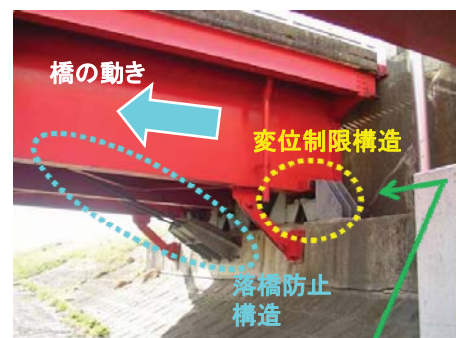
震災経験を踏まえた設計基準の見直しにより 新しい橋の耐震性能は向上している



橋脚の耐震補強と落橋防止対策が実施されていても 長期にわたり橋の機能に影響を及ぼした被害

液状化の影響により基礎に変状が生じた被害の例

（直轄管理国道以外の橋）



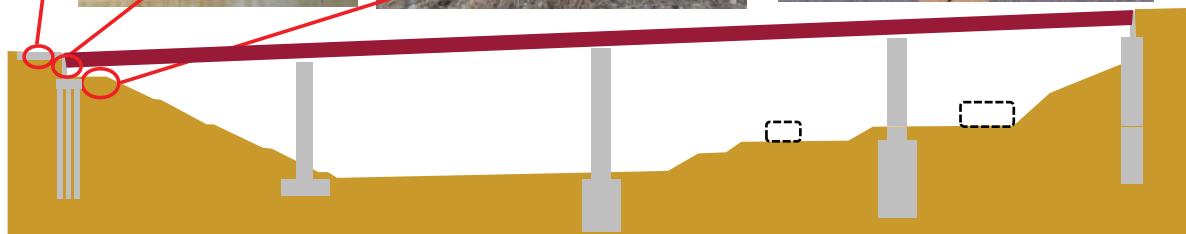
3径間連続橋の
固定支承を有する
下部構造の変状と
周辺地盤の液状化痕跡



可動支承の変状

兵庫県南部地震後の基準で設計された橋でも 速やかな橋の機能回復に影響を及ぼした被害

橋へのアプローチ部の被害
(橋台背面土の大きな沈下)



設計基準の新旧によらず生じている橋梁区間と 土工区間の境界部の損傷

速やかな橋の機能回復に影響を及ぼすような橋台背面土の大きな沈下による段差が発生
こ線橋の例



河川渡河橋の例(液状化の影響)



周辺河川堤防における液状化

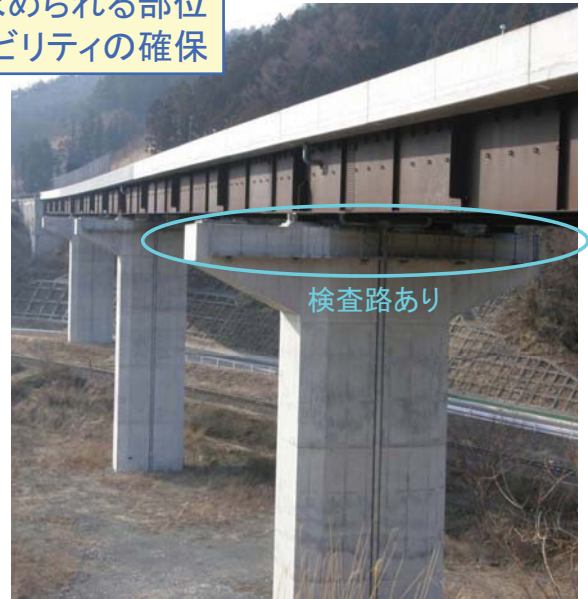
速やかな機能回復のための速やかな点検

地震後に速やかな機能回復が求められる橋の場合には、**速やかな点検**ができる備えが必要

近接目視が求められる部位
へのアクセシビリティの確保



河川渡河橋の低水路部橋脚上の支承の点検



高橋脚上の支承の点検

道路橋の耐震性能の観点から見た被害と課題

1. 過去の震災経験を踏まえて耐震補強された橋や新しい基準で設計された橋が示した耐震性能
2. 耐震補強がされていなかった橋に生じた被害とその課題
3. 大規模な津波の作用による橋への影響とその課題
4. 東北地方太平洋沖地震による地震動の特徴と橋に及ぼす影響

過去の震災と同様な被害が発生

＜S55年道示よりも古い基準で設計された未補強のRC橋脚の被害＞

RC橋脚の軸方向鉄筋段落し部の損傷

軸方向鉄筋段落し部付近における曲げ損傷からせん断ひび割れの進展に至った被害



過去の震災と同様な被害が発生

＜S55年道示よりも古い基準で設計された未補強のRC橋脚の被害＞

軸方向鉄筋量の少ないRC橋脚躯体の損傷



過去の震災と同様な被害が発生

＜S55年道示よりも古い基準で設計された支承部周辺の被害＞

鋼製支承本体の破損



可動支承の損傷
(ローラー逸脱)
と伸縮装置位置
で生じた段差



固定支承の損傷



過去の震災と同様な被害が発生

＜S55年道示よりも古い基準で設計された支承部周辺の被害＞

支承取り付け 周辺部位の損傷



上部構造側の損傷

橋脚天端付近の損傷



橋脚天端付近の損傷



耐震補強が必要な橋で耐震補強が未実施の橋は 過去の震災と同じ被害を繰り返す

1. 軸方向鉄筋段落し部の損傷

- ・過去の震災でも致命的な被害に至った経験のある形態
- ・震前対策としての耐震補強技術、被災後の応急復旧技術は事例多い

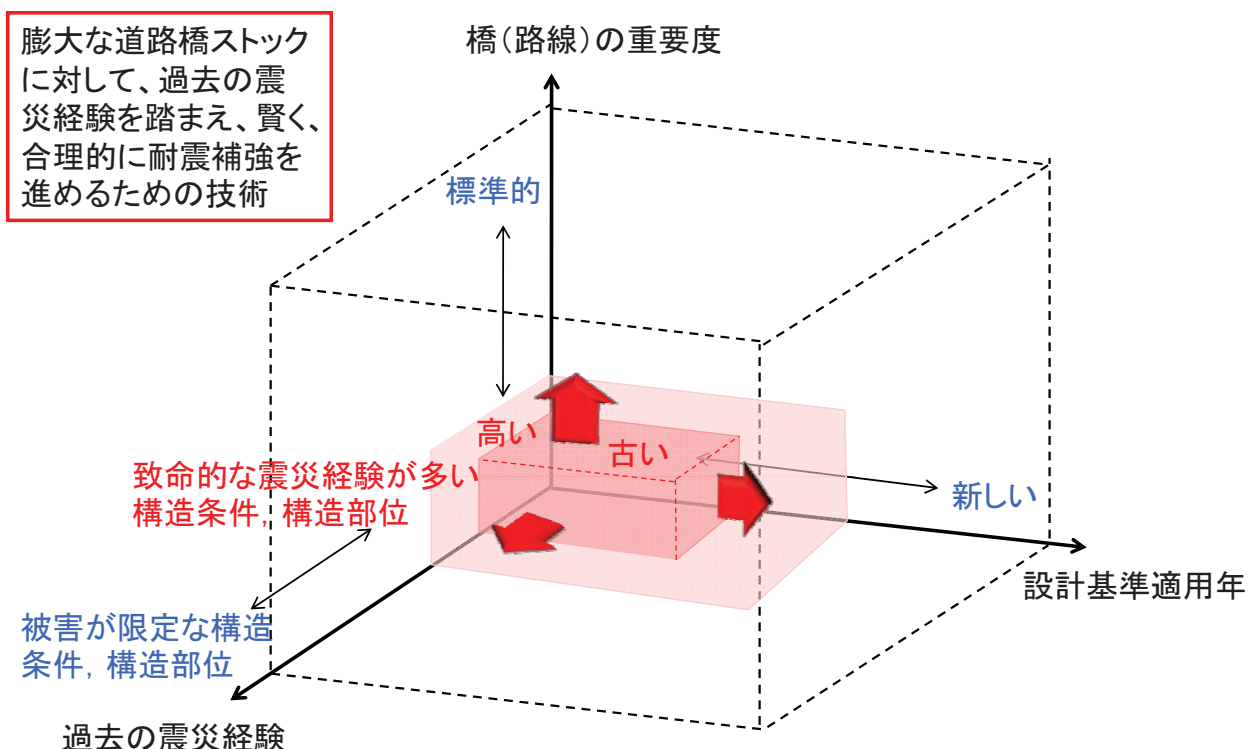
2. 軸方向鉄筋量の少ないRC橋脚躯体の損傷

- ・低鉄筋構造のため耐震補強は大がかりとなる
- ・大断面、低鉄筋な壁式(小判型)タイプの橋脚、橋台に対する合理的な耐震補強技術、震後応急復旧技術の研究

3. 支承本体及びその取り付け周辺部位の損傷

- ・過去の震災でも致命的な被害に至った経験のある形態
- ・支承受り付け部の損傷は本体の損傷よりも機能回復に時間を要する
- ・取付側の部材に脆性的な損傷を生じさせない設計思想
(耐力階層化による部材間損傷制御のキャパシティデザインのコンセプトの重要性)

道路橋の耐震補強における3つの軸



道路橋の耐震性能の観点から見た被害と課題

1. 過去の震災経験を踏まえて耐震補強された橋や新しい基準で設計された橋が示した耐震性能
2. 耐震補強がされていなかった橋に生じた被害とその課題
- 3. 大規模な津波の作用による橋への影響とその課題**
4. 東北地方太平洋沖地震による地震動の特徴と橋に及ぼす影響

津波による道路橋の被害

全径間の上部構造及び橋台背面土が流出し、下部構造が1基流出した橋



基礎周辺
地盤の洗掘



津波による道路橋の被害

上部構造の一部径間が流出した橋



津波による道路橋の被害

上部構造の高さにまで津波の遡上の痕跡があるが、流出していない橋



大規模な津波の作用による橋への影響とその課題

1. 被災メカニズムの解明

- ・津波の影響を受けた橋で流出した橋と流出しなかった橋の構造的特徴の分析
- ・被災実態に基づく津波の作用に対する橋の抵抗特性の分析
- ・津波の影響の低減が図れるような構造的な対処方法

2. 橋台背面土も含めた構造物全体としての性能確保

- ・路線に求められる耐震性能(例えば復旧性)に応じた設計の考え方の検討
- ・橋構造本体の損傷以外にも橋台背面土の流出、基礎周辺地盤の洗掘

橋の構造本体は流出していないが、橋台背面土が流出し、基礎周辺地盤の洗掘が生じた橋



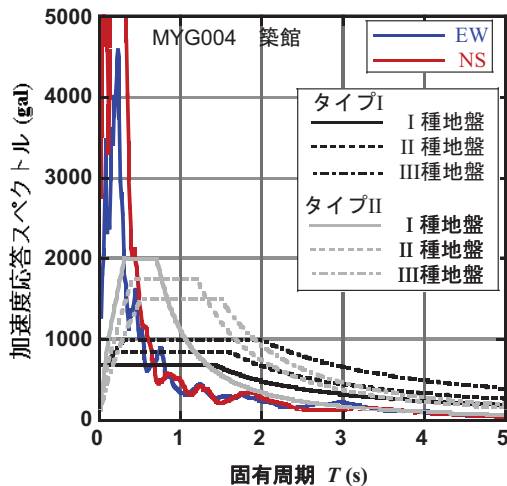
道路橋の耐震性能の観点から見た被害と課題

1. 過去の震災経験を踏まえて耐震補強された橋や新しい基準で設計された橋が示した耐震性能
2. 耐震補強がされていなかった橋に生じた被害とその課題
3. 大規模な津波の作用による橋への影響とその課題
4. 東北地方太平洋沖地震による地震動の特徴と橋に及ぼす影響

地震動の特徴と橋に及ぼす影響

1. 短周期成分に強い強度特性を持つ地震動が橋に及ぼす影響

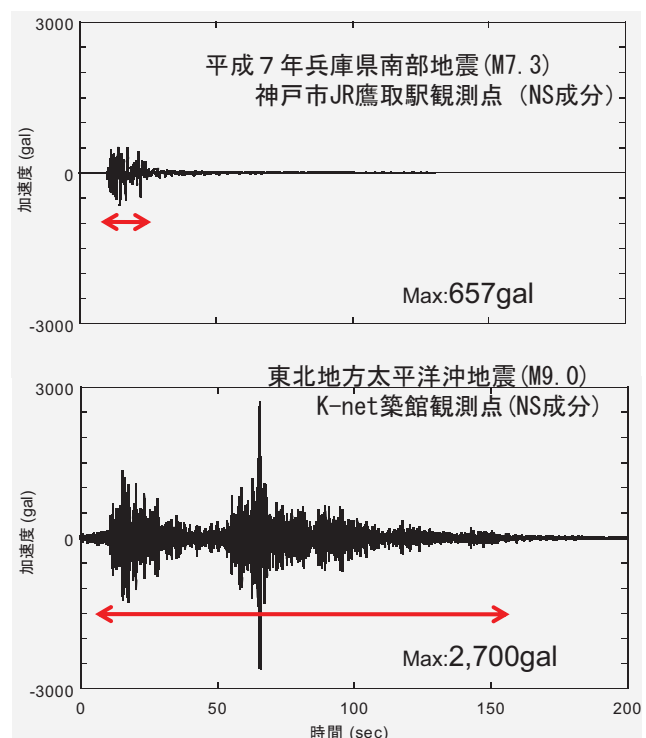
- ・気象庁震度階で震度7を記録した築館(宮城県栗原市)の地震動は、0.2～0.3秒の周期帯付近で10,000galを超える加速度応答スペクトル特性
- ・観測点付近の橋、建物に構造的な損傷は見られない
- ・地震動特性と橋の構造的な被害との関係のマクロ的な分析



地震動の特徴と橋に及ぼす影響

2. 継続時間の長い地震動特性が橋に及ぼす影響

- ・2つの主要動が連続した地震動特性のため、これまでの地震と比較して地震動の継続時間が長い
- ・塑性化を考慮する部材における塑性応答の繰り返し回数(部材損傷)に及ぼす影響
- ・地盤の液状化に及ぼす影響



震災経験等を踏まえた今後の研究の取り組み

1. 震災経験を次に生かすための分析

- ・地震動の特性と橋の被害の関係の分析
- ・機能回復や復旧に時間を要する被害形態の分析
- ・耐震補強された橋の挙動の検証、補強した部位以外の部位への影響の検証
- ・津波の作用に対する橋の抵抗特性の分析
- ・被災した橋だけでなく、被災しなかった橋の分析

2. 性能目標に応じた橋の耐震性向上技術

<耐震補強技術>

- ・性能目標に応じた、賢く、合理的な耐震補強技術
- ・液状化地盤、軟弱地盤における合理的な基礎の耐震補強

<耐震性能照査技術>

- ・地盤も含めた橋全体系の地震時挙動の研究(実橋での集中的な地震応答観測の必要性)
- ・部材間耐力の階層化による復旧性を重視した橋の耐震設計技術
- ・橋と土工部の耐震性能の連続性を確保するための研究

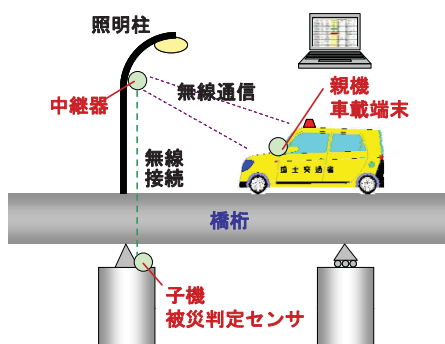
3. 橋の維持管理と耐震性の確保

- ・耐震性確保の観点から重要な部材の維持管理
 - 地震前までの橋梁点検結果と今回の地震被害の関係の検証
- ・耐震補強のための部材、装置を健全な状態に維持する技術
 - 経年した補強部材における補強効果の検証(撤去部材の活用等)

最近の土木研究所の研究開発成果が震災後に応急復旧した橋の監視対策として活用されます

橋梁の地震時被災度判定システムを活用

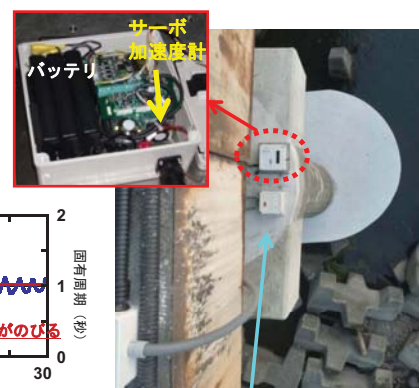
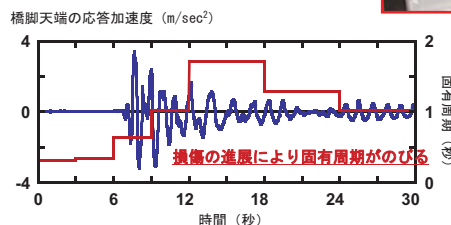
早期復旧の前提となる点検を速やかにする技術



記憶型検知センサーによる地震被害判定システムを開発

地震の揺れに伴う周期の変化を感知し、その変化によって橋脚の変状を無線通信により端末に伝送するシステム

応答周期の変化から応答塑性率を推定



東北地方太平洋沖地震により下部構造に被災が生じた橋への適用