
第 3 回 CAESAR 講演会

開催日：平成 22 年 8 月 24 日

会 場：星陵会館ホール(火)

土木研究所 CAESAR

2010年8月24日
第3回CAESAR講演会

＜招待講演＞
コンクリート橋の
崩壊に学ぶ

デラコンコルド跨道橋の崩落事故の概要と原因／六郷
重要個所、関連情報、道路管理者の責務等／Banthia

岐阜大学 六郷 恵哲

講演内容



詳しい情報をもとに、
重要個所(特に材料)
や関連情報を紹介

報告書をもとに、概要と
原因(特に構造)を紹介

六郷の略歴

- 1993.8 岐阜大学教授
- 1986.3-1987.2 スイス
ローザンヌ工科大学
- 1982.3 岐阜大学助教授
- 1980.4 岐阜大学講師
- 1979.9 京都大学助手
- 1978.8-1979.8 米国
イリノイ大学
- 1978.3 京都大学大学院
博士課程退学
- 1973.3 京都大学工学部
土木工学科卒業
- 1950.6 広島生れ



研究分野

- コンクリート構造の破壊の力学
- 繊維補強コンクリート
- 維持管理, 診断, 試験

授業

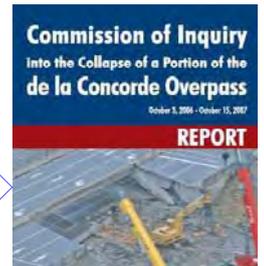
- コンクリート構造学, 維持管理工学
- 空間文章表現, 建設材料工学
- 地球環境維持工学

岐阜大学 六郷 恵哲

はじめに

＜六郷担当部分＞

- はじめに
- 跨道橋の特徴と事故の概要
- 崩落の原因
- 事故から学ぶ



http://www.cevc.gouv.qc.ca/UserFiles/File/Rapport/report_eng.pdf

岐阜大学 六郷 恵哲

はじめに

- 落橋のような重大事故を防ぐことは、維持管理における重要な目標の一つ。
- 海外の崩壊事例から学び、未然防止に役立て、一般社会へも発信すべき。

コンクリート工学2008年12月号 テクニカルレポート

カナダのデラコンコルド跨道橋の崩落事故に学ぶ

六郷 恵哲^{*1}・羽田野英明^{*1}・Nemkumar Banthia^{*1}

岐阜大学 六郷 恵哲

はじめに

供用中の構造物の不具合や破壊の原因

- 建設当時の不十分な技術
 - 設計基準の不備(古い基準)
 - 設計施工の不良
 - 手抜きや不確かさ
- 材料の劣化や損傷
- 設計・施工・維持管理ミスと見逃し
- 想定を超える構造物への外力
- 火災・テロ・犯罪・その他

デラコンコルド
跨道橋の場合

岐阜大学 六郷 恵哲

跨道橋の特徴と事故の概要

デラコンコルド跨道橋の崩落事故

- カナダのケベック州モントリオール市郊外
- 2006年9月30日の昼過ぎに発生
- 死者5名, 負傷者6名
- 2006年10月3日に事故調査委員会設立
(委員長Mr. Pierre Marc Johnsonは, 法律家で政治家)
- 2007年10月15日に報告書発行

7

岐阜大学 六郷憲哲

事故の概要

カナダのデラコンコルド跨道橋の崩落(全体)



事故の概要

カナダのデラコンコルド跨道橋の崩落(破壊箇所)



事故の概要

直前の前兆と対応

- 1ヶ月前から, 橋台と吊桁部の間隔が不揃い
- 1時間前から, 高架橋の下にコンクリート片
- 数分前に, 跨道橋の30~50mmの路面沈下
- 連絡を受け交通局は, 巡回員を派遣(30分前)
- 巡回員は, 緊急の危険は無いと判断, 道路閉鎖をせず, 2日後に点検を行うよう手配

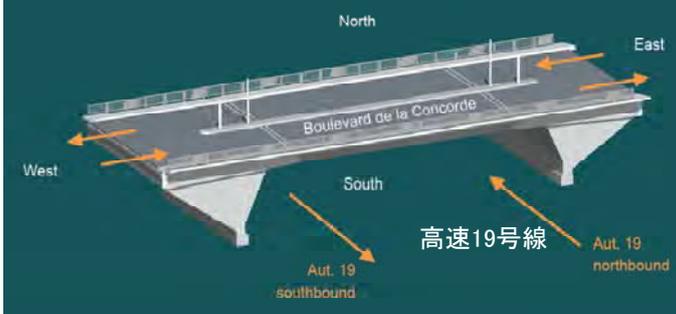
岐阜大学 六郷憲哲

10

橋の特徴

デラコンコルド橋

1971年竣工の橋梁 35年後の崩落



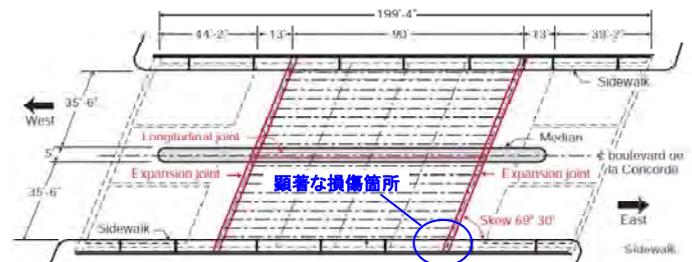
11

岐阜大学 六郷憲哲

橋の特徴

跨道橋の特徴

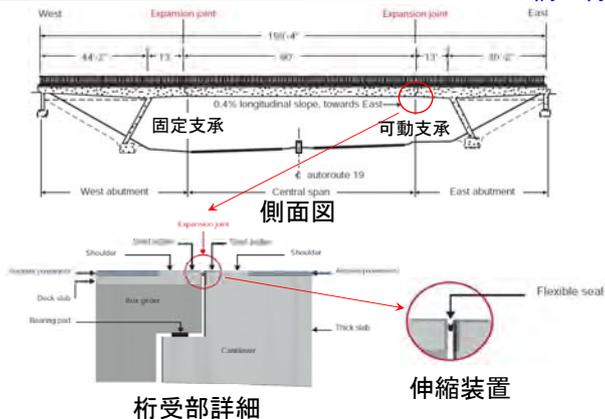
- 当時の北アメリカでは, 斬新なデザイン
- 高速19号線に橋脚の設置が不要
- 構造高が低い



12

平面図

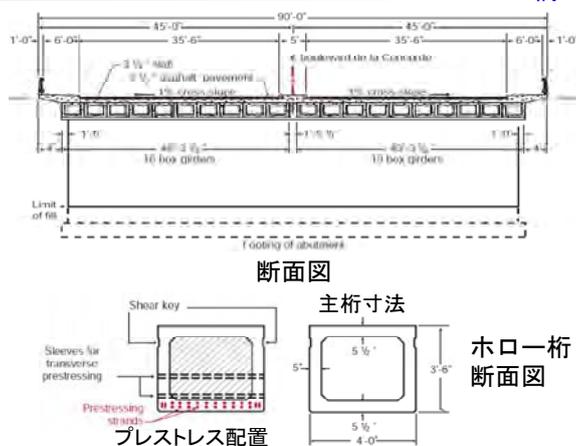
橋の特徴



桁受部詳細

伸縮装置

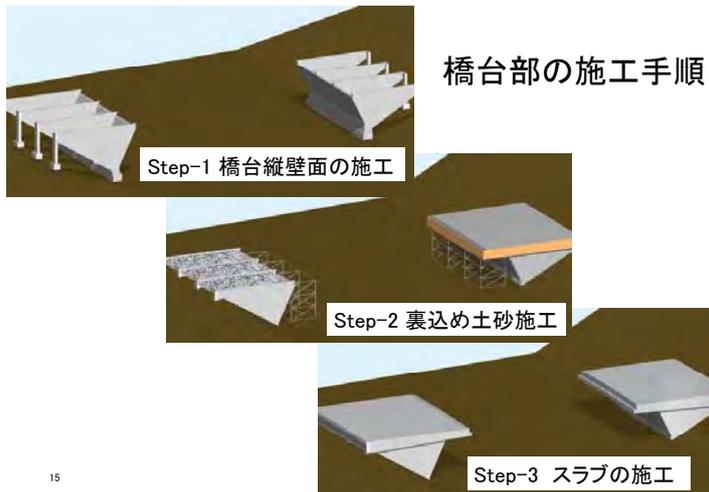
橋の特徴



断面図

主桁寸法

ホロ一桁断面図

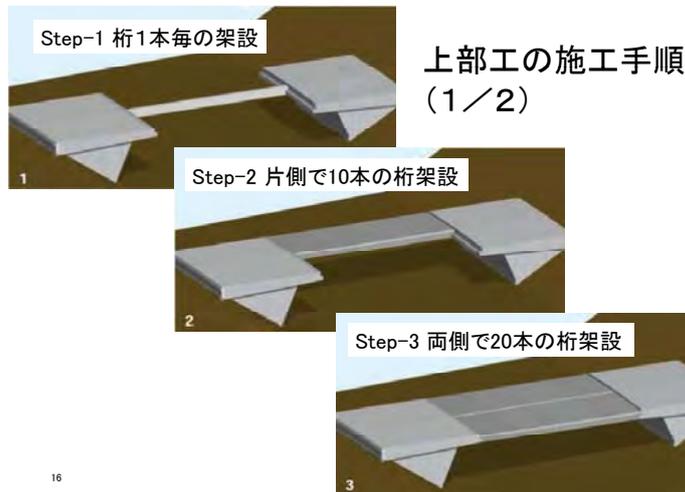


橋台部の施工手順

Step-1 橋台縦壁面の施工

Step-2 裏込め土砂施工

Step-3 スラブの施工

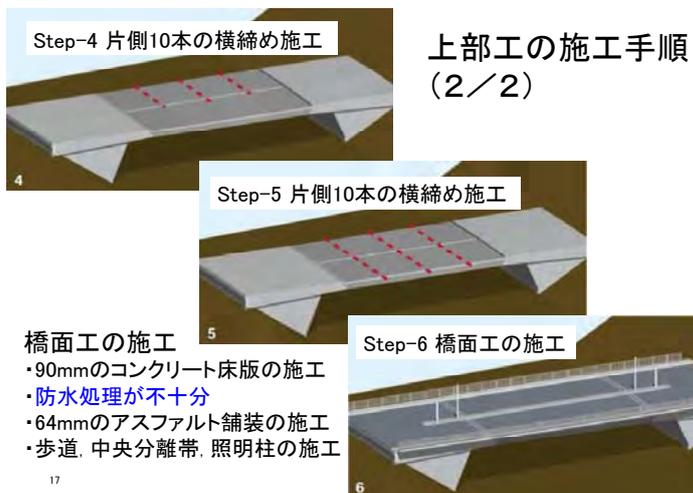


Step-1 桁1本毎の架設

上部工の施工手順 (1/2)

Step-2 片側で10本の桁架設

Step-3 両側で20本の桁架設



上部工の施工手順 (2/2)

Step-4 片側10本の横締め施工

Step-5 片側10本の横締め施工

Step-6 橋面工の施工

- 橋面工の施工
- ・90mmのコンクリート床版の施工
 - ・防水処理が不十分
 - ・64mmのアスファルト舗装の施工
 - ・歩道、中央分離帯、照明柱の施工

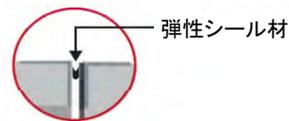
橋の特徴

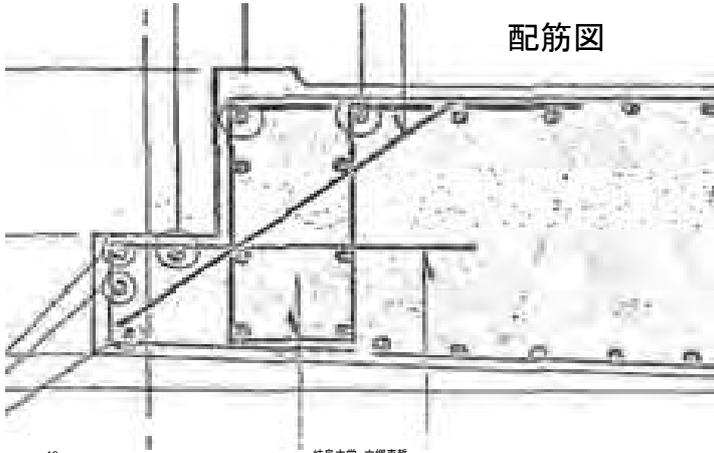
この跨道橋の問題点

- 伸縮装置の止水機能が損傷すると、水、泥、凍結防止剤の塩分が堆積
- 複雑な荷重伝達領域であるが、点検ができない

崩落起点の特徴

- 反力が卓越する鈍角部
- 縦断勾配の低い側
0.4%の緩勾配で、排水性が良好でなく、滞水しやすい
- 排水弁・管が設置しにくい桁構造





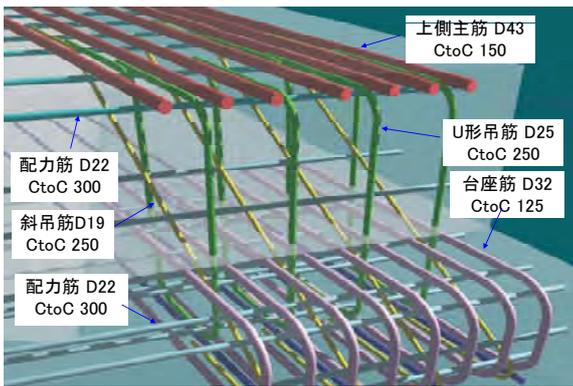
配筋図

崩落の原因

崩落の主要因

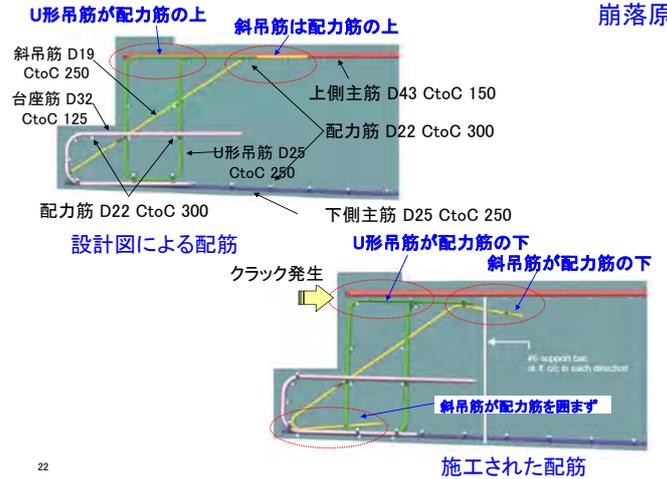
- 不適切な配筋
 - 同一面への鉄筋の集中
 - 主筋の端部定着 (先端フックが無い)
 - スターラップ筋が最外縁筋を囲んでいない
- 施工時の配筋変更
 - スターラップ筋と上側鉄筋の分離
- 低品質のコンクリート
 - 耐凍害性の不足

崩落原因



桁受部配筋計画

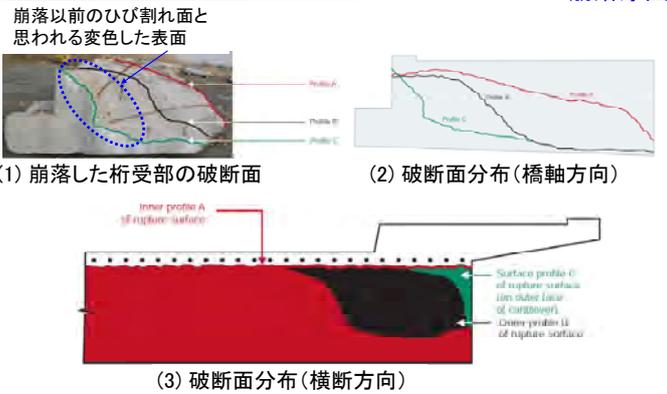
崩落原因



崩落原因



崩落原因

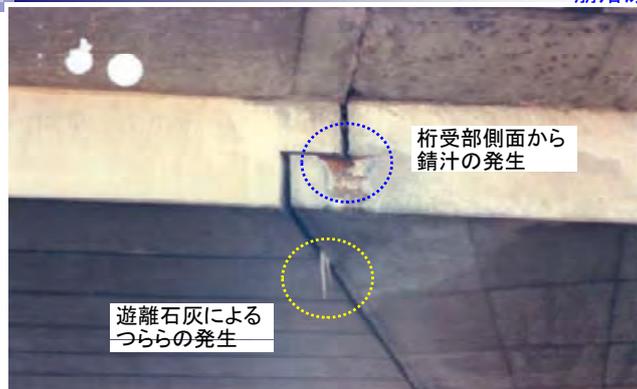


(3) 破断面分布 (横断方向)

桁受部の崩落状況

崩落の助長要因

- 厚いスラブにおけるせん断補強の欠如
 - コンクリートのせん断耐力不足
 - 現行基準では、せん断補強が必要
 - 設置されていれば、脆性的な破壊に至らない
- 床版表面への防水処理の不足
 - スラブ内への水分の浸入
 - 凍結融解サイクルの発生
- 不適切な1992年の補修
 - 上側主筋部分の被りコンクリートを除去した作業
 - 基準化された防水層の施工を実施せず



桁受部の状況(1985年)



桁受部の状況(1992年)



桁受部の状況(2004年)



崩落1時間前の桁受部



崩落部切断面(橋軸方向)

崩落原因



崩落部切断面(横断方向)

31

岐阜大学 六郷恵哲

崩落原因



崩落確認試験

32

岐阜大学 六郷恵哲

委員会からの提言

- 設計基準や維持管理マニュアルの改訂
- 構造物の設計や施工の法的規制の変更
- ケベック州交通局の管理体制の変更
- ケベック州の12,000橋に対する再建復興プログラムの提言
- 橋梁補修の優先順位の設定
- 既存構造物の修繕と再構築の予算措置
10年間にわたって年5億ドルの予算確保

岐阜大学 六郷恵哲

33

事故から学ぶ (六郷・羽田野)

- 広がったせん断ひび割れから崩落を予見
- 点検しやすい構造を設計で採用
- 古い基準による設計ではせん断耐力が不足がち
- 劣化コンクリートを打ちかえる補修での注意
力の分担が変化、新旧コンクリート間の付着小
- 防水層の実施
- 凍結防止剤の塩分によるコンクリートの劣化
- 緩勾配縦断部における適切な排水処理
- 建設当初の記録と維持管理記録の保管

34

岐阜大学 六郷恵哲

事故から学ぶ

各段階で適切な対応があれば最悪の事態を回避可能

- 設計施工の段階:
適切な量のせん断補強筋を、適切な位置に配置
- 維持管理の段階:
狭い部位についても適切に点検し、劣化を把握
せん断補強と床版上面の防水処理とを実施
- 直前の段階:
落下コンクリート塊や広がったせん断ひび割れを
発見したら、直ぐ道路を閉鎖

35

岐阜大学 六郷恵哲

ありがとうございました





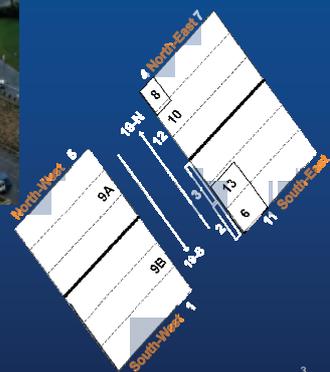
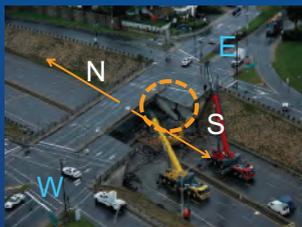
Quebec Overpass Collapse Juxtaposed to Deteriorating Infrastructure in Canada

Nemy Banthia

(with assistance from Prof. Jacques Marchand)

The University of British Columbia
Vancouver, Canada

1



3

Chronology:

- September 30, 2006 - Collapse of the south-east side of the overpass;
- October 1, 2006 – Beginning of the police investigation;
- October 6, 2006 – Appointment of the commissioners (Johnson, Nicolet & Couture);
- October 18, 2007 – Publication of the report.

4

Main characteristics of the structure

Central span – 90 feet



West abutment

East abutment

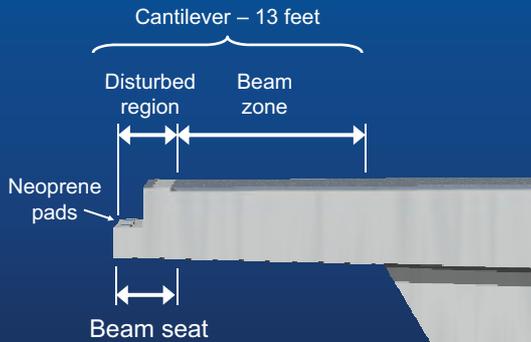
5

Main Characteristics of the Structure



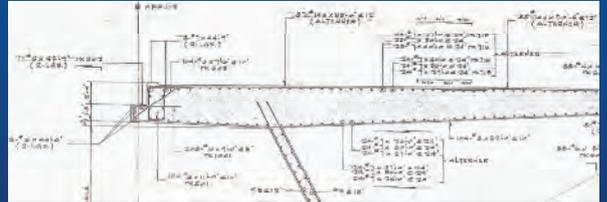
6

Characteristics of the Structure

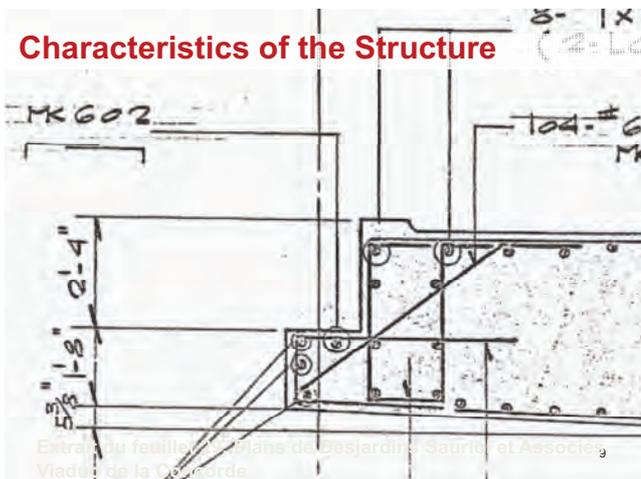


7

Characteristics of the Structure



Characteristics of the Structure



Concrete Mixture Design

TABLAUX B-1.1

Affaissement 3" ± 1/2" sauf classe D Pourcentage d'air occulté en volume: ± 1%	Béton coulé dans l'air et exposé à:									Béton soigné dans l'eau	
	air			eau			eau salée désalée				
Gros agrégats	poises	1 1/2	3/4	1/2	1 1/2	3/4	1/2	1 1/2	3/4	1/2	1 1/2
Rapport maximum eau/ciment		.56	.64	.56	.50	.50	.50	.45	.45	.45	.45
Ciment minium	lb	480	525	570	565	570	610	570	610	655	700
Air occlus	%	4.5	6	7	4.5	6	7	5	6.5	7.5	
Type		A			B			C			D

Dans ce projet, seul le type d'exposition A s'applique à toutes les charpentes.

10

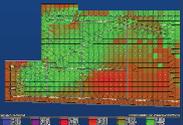
A Multi-Faceted Investigation



On-Site Studies



Materials Analyses



Structural Analyses



Review of Documents

11

Materials – A 3-Step Investigation

Phase 1 – On-Site



Phase 2 – Storage Site



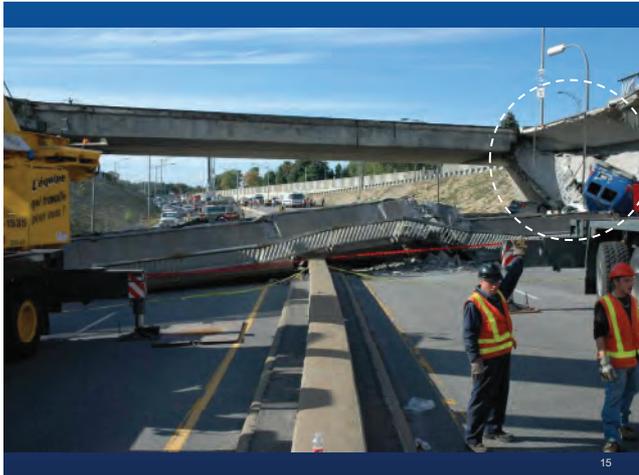
Phase 3 – Laboratory Experiments



12



Phase 1 In-situ operations



In-Situ Observations



Rupture surface – South-East corner

In-situ observations



Rupture surface – South-East corner



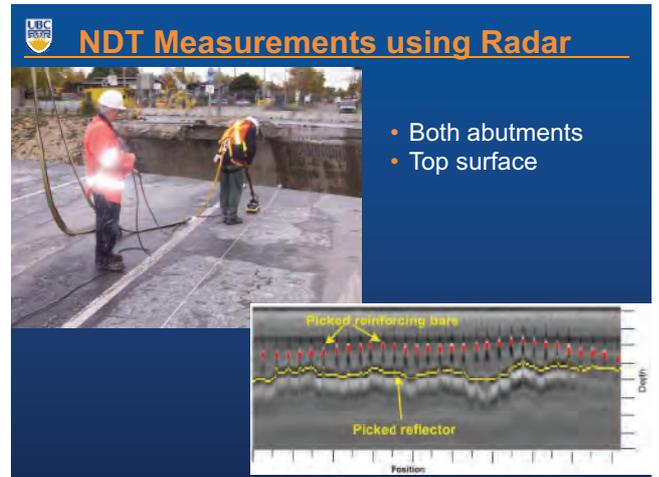
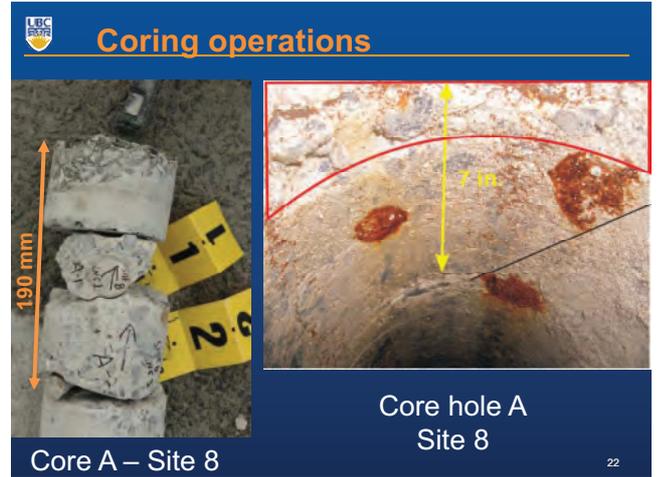
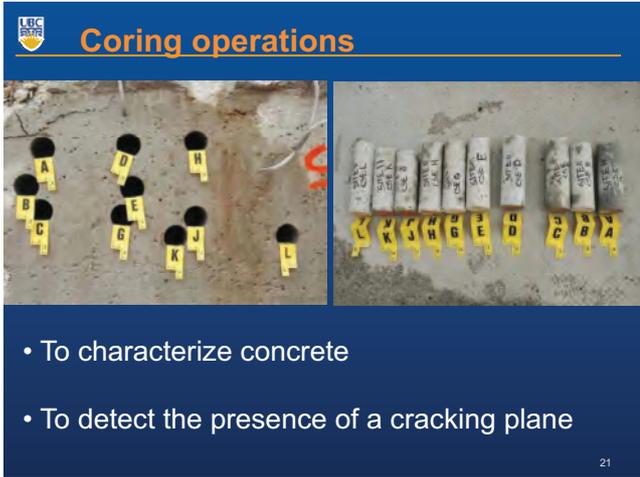
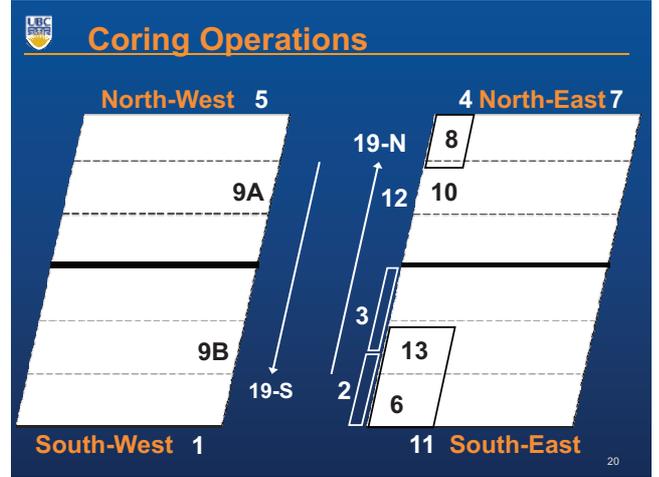
In-situ observations



Right after the collapse

Before the collapse

South-East corner





Phase 2 Operations at the storage site

25



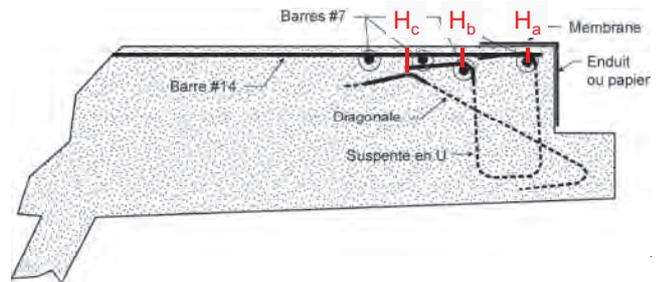
26



Reinforcing Bar Location - East



Reinforcing Bar Location - West



30

The 3 Main Causes of the Collapse:

1. Improper rebars installation during construction

The incorrect placement of the U-shaped hangers and diagonal bars created a zone of weakness that extended deep inside the thick slab.

31

Concrete Degradation – South-East Corner



32

Phase 3 Material Characterization

33

Concrete Characterization

Main objectives

- To characterize the properties of concrete (on cores extracted from « sound » areas)
- To identify the cause(s) of the concrete degradation along the rupture plane

34

Compressive Strength Determination (CSA A23.2-9C)

Site	Cores	Orientation	Results
1	3	Horizontal	28,7 MPa
2	2	Vertical	28,2 MPa
3	3	Vertical	31,3 MPa
4	3	Horizontal	40,5 MPa
5	3	Horizontal	31,3 MPa
7	3	Horizontal	27,3 MPa
9A	3	Vertical	27,7 MPa
9B	3	Vertical	30,7 MPa
10	3	Vertical	35,1 MPa
11	3	Horizontal	29,4 MPa
13	2	Vertical	31,6 MPa
Girders	6	Variable	51,4 MPa



Compression
Mean: 31,1 MPa
Spec. = 27,8 MPa
at 28 days

35

Petrographic Examination

- Porous concrete ($W/C \approx 0,55$)
- Well hydrated concrete
- Very few microcracks
- No signs of ASR



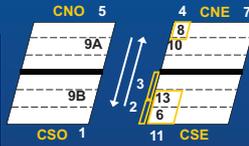
Frost attack was identified as the main cause of concrete degradation at the vicinity of the rupture plane.



36

Air-Void Characteristics

Site	Air Cont. (%)	Spec. surface (m m ⁻¹)	Spacing factor (μm)
1	3,8	14,6	368
2	4,7	10,1	513
3	6,3	12,8	351
4	2,0	11,0	683
5	5,6	11,2	411
7	4,4	13,4	377
9A	5,1	16,0	294
10	5,2	16,1	295
11	9,1	10,7	317
13	5,8	12,8	356



Air content (%)
Mean: 5,2
Standard dev.: 1,8

Specific surface (mm⁻¹)
Mean: 12,9
Standard dev.: 2,2

Spacing factor (μm)
Mean: 397 > 230
Standard dev.: 119

37

Scaling Resistance



Permissible limit
0.5 kg/m² after 56 cycles

Results
7 kg/m² after 21 cycles

38

The 3 Main Causes of the Collapse:

2. Low quality of concrete

The concrete used for the construction of the abutments did not have the necessary characteristics to resist freezing and thawing cycles in presence of de-icing chemicals.

39

The 3 Main Causes of the Collapse:

3. Improper rebar detailing during design

In the structure as designed, the concentration of numerous rebars on the same plane in the upper part of the abutment created a plane of weakness where horizontal cracking could occur.

40

The 3 Main Causes of the Collapse

1. Improper rebars installation during construction
2. Low quality of concrete
3. Improper rebar detailing during design

41

Influence of the Collapse:

All structures built at that time using the same structural system were all taken out of service....

42

Trial of the Collapse

Although it was a police investigation, no one was found criminally responsible..

43

Compensation for the Victims

Compensation was paid to the victims of the collapse. Total compensation for the survivors of the 5 deceased was about \$1.5 million.

44

Responsibility of Road administrators

Significant new funding is now available for periodic condition assessment, health monitoring and research.

45

Required Future Research

Development of advanced tools for health monitoring and condition assessment of structure.

Creation of a strategic network on this topic.

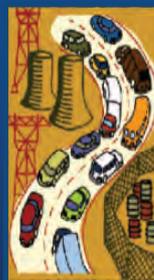
46



Infrastructure Crisis in Canada



Civil Infrastructure



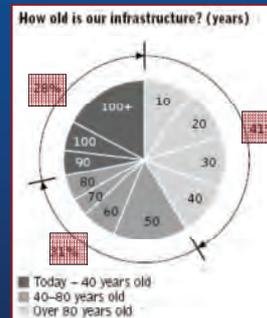
- Aviation
- Bridges
- Dams
- Drinking Water
- Hazardous Wastes
- Roads
- Energy
- Schools
- Navigation Waterways
- Public Parks and Recreation
- Security
- Solid Waste
- Transit
- Waste Water

UBC Infrastructure Deficit



■ **Infrastructure Deficit Hypothesis:** A decline in the public capital formation (i.e. infrastructure) lowers private sector productivity and, therefore, lowers a nation's real income and weakens its competitiveness

UBC Infrastructure in Canada



59% of Canada's infrastructure is more than 40 years old

As per Statistics Canada, 37 years is the expected average life of a structure in Canada.

UBC Infrastructure in Canada

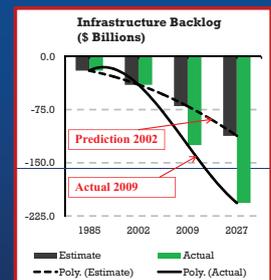


■ There are approximately 10,000 deficient bridges with a total repair /strengthening cost of \$44 billion.

■ There are 4000 parking garages needing immediate attention.

UBC Infrastructure in Canada

■ Canada's current infrastructure deficit is \$125 billion (and growing annually by \$2 billion), which is 6-10 times the level of all annual government infrastructure budget combined.



Prediction in 2002 which has already proven to be an underestimation

UBC Why are we in such dire straits?

- Deterioration and aging of structural systems due to weather, fatigue, pollution, structural settlement and now **global warming**;
- Construction mistakes;
- Code changes (structural dynamics, seismic design, etc.);
- Loading changes; and
- Functional Obsolesce.

UBC Influence of Global Warming on Concrete Structures

- Increase in atmospheric CO₂ levels from 370 ppm to 1000 ppm
 - Increased Corrosion Rates
 - Increased Carbonation
- Increase in temperature by over 5°C
 - Increased Shrinkage
 - Porous Microstructure and High Permeability
 - Increased Corrosion Rates
- Increased Water Levels
 - Increased Saturation
 - Greater Scour

Scour



Detection and Measurement Needs

✦ Damage

- Impact
- Cracking
- Fatigue
- Overload
- Scour
- Seismic
- Settlement
- Foundation
- Inoperative bearings
- Movement/Lack of movement

✦ Deterioration

- Corrosion
- Water absorption
- Loss of prestress
- Unintended structural behavior
- Soil stiffness

NDT for Detection of Damage and Deterioration

✦ Damage

- Cracking
- Fatigue
- Excessive Displacements/Settlement
- Scour
- Foundation Issues

✦ Deterioration

- Rebar Corrosion
- Water absorption
- AAR/Freeze-Thaw/Scaling
- Overall integrity

Limitations of Current Inspections

- Condition states still based solely upon visual inspection
- Invisible deterioration, damage or distress not detected or measured
- Operational performance not measured
- Vulnerability and reliability not adequately addressed

Canadian Research Objectives

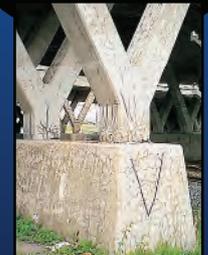
- To improve safety (and security) of concrete bridges through an accurate assessment of bridge condition and performance.
- Develop advanced health monitoring tools based on remote/onsite measurements that are periodic/continuous.
- Relate health monitoring findings to structural condition.
- Use advanced modeling tools to reliably forecast bridge performance, maintenance needs, etc. esp. in the light of impending global warming.

Safety, Security and Sustainability of Bridges: 2 Themes

Materials Health Monitoring (Local)



Structural Health Monitoring (Global)



Safety, Security and Sustainability of Bridges: 2 Themes

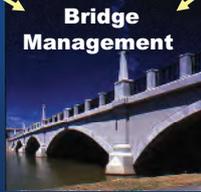
Theme I
Condition Assessment, Sensing and Modeling for Safety and Security

Materials Health Monitoring



Theme II
Structural Implications

Structural Health Monitoring



We invite you to collaborate with us in finding multi-disciplinary solutions to making infrastructure Safe, Secure and Sustainable



 Thank You!

更新時代における橋梁のあり方

2010. 8. 24

国土技術政策総合研究所
道路構造物管理研究室長
玉越 隆史



1

道路橋ストックの現状

(単位:橋)

	全橋梁数	うち、15m以上
高速自動車国道	6, 747	6, 614
一般国道指定区間	23, 312	11, 368
一般国道指定区間外	30, 021	12, 899
都道府県道	100, 250	32, 981
市町村道	520, 553	88, 098
計	677, 883	151, 960

出典: 道路統計年報2008

2

これまでの維持管理と課題

3

フェーズ1: 計画的管理

- 「現状を把握」して、適切に対策をとる。
(データに基づく、合理的で計画的な管理の実現へ)

→ 点検要領の整備と点検の実施

S63年 「橋梁点検要領(案)」(全地整統一的定期点検)

↓ 見直し

- ・点検頻度10年→5年
- ・遠望の廃止(信頼性の向上)
- ・初回点検の導入(初期品質の現状把握)
- ・データ品質向上(「客観事実」と「診断」の峻別)

H16年 「直轄橋梁定期点検要領(案)」

4

フェーズ2:戦略的維持管理

- 将来を予測して、合理的な対策をとる。
(将来予測に基づく、予防保全と長寿命化の実現(LCCの縮減))

→ 統計処理予測システム(BMS)の確立に向けた検討

H16年 全地整で蓄積された点検データの分析開始

↓ BMSの試行と適用性評価

H19年 「基礎データ収集要領(案)」(劣化特性の分析結果)

H20年 直轄全点検データによる劣化曲線の試算

5

維持管理の課題

- フェーズ1を踏まえて

Q:よく見てさえいればなんとかなるか? ...No!

- フェーズ2を踏まえて

Q:理論やデータで予測はできるようになるか? ...No!



■圧倒的なばらつきをもつ実態 → 推計や予測の限界

■外観には現れない致命的事象 → 目視の限界

■不可避な不測と突発的事象 → 間歇チェックの限界

6

そして向かうべき新たなフェーズは？



フェーズ3 無理なく、無駄なく、賢く管理

(スマート・インフラ・メンテナンス・マネジメント)

■人と科学のベストミックス

- 健全度評価指標・BMSの実務への導入(支援システム)
- 技術拠点による人材育成・ナレッジ蓄積と活用
- インフラ維持管理工学の確立(臨床研究、データ分析)

■点検の最適化と「点検と監視」のベストミックス

- 「画一的点検」の不合理的の解消(点検体系の再構築)
- 最先端検診技術の導入(非破壊検査、)
- 「間歇」「不合理的」を解消するモニタリングの併用
(異常検知、常時監視)

維持管理から見た整備
～ これまでの整備と今後 ～

フェーズ1:画一化・規格化

■一定水準の品質を満たすための技術・方法論の標準化。
(品質を維持しつつ経済的に大量の資産整備の実現へ)

→ 設計基準類・規格類の整備

・道路橋示方書

- ・許容応力度設計法
- ・構造細目規定
- ・JIS等の材料規格との連動

・学協会の各種技術資料や規格類

- ・設計技術や施工方法の一般化・標準的方法の提示
(標準示方書)

・JIS、JSSC、JCI

9

フェーズ2:性能規定化

■要求性能を満足すれば具体の手法には自由度を許容する。

(多様なニーズや条件に対する「画一的手法」の弊害をなくす)

→ 設計基準類・規格類の整備

・道路橋示方書

- ・H14 性能規定型への転換
(在来手法を、要求性能を満たす標準解と位置づけ)
(可能な限り、要求性能を規定として明文化)

→ 技術提案型調達手法の採用

10

維持管理からみた整備の課題

■フェーズ1を踏まえて

Q: 最新の知見による標準解は将来も万全? ...No!

■フェーズ2を踏まえて

Q: 要求性能が明確なら検証は何とかなる? ...No!

Q: 理念や定性的要求でも性能は保証される? ...No!



■ 不可避な「潜在的不適切」 → 最新の限界

■ 品質のばらつきによる性能喪失リスク → 検証レベルの明確化
(性能保証の前提)

■ 理念や定性的要求の解釈のばらつき → 「最低限の」標準解

11

そして向かうべき新たなフェーズは？



フェーズ3 無理なく、無駄なく、賢く整備

■ 目標達成型整備

→ 検証性のある性能要求(性能規定 = 性能照査)

■ 性能制御(パフォーマンス・コントロール)

(性能を制御して「性能実現の信頼性」を保証)



12

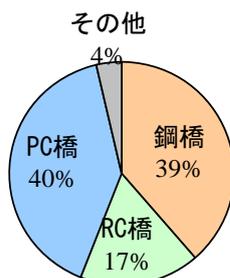
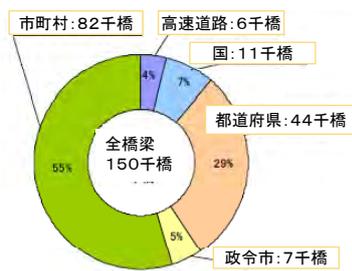
コンクリート道路橋保全の現状と、高度化に向けた取り組み

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
 上席研究員 木村嘉富

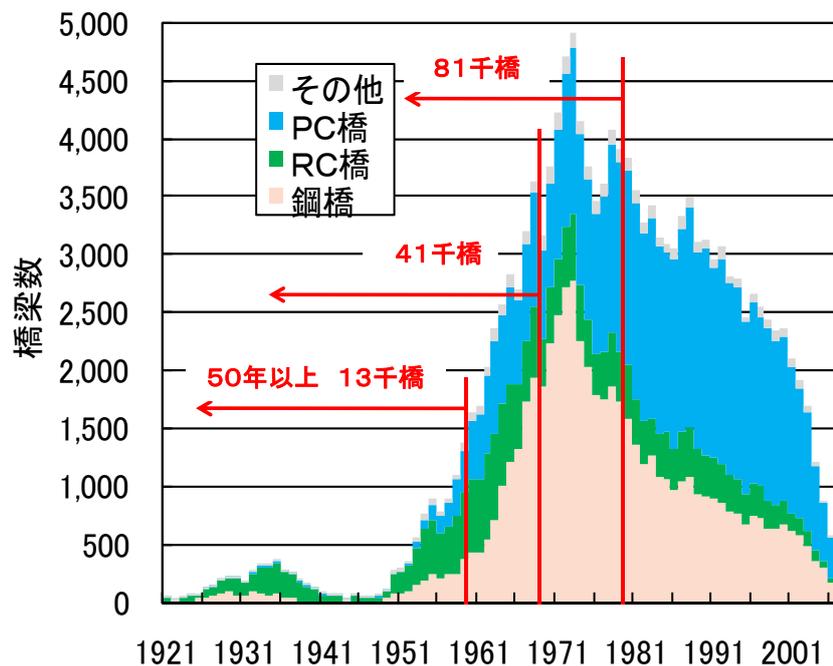


第3回CAESAR講演会
 2010年8月24日

日本の道路橋



出典：道路統計年報2007



道路橋管理高度化のために

安全管理

利用者の安全
(落橋させない)

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。



【必要とされる技術】

- ・致命的な損傷を、事前に見つける。
- ・耐荷力評価に必要な情報の調査技術。非破壊検査技術
- ・通行規制の必要性判断のための耐荷力評価法。
- ・安全性モニタリング技術
- ・構造物の性能回復法

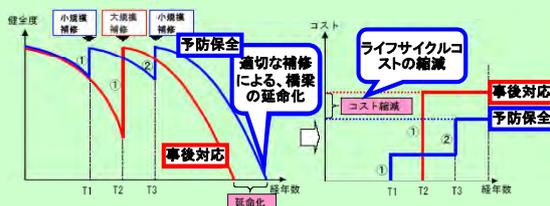
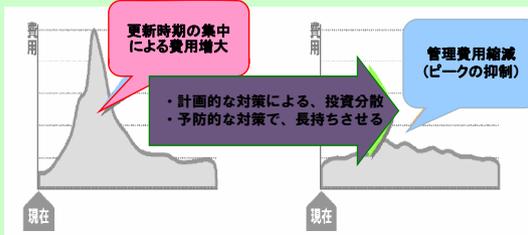
他

道路橋管理高度化のために

計画的な保全

機能の保持
(通行止めさせない)

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。

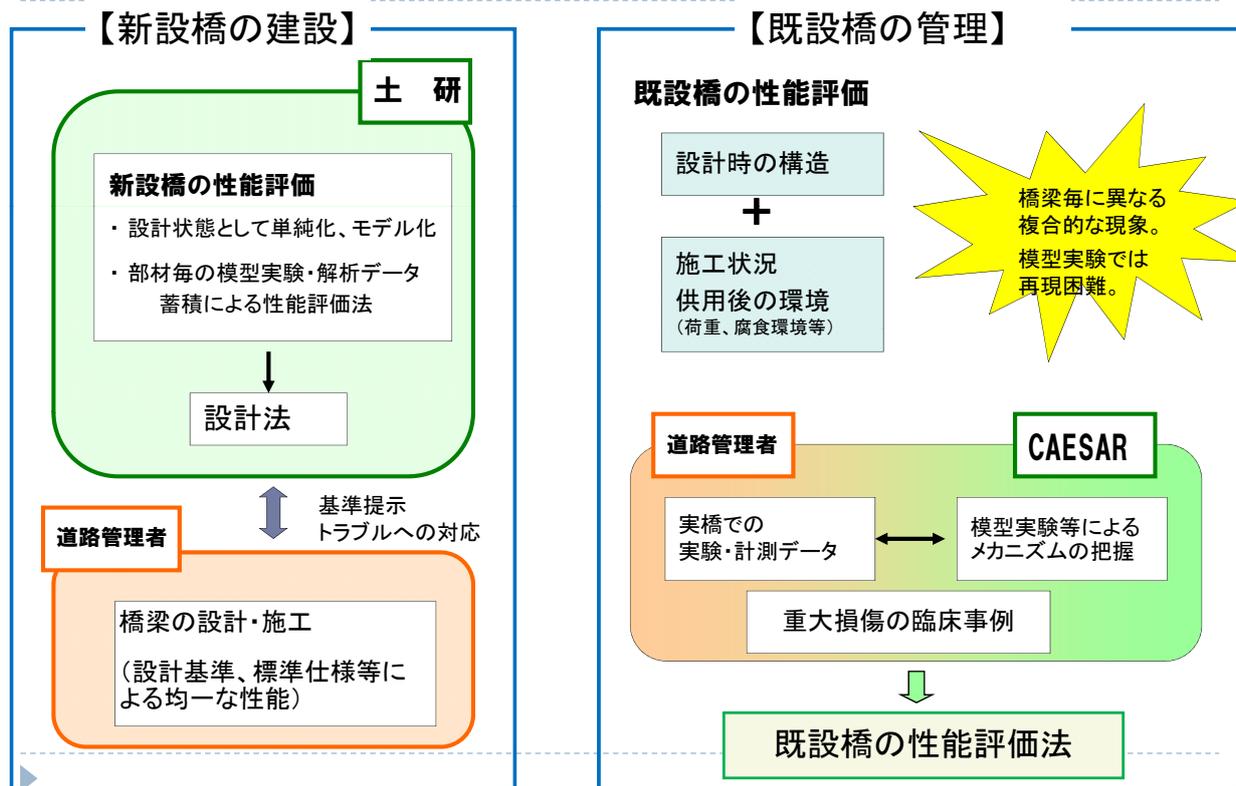


【必要とされる技術】

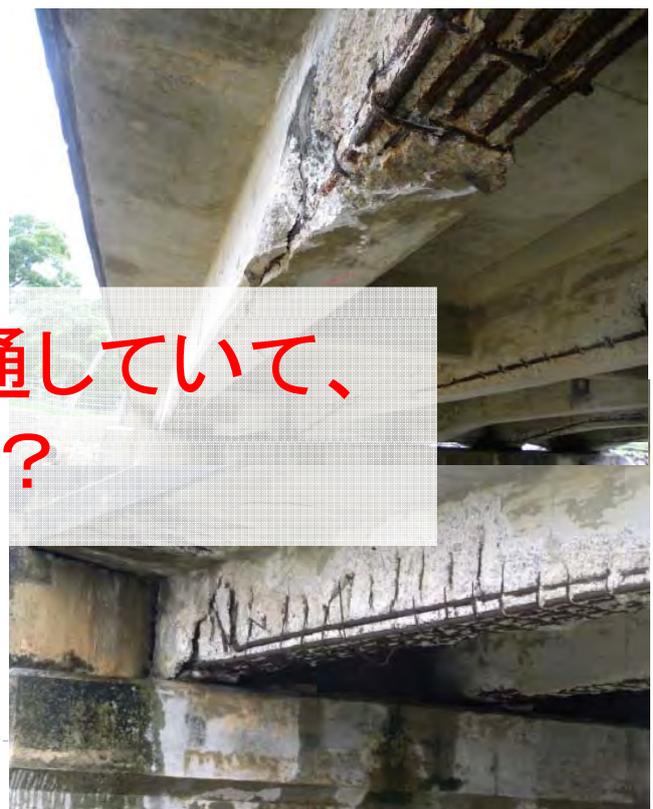
- ・劣化状況を把握。非破壊検査技術
- ・劣化の進行を予測。
- ・LCCを最小にするための補修工法・実施時期の選定法
- ・マネジメントシステム

他

既設橋の管理技術の開発には、 臨床研究が不可欠

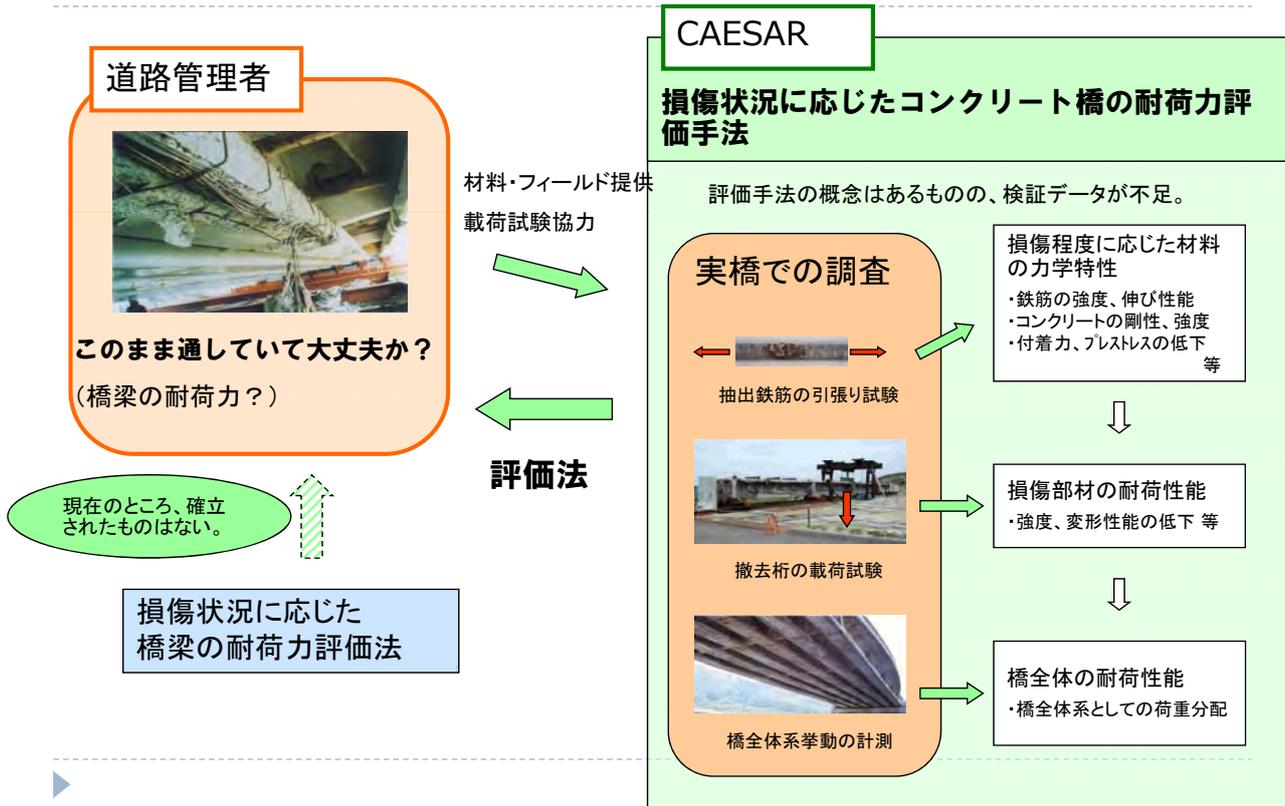


必要な技術：耐荷力評価技術



このまま通して、大丈夫か？

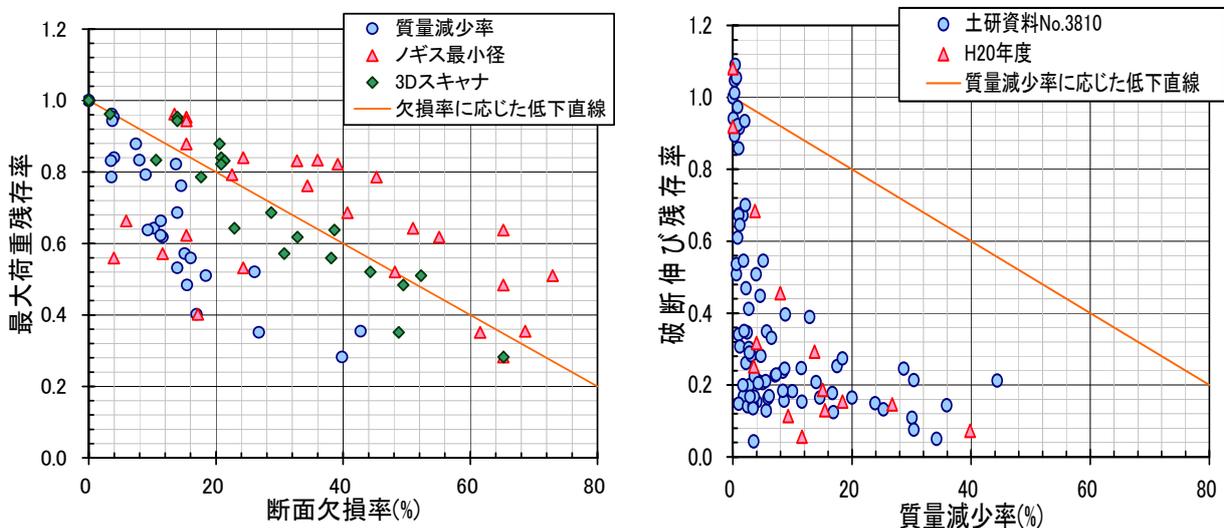
耐荷力評価技術確立のために



損傷の生じた材料の力学特性の把握



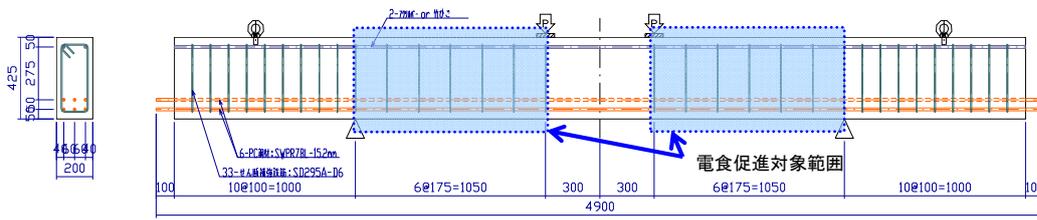
腐食したPC鋼線の引張強度・伸び性能に関する基礎データの取得



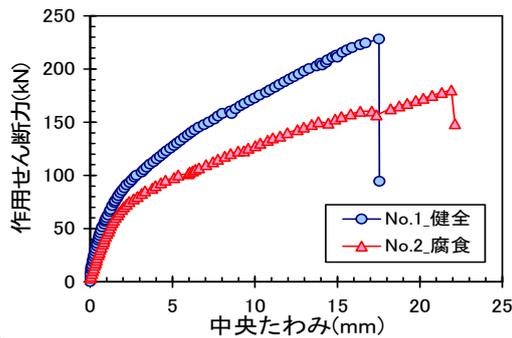
※質量減少率, ノギス測定, 3Dスキャナ測定による比較
※PC鋼線は旧芦川橋から採取

損傷コンクリート部材の耐荷性能の把握

鋼材腐食の生じたPCはり部材のせん断耐荷性能



<< 作用せん断力と中央たわみ >>



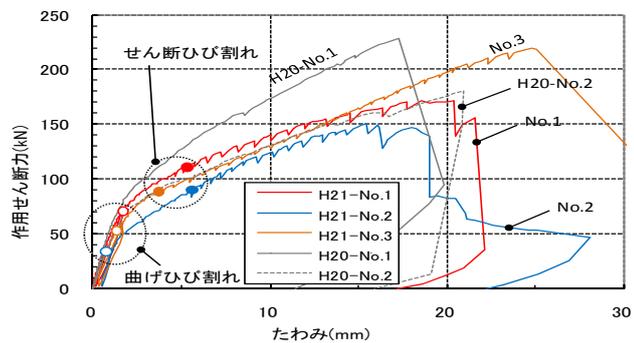
<< No.2破壊後状況 >>



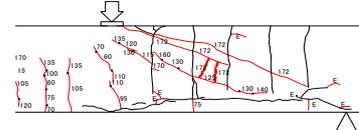
かぶり剥落部分

損傷コンクリート部材の耐荷性能の把握

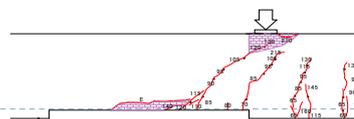
<< 作用せん断力と中央たわみ >>



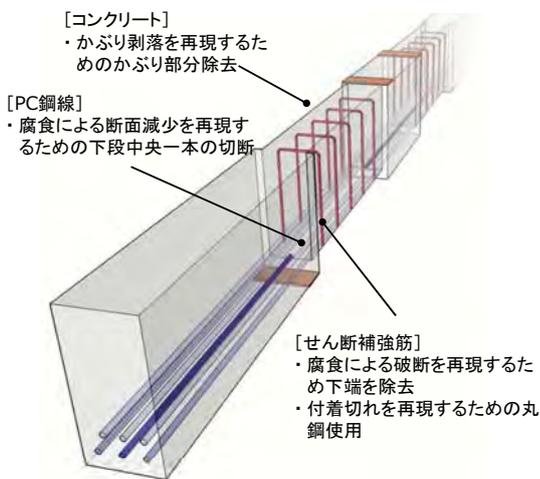
<< 載荷試験後のひび割れパターン >>



No.1

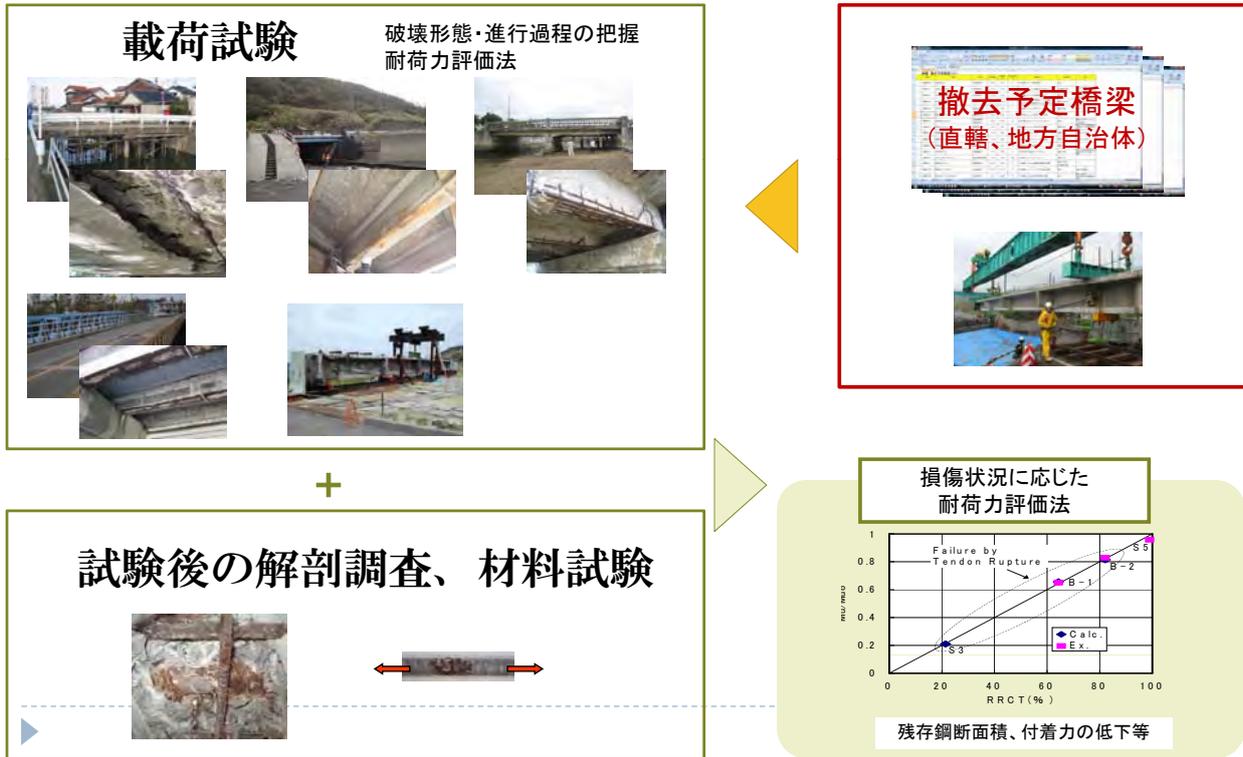


No.3

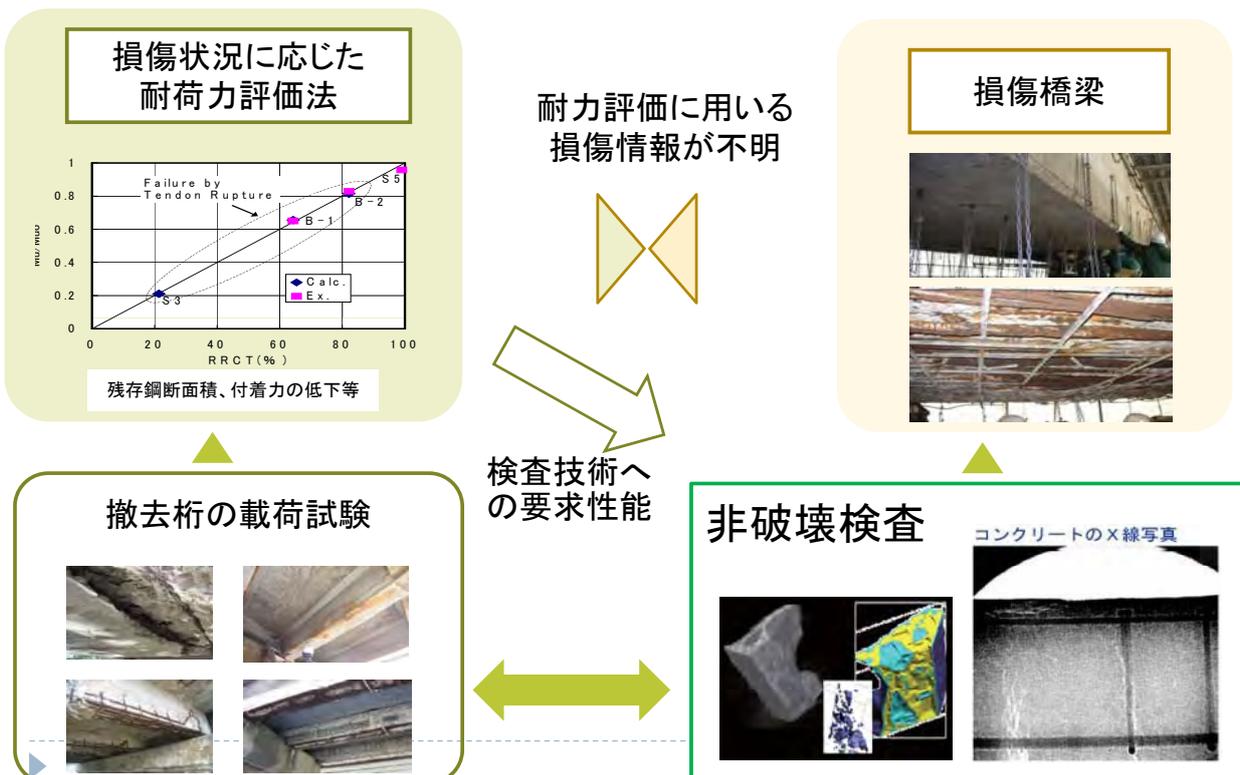


No.3供試体(模擬腐食)

撤去橋梁部材の載荷試験



必要な技術：非破壊検査技術



非破壊検査技術開発のために



【現場向けの非破壊検査に求められること】

- ・手間が少ない Ex. 大がかりな装置や電源が不要, 通行規制が不要, 安全面の制約が無い, etc.
- ・安価である Ex. 安価でなければ, よほどの希少価値がない限り現場では使えない
- ・構造物に与える損傷が極めて小さい Ex. 検査か? 破壊か?
- ・結果を信頼できる Ex. 適用範囲や誤判定要因の把握, etc.
- ・結果がわかりやすく示される

撤去橋梁での調査: 開発者



- ・各種非破壊検査技術による調査
- ・民間へ、実橋での調査機会提供

非破壊検査による調査項目例

- ・コンクリート部材中の鋼材の配置、腐食状況
- ・鋼部材の残存鋼材料

適用性
確認

解剖調査: CAESAR



鋼材の配置、腐食状況

適用性確認予定橋梁：床版の状態

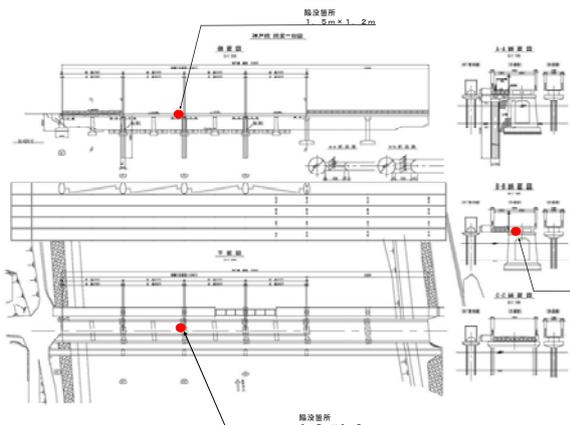


橋梁形式: 8径間RCT桁橋+2径間PC床版橋
橋 長: L=126.5m

竣工年: 1935年、1985年拡幅

床版の抜け落ち

- ・雨水浸透による疲労劣化促進。
- ・下面鋼板接着補強のため、確認できず。



適用性確認予定部材

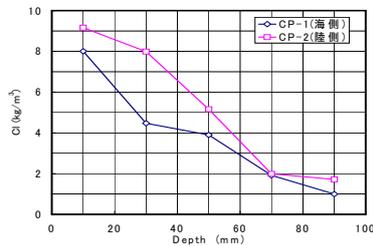
▶ コンクリート中の塩分量・鉄筋腐食等



竣工年：1971年
撤去年：2005年(塩害)



土研に搬入し、コア抜き調査
(鉄筋腐食程度、かぶり、塩化物イオン量)



鉄筋腐食とはくり

▶ 橋脚ひび割れ状況等



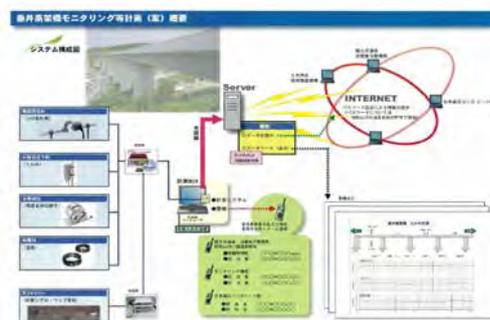
橋名：旧神戸橋(島根県出雲市)
竣工年：1964年
撤去年：2009年(治水事業)



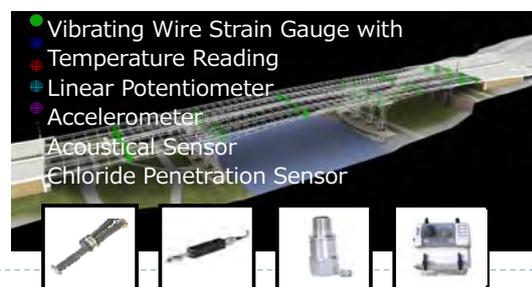
- 現地調査
非破壊試験(超音波法, 衝撃弾性波法)
コア抜き調査
- 室内調査(土研へ運搬後)
ひび割れ部分の解体調査

必要な技術：モニタリング技術

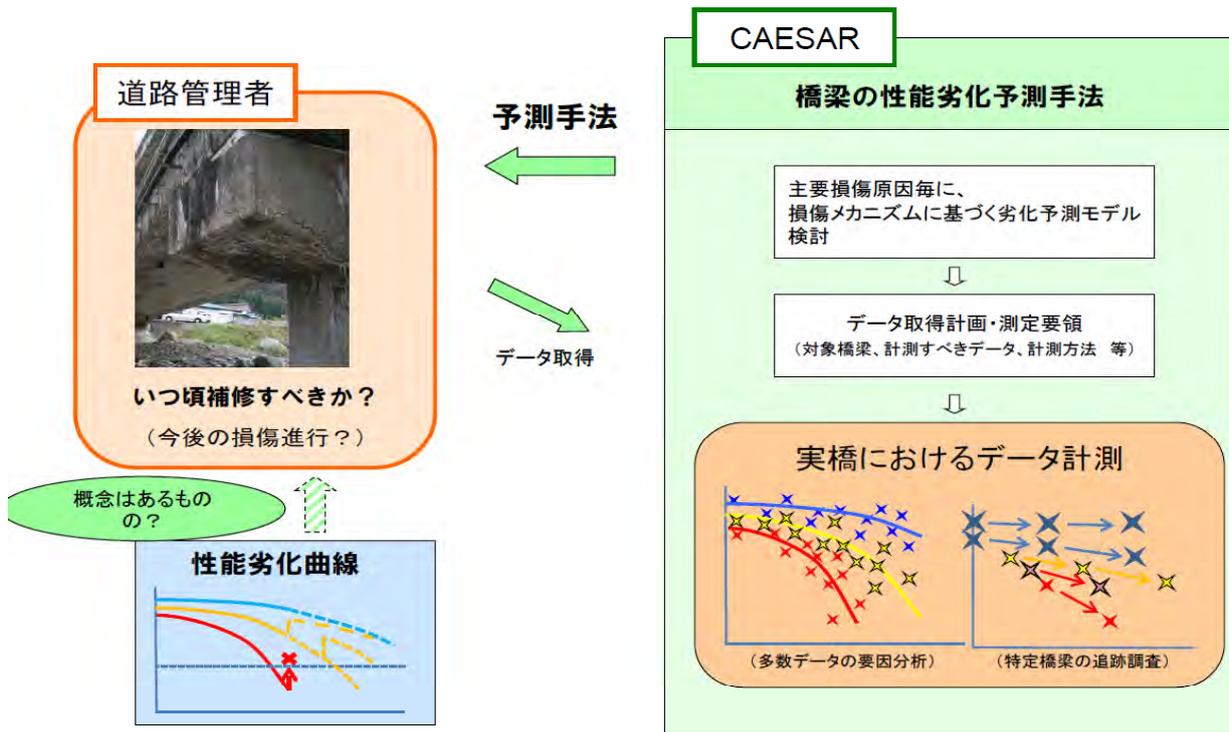
損傷橋梁の安全監視



監視すべき
部位・現象は？



必要な技術：劣化予測手法



実橋梁での継続的なデータ取得



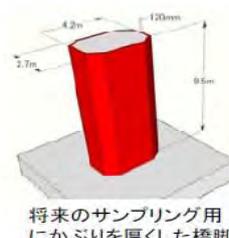
沖縄県離島架橋100年耐久性検証プロジェクト

既設橋
既往の多数の実橋梁に関する実態データの集積と分析



既設橋脚の塩分濃度を高さ方向に調査

新設橋(伊良部大橋)
コンクリート中への塩分浸透状況や鋼材の腐食状況を長期計測
(建設時に、測定装置を設置)



将来のサンプリング用
にかぶりを厚くした橋脚



現地暴露用供試体(181体)
実際の下部工に使ったコンク
リートと同じ材料・同じ配合

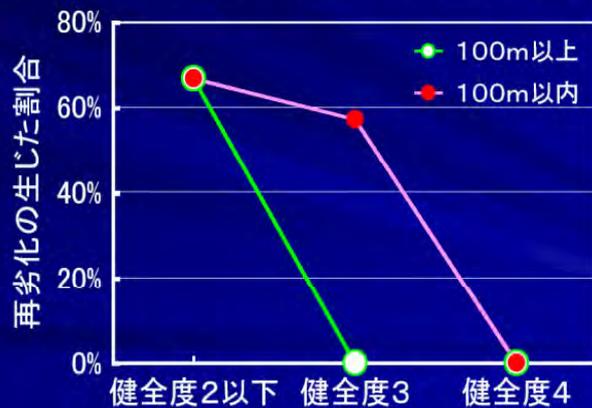
塩害橋の予防診断手法の高度化

必要な技術：補修・補強工法

損傷原因、健全度に応じた工法選
定が必要

補修補強事例の
追跡調査

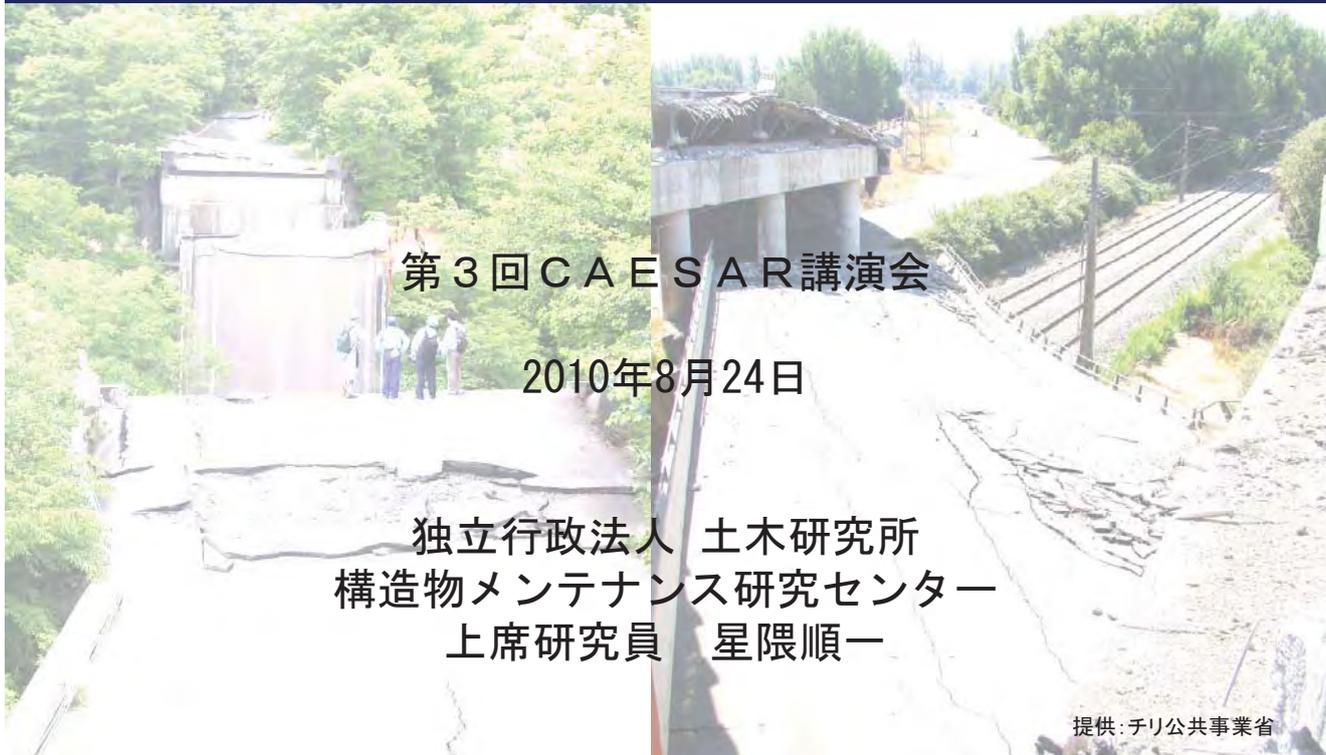
■ 補修前の健全度と補修後の状況の関連性



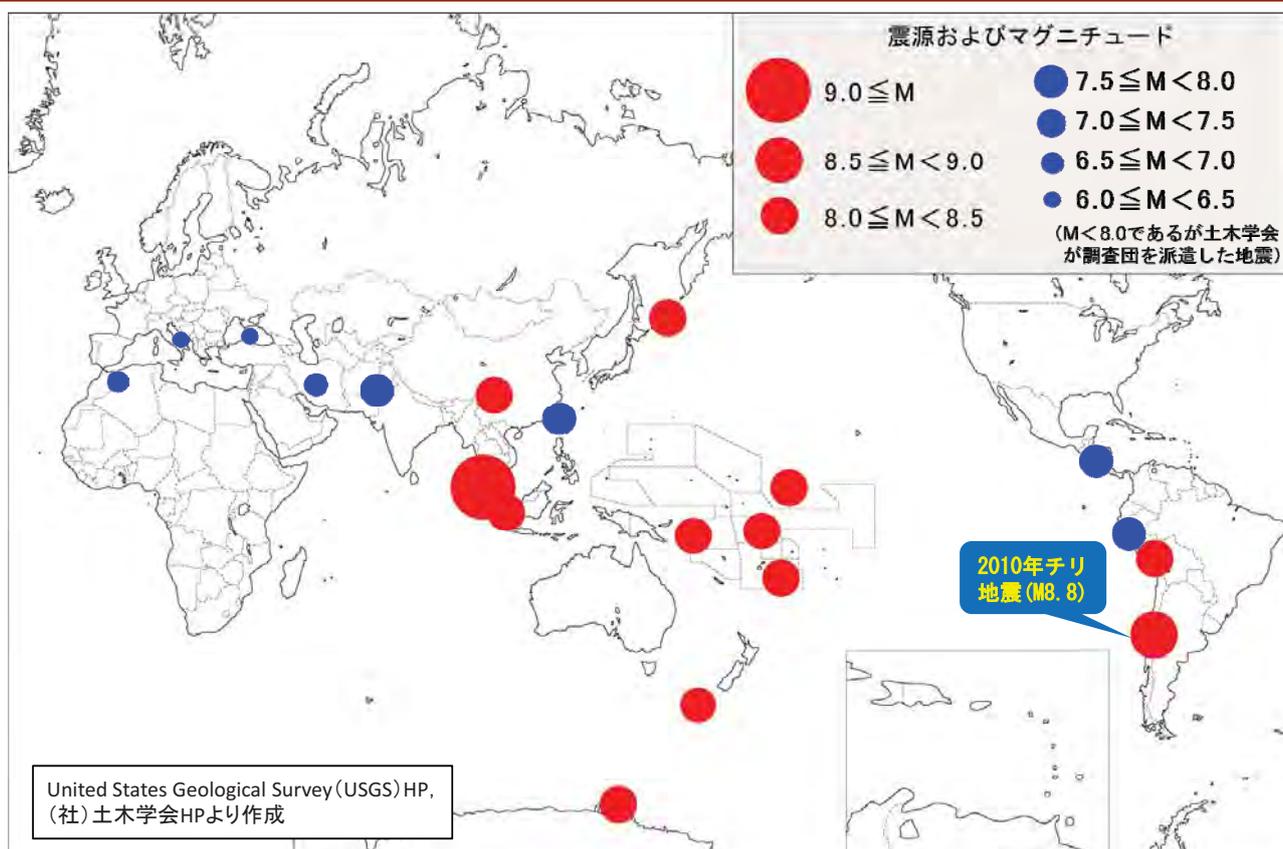
「荒廃する日本」としないために



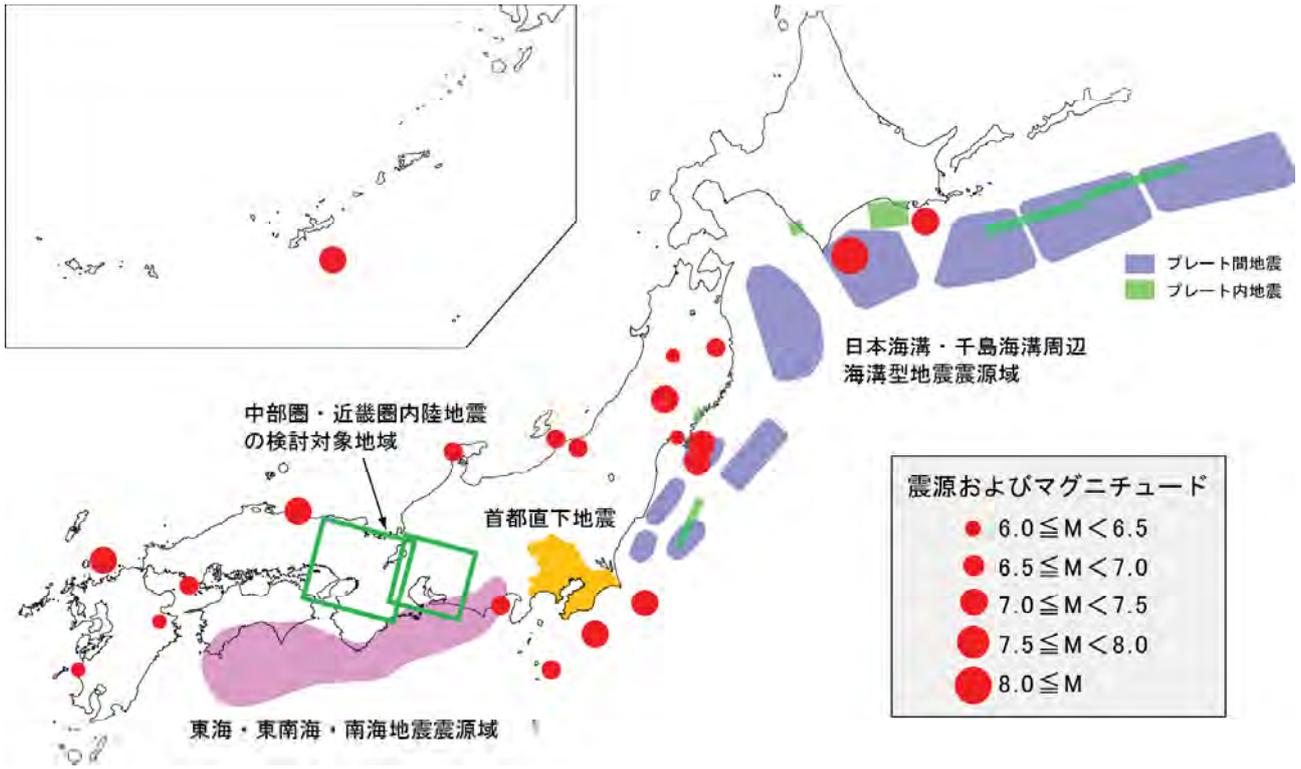
性能に基づく橋の耐震設計と 今後の研究の方向性



最近15年の世界での主な地震と地震の規模

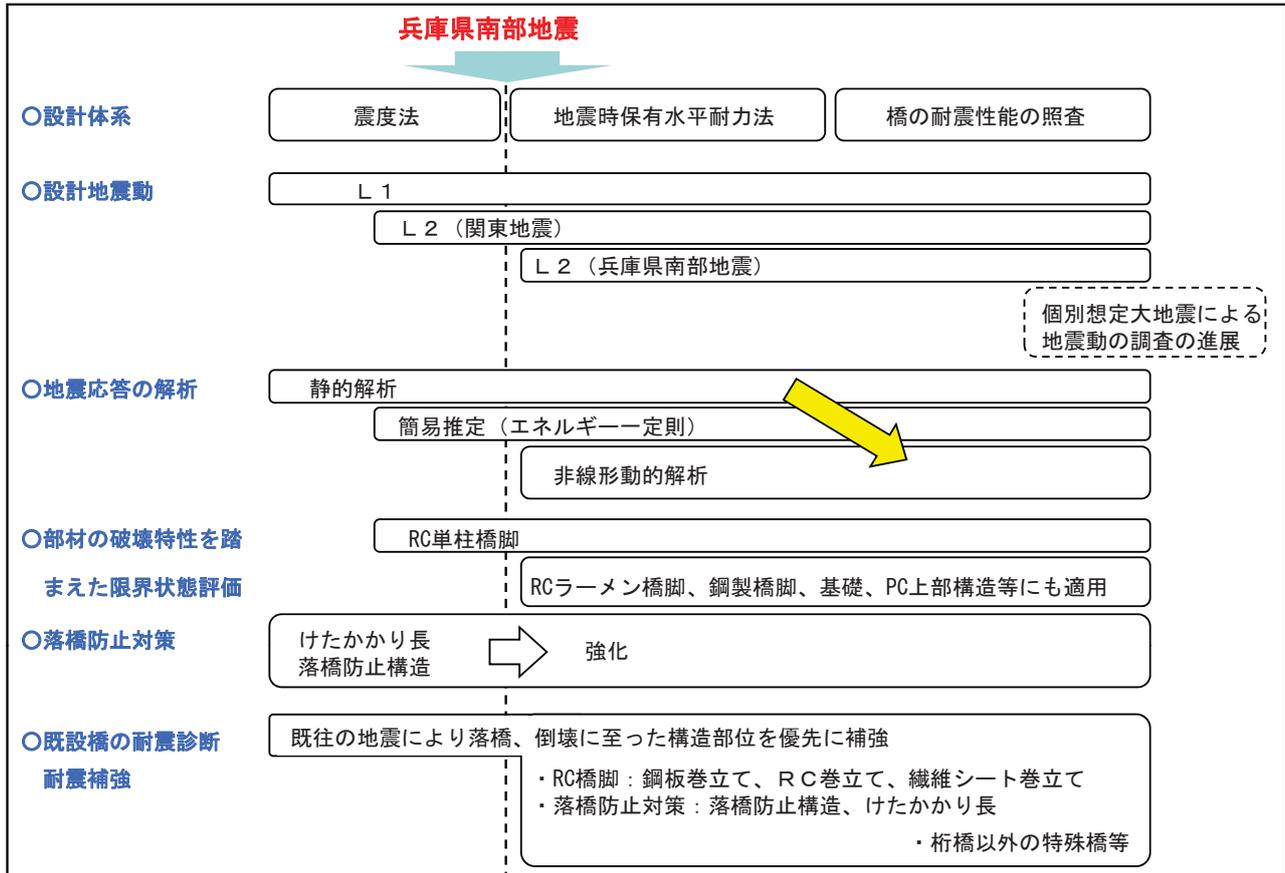


最近15年の日本付近での主な地震と逼迫する想定大地震の震源域



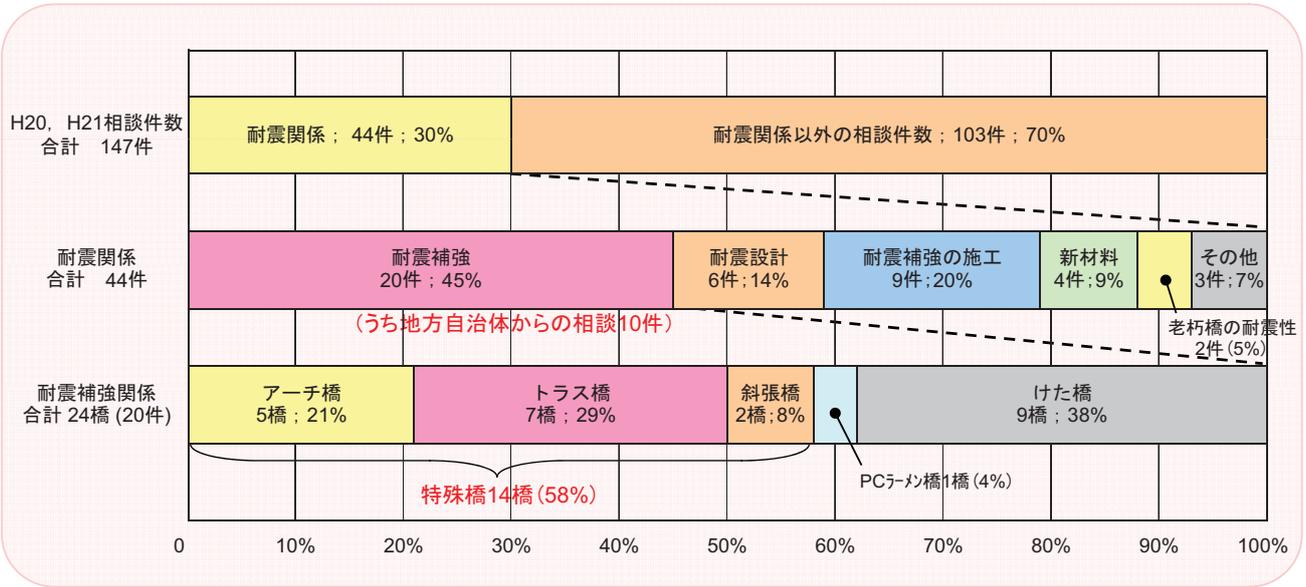
中央防災会議HPの情報より作成

兵庫県南部地震以降の道路橋の耐震設計技術の進展



耐震設計に関する最近のつばへの技術相談内容の分析

- 耐震補強に関する相談内容が半数以上を占め、その内半数は地方自治体からの相談
- 耐震補強に関する相談の対象構造としては、技術的に難易度の高いアーチ橋、トラス橋、斜張橋等の特殊橋に関する相談が増加
- 耐震補強工事の施工に関する相談も多い点は注視

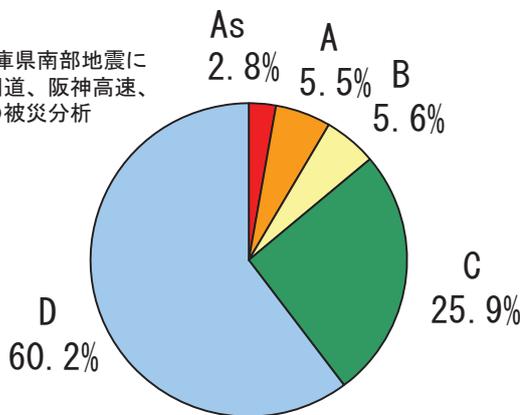


既設橋の耐震性に関する相場感をつかむ

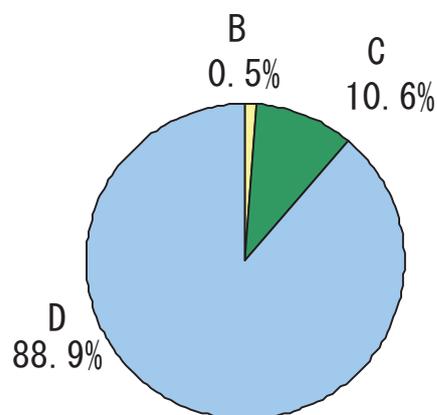
RC橋脚の被害特性と適用基準の関係

昭和55年より前の基準で設計されたRC橋脚で被害度が大きい。

平成7年兵庫県南部地震による直轄国道、阪神高速、高速国道の被災分析



昭和39年以前・昭和46年の基準



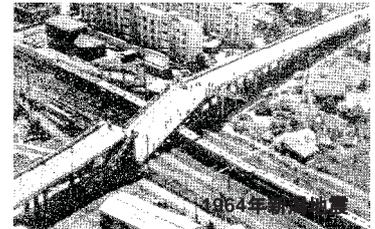
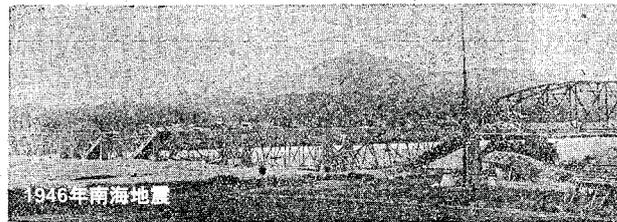
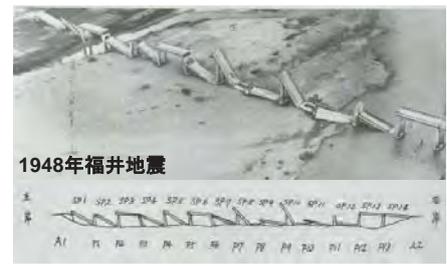
昭和55年・平成2年の基準

- As: 倒壊・損傷変形が甚大
- A: 鉄筋破断・変形が大
- B: 鉄筋一部破断、コンクリートの部分的剥離
- C: ひびわれ、局所的なコンクリートの剥離
- D: 損傷なし、軽微

出典: 土木学会
阪神淡路大震災調査報告

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



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	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

最近の地震による落橋、損傷事例



地すべりに伴って移動した下部構造と落橋した桁
(2008年岩手・宮城内陸地震)



地震によって生じる地すべりや地盤崩落等に伴う下部構造の大規模な変位に対する橋の安全対策



周辺地盤の崩落に伴う杭頭部の露出
(2004年新潟県中越地震)

過去の大地震による落橋事例から学ぶ

地震により落橋した橋の構造特性を分析

地震	落橋数	落下した径間数		
		両端に橋台を有する単純桁橋	複数径間を有する単純桁橋	連続桁橋
1923年関東地震	6橋	(1)	2 (35)	-----
1946年南海地震	1橋	-----	6	-----
1948年福井地震	7橋	-----	(116)	-----
1955年二ツ井地震	1橋	-----	3	-----
1946年新潟地震	4橋	-----	6 (1)	-----
1978年宮城県沖地震	1橋	-----	1	-----
1995年兵庫県南部地震	12橋	-----	6 (26)	4 (17) *)
2000年鳥取県西部地震	1橋	(1)	-----	-----
2009年岩手・宮城内陸地震	1橋	-----	-----	(3)
合計	34橋	(2)	24 (178)	4 (20)

注) シナリオB, C, Dによる落下径間数を示す。括弧内はシナリオAによる落下径間数を示す。

*) シナリオB, C, DとあわせてシナリオAも原因のひとつと思われる場合には双方に計上している。



- ・落橋した橋は桁橋形式で、特に複数径間の単純桁橋に多い。
- ・桁橋でも、両端橋台の単径間の橋や連続橋は落橋事例が少ない。

震災経験から見た既設道路橋の耐震性の相対的な相場感

RC 橋脚	単柱式	※段落しのある橋脚	倒壊、落橋の被災経験あり						
	壁式 ラーメン式 (連続橋の 固定脚)								
	壁式 ラーメン式 (単脚橋の 固定脚)								
鋼製 橋脚	単柱式 ラーメン式 (固定脚)								
落橋 防止 シス テム (橋軸)	両桁端が 橋脚支持 の単純桁, ゲルバー桁	H 1 4	H 8	H 2	S 5 5	S 4 6			
	両桁端が 橋台支持 の単純桁, 連続桁								
道路橋示方書 の主な改定と その変遷		H 1 4 兵庫県南部地震を考慮 した設計地震動の導入 RC橋脚に加え、鋼製橋 脚、基礎等にも地震時 保有水平耐力法を導入		H 8 単柱式RC橋脚 に対する地震 時保有水平耐 力照査の導入		H 2 RC橋脚の段落し、せん 断力の設計法改定 液状化判定法の導入 けたかかり長や落橋 防止構造の強化		S 5 5 振動特性に応じた設計水 平震度の設定法が導入 液状化を考慮した地震の 影響評価法の導入 構造細目としての落橋防 止構造の考え方が導入	
特殊橋	アーチ橋 トラス橋 斜張橋								
基礎	液状化地盤中基礎 基礎形式 (石積みやレンガ製, 単列パイルベント, 既製杭, 木杭・・・基礎形式不明)								

技術相談として最近多い難易度の高い特殊橋の耐震補強

構造形式	大きな地震力が 生じやすい部位	イメージ図
トラス橋	上弦材、下弦材、斜材	
	横構	
	支承部	
アーチ橋	アーチリブ、クラウン部	
	端部支柱	
	支承部	
斜張橋	主塔を支える橋脚	
	支承部	
	ケーブル	

制震デバイスの適用性は？

支点反力の大きい支承の交換はジャッキアップ等、施工が困難

支承部の損傷に伴い、アーチリブが支承から脱落する損傷が生じると致命的な被害に至る

主塔を支える橋脚のせん断補強は施工性に注意
既設部材に優しい補強技術

民間の技術力を活用した共同研究の実施

橋梁に用いる制震ダンパーの性能検証法及び設計法に関する共同研究

(土研CAESARと民間14社による官民共同研究, H21.4~H23.3)

制震デバイスの性能評価法
及び制震デバイスを用いた
橋の耐震設計手法の構築



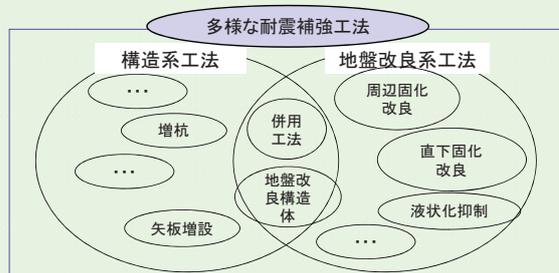
振動実験による制震ダンパーの性能試験



橋梁基礎の耐震補強技術に関する性能検証法の開発

(土研CAESARと民間4社による官民共同研究, H20.12~H23.3)

工法グループの整理と
その要求性能を明確化
工法グループ毎の課題
整理と検証方法の開発



要求性能の明確化

- ▶ 補強原理の明確さ
- ▶ 限界状態の明確さ
- ▶ 設計計算法の検証の程度
- ▶ 出来形・品質管理方法の完成度
- ▶ 地震後の長期的な反力特性
- ▶ 維持管理性
- ▶ 耐久性
- ▶ 施工が既設基礎に与える影響
- ▶ ...

補修・補強効果の持続性に関する研究

技術相談

損傷橋梁の技術相談

- ・損傷原因
- ・調査手法(計測、微破壊・非破壊検査)
- ・耐荷性能評価法
- ・今後の損傷進行予測法
- ・対策(交通規制、補修法)

補修・補強後の追跡調査

- ・効果の確認(載荷試験、計測)
- ・補修工法の耐久性 等

CAESARとして

- ・カルテ蓄積による臨床経験の共有・組織としての蓄積
- ・知見を現場へフィードバック、発信
- ・研究開発での活用

損傷事例を踏まえた対策
必要な事項の実橋での計測(損傷状況、補修効果の確認)
→ データ分析による一般化等
各種技術の適用性確認



鋼製箱桁内に生じた疲労亀裂の対策として平成3年に実施されたトラス組によりダイヤフラムの補強がなされた橋のフォローアップ調査



ASR対策が施されたRC橋脚のその後の状況に関するフォローアップ調査



RC巻立て工法による耐震補強後に巻立て部のコンクリート表面にひび割れが生じた事例の調査

実地震によるRC橋脚の耐震補強効果の検証

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

性能に基づく耐震設計技術

橋の早期復旧技術の開発

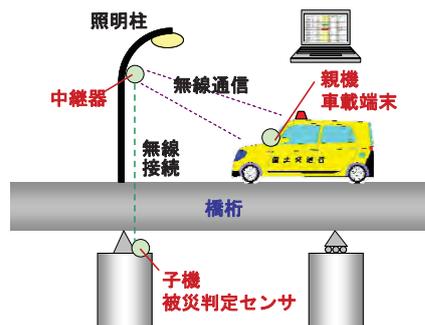
「損傷が限定的で機能回復が速やかに可能」な性能を求められる橋
(耐震性能2)

→ 点検のしやすさ

- ・橋の供用に影響を及ぼす被災の有無を速やかに確認する技術
- ・耐震性能2の照査では設計段階から地震後の点検方法を考慮



実橋脚を使って検証を行っている記憶型検知センサーによる地震被害予測システム



性能に基づく耐震設計技術

橋の早期復旧技術の開発

「損傷が限定的で機能回復が速やかに可能」な性能を求められる橋
(耐震性能2)

→ 短時間による応急補修技術

- ・本復旧工事の実施までの間の機能確保ができる補修技術と効果
(補修効果、施工性、迅速性、品質確保、資材の長期備蓄)
- ・応急復旧法を考慮した性能照査技術



土木研究所CAESARで研究開発した機械式定着繊維バンドによるRC橋脚の応急復旧技術

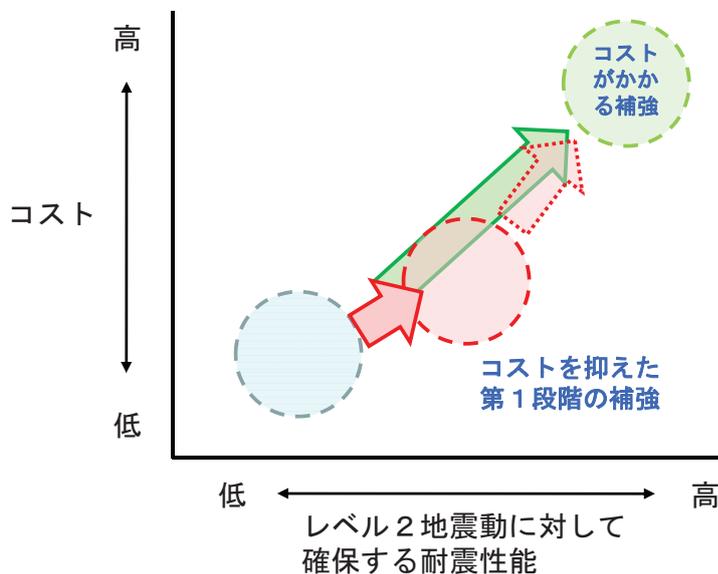
性能に基づく耐震設計技術

耐震性能の確保と耐震補強

耐震性能1:「健全性を損なわない」

耐震性能2:「損傷が限定的で機能回復が速やかに可能」

耐震性能3:「落橋等の致命的な損傷とならない」



交通量は非常に少ないが、地域にとっては必要な橋への保全対策と耐震補強対策



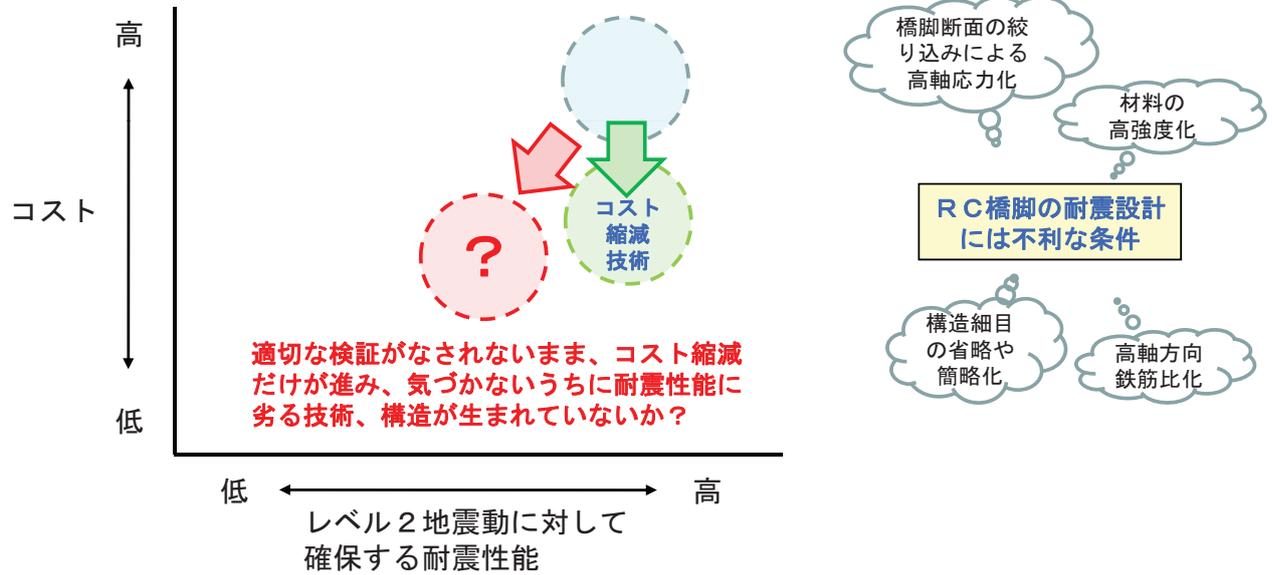
性能に基づく耐震設計技術

耐震性能の確保とコスト削減技術

耐震性能1:「健全性を損なわない」

耐震性能2:「損傷が限定的で機能回復が速やかに可能」

耐震性能3:「落橋等の致命的な損傷とならない」



コスト削減と地震被害<2010年チリ地震による被災例>

横桁を省略したプレテンPC桁橋の被害



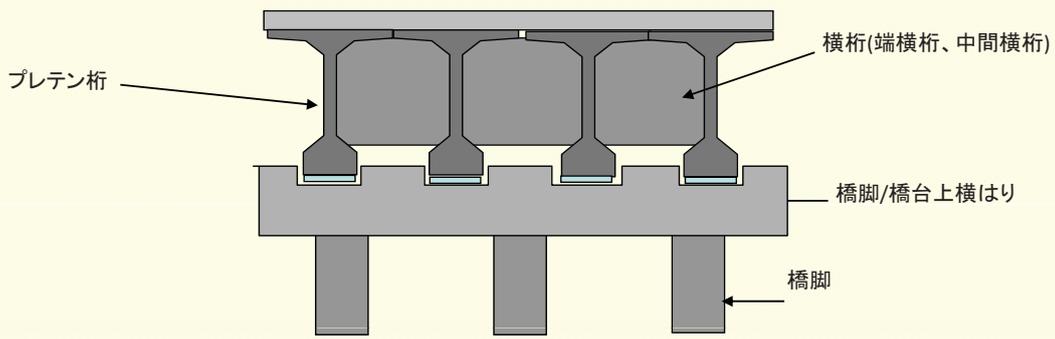
支持部から欠け落ちている



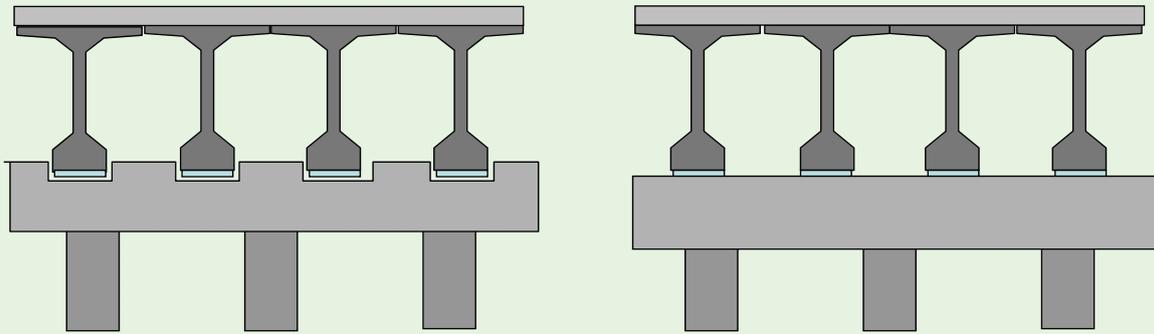
1990年代半ば以降に、民間委託として実施された道路事業で、建設コストの低減と建設期間の短縮を目的として技術提案された横桁や移動制限機構を設けないプレテンPC桁橋において被害が集中した。

コスト削減と地震被害＜2010年チリ地震による被災例＞

1990年代半ば以前のチリ基準による標準形式



1990年代半ば以降に民間委託によりスペインの影響を受けて建設されてきた標準形式 (コスト削減、工期短縮の観点から横桁や桁の移動制限機構が省略された構造)



コスト削減と地震被害＜2010年チリ地震による被災例＞



奥側の車線の橋は1990年代半ばまでのもともとのチリ基準により設計された橋
(横桁と移動制限機構あり)

手前側の車線の橋は1990年代半ば以降に民間委託により設計された橋
(横桁と移動制限機構なし)

世界トップクラスの研究センターを目指して

＜チリ地震被害調査を通じて日本の耐震技術、震後診断技術を発信＞

土木学会からの要請により2010年チリ地震被害合同調査団にCAESAR職員が参画

■ 合同調査団

土木学会、日本地震工学会、地盤工学会、日本建築学会
(国際協力機構 (JICA) ・文部科学省の調査支援)
(チリ大学、カトリカ大学、チリ公共事業省MOPとの協力)

■ 土木学会調査団

・土木構造物(橋梁)グループ

リーダー 川島一彦(東京工業大学 教授)
運上茂樹(国総研地震災害研究官)
星隈順一((独)土木研究所CAESAR上席研究員)
幸左賢二(九州工業大学 教授)

・津波グループ

リーダー 今村文彦(東北大学 教授)
藤間功司(防衛大学校 教授)
有川太郎((独)港空研 主任研究官)



落橋した斜橋の状況調査



MOPとの共同による被災橋の調査



落橋したゲルバー橋のヒンジ部の調査

世界トップクラスの研究センターを目指して

＜チリ地震被害調査を通じて日本の耐震技術、震後診断技術を発信＞

日本側の診断により被害の拡大を防止



地震後の供用に伴う活荷重の作用により、損傷が急激に進展し致命的な被害に拡大する可能性があることから、重量規制の強化や桁の仮支持の必要性を助言

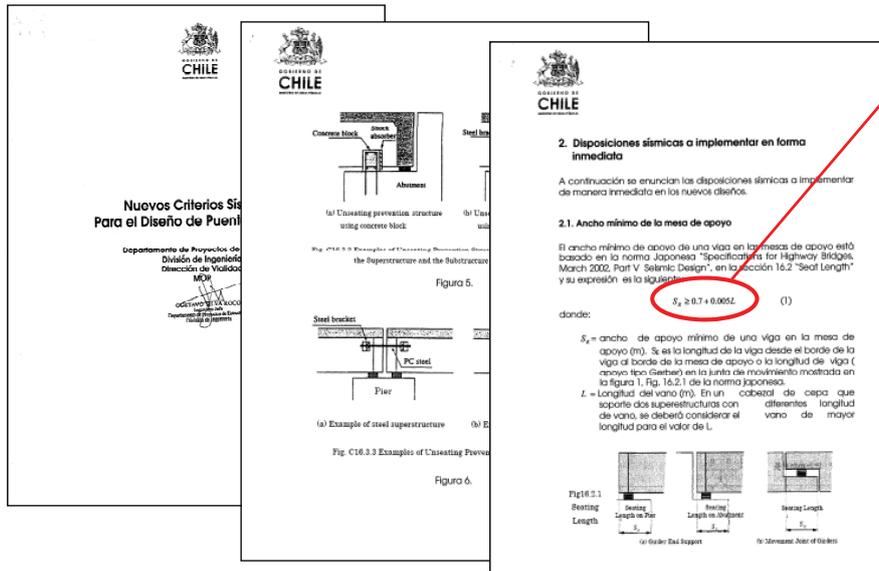
チリ側へ調査結果の報告と日本の震後復旧技術、耐震設計技術を紹介



世界トップクラスの研究センターを目指して

＜チリ地震被害調査を通じて日本の耐震技術、震後診断技術を発信＞

日本の耐震設計技術がチリの新しい耐震基準策定に貢献



$$S_E \geq 0.7 + 0.005L \text{ (m)}$$

日本の最小けたかかり長の評価式が導入されている。



支間30m、橋脚高さ10mの直橋で試算すると、従来のチリ基準よりも1.7倍以上の必要けたかかり長となる。

【参考】チリにおける従前の最小けたかかり長の評価式（直橋）

$$S_E \geq 0.305 + 0.0025L + 0.01H \text{ (m)}$$

新しく策定されたチリの耐震設計基準（一部）

- ・チリ公共事業省では、2010年7月に道路橋の耐震設計基準を改定し、桁かかり長や落橋防止構造を強化
- ・具体的な基準としては、日本の道路橋に対する耐震基準が導入

性能に基づく橋の耐震設計と今後の研究の方向性

1. 耐震補強技術

- ・過去の震災のデータベース化とその分析に基づく既設橋の耐震性、耐震補強の相場感
- ・技術相談から得る既設特殊橋の耐震補強に関する技術ニーズ
 - 制震デバイスの活用 → 適切に橋に適用できるように導く
 - 部材削孔減らしたい → 施工性に配慮した既設部材に優しい補強技術
- ・既設基礎の耐震性
 - 「賢く診断」する → 基礎の現況の調査
 - 基礎を含めた橋全体系の耐震性評価体系の構築
- ・橋の長寿命化への対応
 - 管理水準に応じた既設橋の耐震対策技術
 - 補修・補強効果のフォローアップ調査の必要性 → 組織としてのナリッジ蓄積、より適切な処方を現場へ提供

2. 耐震性能の照査技術

- ・早期復旧技術の重要性
 - 早期発見、早期応急復旧を可能とする技術 → 速やかな橋としての機能確保
- ・限られた予算で「賢く性能を確保」する技術
 - ただし、コスト縮減が耐震性能の低下につながらないように
- ・新しい橋の被害形態への対応（例：地すべり等の大規模な地盤変位に対する対策技術）
- ・道路ネットワークとしての耐震性能の確保

3. 世界トップクラスの構造物管理の研究拠点を目指して

- ・蓄積された震災経験とナリッジを生かす
 - 震後診断技術（特に供用性の観点から）、復旧技術の発信
 - 海外での震災において日本の経験を生かす → 国際貢献による国際的な信頼性を獲得

地域の特性に応じた技術開発 ～積雪寒冷環境下の土木構造物～

独立行政法人 土木研究所
寒地土木研究所 寒地基礎技術研究グループ
寒地構造チーム
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
上席研究員 西 弘明

平成22年8月24日

(独)土木研究所



研究対象の主な構造物とその劣化損傷の状況

道路構造物(橋梁)



床版の抜け落ち



地覆部のスケーリング



橋脚のスケーリング・ひび割れ
→急速な劣化進行



床版張出部のスケーリング



壁高欄の凍害・塩害
(外面は問題なし)



橋台のスケーリング

3

研究対象の主な構造物とその劣化損傷の状況

道路構造物(橋梁)



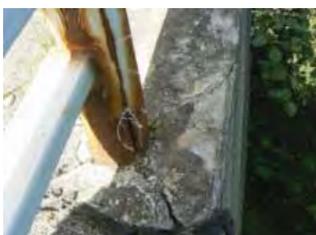
沓座部への凍結防止剤・
融雪水滞水



除雪作業に伴う伸縮装置の切削
傷や変形→本体へも衝撃作用



固定式視線誘導柱(除雪作業
用の幅員を示す)の疲労損傷



防護柵支柱の凍結膨張亀裂、
支柱基礎(地覆)のひびわれ



下路橋の着氷雪対策工
(格子フェンス)

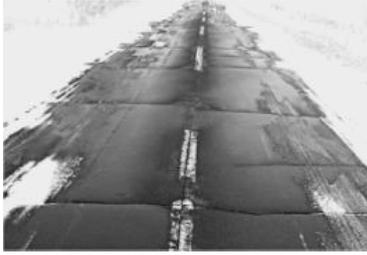


越波防止柵

4

研究対象の主な構造物とその劣化損傷の状況

道路構造物(舗装)



低温クラック



車道部の凍上



摩耗わだち掘れ



路床支持力の低下



歩道部の凍上

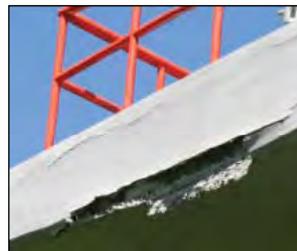
5

研究対象の主な構造物とその劣化損傷の状況

河川構造物(樋門)



凍害劣化(スケーリング・剥落)

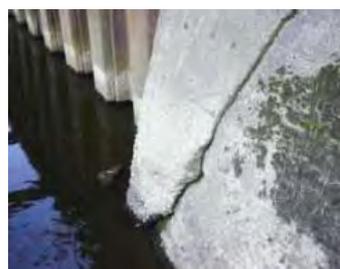


断面修復部の再劣化

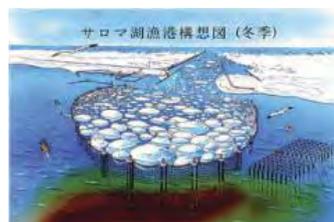
海岸(海洋)構造物



二重矢板式導流堤の海水作用と腐食による矢板の変形



凍害劣化(スケーリング)



サロマ湖流水アイスブーム
<http://www.ab.hkd.mlit.go.jp/kouwan/saroma/yakuwari.html>より



アイスブーム支柱の凍結融解と海水作用による摩耗

6

研究対象の主な構造物とその劣化損傷の状況

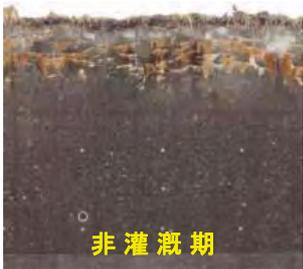
農業水利施設(開水路)



灌漑期



凍害による側壁天端のスケーリング



非灌漑期

凍害による水路側壁のひび割れ



水路背面地盤の凍上による側壁の傾倒

7

具体的な技術開発1

積雪寒冷地におけるRC床版の補修補強

RC床版の劣化損傷の現状

舗装面に何らかの変状がみられる箇所の床版上面を中心に現地調査

RC床版の劣化特性・劣化機構

既設橋からの切出し床版、模擬損傷床版を用いた疲労載荷試験

劣化損傷床版の補修補強法

模擬損傷床版を用いた疲労載荷試験

8

RC床版の劣化損傷の現状

■凍害劣化

- レベル1 : ほぼ健全
- レベル2 : 表面のスケーリング
- レベル3 : 床版上面の砂利化



9

RC床版の劣化損傷の現状

■凍害劣化

- レベル1 : ほぼ健全
- レベル2 : 表面のスケーリング
- レベル3 : 床版上面の砂利化



継手部近傍



深さ1cm程度までの劣化は多くの床版で確認

10

RC床版の劣化損傷の現状

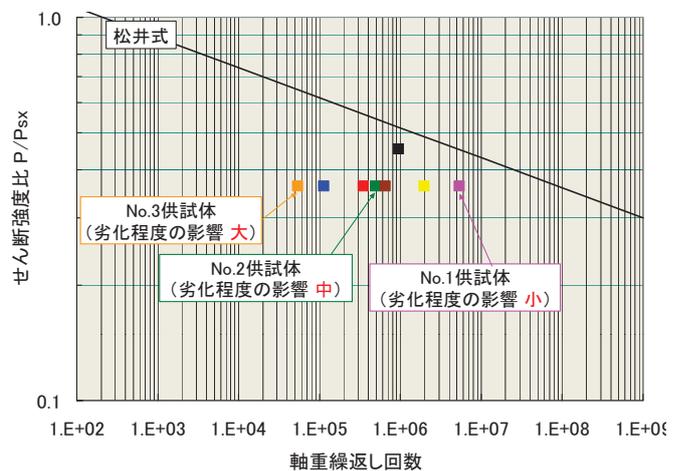
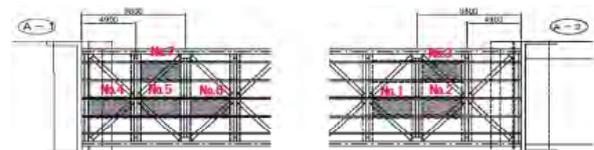
■凍害劣化

- レベル1 : ほぼ健全
- レベル2 : 表面のスケーリング
- レベル3 : 床版上面の砂利化



RC床版の劣化特性・劣化機構

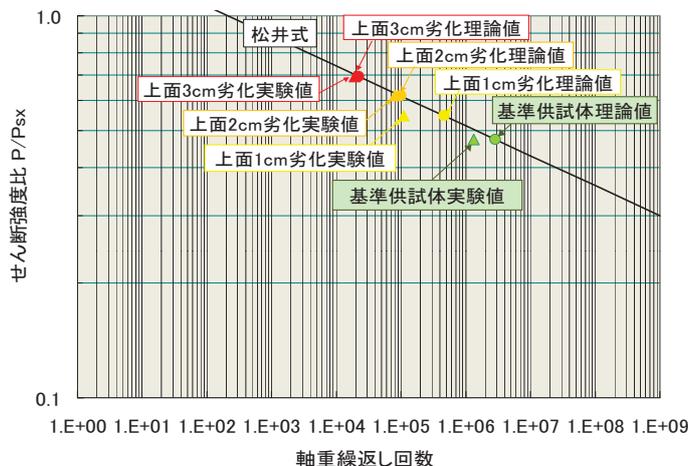
既設橋からの切出し床版を用いた疲労載荷試験



■ 基準供試体	■ No.1供試体
■ No.2供試体	■ No.4供試体
■ No.5供試体	■ No.7供試体
■ No.3供試体	
■ No.6供試体	

RC床版の劣化特性・劣化機構

模擬損傷床版を用いた疲労载荷試験

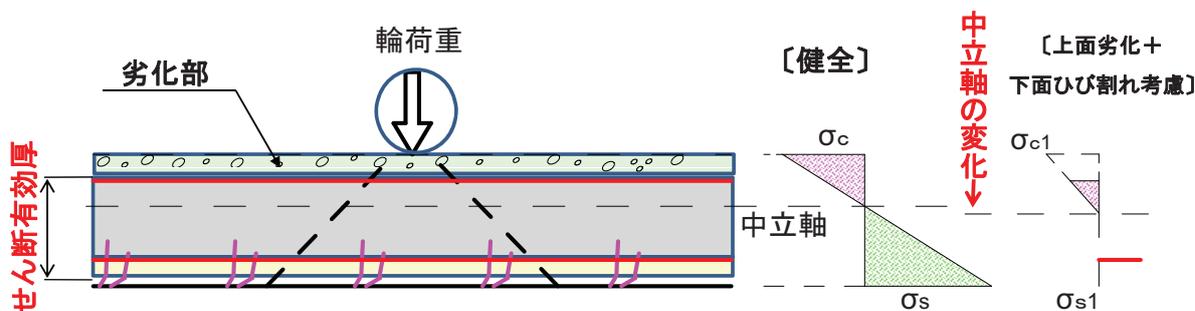


供試体(損傷深さ)	150kN換算等価繰返し回数(回)	基準供試体に対する比率
基準供試体	1,326,810	1.00
供試体C (1cm)	110,050	0.08
供試体B (2cm)	80,040	0.06
供試体A (3cm)	19,450	0.01

13

RC床版の劣化特性・劣化機構

- ✓ 床版上面の劣化(圧縮強度の低下), 下面のひび割れ
- ✓ RC床版の中立軸の変化
- ✓ 中立軸の変化による, 押抜きせん断耐力の低下
- ✓ 押抜きせん断耐力の低下による, 疲労寿命の低下



床版下面からの補強対策のみではなく、上面の補修および再劣化対策(床版防水・排水)が重要

14

劣化損傷床版の補修補強法

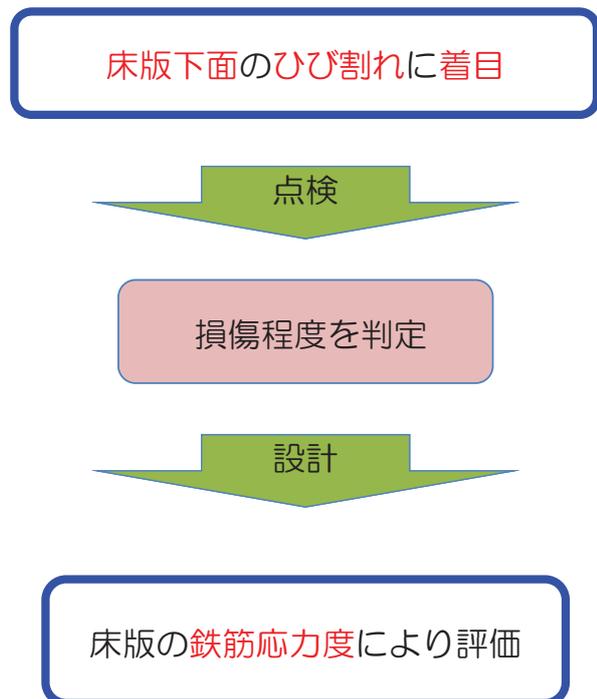
実橋における補修補強法の検討例



15

実橋における補修補強法の検討例

従来の点検法と設計法



区分	ひびわれ幅に着目した程度	ひびわれ間隔に着目した程度
a	(ひびわれ間隔と性状) ひびわれは主として1方向のみで、最小ひびわれ間隔が概ね1.0m以上 (ひびわれ幅) 最大ひびわれ幅が0.05mm以下(ヘアヘア程度)	
b	(ひびわれ間隔と性状) 1.0m~0.5m、1方向が主で直交方向は従、かつ格子状でない (ひびわれ幅) 0.1mm以下が主であるが、一部に0.1mm以上も存在する	
c	(ひびわれ間隔と性状) 0.5m程度、格子状直前のも (ひびわれ幅) 0.2mm以下が主であるが、一部に0.2mm以上も存在する	
d	(ひびわれ間隔と性状) 0.3m~0.2m、格子状に発生 (ひびわれ幅) 0.2mm以上が目立ち部分的な角落ちもみられる	
e	(ひびわれ間隔と性状) 0.2m以下、格子状に発生 (ひびわれ幅) 0.2mm以上がかなり目立ち連続的な角落ちが生じている	

H16.3月橋梁定期点検要領(案) p.18抜粋

従来の対策工

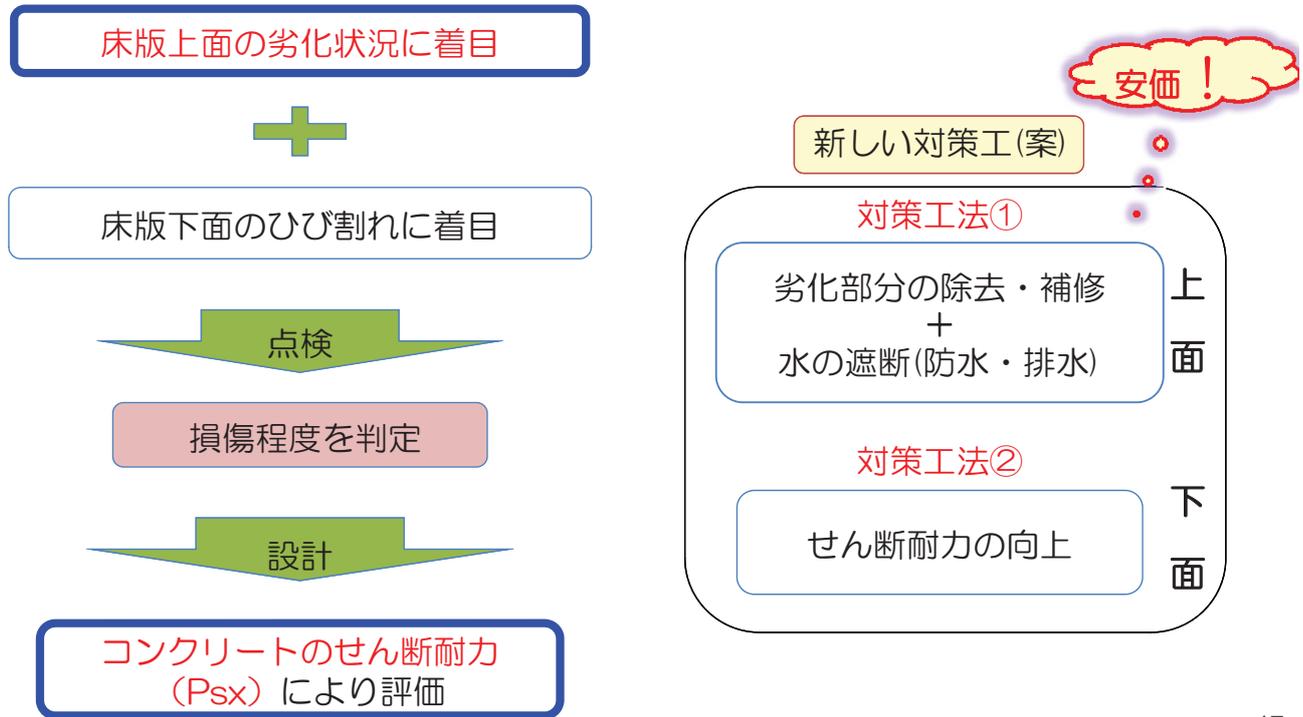
高価!

- ・床版コンクリートの全面打換工
- ・合成床版化工法
- ・下面鋼板接着工法
- ・下面繊維補強工(複層貼り)

16

実橋における補修補強法の検討例

新しい点検法と設計手法(案)



17

対策工法①床版上面の処理・断面修復方法の検討

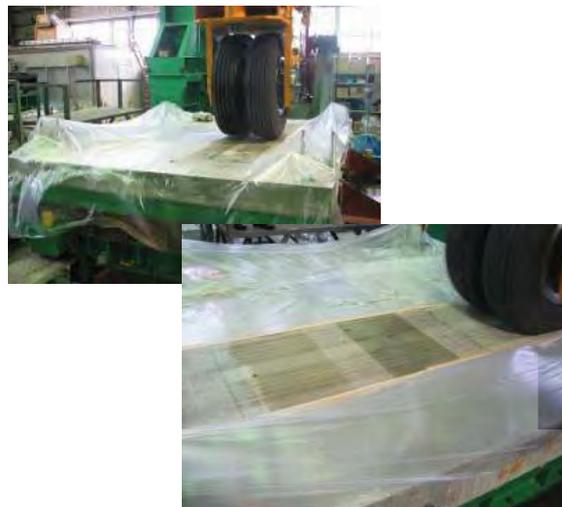
床版上面の処理(切削)



床版上面の断面補修

上面補修に適した材料・工法の選定

- 高性能セラミック素材
- エポキシ樹脂系モルタル
- アクリル樹脂系モルタル…



18

対策工法①床版防水工

②下面補強法の検討

床版防水工(例:複合防水)



浸透系防水材料



塗膜系防水

床版下面の補強(例:繊維補強)

冬期施工性等も考慮した下面補強に適した材料・工法の選定

- ・アラミド繊維シート補強
- ・CFRPストランドシート補強
- ・CFRPプレート補強 …



19

具体的な技術開発2

ゴム支承の低温時性能評価

ゴム支承の耐震設計用の最低温度

実橋梁のゴム支承温度は？設計(照査)用の最低温度？
現地計測等

ゴム支承の低温時性能

支承タイプ毎の特性値の温度依存性？
低温下における性能確認試験

橋梁耐震性能への影響

ゴム支承の温度依存性が耐震性能へ与える影響？
実橋を想定した試設計

実橋梁の桁下におけるゴム支承の温度計測

計測概要

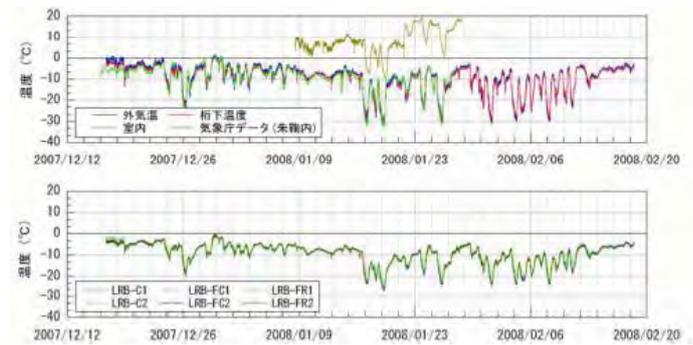
- 計測対象
外気温特性、桁下環境等から6橋梁を選定
- 設置ゴム支承
RB,LRB,HDR-S
- 計測期間
H18,H19年度の冬期



計測状況



21

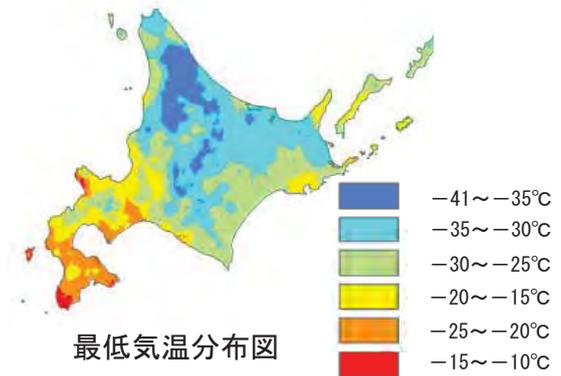


計測結果の一例

21

外気温帯別の支承最低温度の設定

- ✓ 計測結果より、風や日射等の影響も分析し、**外気温と支承部位毎の最低温度の関係式**を設定
(最低支承温度) = $\alpha \cdot (\text{最低外気温}) + \beta$
- ✓ 6地点の外気温推定値・計測値とアメダス174地点の既往気温観測値をもとに、空間補完により**最低気温分布図**を作成



外気温帯別の支承最低温度

ゴム支承の耐震設計用の最低温度の代表値を、外気温帯別に設定

外気温(°C)	LRB	HDR	RB
-41 ~ -35	-30	-30	-30
-35 ~ -30	-25	-25	-25
-30 ~ -25	-20	-25	-25
-25 ~ -20	-20	-20	-20
-20 ~ -15	-15	-15	-15
-15 ~ -10	-10	-15	-15

22

ゴム支承の低温時性能確認試験

試験概要

ゴム支承供試体

タイプ：RB,LRB,HDR-S
 ゴム種類：G10及びG12
 寸法：240×240×89.5mm

試験方法

水平加振：sin波(f=0.5Hz)
 せん断ひずみ：±175%
 面圧：6.0N/mm²

試験ケース

支承タイプ	ゴム種類	試験温度(°C)
RB	G10	-30,-20,-10,+23,+40
	G12	-30,-20,-10,+23,+40
LRB	G10	-30,-20,-10,+23,+40
	G12	-30,-20,-10,+23,+40
HDR-S	G10	-30,-20,-10,+23,+40
	G12	-30,-20,-10,+23,+40



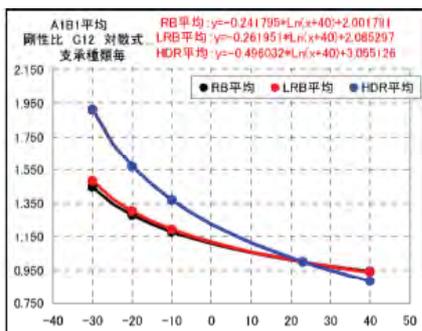
載荷試験状況

23

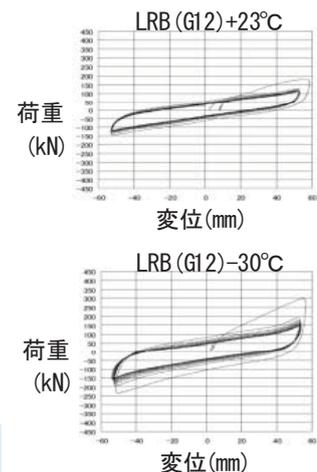
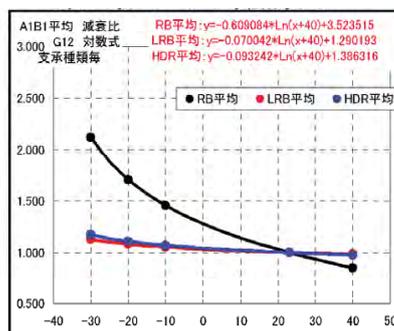
23

等価剛性及び減衰定数の温度依存性

等価剛性



等価減衰定数



- 等価剛性は大きく増加(-30°Cで1.5倍以上)
- RBとLRBは同様の増加率
- HDR-Sは増加率が特に大
- LRBとHDR-Sは微増(-30°Cで1.2倍程度)
- RBは増加率が大き(-30°Cで2.1倍)

ゴム支承温度特性式の提案

$$y = -a \times \ln(x+40) + b$$

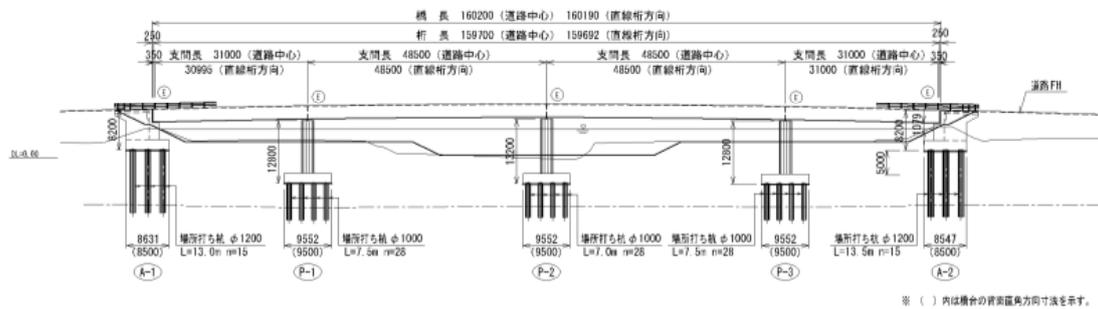
ここで、y: 特性値(等価剛性比・等価減衰定数比等), x: 温度

24

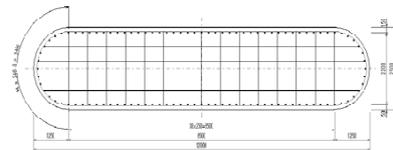
ゴム支承の低温時性能が耐震性能に与える影響

4径間連続鋼板桁橋の動的応答解析(タイプII地震動)

側面図



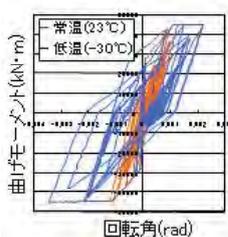
- (1) 上部工
 - ・支間長: 31.0m+48.5m+48.5m+31.0m
 - ・総幅員: 12.0m
- (2) 支承条件
 - ・支持条件: 橋軸方向—分散 橋軸直角方向—固定
- (3) 下部工
 - ・下部工形式: 橋台—逆T式橋台 2基
 - ・橋脚—壁式橋脚 3基
 - ・基礎形式: 杭基礎(場所打ち杭)



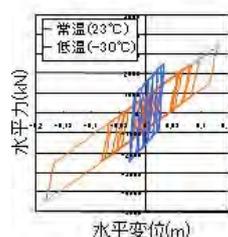
橋脚配筋図

ゴム支承の低温時性能が耐震性能に与える影響

解析結果の一例

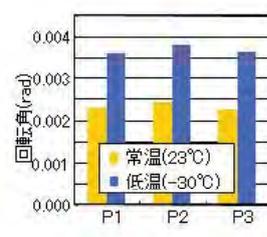


塑性ヒンジ部の履歴ループ

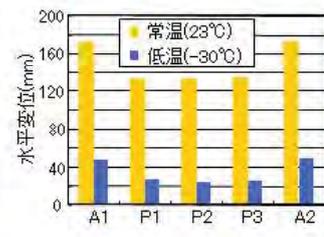


支承の履歴ループ

履歴ループの比較 (LRB)



塑性ヒンジ部の最大応答回転角



支承の最大応答水平変位

最大応答値の比較 (LRB)

低温時には常温時に比して、
 ・変位量及び履歴ループの面積が小
 ・履歴吸収エネルギーによる減衰の減少により、塑性ヒンジ部の応答回転角が増大

低温時は常温時に比して、
 ・橋脚の応答回転角: 増大
 ・支承の応答: 減少

寒冷地域では、免震ゴム支承の温度特性が橋梁の耐震性能に影響を与えることから、これを適切に評価し設計(照査)することが必要

參考資料

構造物メンテナンス研究センターの活動

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



有識者会議の提言とCAESARの設立

《 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 》

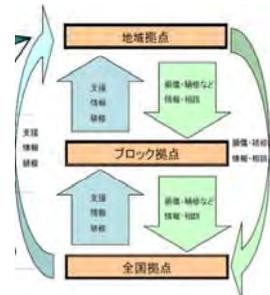
1. 点検の制度化

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



(独)土木研究所

つくば中央研究所

寒地土木研究所

水災害・リスクマネジメント国際センター

構造物メンテナンス
研究センター
(CAESAR)

現場の支援

CAESAR

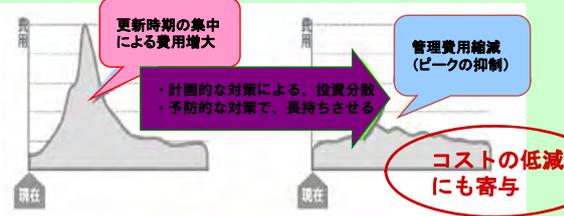
研究開発

情報交流の場

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、適切な補修を行い、長寿命化を図る。



震災時に道路としての機能を維持できるように対策(耐震補強)を行う。



- 【必要とされる技術】
- ・劣化状況を把握する。
 - ・劣化の進行を予測する。
 - ・LCCを最小にするための対策、その選定法
 - ・計画的な保全のための補修技術、更新技術
 - ・震後の緊急復旧技術の開発

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。

損傷状態を予測・評価し、交通規制等、適切な対応を行う。



落橋を防止するための耐震性能を確保。



- 【必要とされる技術】
- ・致命的な損傷を、事前に見つける。
 - ・耐力評価に必要な情報を得る。
 - ・通行規制の必要性判断のための耐力評価。
 - ・落橋を防ぐための補修・補強技術
 - ・破壊特性を踏まえた損傷状態の予測、評価

他

利用者の安全
(落橋させない)

CAESARの研究課題例

計画的な保全

安全管理

点検・調査

橋梁点検要領

初期品質検査技術

非破壊検査技術

主要部位の定義

安全点検要領

性能評価

耐久性評価

長期劣化予測

安全余裕度の評価

安全性評価

耐力評価

耐震性評価

補修、補強による性能の評価

長期持続性

劣化損傷の補修技術
耐震補強技術

劣化損傷の補修技術
耐震補強技術

震後の応急復旧技術

更新技術

補修・補強効果の評価

補修補強技術の開発

管理システム

BMS (国総研)

基本データの蓄積

ナレッジの蓄積

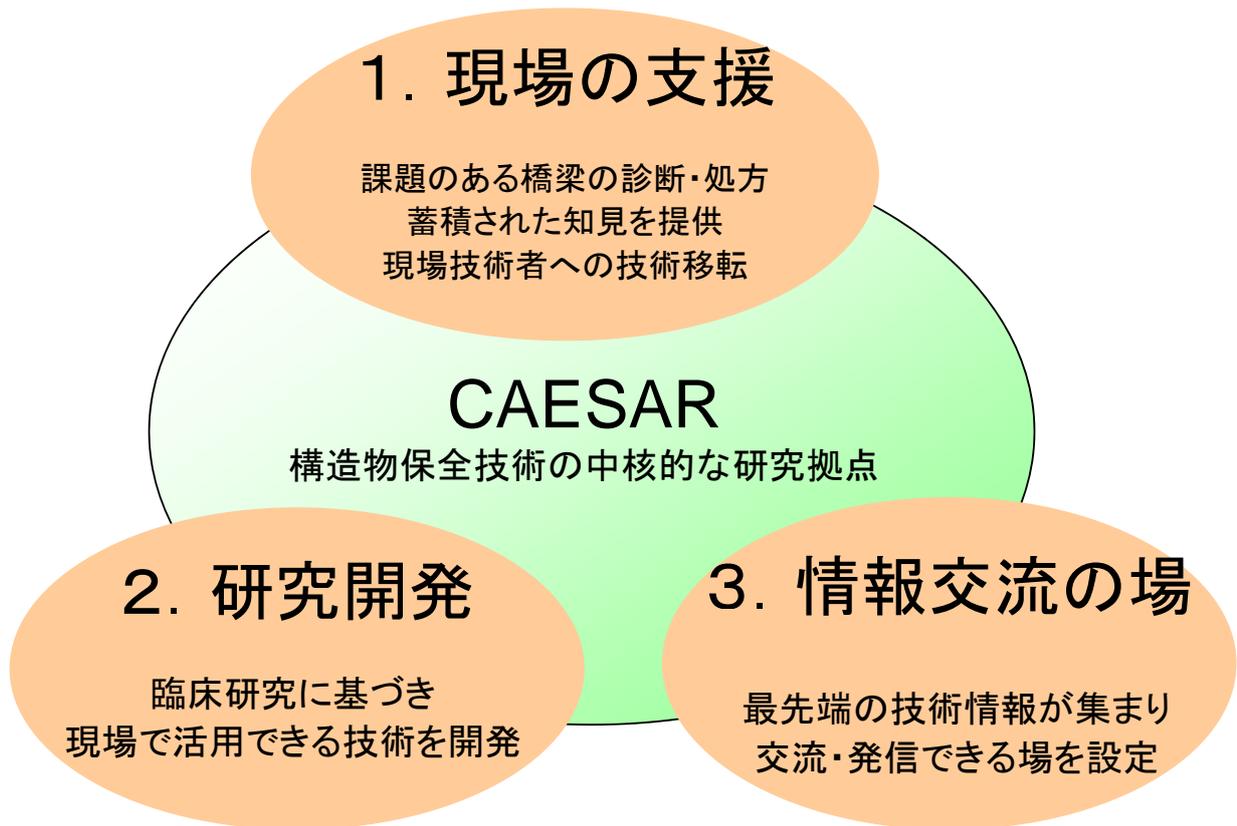
架け替え指標

要求性能の提示, 評価, 基準化

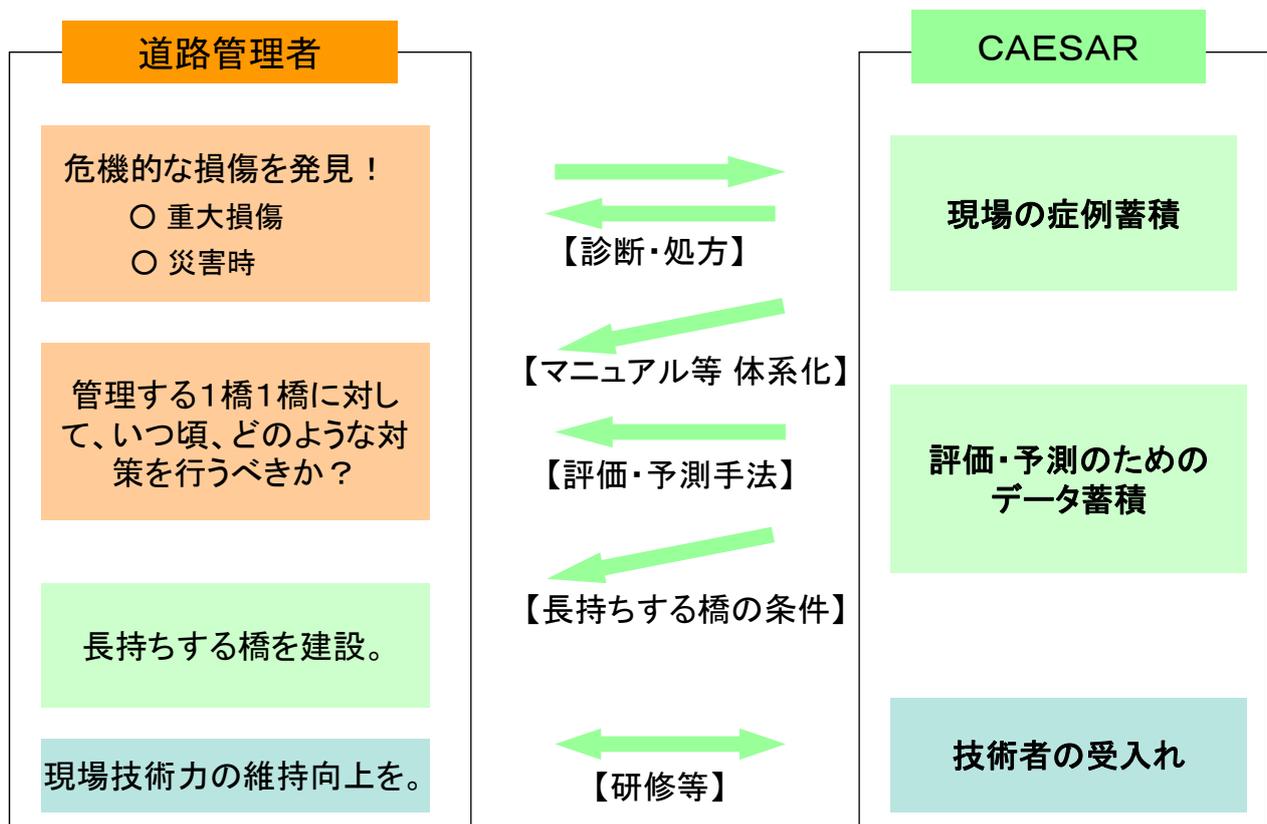
管理水準

道路の機能に応じた橋梁の要求性能の多段階化
設計者・管理者が選択可能な技術メニューの多様化

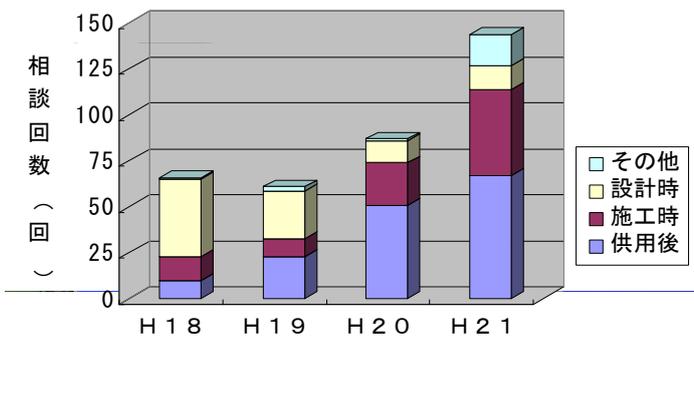
CAESARの活動



CAESARの活動－1 現場の技術支援

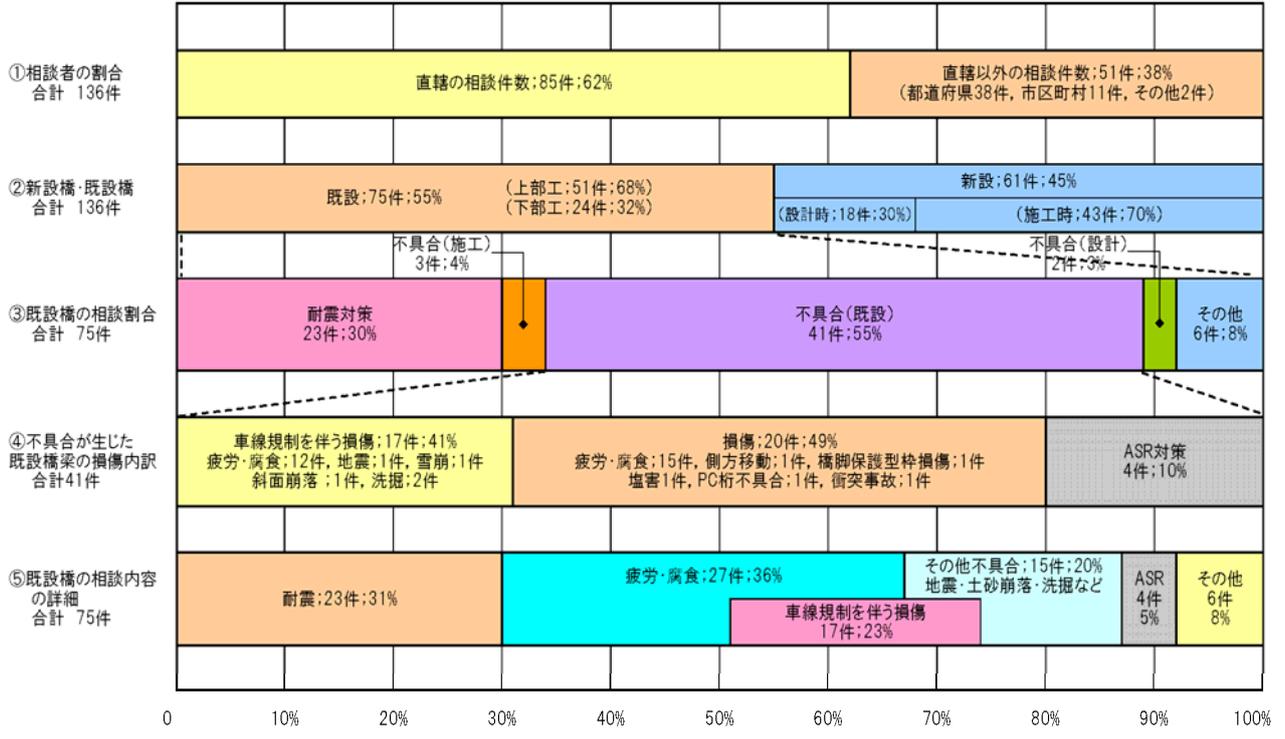


CAESARに寄せられた技術相談



CAESAR設立以降 (H20~H21) の技術相談内容の割合 (橋梁関係のみ)

平成20年度～平成21年度



損傷橋梁についての技術相談の活用

技術相談

損傷橋梁の技術相談

- ・損傷原因
- ・調査手法(計測、微破壊・非破壊検査)
- ・耐荷性能評価法
- ・今後の損傷進行予測法
- ・対策(交通規制、補修法)



対策後の追跡調査

- ・効果の確認(載荷試験、計測)
- ・補修工法の耐久性 等

道路管理者に対し

・重大損傷について道路管理者への注意喚起

- ・20年
6月 鋼製パイルベント橋脚の緊急点検 ← 出雲郷大橋歩道橋橋脚断面欠損
6月 歩道橋照明柱の緊急点検 ← 笹目南歩道橋照明柱溶接部亀裂
7月 橋脚支保工崩落事故注意喚起 ← 広島高速橋脚支保工崩落事故

今後、土技資やNews Letterとして発信

CAESARとして

・カルテ蓄積による臨床経験の共有・組織としての蓄積

・研究開発での活用

損傷事例を踏まえた対策(溶接亀裂や腐食しやすい部位・条件)

必要な事項の実橋での計測(損傷状況、補修効果の確認)

→ データ分析による一般化等

各種技術の適用性確認

技術相談事例: 鋼製パイルベント橋脚の腐食

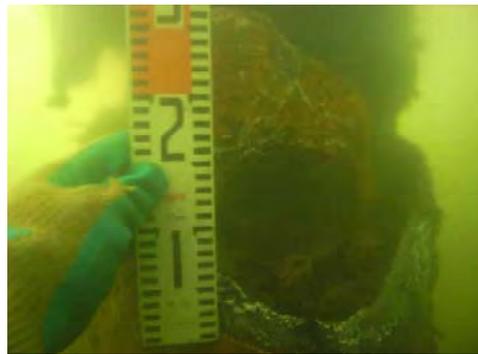
国道9号「出雲郷大橋側道橋」(直轄管理)

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

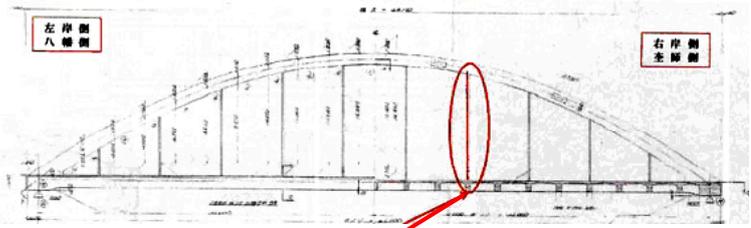
- ・鋼製パイルベント橋脚の水中部における断面欠損



技術相談事例：アーチ吊材の破断

君津市道「君津新橋」(千葉県、君津市)
 橋梁形式：下路式ローゼアーチ橋
 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

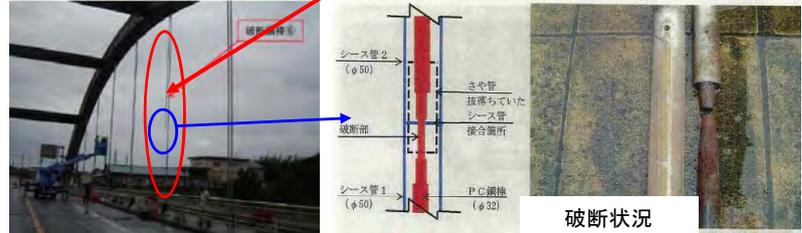
- ・異種金属接触腐食によるPC鋼棒の破断
- ・全吊材PC鋼棒をPCケーブルに交換

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：PC橋プレテン桁に生じたひび割れ

市管理橋

橋梁形式：プレテンション方式
 PC中空床版橋

橋長：L=33.1m

損傷部位：桁側面のひび割れ、遊離石灰



地方整備局道路保全
 企画官を経由して
 技術相談

国総研・CAESAR

損傷状況調査と当面の措置

- ・遮水対策(床版防水含む)
- ・ひびわれの詳細調査と定期観察



PC桁側面部のひび割れ



PC桁下面部の遊離石灰

国土交通省TEC—FORCEへの貢献

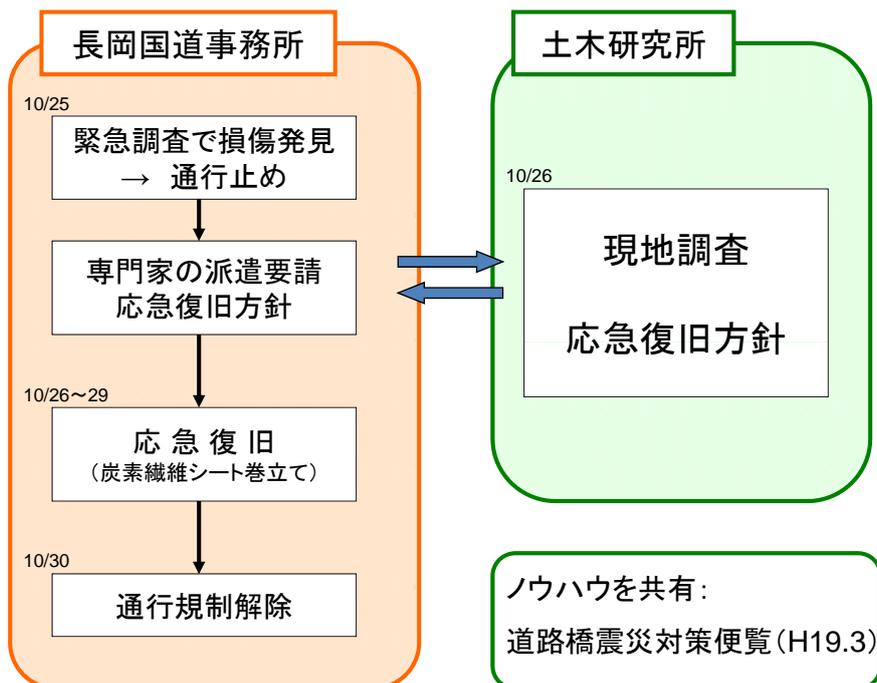


平成20年6月14日岩手宮城内陸地震
祭時(まつるべ)大橋の落橋被害

- ・当日の現地への派遣
- ・被災調査と被災メカニズムの検討
- ・調査結果の岩手県への報告(18日)

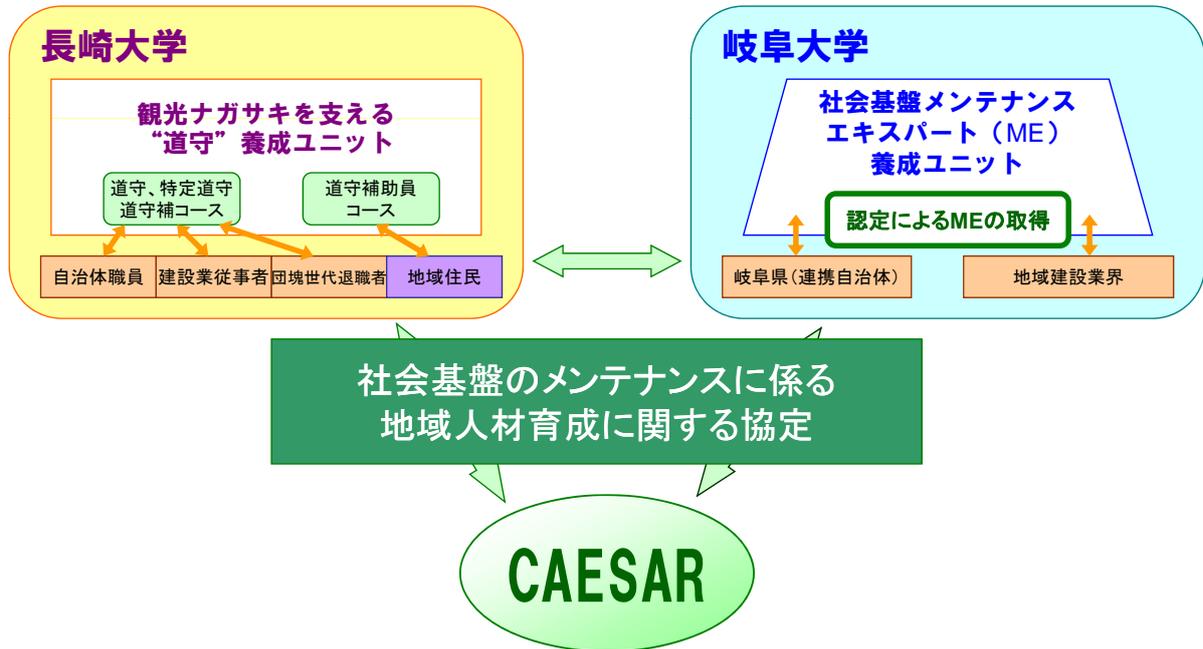


新潟県中越地震における応急復旧への支援



地方での構造物管理強化活動の支援

岐阜大・長崎大との連携による地方の技術者育成



地方における技術者育成の取り組み

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

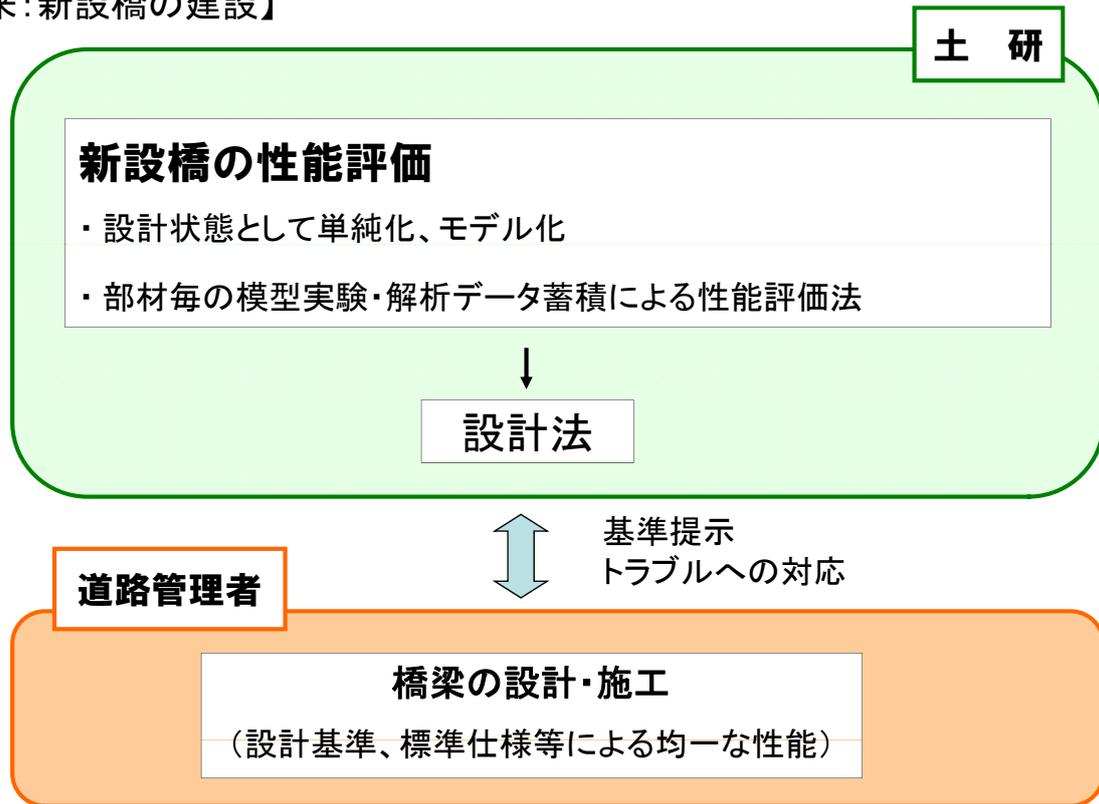


⇒全国10の高専で同様の取り組みを展開予定

〔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〕

CAESARの活動－2 臨床研究に基づく研究開発

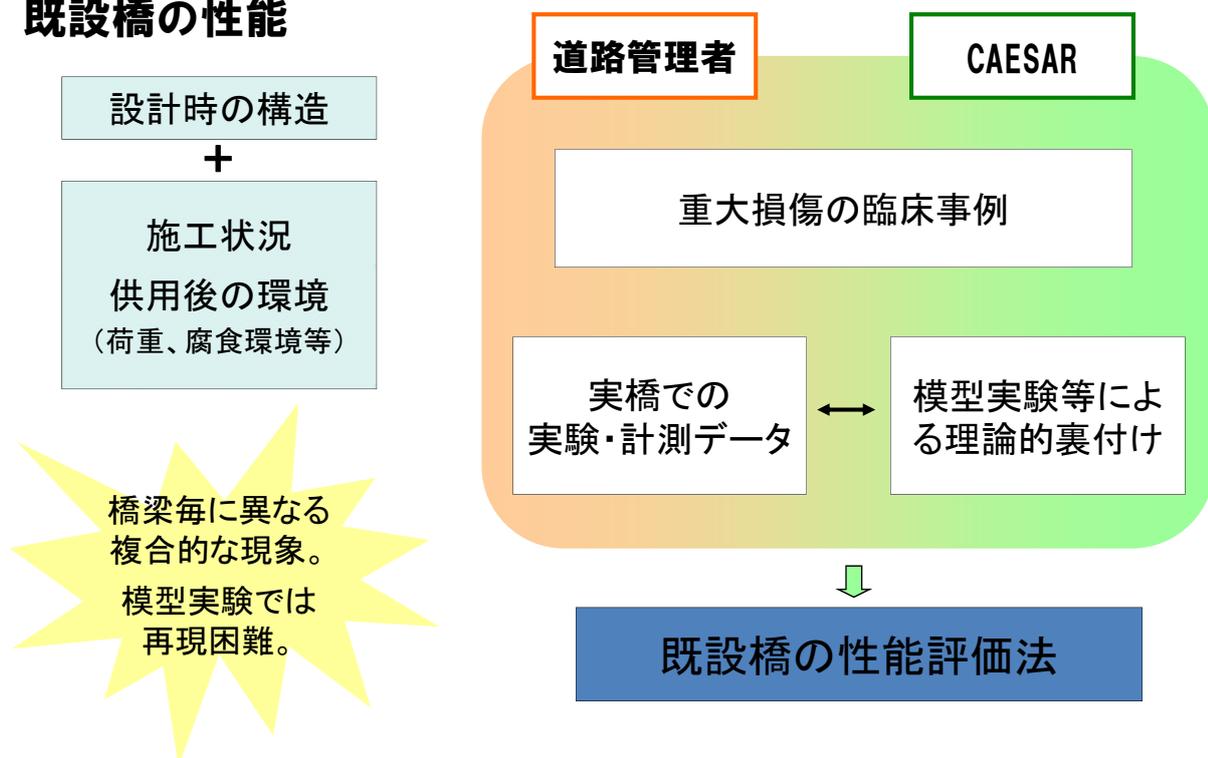
【従来：新設橋の建設】



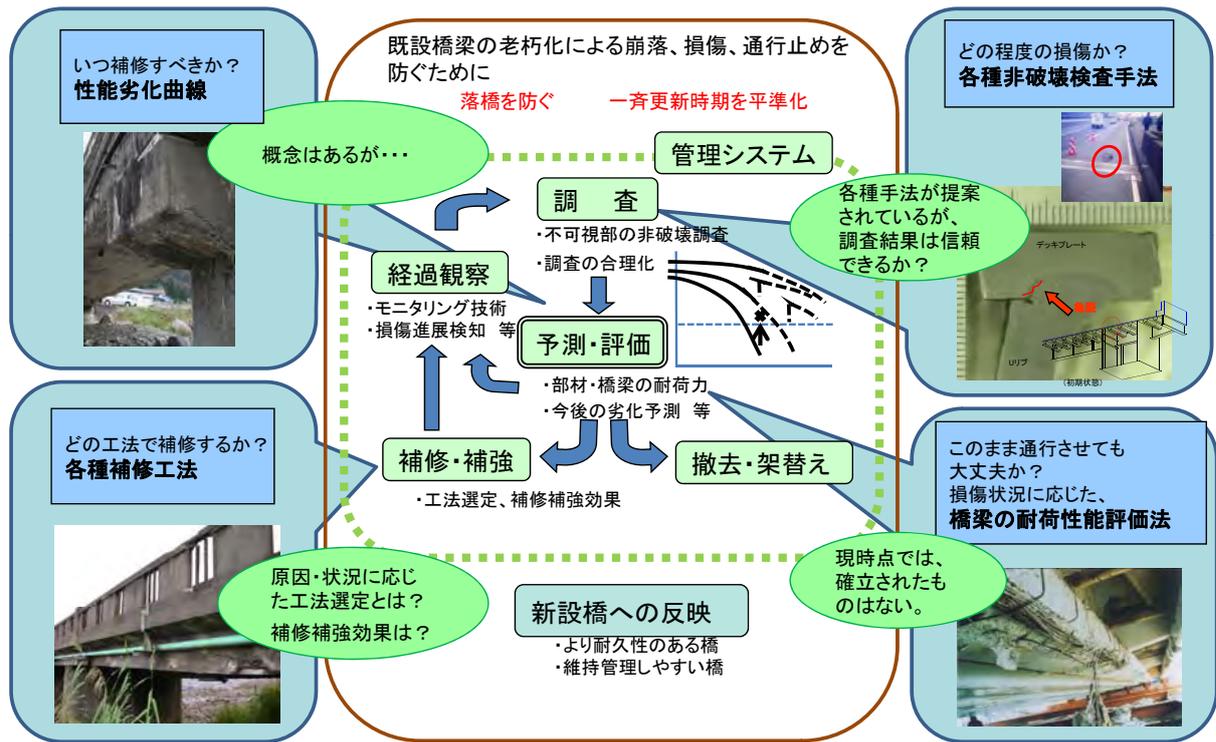
CAESARの活動－2 臨床研究に基づく研究開発

【今後：既設橋の管理】

既設橋の性能



橋梁の維持管理に必要な技術開発：臨床研究



撤去橋梁等を活用した臨床研究事例



- 載荷試験による耐力評価技術の開発
- 腐食部材の残存耐荷性能評価手法の検討
- 解剖調査による損傷状況把握
- 非破壊検査技術の適用性調査
- 損傷監視のための遠隔モニタリング

撤去橋梁調査；腐食損傷橋梁の調査（銚子大橋）

路線名：一般国道124号
 位置：千葉県銚子市
 構造形式：鋼5径間ゲルバートラス桁
 橋長：407m（トラス部のみ）
 支間割：64.6m+85.6m+107m+85.6m+64.6m
 供用年：昭和37年 **供用開始から47年**

塩害による腐食が著しく、
 昭和50年代から現在に至るまで、
 全面塗装塗替えと部材補修を実施

その後、震度5以上の地震時に全面通行
 止、車重20t以下規制という条件で供用

本年3月に新橋供用開始 旧橋撤去



研究項目（銚子大橋）

1. 腐食部材の残存耐荷性能評価 手法の検討

- 腐食状況調査、載荷試験、構造解析
- ・ 腐食状況と部材耐力の関連付け
- ・ 腐食状況に応じた残存耐荷性能の評価
- ・ 腐食状況の調査手法の提示

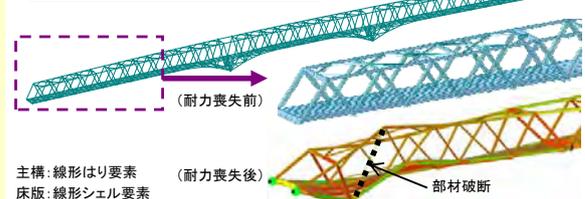


30MN試験機による載荷試験
(年度内予定)

2. 橋全体系の耐荷性能評価のため のモデル化手法の検討

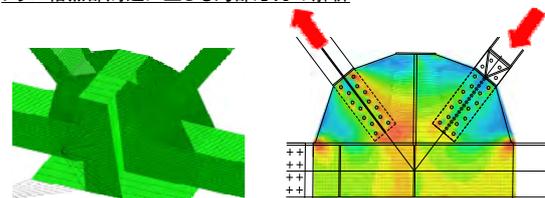
- 実橋計測、全体構造解析
- ・ 全体挙動の把握
- ・ 部材耐力喪失前後の耐荷性能の評価
- ・ 実務レベルモデルの適用性評価

主構部材破断時の全体挙動の解析



→ 部材破断が橋全体系の耐荷性能に与える影響を把握

トラス格点部周辺に生じる局部応力の解析



→ 局部応力の解析値と計測値は概ね一致すること、また、局部応力の卓越部位は、腐食が著しい部位と対応しており、構造的弱点となり得る可能性を確認

撤去橋梁調査; ASR損傷橋脚の調査(旧神戸橋)

路線名 : 一般国道9号
位置 : 島根県出雲市
構造形式 : 単純鋼合成箱桁橋 (5径間)
橋長 : 258m (5@51.5m)
竣工年 : 昭和39年 供用開始後45年

治水事業による道路の付け替えにより、今年度から撤去。

側道橋設置時に継ぎ足した橋脚はり部分に、アルカリ骨材反応 (ASR) と疑われる損傷



橋脚はり部のひび割れ状況

研究項目(旧神戸橋)

1. 解剖調査による劣化状況把握

- ・橋脚はり部のひび割れ部分の解体調査
ASRによる劣化状況(コンクリート内部の亀裂、鉄筋の腐食・破断)
- ・コンクリート劣化部分の材料・強度特性の把握



橋脚部分のひび割れ

2. 状態評価のための非破壊検査技術の適用性

- ・非破壊試験によるASRの影響の定量的評価可能性の検討
例) 超音波伝搬速度測定、衝撃弾性波伝搬速度測定
- ・非破壊試験による鉄筋破断部分の検知可能性の検討



あと施工アンカーの引抜き試験

3. 室内載荷試験による劣化部材の性能把握

- ・ASRひび割れ部に施工したあと施工アンカー筋の性能の把握

塩害による損傷橋梁のモニタリング(辺野喜橋)

■ 橋梁概要

- ・位 置： 沖縄県国頭村(村管理)
海岸線より50m
- ・諸元等： 単純RC桁橋(3主桁,支間長40m)
耐候性鋼材使用
- ・橋梁形式： 鋼単純合成桁橋(3主桁)
- ・橋 格： TL-14 幅員： 6.5m
- ・床版形式： 鉄筋コンクリート床版(16cm)
- ・架設年次： 1981年(昭和56年)
供用開始から28年



海側からの全景



桁下の状況



海側の状況(現道の奥が海岸線)

モニタリング状況(辺野喜橋)



崩壊直前映像

7月15日
17時37分
倒壊



倒壊後映像

特定の変状・損傷監視へのモニタリング技術(カメラ映像)を有効活用

⇒ 崩落過程を把握

管理者にも現地画像を配信。変状進行を察知、その後の対応に反映

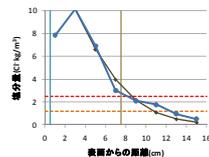
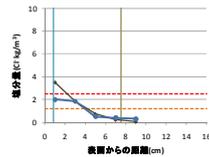
《課題》

- (1) 遠隔地での監視やデータ記録・確認のための情報通信の性能に応じたシステム構築
- (2) 過酷な環境条件で、記録機器を安定作動するための設置場所確保、設置方法検討
- (3) 使用環境、用途に対応したセンサ・計測機器の仕様検討
(耐環境性、自動露出機能、遠隔地からのカメラ操作機能に配慮)

沖縄県離島架橋100年耐久性検証プロジェクト

既設橋

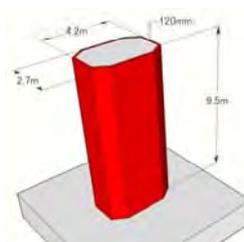
既往の多数の実橋梁に関する実態データの集積と分析



既設橋脚の塩分濃度を高さ方向に調査

新設橋(伊良部大橋)

コンクリート中への塩分浸透状況や鋼材の腐食状況を長期計測(建設時に、測定装置を設置)



将来のサンプリング用にかぶりを厚くした橋脚



現地暴露用供試体(181体) 実際の下部工に使ったコンクリートと同じ材料・同じ配合

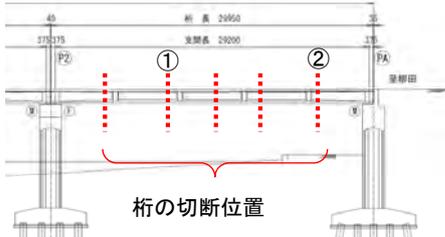
塩害橋の予防診断手法の高度化

撤去橋梁を活用した調査事例

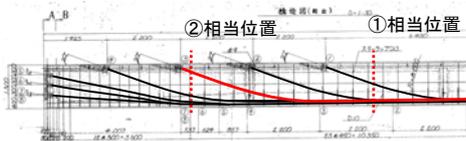
- PC橋梁撤去時にシース内のグラウト充填状況を調査



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

実橋を用いた非破壊検査技術の適用性確認調査

撤去橋梁での調査:開発者



- ・各種非破壊検査技術による調査
- ・民間へ、実橋での調査機会提供

非破壊検査による調査項目例

- ・コンクリート部材中の鋼材の配置、腐食状況
- ・鋼部材の残存鋼材料

適用性
確認

解剖調査:CAESAR

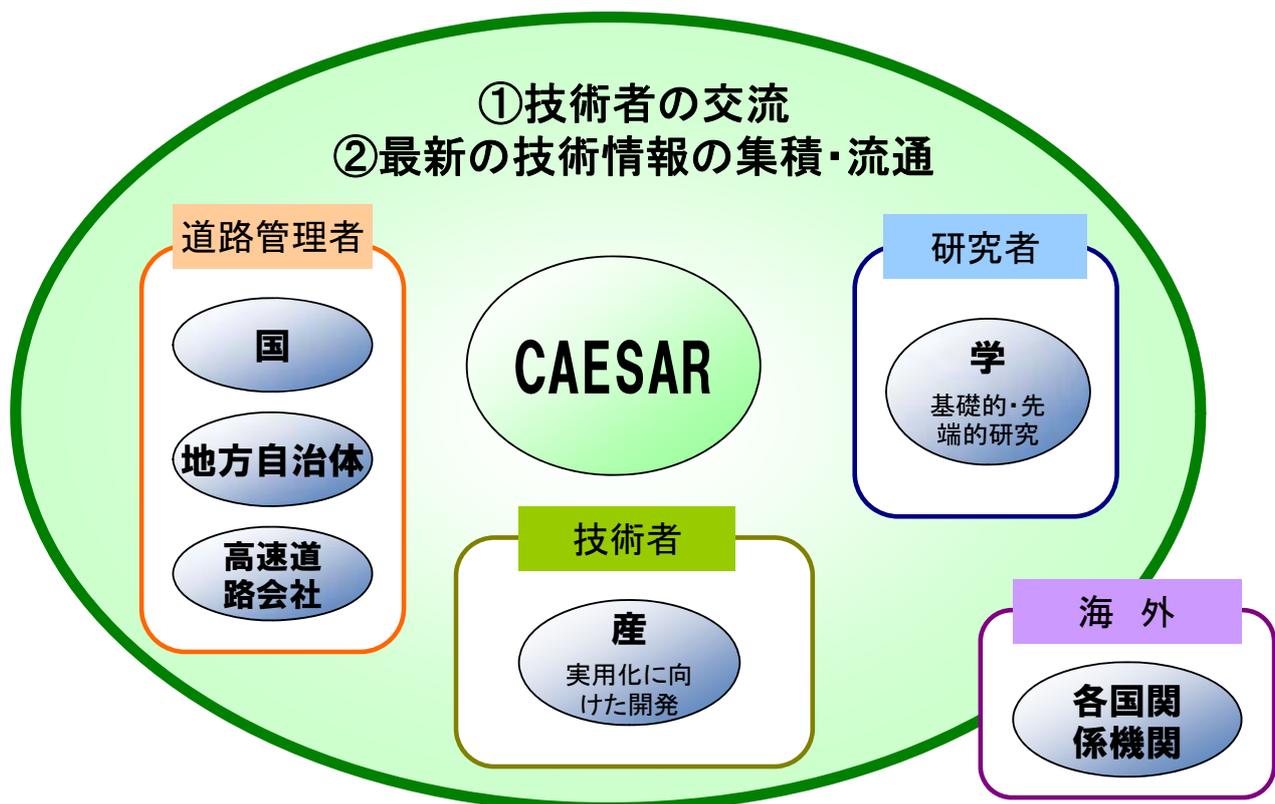


鋼材の配置、腐食状況



CAESARの活動－3 情報交流の場

- ①技術者の交流
- ②最新の技術情報の集積・流通



CAESARからの情報発信

《 CAESAR講演会 》

第1回;2008年8月6日 (設立記念講演会)

第2回;2009年8月26日

第3回;2010年8月24日

⇒橋梁の維持管理を取り巻く国内外の最新の状況・取り組みや、CAESARの活動内容・成果等について紹介



CAESARへの期待(アンケートより)

- 引き続き、講演会を始め情報提供を期待する。
- リーダーシップを持った研究への取組を期待する。
- 劣化メカニズムなど科学的な現象解明、劣化予測手法、健全性評価手法の開発に期待する。
- 維持管理分野の体系的な整理やロードマップの提示を期待する。
- 建設業界も維持管理の関わりに苦慮しており、ビジョンの提示に期待する。

→講演資料はCAESARウェブ上に掲載 (<http://www.pwri.go.jp/caesar/index-j.html>)

他機関と連携した技術研究と情報発信

《 理化学研究所/土木研究所 合同シンポジウム 》

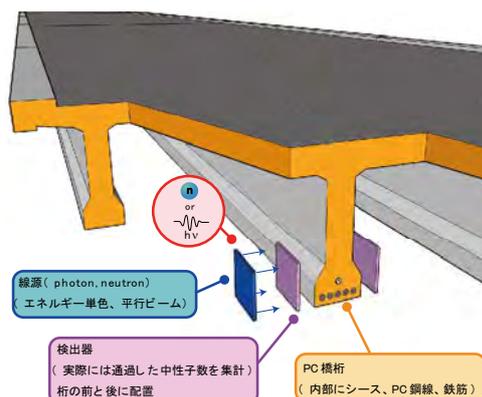
中性子による橋の透視への挑戦

—大型構造物の予防保全に向けた革新的な検査・評価技術—

と題して 2010年6月30日 に開催

⇒橋梁をはじめとした大型構造物の内部状況を非破壊で検査・評価する技術として開発が期待される、小型中性子イメージングシステム等新しい手法に関する取り組みを紹介。

橋梁の構造・維持管理等に関する知見を有する土研CAESARと、中性子に関する知見を有する理化学研究所の連携による取り組みを実施。



→講演資料はCAESARウェブ上に掲載 (<http://www.pwri.go.jp/caesar/index-j.html>)

国際的な情報収集・連携

○日本の技術を発信するとともに、海外の機関との情報交換を行う、わが国のポータルサイトとして活動

《最近の活動例》

- ・2009年1月 国際橋梁管理者会議(英国)
- ・2009年5月 天然資源の開発利用に関する日米会議
耐風・耐震構造専門部会(つくば)
- ・2009年10月 第25回日米橋梁ワークショップ(つくば)
- ・2010年3月 Forum for Bridge Engineering(台湾)



35

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



36