

性能に基づく橋梁の耐震構造計画 ・ 設計法に関する研究小委員会 活動報告

2022年度 第1回研究会

委員数 56名

(大学:15名、公的機関研究所・道路会社等:13名、民間:28名、2022年3月31日)

委員長：高橋 良和、副委員長：大住 道生

幹事長：藤倉 修一

幹事：小野 潔、秋山 充良、武田 篤史、松崎 裕、
藤田 亮一、豊岡 亮洋

活動概要

【経緯と目的】

平成9年8月に設立された「地震時保有耐力法に基づく耐震設計法の開発に関する研究小委員会」をスタートに続けられてきた小委員会。

本研究小委員会は、橋梁耐震に関わる性能を評価、照査、さらに配慮するために必要とされる学術的な研究課題について、専門領域を超えて研究・技術情報の交流を図り、耐震性能を踏まえた構造計画法の構築、および構造設計法の向上に資することを目的としている。

【活動等】

- 1) 「橋梁等の耐震設計シンポジウム」の開催（1回／年）
- 2) 耐震構造計画WG、耐震設計WG、耐震補WGの3WGで活動中
- 3) 令和2年3月からコロナウィルス状況により限定的な活動状況
→ 1年半の活動延長
- 4) 委員会全体としての議論を通じた報告書のブラッシュアップ中

橋梁等の耐震設計シンポジウム

平成10年以降ほぼ毎年開催

第24回シンポジウム：2021年7月20日、オンライン開催

投稿論文数は43編、参加者数は102名、優秀講演者賞を11名

第25回シンポジウム

日時 2022年7月19日(火)・20日(水)

場所 オンライン開催

参加費 正会員10,000円／人、学生会員6,000円／人、
非会員15,000円／人(講演論文集代含む)

特徴

1. 地震被害分析や復旧工事から、実務事例、小委員会で議論している耐震構造計画、設計、補強も含めて広範なテーマを募集
2. 40歳以下の若手研究者・技術者を対象とした優秀講演者表彰

WG1: 橋梁等構造物の耐震構造計画WG

【目的】 性能に基づく橋の耐震構造計画法の構築

構造物の大要が決定される以前の構造計画段階で耐震に関わる性能を考慮することは、構造物の所要性能を効果的に発揮させることに有効であるものの、現状では構造物の耐震性能は詳細設計である構造設計段階で検討されることがほとんどである。

そこで、構造計画段階から耐震性を考慮した設計を行うことによるメリットを明らかにし、その設計体系の構築を図ることを目的とする。

【活動内容】

- ①既存の設計体系における構造計画の位置づけの整理
- ②構造計画の観点からの過去の大規模災害の教訓の整理
- ③現状の橋梁構造計画における配慮事例の収集
- ④危機耐性も考慮した橋梁の耐震構造計画法の検討

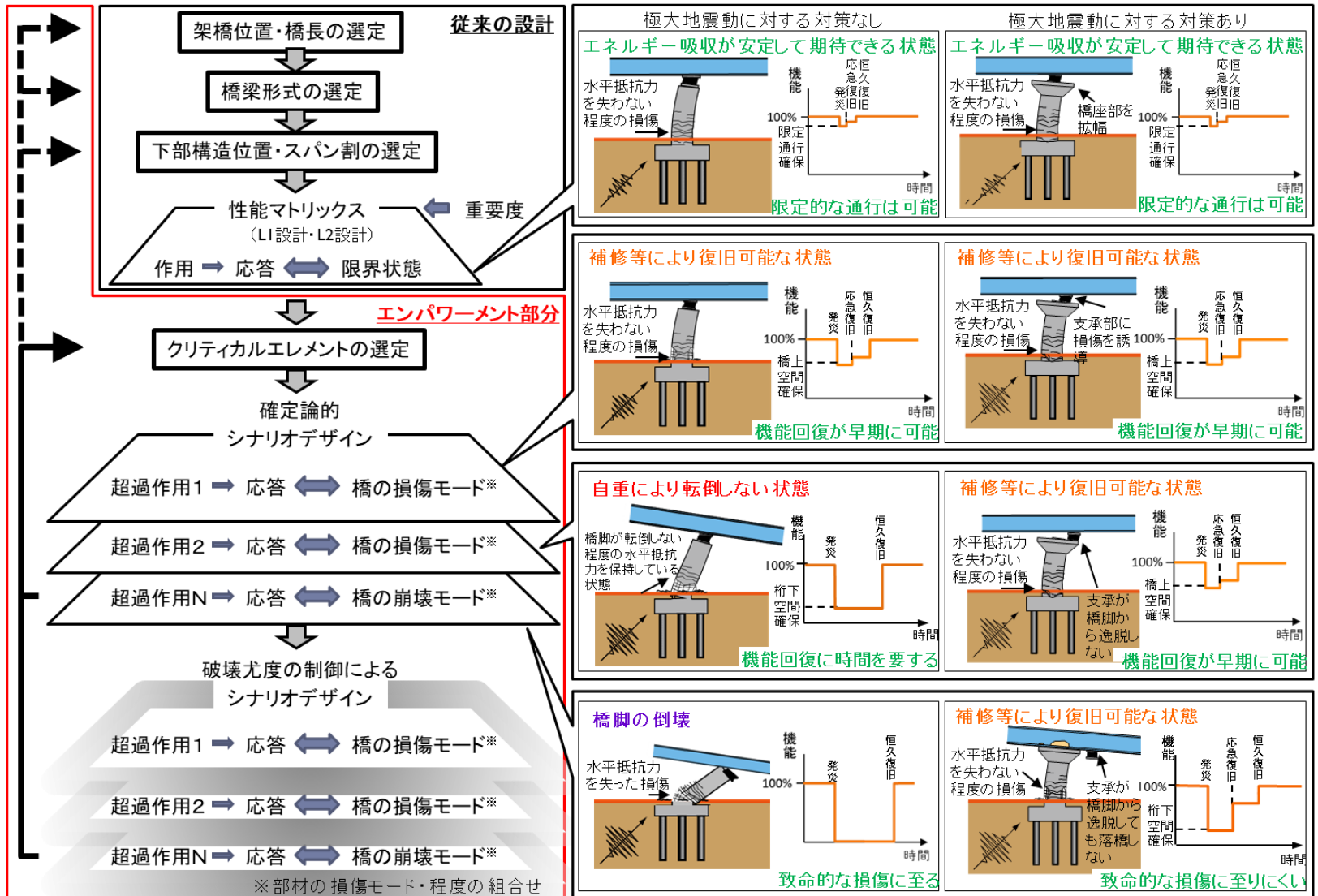
WG1: 橋梁等構造物の耐震構造計画WG

【活動報告】

- 令和3年度には、5回のWGを開催し、以下について検討
 - ・ 国内4つの技術基準（道路、鉄道、土木構造物共通、コンクリート）、海外4つの技術基準（AASHTO, Eurocode, NZ, Caltrans)について耐震構造計画に関連する規定を整理
 - ・ 耐震構造計画に配慮した既往の構造：7事例を調査、整理
 - ・ 最近の被災事例から得られる教訓：台湾花蓮、中国青海省の地震について調査、考察
 - ・ 計画段階から耐震性を考慮した設計体系を提案：ある損傷を想定したときに、橋梁が崩壊に至るシナリオを確認し、シナリオ毎の評価に基づき、誘導すべき損傷モードを選択する設計体系
 - ・ 計画段階から耐震性を考慮した耐震設計の検討例：3例を紹介
- これまでの成果を報告書形式にとりまとめた

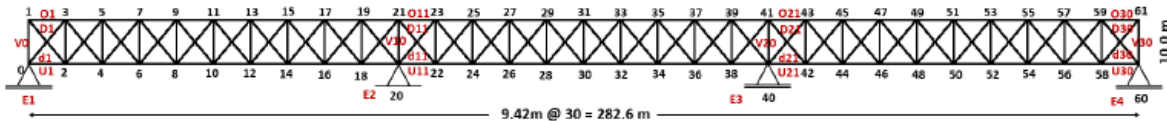
WG1: 橋梁等構造物の耐震構造計画WG

【成果の概要】 ○シナリオデザイン設計法

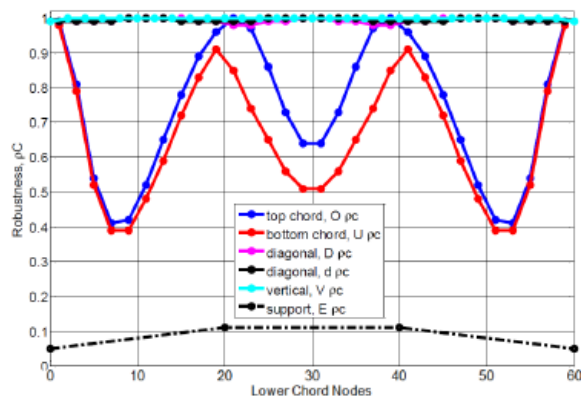


WG1: 橋梁等構造物の耐震構造計画WG

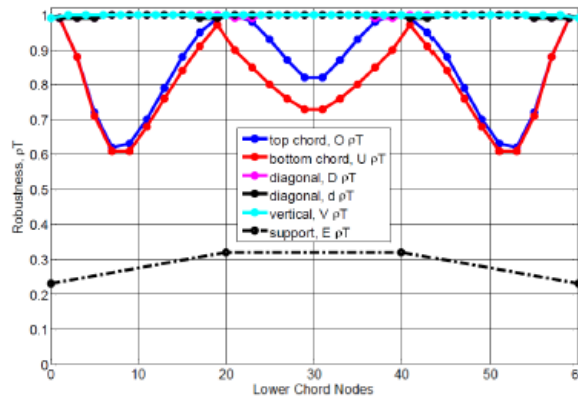
【成果の概要】 ○シナリオの評価方法



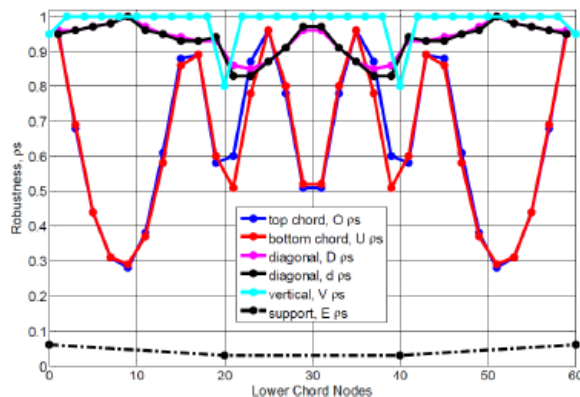
(a) 対象とする3径間複斜材トラス



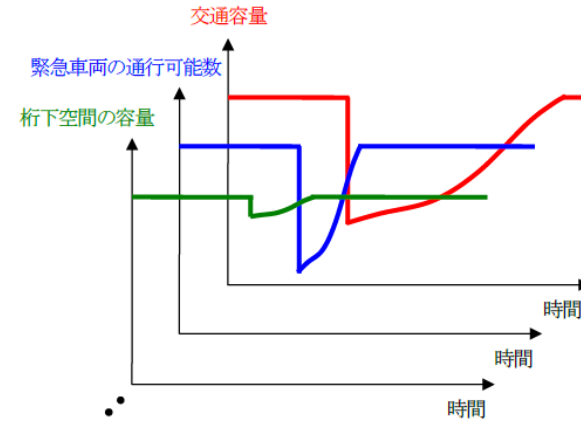
(b) 剛性マトリクスに関連するロバストネスインデックス



(c) 固有周期に関連するロバストネスインデックス



(d) 変位に関連するロバストネスインデックス



レジリエンス曲線群

$$\rho_c = \frac{C_0}{C_1}$$

$$\rho_T = \frac{T_0}{T_1}$$

$$\rho_s = \frac{S_0}{S_1}$$

$$c = \frac{\max_i \lambda_i(K)}{\min_i \lambda_i(K)}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\max_i \lambda_i(K^{-1}M)}$$

$$s = \|s\| = \|K^{-1}f\|$$

WG2: 橋梁等構造物の耐震設計

【目的】 現行の耐震設計法の検証および新たな設計法の検証

兵庫県南部地震直後、積極的に海外と我が国の設計法との比較が行われた。その後、約20年が経ち、地震時保有水平耐力法が我が国の設計の主流となったが、海外では、近年、リダンダンシーやロバスト設計といった新しい考え方が導入されている。

本WGでは、現行の耐震設計法を検証するとともに、国内外の耐震設計法の比較と整理を行い、新たな設計の考え方の検証を行うことを目的とする。

【活動内容と実績】

① 橋梁構造物に対する海外の耐震設計法

- 国内外の耐震設計法の比較と整理を行う。

CALTRANS(米国加州)、New Zealand、Euro、道示

② 橋梁構造物に対する国内の耐震設計法

- 国内の現行の耐震設計法を検証する。

 WG報告書として取りまとめ(現在査読中)

WG2: 橋梁等構造物の耐震設計 【報告書目次構成】

第1章 はじめに

第2章 道路橋示方書を用いた耐震設計の実践

- 2.1 実務者を対象とした道路橋示方書を運用する上での課題に関するヒアリング調査
- 2.2 1995年兵庫県南部地震後耐震設計基準で設計された道路橋の耐力階層化状況
- 2.3 地震応答解析結果を用いた耐力階層化状況の確認
- 2.4 橋脚と基礎構造の静的な降伏耐力比が橋の地震応答に与える影響
- 2.5 ひずみ硬化型の骨格曲線を有する免震支承を用いた橋の地震応答
- 2.6 実務者を対象とした免・制震デバイスの取付部の設計荷重に関するヒアリング調査
- 2.7 まとめ

第3章 海外の耐震設計法の比較

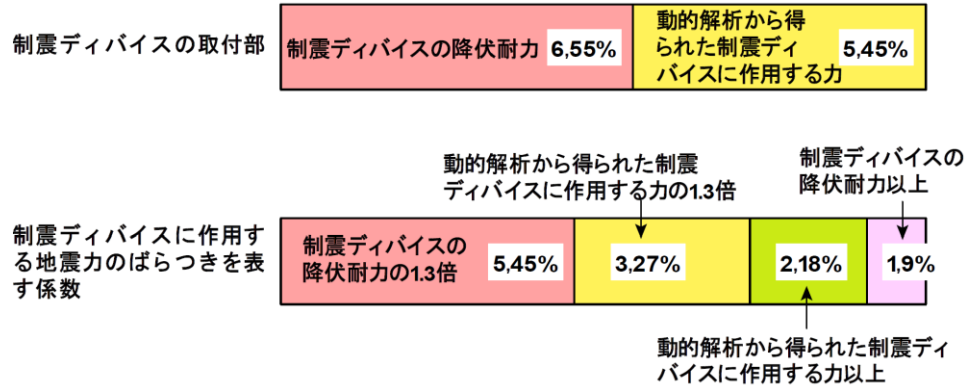
- 3.1 海外における耐震設計基準との比較表
- 3.2 ヨーロッパの耐震設計法
- 3.3 アメリカの耐震設計法
- 3.4 ニュージーランドの耐震設計法
- 3.5 まとめ

第4章 各基準で耐震設計された橋梁の特徴

- 4.1 まえがき
- 4.2 ヨーロッパで耐震設計された橋梁の特徴
- 4.3 アメリカで耐震設計された橋梁の特徴
- 4.4 ニュージーランドで耐震設計された橋梁の特徴
- 4.5 まとめ

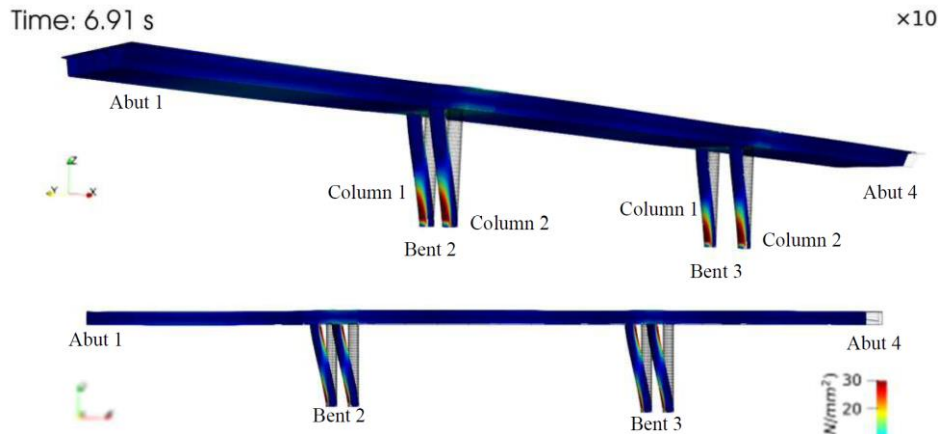
WG2: 橋梁等構造物の耐震設計 【成果例】

SWG1: 道路橋示方書を用いた耐震設計の実践



制震構造取付部の設計荷重に関する聞き取り調査結果

SWG2: 海外の耐震設計法の比較



Caltrans基準で設計された橋梁を道示で照査

WG3: 橋梁等構造物の耐震補強

【目的】耐震補強に携わる技術者・研究者に有用な情報を収集提供するとともに今後の耐震補強のあり方を議論・提言する

- 制約条件を考慮した性能目標の設定や補強設計が必要
 - 都市部など制約の厳しい条件下での設計事例や判断事例の蓄積
 - 設計上の配慮が多数（常時の性能との兼ね合い・損傷制御etc）
- 兵庫県南部地震以降、耐震補強のデバイスや工法が数多く開発
 - 性能目標を実現するデバイスや工法の選定
- 高度シミュレーションや地震観測などの活用

【活動内容と実績】

- 近年の地震被害事例とその教訓の整理（熊本地震以降を中心）
- 耐震補強の性能目標設定、損傷制御設計の事例整理
- 上記＋WGの議論を踏まえ、今後の耐震補強の方向性を示す
- 令和3年度には、6回のWGを開催



WG報告書として取りまとめ（現在査読中）

WG3: 橋梁等構造物の耐震補強【報告書目次構成】

1章 はじめに

2章 地震被害を教訓とした耐震補強

2.1 近年の地震被害を受けた課題と対策

2.1.1 近年の地震被害事例とその対策

2.1.2 示方書の改訂動向

2.2 過去の地震による教訓・教訓を踏まえた補強事例(ロッキング橋脚)

2.2.1 地震による損傷事例

2.2.2 補強設計の考え方

2.2.3 補強事例

3章 耐震補強の事例と設計の方向性

3.1 近年の耐震補強事例

3.1.1 耐震補強設計の事例(国内)

3.1.2 耐震補強設計の事例(米国)

3.2 補強設計の性能目標の考え方と損傷制御設計

3.2.1 概要

3.2.2 各種基準・手引きにおける考え方の例

3.2.3 制約条件下における性能目標設定の事例と考え方

3.2.4 損傷制御を意識した設計事例

3.2.5 極限挙動を追跡する解析法

3.2.6 補強設計の方向性

3.3 基礎の補強要否と補強法

3.3.1 基礎の損傷事例および耐震補強設計の事例

3.3.2 基礎の耐震補強設計上の留意事項

3.3.3 基礎の限界状態と構造全体に与える影響

3.4 付帯構造物の補強の設計法

3.4.1 付帯構造物の損傷事例

3.4.2 付帯構造物の照査法

3.4.3 付帯構造物の耐震補強の事例

3.5 構造物の地震観測の事例とその活用

3.5.1 地震観測事例

3.5.2 地震観測の活用と今後の展望

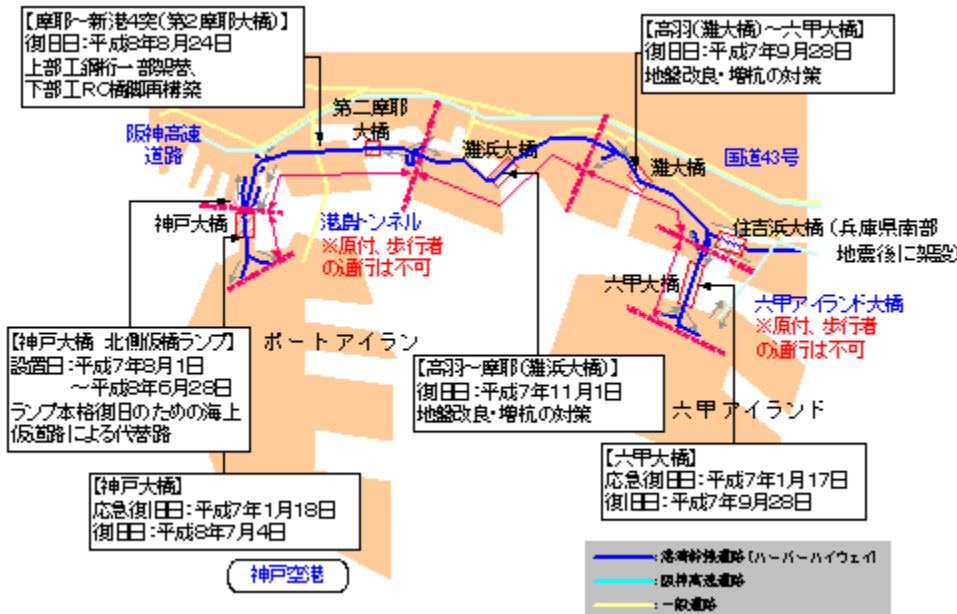
4章 まとめ

WG3:【主な検討成果】 今後の耐震補強に必要な考え方

①部分補強から橋全体系、ネットワークを考慮したメリハリのある補強戦略

新設並の性能確保が難しい場合、個別の橋の構造条件と橋に求められる耐震性能を踏まえて適切に耐震補強設計を行う必要がある。また、必要に応じて優先順位付け（主に復旧性の観点から）も必要。

→柱単体など部分補強を主体とする補強から、橋全体や道路ネットワークとして機能を発揮させることを目的とした補強が求められる。報告書ではそうした事例を多数収集・整理した。また、耐震補強が常時の性能に影響しないような配慮も必要となる。



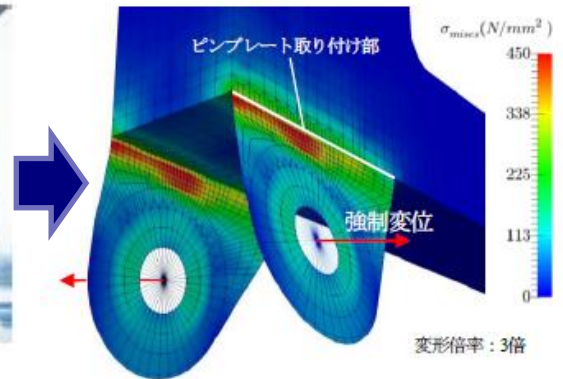
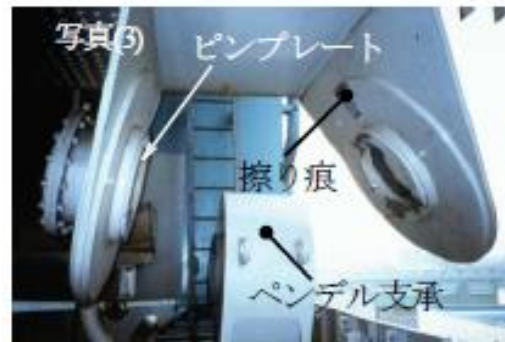
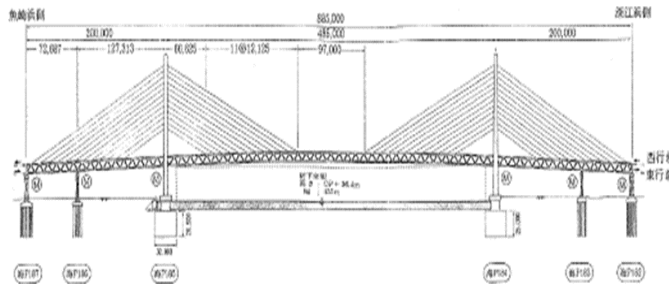
橋梁名	神戸大橋	第2摩耶大橋	灘浜大橋	灘大橋	六甲大橋	住吉浜大橋
役割	人工島と市街地との連絡 (ポートアイランド) ふ頭間の連絡 神戸空港、中央市民病院 ライフラインの系集	ふ頭間の連絡 (ポートアイランド、新港突堤～ 摩耶ふ頭)	ふ頭間の連絡 (摩耶ふ頭～六甲アイランド)	ふ頭間の連絡 (原野～六甲アイランド) ふ頭間の連絡 人工島と市街地との連絡	人工島と市街地との連絡 (六甲アイランド) ふ頭間の連絡 新交通の走行(完成) ライフラインの系集	阪神高速道路との連絡路
機能 (通行料金)	物流・生活道路 (無料)	物流 (有料)	物流 (有料)	物流・生活道路 (無料)	物流・生活道路 (無料)	物流・連絡路 (無料(歩行者))
通行車両等	自動車等、原付、歩行者	自動車等、原付	自動車等、原付	自動車等、原付	自動車等、原付、歩行者	自動車等
断面交通量	65,124 港島トンネル	26,802	28,810	57,747	48,731	26,811
代替ルート(案)	※原付、歩行者の通行は不可	摩耶大橋 又は 国道43号	国道43号	御影大橋 又は 東部第2工区立体改良橋	阪神高速沿岸線 (六甲アイランド大橋) 又は ※原付、歩行者の通行は不可 新交通の代替ルート無し (バスによる代替輸送)	阪神高速沿岸線 (六甲アイランド大橋) 又は 六甲大橋 又は御影大橋又は東部第2工区立体改良橋 国道43号
耐震性能 グレード	Aランク	Cランク	Cランク	Bランク	Aランク	Bランク

【ネットワークを考慮した補強戦略の事例】①
ハーバーハイウェイ長大橋6橋の位置関係、役割・特徴と耐震性能グレード

同一レベルの補強ではなく、ネットワークの中の機能を考慮した優先順位付け事例

WG3:【主な検討成果】 今後の耐震補強に必要な考え方

- ②実挙動に即した応答値，限界値およびこれに必要な解析法・試験
→新設：安全側の配慮／既設補強：実態に即した評価 が必要
- ③危機耐性の観点からの極限解析法
- ④落橋防止システム取付部を含む支承部まわりの耐力階層化，損傷制御設計
→高度シミュレーションや地震観測の活用による設計モデル、解析精度の向上
確実に損傷制御を実現、極限シナリオの導出
- ⑤道路・鉄道システムの維持の観点からの付帯構造物の耐震補強



【長期地震観測へのインセンティブが働く事例】②～④
最新の知見を用いた兵庫県南部地震時の長大斜張橋の被害事例の再現
被害調査および地震観測を行っていたことで再現解析が可能→解析モデルや評価法の高度化へ

最終成果報告会

- 6月中旬まで成果報告書の査読を行い、ほぼ最終版の報告書を用いて6月、7月の小委員会で確認。その意見を反映させた成果報告書を9月中旬に入稿。
- 開催日程：10/12(水) 15-17時
- 開催形態：土木学会会議室収容可能人数を踏まえ検討中。



ご清聴を感謝します。