

性能に基づく橋の耐震設計と 今後の研究の方向性

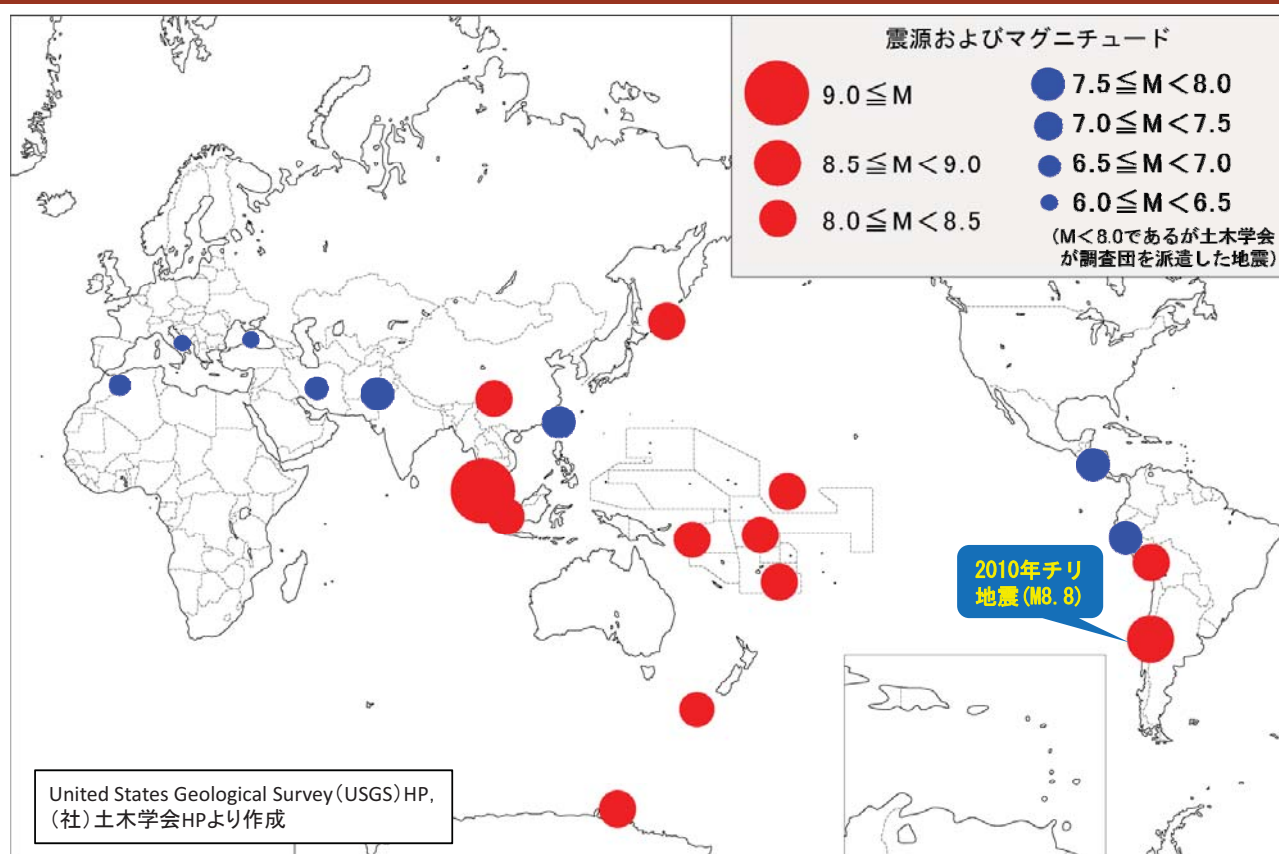
第3回CAESAR講演会

2010年8月24日

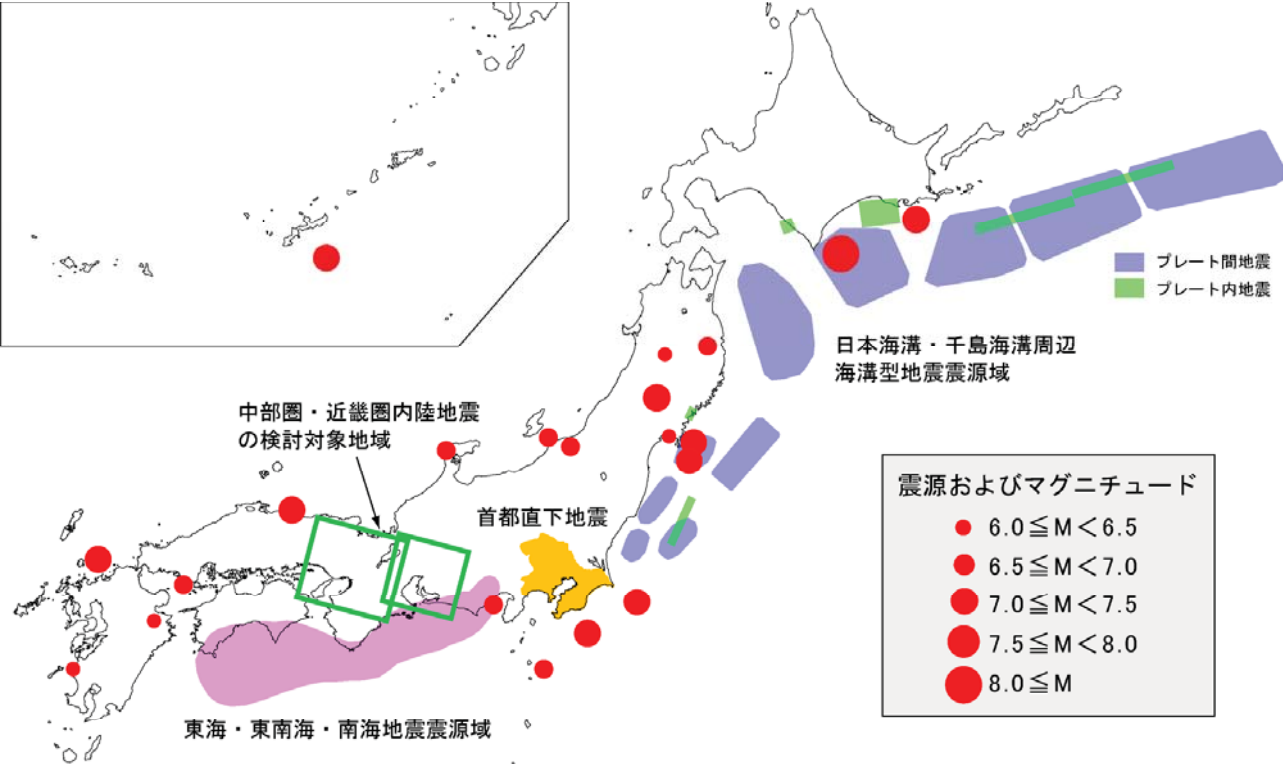
独立行政法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
上席研究員 星隈順一

提供:チリ公共事業省

最近15年の世界での主な地震と地震の規模

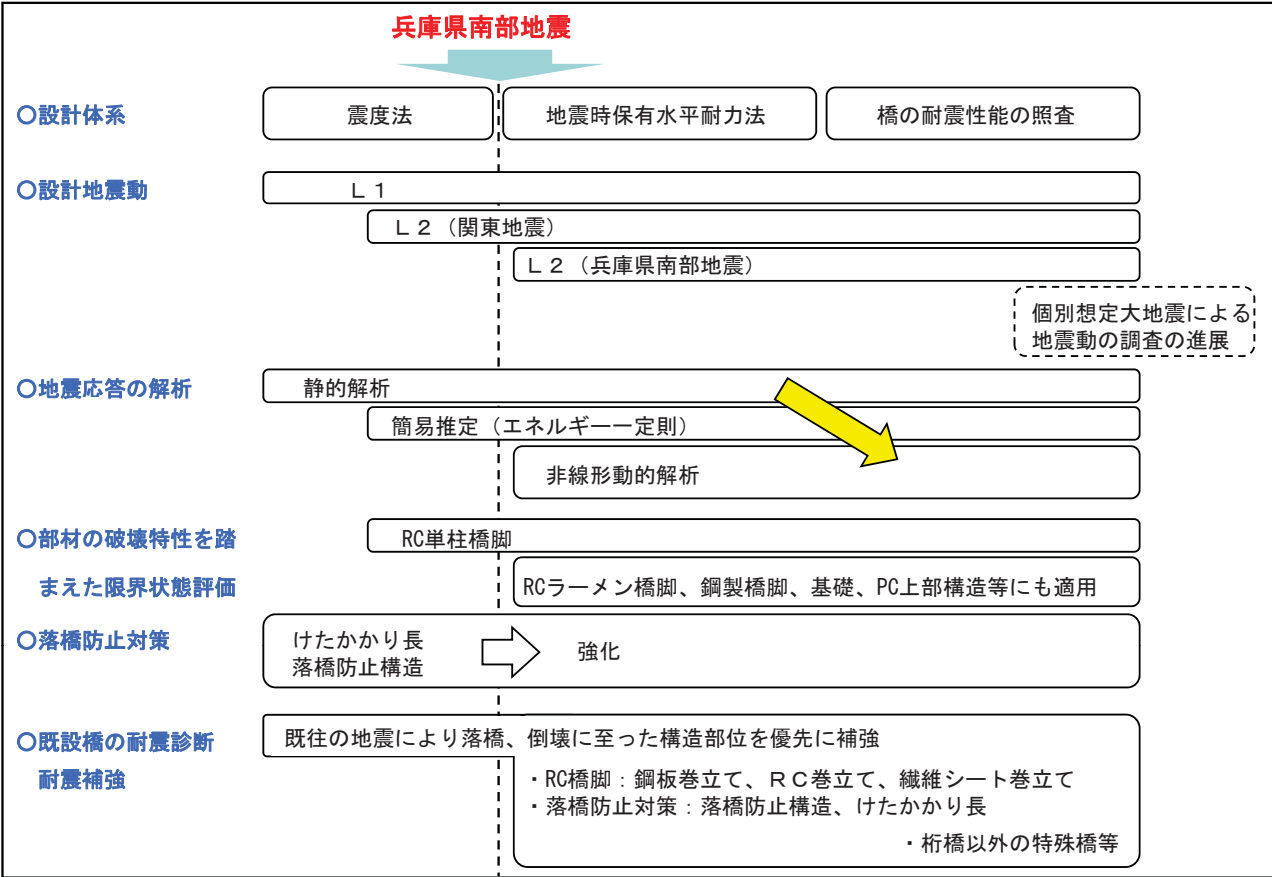


最近15年の日本付近での主な地震と逼迫する想定大地震の震源域



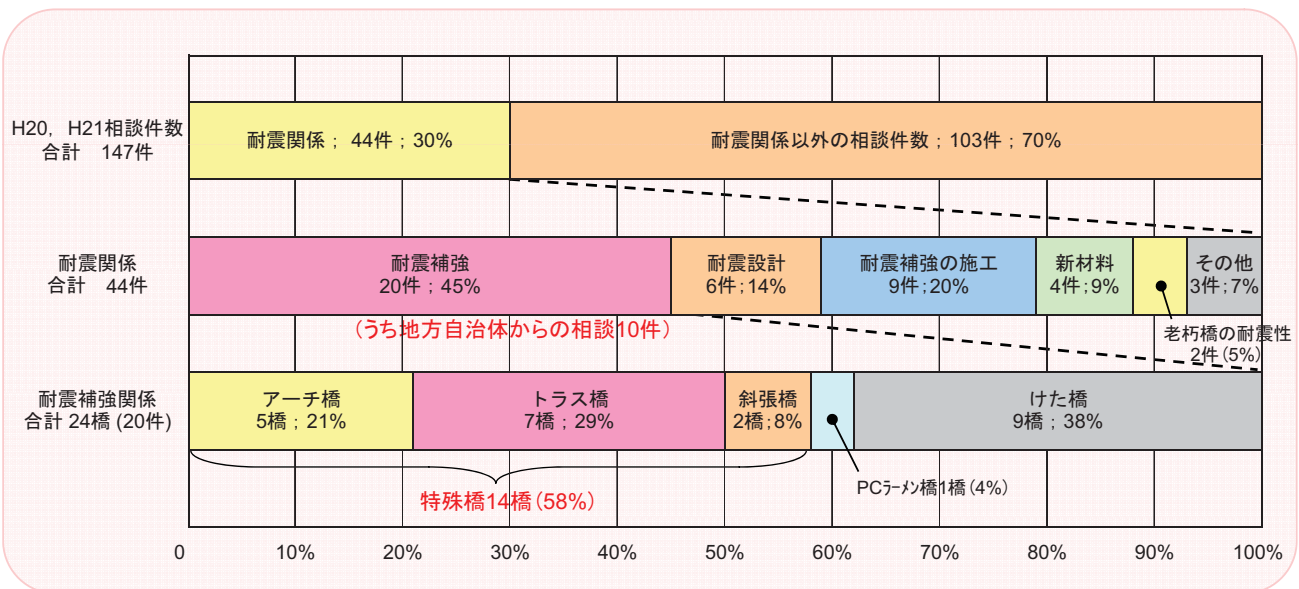
中央防災会議HPの情報より作成

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くばへの技術相談内容の分析

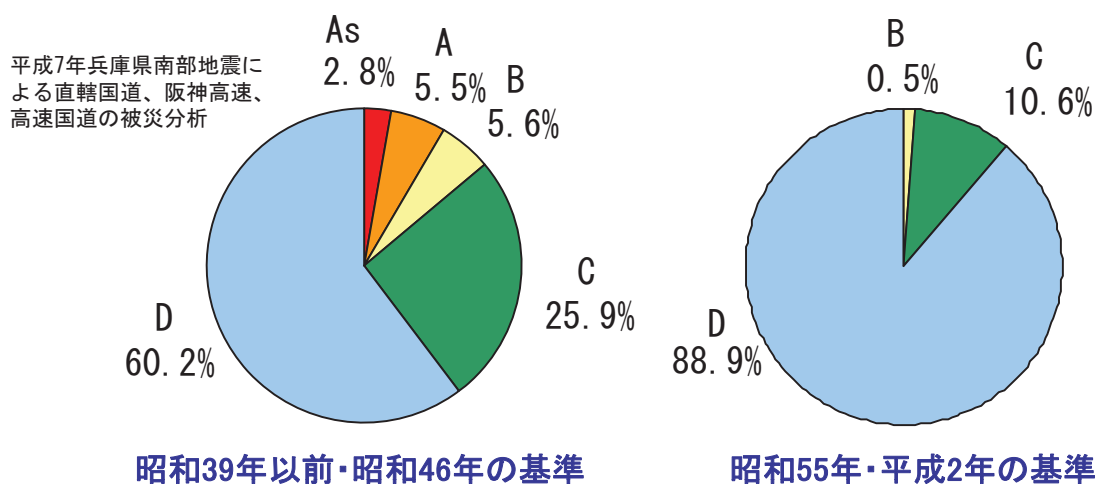
- 耐震補強に関する相談内容が半数以上を占め、その内半数は地方自治体からの相談
- 耐震補強に関する相談の対象構造としては、技術的に難易度の高いアーチ橋、トラス橋、斜張橋等の特殊橋に関する相談が増加
- 耐震補強工事の施工に関する相談も多い点は注視



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。



- 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

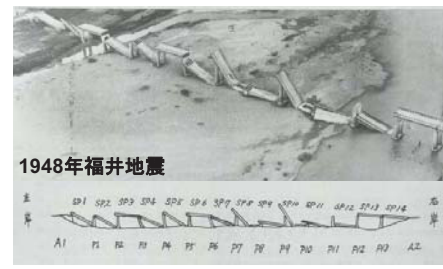
1891年濃尾地震から2008年岩手・宮城内陸地震までの地震による落橋事例をDB化



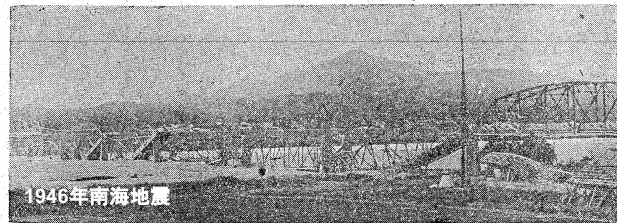
1891年濃尾地震



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

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
	壁式 ラーメン式 (連続橋の 固定脚)					倒壊、落橋の被災経験あり
	壁式 ラーメン式 (単純橋の 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 ↓ 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	H 8	H 2	S 5 5	S 4 6
特殊橋	アーチ橋 トラス橋 斜張橋	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		単柱式RC橋脚 に対する地震 時保有水平耐 力照査の導入	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	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
	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	
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
アーチ橋	アーチリブ、クラウン部	
	端部支柱	
	支承部	
アーチ橋		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
斜張橋	主塔を支える橋脚	
	支承部	
	ケーブル	
斜張橋		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

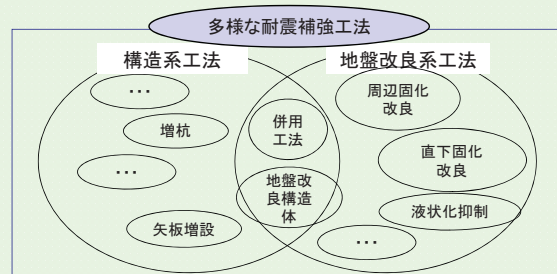


平成21年2月11日
橋梁新聞

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

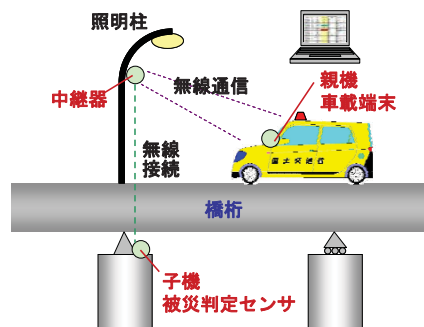
「損傷が限定的で機能回復が速やかに可能」な性能を求められる橋
(耐震性能2)

→ 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

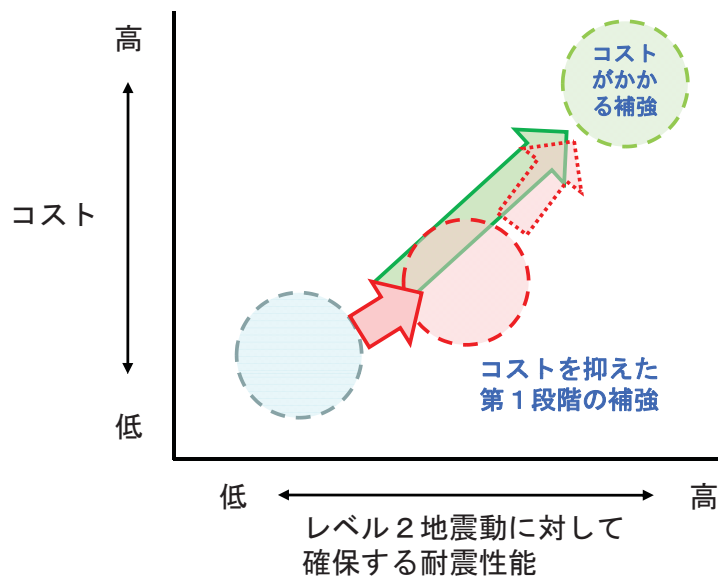
性能に基づく耐震設計技術

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



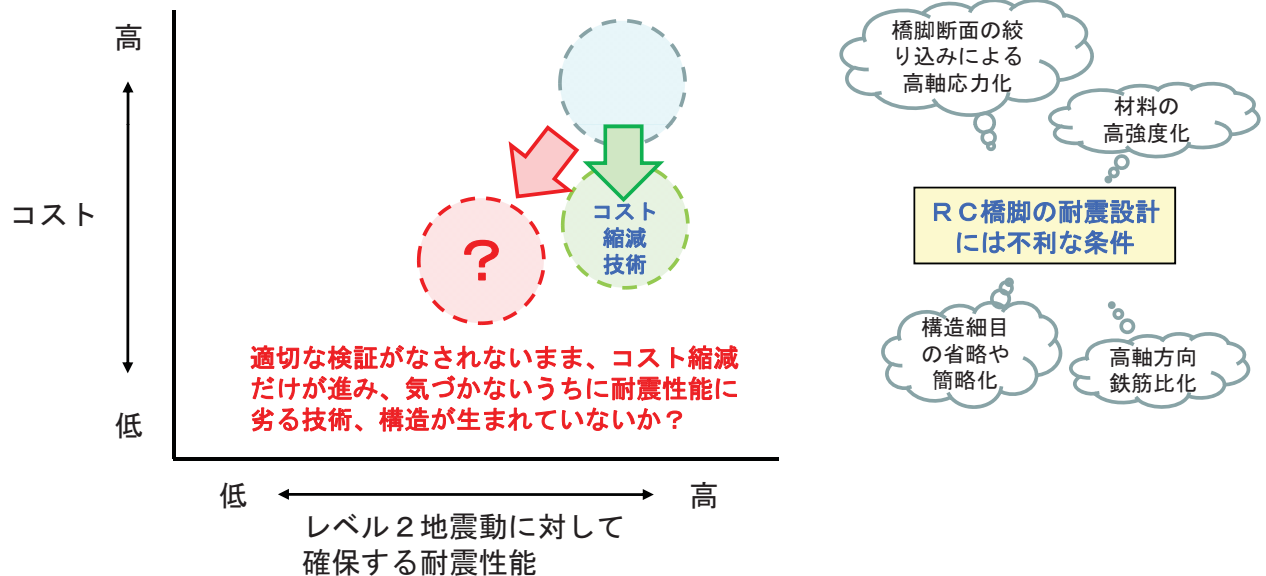
性能に基づく耐震設計技術

耐震性能の確保とコスト縮減技術

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」



コスト縮減と地震被害＜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



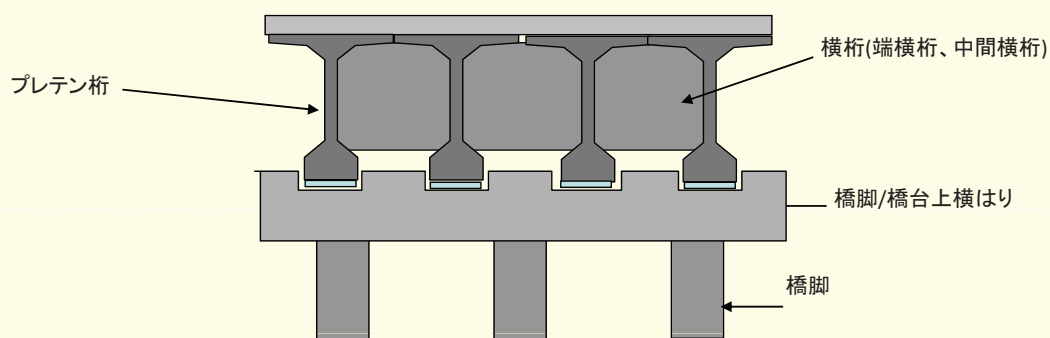
支持部から欠け落ちている



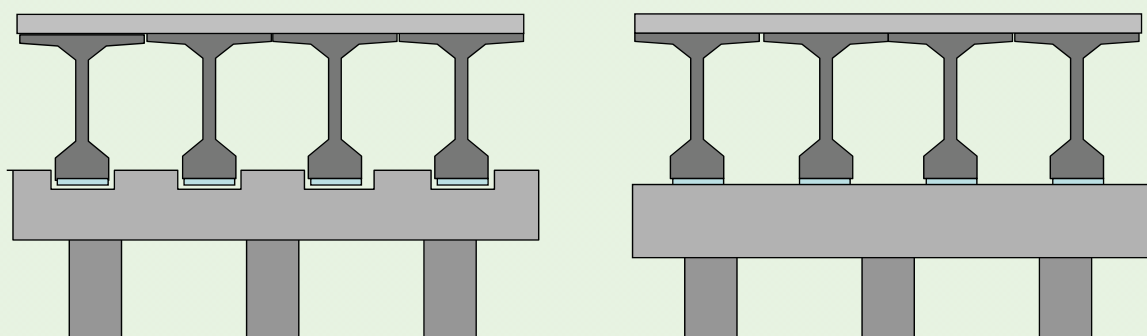
1990年代半ば以降に、民間委託として実施された道路事業で、建設コストの低減と建設期間の短縮を目的として技術提案された横桁や移動制限機構を設けないプレテンPC桁橋において被害が集中した。

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＞



提供:チリ公共事業省



提供:チリ公共事業省



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



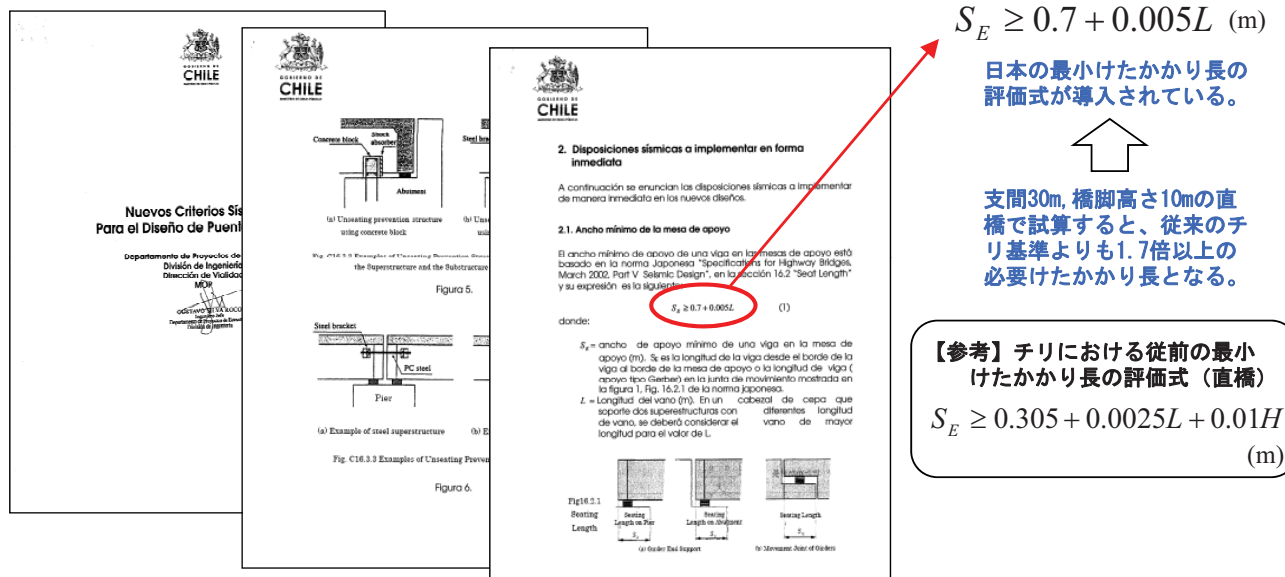
地震後の供用に伴う活荷重の作用により、損傷が急激に進展し致命的な被害に拡大する可能性があることから、重量規制の強化や桁の仮支持の必要性を助言

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



＜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



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