

「橋梁の免震設計に関する講習会」

道路橋の免震構造研究委員会

研究委員会活動報告（1）

—わが国の特徴的な免震橋—

国土技術政策総合研究所 運上 茂樹



財団法人 土木研究センター

Public Works Research Center

研究委員会成果に関する報告内容

■ 研究委員会の活動

- ・ 活動概要
- ・ 免震橋の設計施工、免震デバイスに関する技術資料の収集、整理

■ 研究委員会の最終成果

- 1) 「わが国の免震橋事例集」
→ 我が国の特徴的な免震橋
- 2) 「道路橋の免震・制震設計法マニュアル(案)」

研究委員会の活動（1）

■ 研究の背景

- ・平成7年兵庫県南部地震以降に免震橋の建設が増加。
兵庫県南部地震から10年以上が経過
 - ・免震橋の建設が進むとともに、その後、新しい免震支承やダンパー等のデバイスの研究開発、設計・施工上の改良も進展
- 免震技術について、現時点で整理、検討し、今後の免震技術の開発や普及に役立てることを目的として活動

■ 活動期間

- ・平成17年10月～平成21年3月までの3箇年半
- ・その後一部委員による報告書の推敲・まとめ作業

■ 委員会メンバー

- ・委員長：東京工業大学川島一彦教授
- ・学、産、官メンバー（委員会とWGで検討）

研究委員会の活動（2）

■ 免震橋に関する技術資料の収集、整理

1. 道路橋の免震構造に関する現状

- ①免震橋は何橋あるか
- ②現状どのように免震設計されているか
- ③免震橋の採用理由は

2. 免震構造で苦労している点や工夫した点

- ①免震橋の設計施工で苦労している点と工夫した点
- ②免震支承の製作で苦労している点と工夫した点

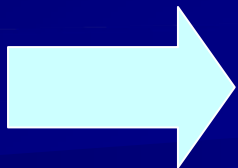
3. 免震支承の性能試験結果の技術資料化

- ①免震支承の試験と目的の整理
- ②性能試験結果の利用と情報の共有化

4. 将来の免震設計への提案

○技術資料としてまとめ

- ①「わが国の免震橋事例集」
- ②「道路橋の免震・制震設計法マニュアル(案)」



わが国の免震橋事例集（1）

■ わが国の免震橋事例集

- ・ 現在、免震構造は多径間連続橋において一般的に採用
- ・ わが国における免震橋梁技術に関するこれまでの技術開発とともに、新設、震災復旧、耐震補強等、実際の現場への適用の発展・展開を技術データ集としてとりまとめ
- ・ アンケート調査に基づくわが国の免震橋の特徴のまとめ

■ いろいろと工夫や検討がされて参考となる特徴的な免震橋の事例

- ・ 多径間橋や長大橋に対する適用例
- ・ 免震設計を用いた震災復旧・耐震補強に対する適用例
- ・ 支承サイズの大きい免震支承の例
- ・ 新しい支承構造、ダンパー等を使用した例
- ・ ジョイント部の変位対策、落橋防止構造に工夫された例
- ・ 地震記録が観測された例、等

わが国の免震橋事例集（２）

■ 謝 辞

- ・ 本事例集は、これまで建設された免震橋の設計・施工に関する技術報告資料のエッセンスをまとめたもの
- ・ 個々の免震橋の設計・施工に携わられた各位、また、引用させていただいた技術報告資料の著者各位
- ・ 免震橋の現況調査アンケートに協力いただいた国土交通省本省、関東地方整備局を始めとする地方整備局の関係各位
- ・ 道路橋の免震構造研究委員会の委員・幹事各位

わが国の免震橋事例集：目次

第1章 わが国の免震橋梁技術の開発

- 1-1 はじめに
- 1-2 免震支承と免震設計法の開発
- 1-3 免震橋梁の建設の推進

第2章 免震橋に関する技術データ集

- 2-1 わが国の代表的な免震橋
- 2-2 地震によって被災した橋梁を免震構造によって復旧された橋
- 2-3 免震構造によって耐震補強された橋
- 2-4 免震構造や免震支承に特徴がある免震橋
- 2-5 地震観測記録が得られた免震橋と免震建築物
- 2-6 免震橋の施工技術

第3章 統計データからみたわが国の免震橋の特徴

- 3-1 免震橋のアンケート調査
- 3-2 免震橋の基本構造条件
- 3-3 免震橋の傾向分析

参考資料

1. アンケート調査様式
- 2, 3. 免震設計の傾向分析に用いた関東地方整備局管内における免震橋梁の集計結果と一例

わが国の免震橋梁技術の開発（1）

■ 耐震設計と免震設計

- ・耐震設計（Seismic (Resistant) Design）
- ・免震設計（Seismic Isolation Design）
- ・免震設計の力学的基本条件
 - 免震支承により上部構造を水平方向に軟らかく支持する（長周期化）と同時に、振動エネルギーの吸収を図る（高減衰化）
 - 地震時の挙動を免震支承でコントロールするための部材間の強度バランス設計（Capacity Design）

■ 免震支承と免震設計法の開発

- ・道路橋に対する免震設計技術の本格的な適用に関する技術開発
- ・「免震装置を有する道路橋の耐震設計研究委員会」（昭和61年～）
 - 「道路橋の免震設計法ガイドライン（案）」（平成元年3月）
- ・建設省土木研究所と民間28社（平成元年～3年度）
 - 「建設省 道路橋の免震設計法マニュアル(案)」（平成4年3月）
 - ①高減衰積層ゴム支承の開発
 - ②免震設計法の開発
 - ③免震装置の性能確認試験方法の開発

わが国の免震橋梁技術の開発（2）

■免震橋の建設の推進

- 国土交通省（旧建設省）：研究開発に並行し5橋の免震橋のパイロット施工
 - 静岡県の宮川橋（3径間連続鋼I桁橋）（わが国初）
 - 岩手県の丸木橋大橋（3径間PC箱桁橋）
 - 栃木県の山あげ大橋（6径間PC箱桁橋）、他
- 平成7年の兵庫県南部地震以降
 - 被災橋の復旧を含め、新設の多径間連続橋において免震構造の採用が一般的
 - 既設橋：走行性の向上と交通振動の低減、維持管理性の向上を目的として既設の単純桁の連続化・ノージョイント化と耐震性の向上を図る耐震補強
- 免震橋：現在は基準にも取り入れられ一般化
 - 国道：207橋（平成21年末）
 - 高速道路や地方道を含めると約500橋

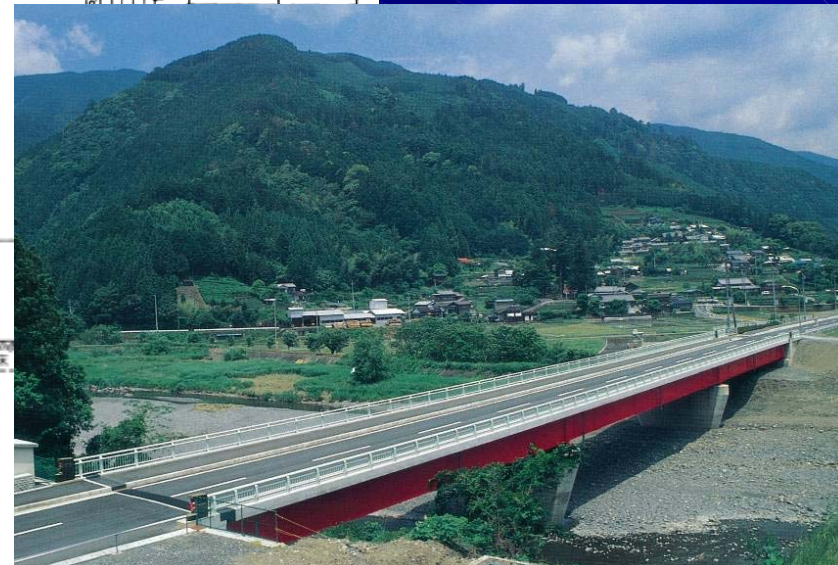
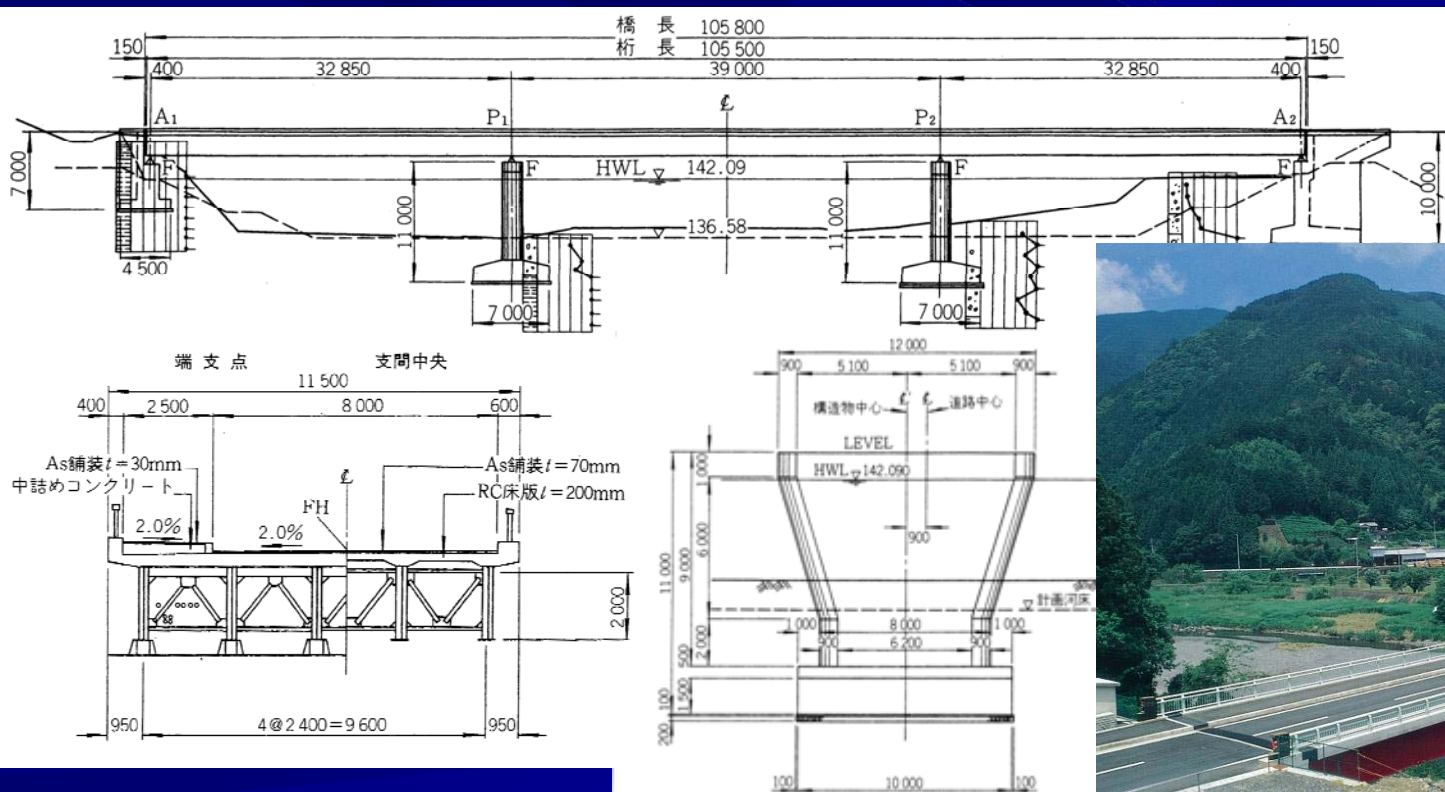
2-1 わが国の代表的な免震橋

- ①わが国最初の免震橋（宮川橋）
- ②わが国最初の高減衰積層ゴム支承（HDR）を用いた免震橋（山あげ大橋）
- ③わが国最初の超多径間連続免震橋（大仁高架橋）
- ④わが国最長の超多径間連続免震橋（天竜川橋）
- ⑤ストッパーとダンパー及び免震支承を併用したPC 斜張橋（矢部川大橋）
- ⑥不等高の鋼管・コンクリート複合構造橋脚を有する免震橋（芝川第一高架橋）
- ⑦橋脚基部に免震支承を有する免震橋（強戸高架橋、田端高架橋、高宮高架橋）

．．．．．その他

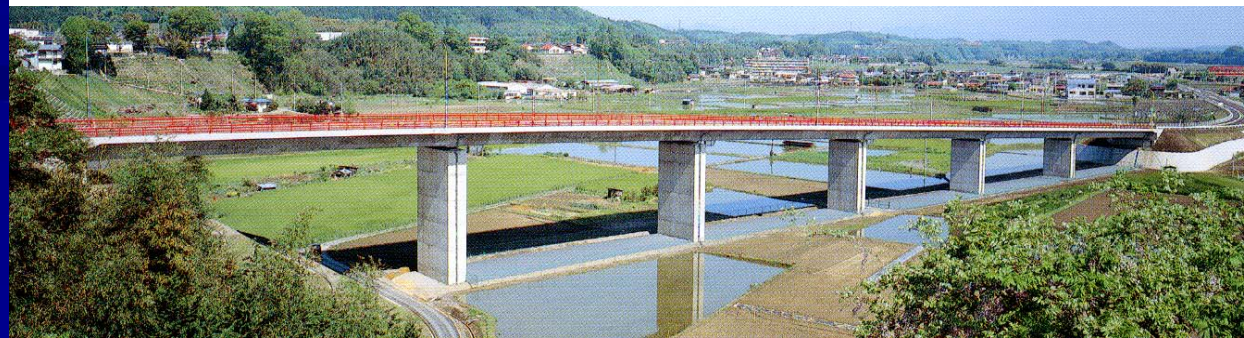
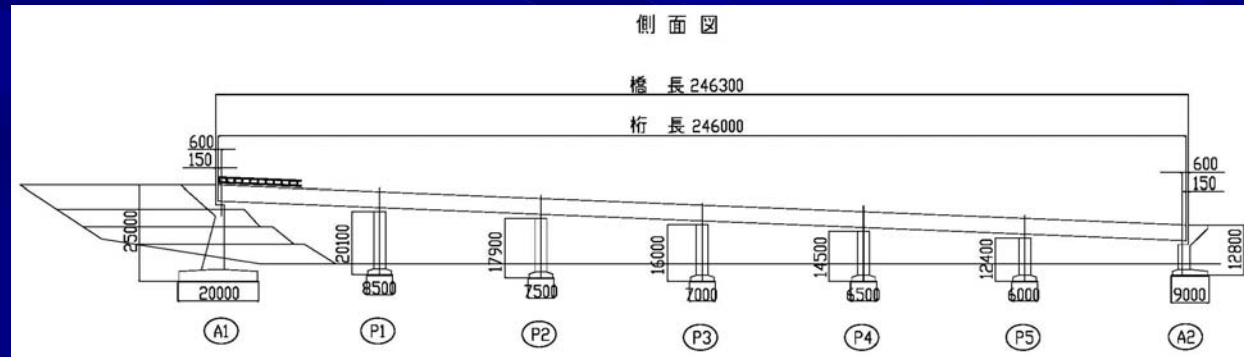
①わが国最初の免震橋（宮川橋）

- 国道362号・静岡県：1991年3月供用開始
- 3径間連続鋼鈹桁橋
- 橋長：105.8m（32.85+39.0+32.85m）
- 免震支承：鉛プラグ入り積層ゴム支承（LRB）
- 免震設計法ガイドラインの適用（減衰性能の向上は見込まない設計）
- 国土交通省（建設省）によるパイロット事業の1橋
 - ・ 起振機実験、急速解放ジャッキ実験、地震観測の実施



②わが国最初の高減衰積層ゴム支承（HDR） を用いた免震橋（山あげ大橋）（1）

- 国道294号・栃木県：1992年竣工
- PC6径間連続箱桁
- 橋長：246.3m（6@40.8m）
- 免震支承：高減衰積層ゴム支承（HDR）
- 免震設計法ガイドラインの適用（減衰性能の向上は見込まない設計）
- 国土交通省（建設省）によるパイロット事業の1橋
 - ・ 起振機実験、急速解放ジャッキ実験、地震観測の実施
 - ・ 10年間供用された免震支承の耐久性確認試験の実施



②わが国最初の高減衰積層ゴム支承（HDR） を用いた免震橋（山あげ大橋）（2）

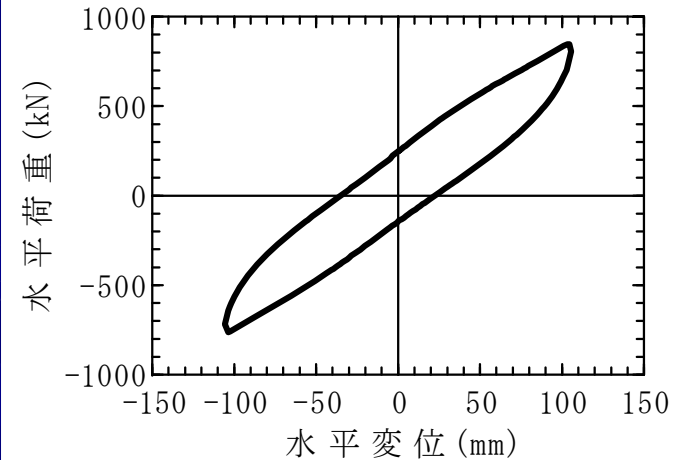
■ 実免震支承の交換工事の施工



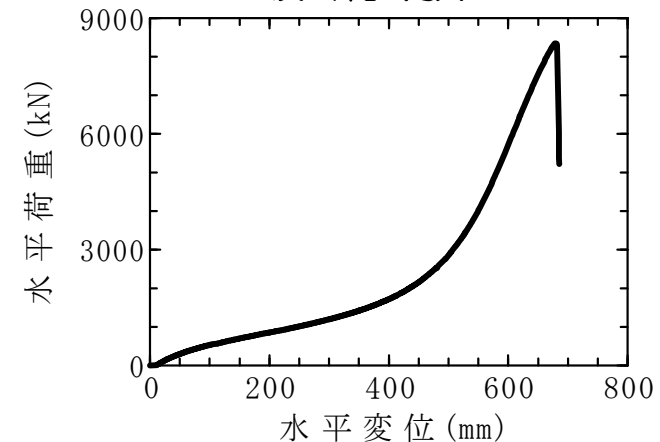
■ 免震支承の耐久性確認試験

- ・ 10年間供用された2つの免震支承の特性確認試験
- ・ 繰返しせん断試験
 - 等価剛性は3~4%の硬化傾向
 - 等価減衰定数は明確な変化確認されず
- ・ 破断試験
 - 破断せん断ひずみ455.5%
- ・ 10年までは熱劣化促進試験による経年変化予測結果と概ね調和的傾向

繰返しせん断試験



破断試験



③わが国最初の超多径間連続免震橋 (大仁高架橋)

- 伊豆縦貫道・静岡県：1998年竣工
- PC29径間連続中空床版橋
- 橋長：725m (29@25.0m)
- 免震支承：鉛プラグ入り積層ゴム支承 (LRB)
- 免震設計法ガイドラインの適用
- 超多径間連続橋：温度変化による水平力と地震時の水平力のバランスの設定方法が課題。常時大きな水平力を受けないように免震支承の剛性、すなわち、周期の設定が検討
→ 本橋では、固有周期1.3秒以上とすることが必要



④わが国最長の超多径間連続免震橋（天竜川橋）（1）

- 第2東名・静岡県：2006年竣工
- 23径間連続PC中空床版橋
- 橋長：1585.5m（23@35.6～92.0m）
- 免震支承：鉛プラグ入り積層ゴム支承（LRB）
- 平成8年道路橋示方書：固有周期約1.5秒
- 多径間連続橋の施工上の課題
 - ・ 乾燥収縮やクリープによる上部構造の伸縮に対する変位調整方法



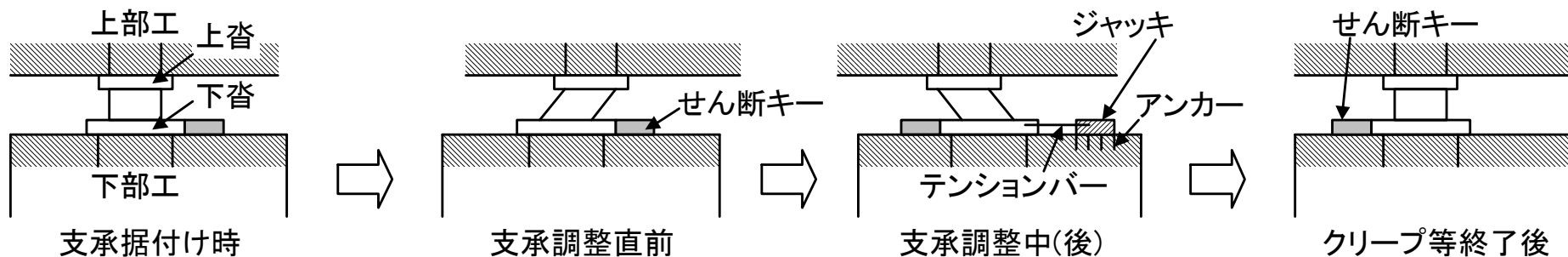
④わが国最長の超多径間連続免震橋（天竜川橋）（2）

■ 変位修正

- ・ 乾燥収縮やクリープによる上部構造の変位調整を完成3ヶ月後に実施
- ・ 桁短縮量は約20cm
- ・ 支承の下鋼板をスライドさせることにより変位を調整



本橋で採用された免震支承の後ひずみ調整方法

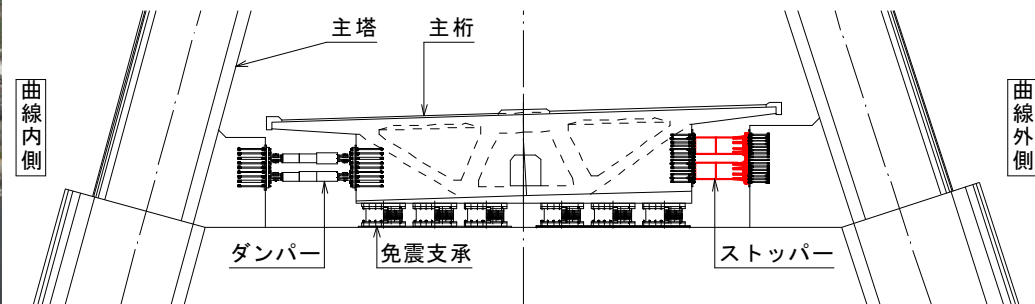


⑤ ストッパーとダンパー及び免震支承を併用したPC斜張橋（矢部川大橋）（1）

- 国道208号・福岡県：2009年竣工
- PC 3径間連続斜張橋（1面吊り）、逆Y型RC主塔
- 橋長：517m（126+261+126m）
- 免震支承：鉛プラグ入り積層ゴム支承（LRB）
- 平成14年道路橋示方書
- 曲線斜張橋であることから常時橋軸直角方向に水平反力が生じる構造
- 地震時の主桁断面力の低減のため、免震支承とトリガー機構を有するストッパーとダンパーを採用

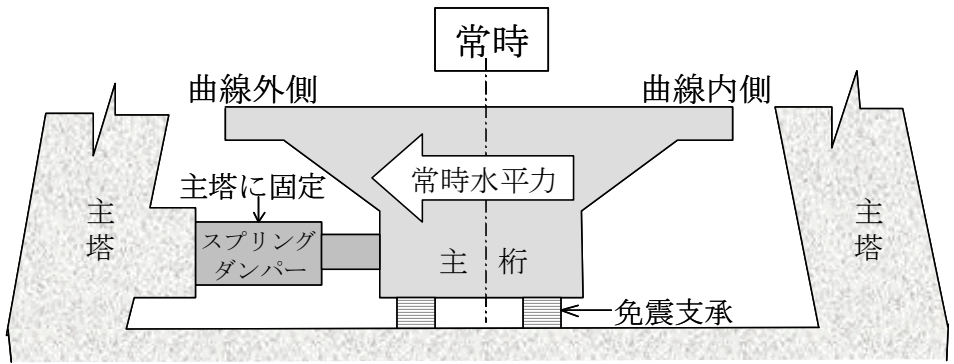


主塔と主桁間の接合構造

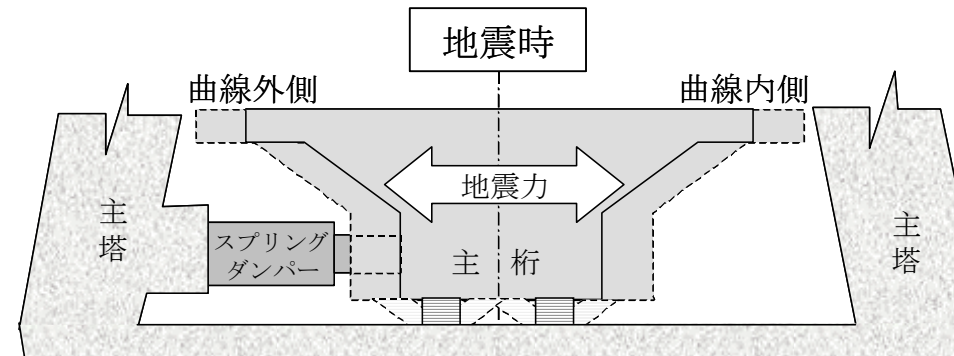


⑤ ストッパーとダンパー及び免震支承を併用した PC 斜張橋（矢部川大橋）（2）

トリガー機構と自己復元機構を有するスプリングダンパー



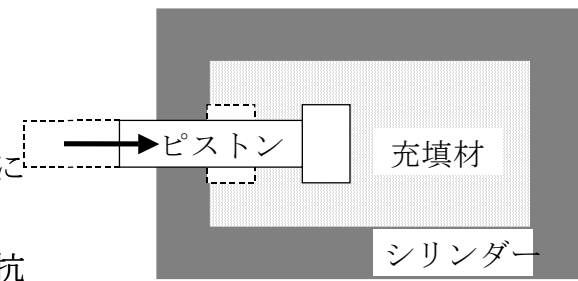
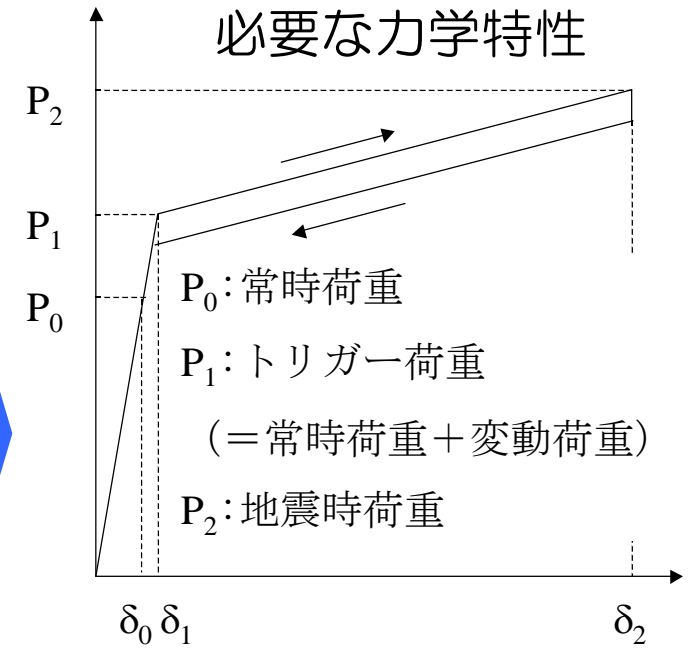
常時水平力に抵抗し、変位を拘束。



桁の変位を許容し、桁及び主塔に作用する地震力を緩和。地震後に元の位置に復元。

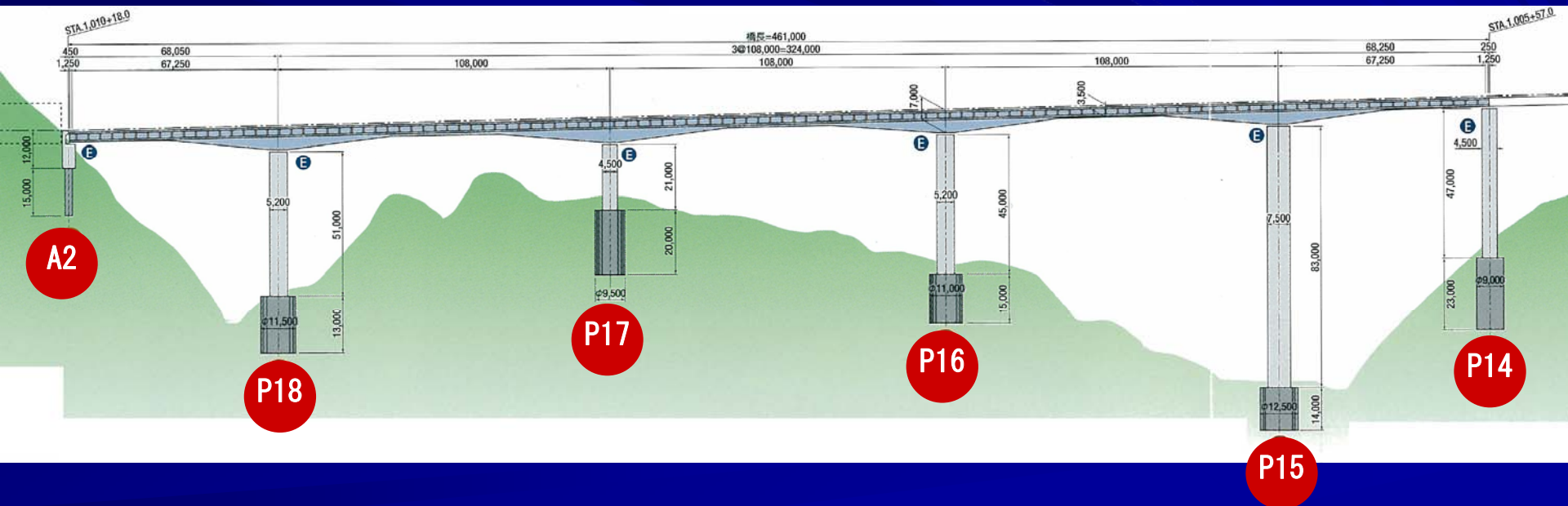
曲線外側移動時：スプリングダンパー＋免震支承にて地震力に抵抗

曲線内側移動時：免震支承にて地震力に抵抗



⑥不等高の鋼管・コンクリート複合構造橋脚を有する免震橋（芝川第一高架橋）

- 第2東名・静岡県：2004年竣工
- PC5径間連続箱桁橋、鋼管・コンクリート複合構造橋脚
- 橋長：461m（68.5+3@108.0+68.5m）
- 免震支承：鉛プラグ入り積層ゴム支承（LRB）
- 平成8年道路橋示方書
- 急峻な山岳地帯の橋梁
 - ・ 最大83m、最小21mの不等高の橋脚を有する免震橋
 - ・ 橋脚高さが異なることから、各橋脚の慣性力の分担を検討



⑦橋脚基部に免震支承を有する免震橋 (強戸高架橋 (田端高架橋、高宮高架橋))

- 北関東自動車道・群馬県：2007年竣工
- 2径間連続鋼箱桁橋、上部構造と剛結された鋼製ラーメン橋脚
- 橋長：136m (78+56m)
- 免震支承：鉛プラグ入り積層ゴム支承 (LRB)
- 平成14年道路橋示方書
- 採用可能な基礎構造の大きさに制約
- 設計上の工夫：上部構造の剛性とのバランス、支承のアップリフト力の発生等の検討



2-2 地震によって被災した橋梁を 免震構造によって復旧された橋

- ①橋脚基部に免震支承を設置して震災復旧された橋
(弁天高架橋)
- ②桁連結と免震化により震災復旧された橋 (芋川橋)
- ③免震化により震災復旧された鋼トラス橋 (塩殿橋)

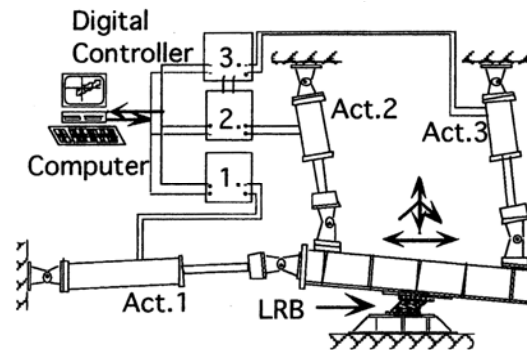
-その他

①橋脚基部に免震支承を設置して震災復旧された橋 (弁天高架橋)

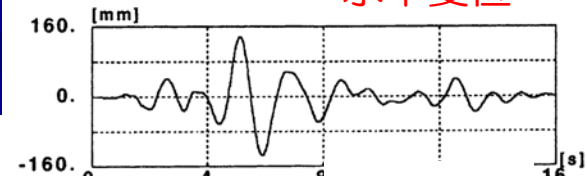
- 阪神高速・神戸市：1996年竣工（兵庫県南部地震後の震災復旧）
- 19径間連続鋼床版立体ラーメン橋、門型鋼製橋脚
- 橋長：565m（支間長：26.96～50.07m）
- 免震支承：鉛プラグ入り積層ゴム支承（LRB）
- 免震設計法マニュアル（案）、復旧設計要領
- 甚大な被害を受けた桁と橋脚を撤去した後に再構築
- 既設基礎を再利用するために橋脚基部に免震支承を設置（わが国初）
- 立体ラーメン構造であり複雑な挙動を示すことから、各種の実験、解析検討が実施（変動軸力、回転変位に対する試験など）



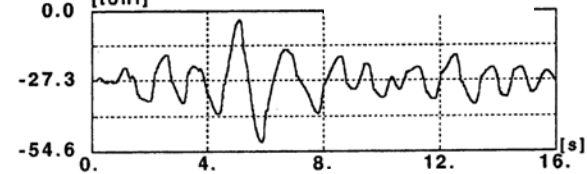
免震支承の特性確認試験



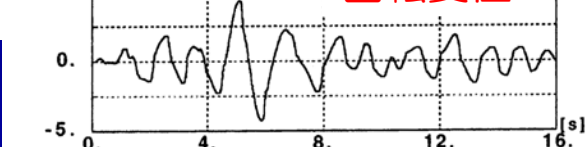
水平変位



変動軸力

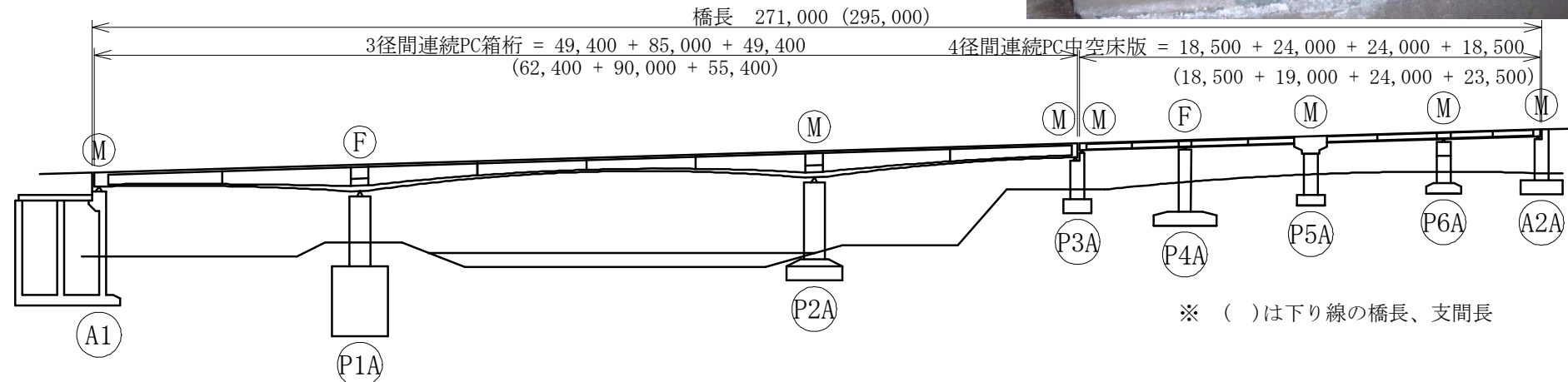


回転変位



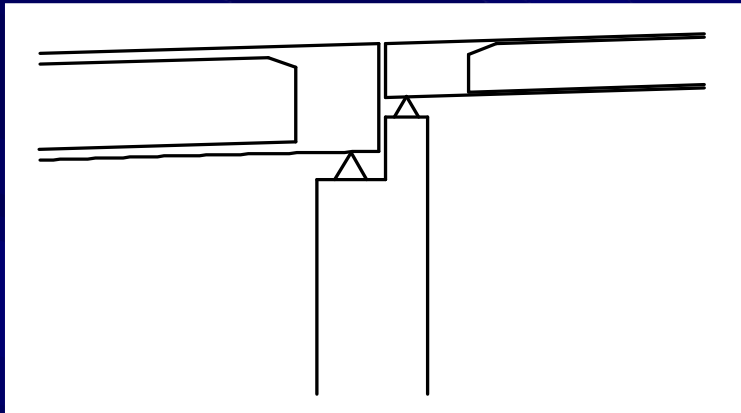
②桁連結と免震化により震災復旧された橋 (芋川橋) (1)

- 関越自動車道・新潟県：1978年竣工（新潟県中越地震後の震災復旧）
- 3径間連続PC箱桁橋＋4径間連続PC中空床版橋
- 橋長：271.42m＋295.42m（支間長：18.5～90.0m）
- 免震支承：超高減衰積層ゴム支承（HDR-S）（既設支承はピン支承、ピンローラー支承で地震により損傷）
- 平成14年道路橋示方書
- 地震により生じた可動支承の損傷、固定支承を有するRC橋脚の斜めひびわれに対して、支承交換と橋脚補強の実施
- 2連の橋を連続化して震災復旧

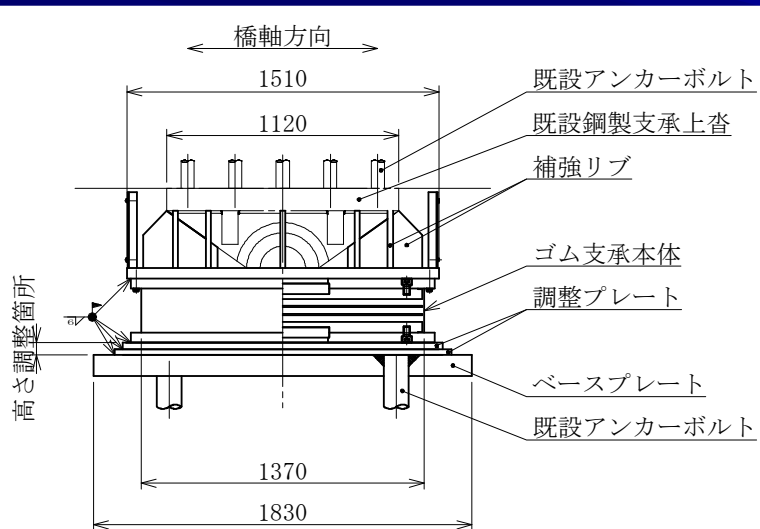


②桁連結と免震化により震災復旧された橋 (芋川橋) (2)

- 桁連結構造 (P3A)
異なる断面間の連結

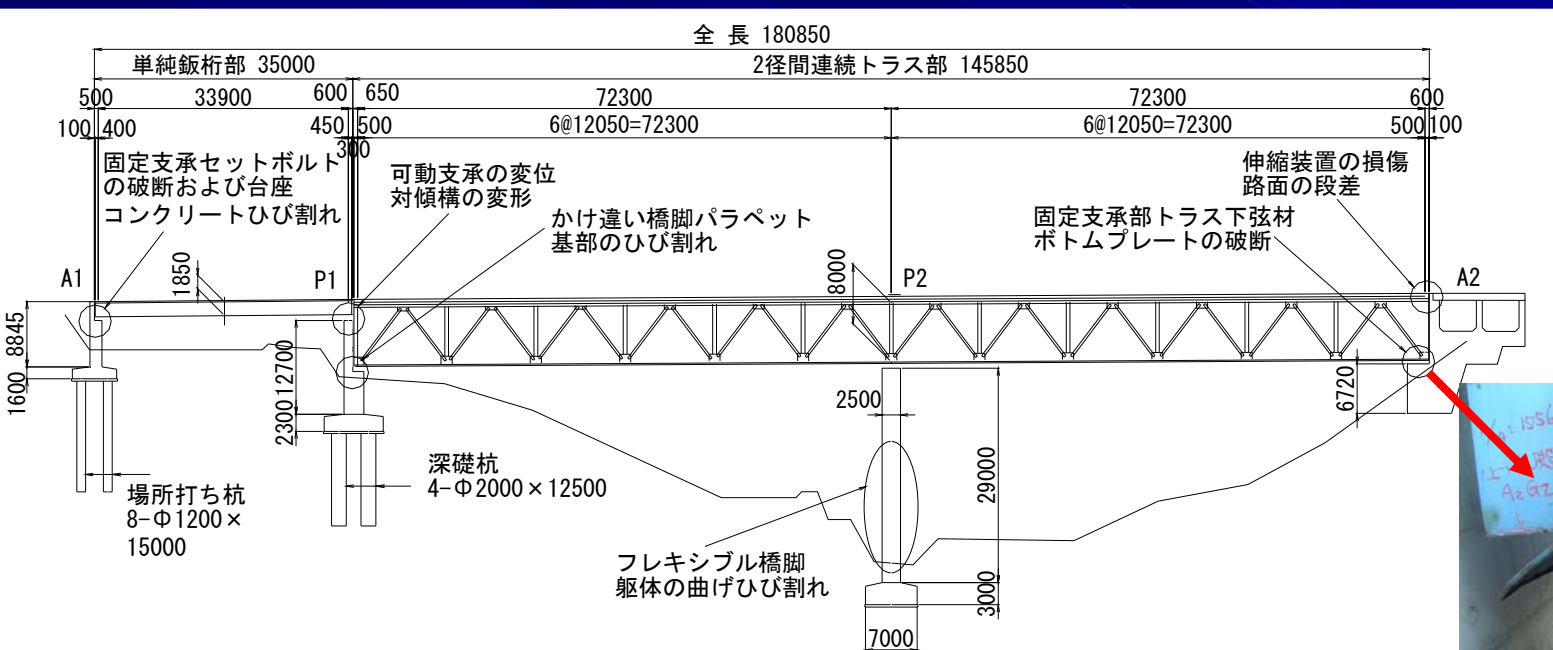


- 支承部 (ピン支承→免震支承)
既設部材との一体化

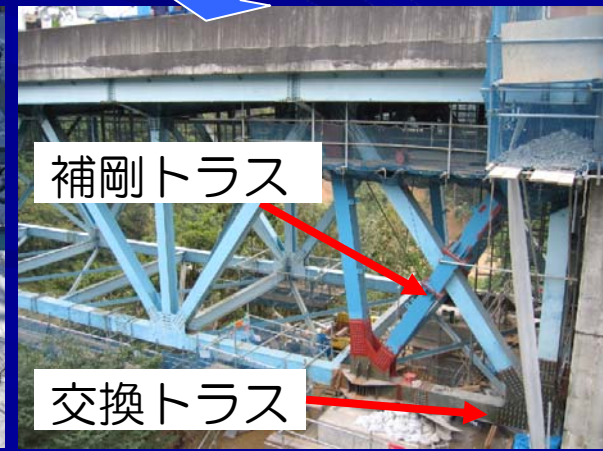
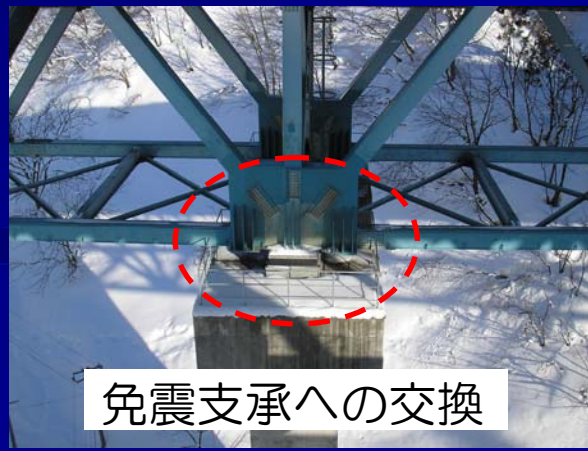
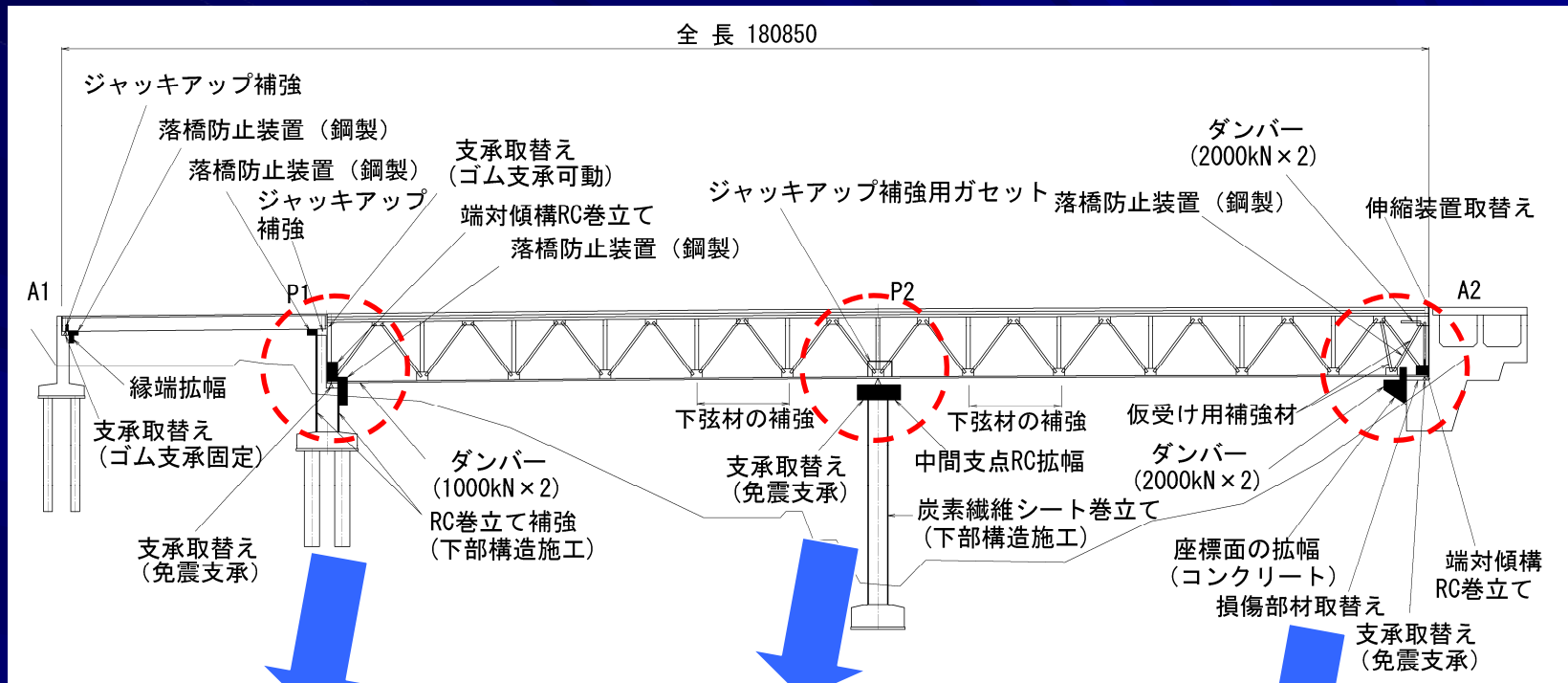


③免震化により震災復旧された鋼トラス橋 (塩殿橋) (1)

- 関越自動車道・新潟県：1981年竣工（新潟県中越地震後の震災復旧）
- 単純鈹桁橋＋2径間連続鋼トラス橋
- 橋長：180.85m（33.9＋2@72.3m（上り線））
- 免震支承：高減衰積層ゴム支承（HDR）（既設支承は鋼製支承）
- 平成14年道路橋示方書
- 地震により掛け違い橋脚のパラペット部のひびわれ、橋脚のひびわれ、固定支承の損傷、固定支承部のトラス部材の損傷
- 免震化とダンパーの設置による震災復旧



③免震化により震災復旧された鋼トラス橋 (塩殿橋) (2)

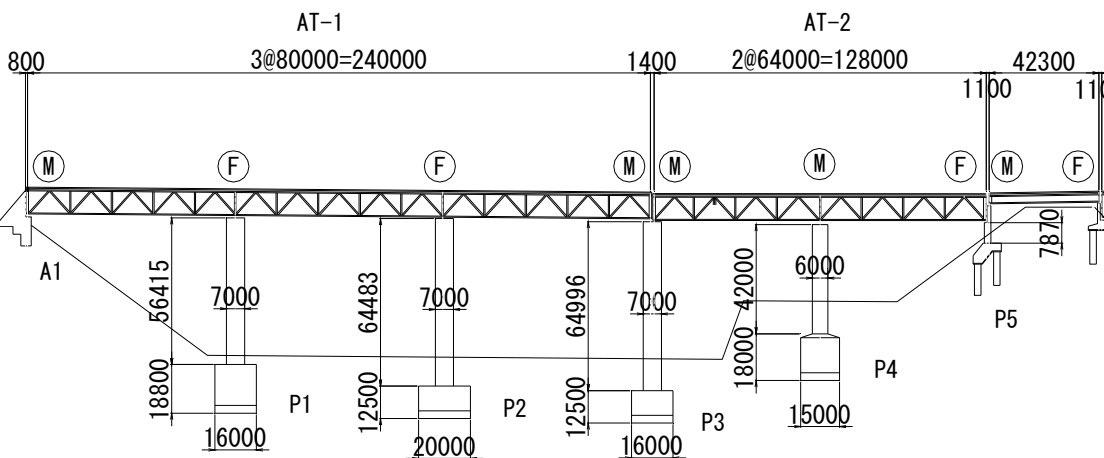
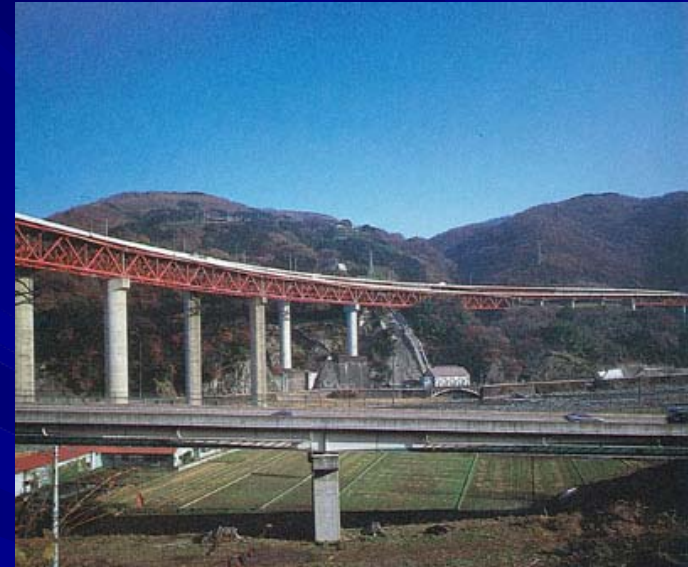


2-3 免震構造によって耐震補強された橋

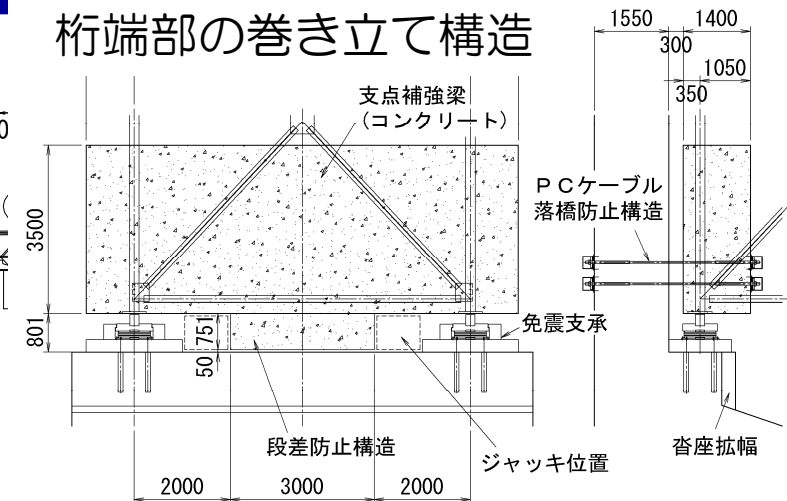
- ①免震支承を用いて耐震補強された鋼トラス橋（酒匂川橋）
- ②すべり床免震構造により耐震補強された長大ゲルバートラス橋（港大橋）

①免震支承を用いて耐震補強された鋼トラス橋 (酒匂川橋)

- 東名・神奈川県：1969年竣工（耐震補強は2003年に実施）
- 3径間連続鋼トラス橋＋2径間連続鋼トラス橋＋単純トラス橋
- 橋長：680.55m（3@80.0＋2@50.0）
- 免震支承：鉛プラグ入り積層ゴム支承（LRB）
（既設支承は鋼製支承）
- 高橋脚を有するトラス橋の免震化による耐震補強
 - ・ 橋脚は炭素繊維巻立て補強
 - ・ 免震化のための支承の交換施工（ジャッキアップ）と免震支承の設置方法（支承部の巻立てコンクリート）

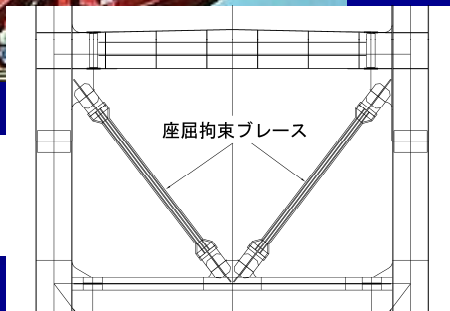
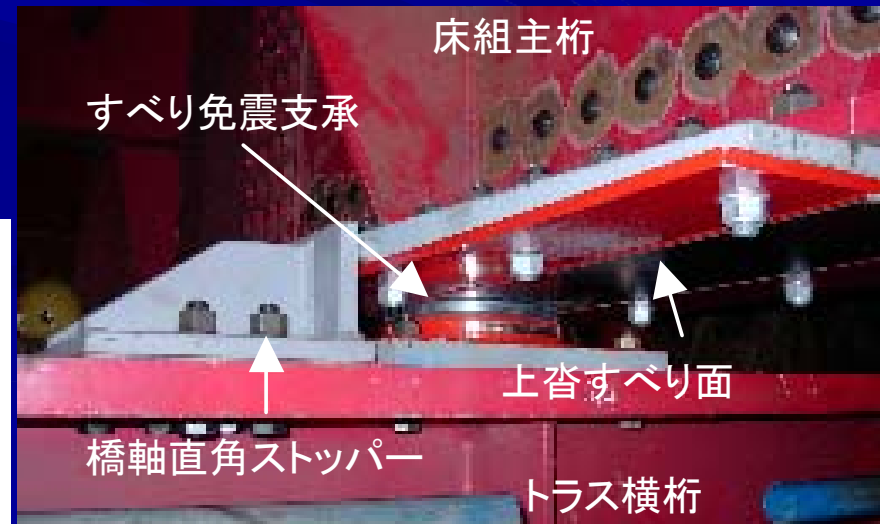
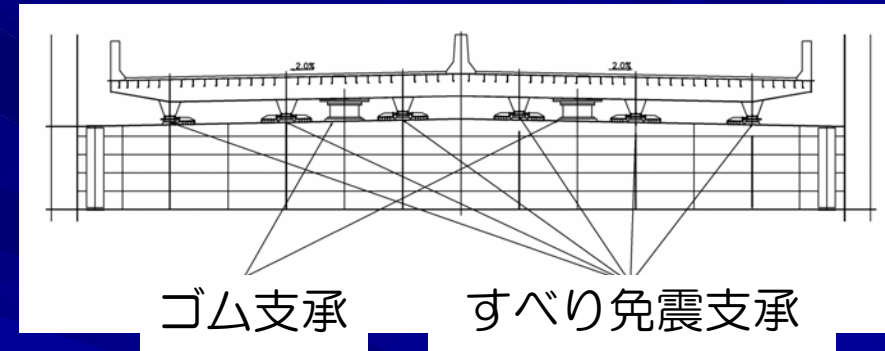


桁端部の巻き立て構造



②すべり床免震構造により耐震補強された 長大ゲルバートラス橋（港大橋）

- 阪神高速・大阪市：1974年竣工（耐震補強は2002年から実施）
- 2径間ゲルバートラス橋（鋼床版ダブルデッキ）
- 橋長：980.0m（235.0+510.0+235.0m）
- 免震支承：すべり免震支承（既設支承はピン、ローラー支承）
- すべり床免震構造（主に橋軸方向）と座屈拘束ブレース（主に橋軸直角方向）による長大橋の耐震補強



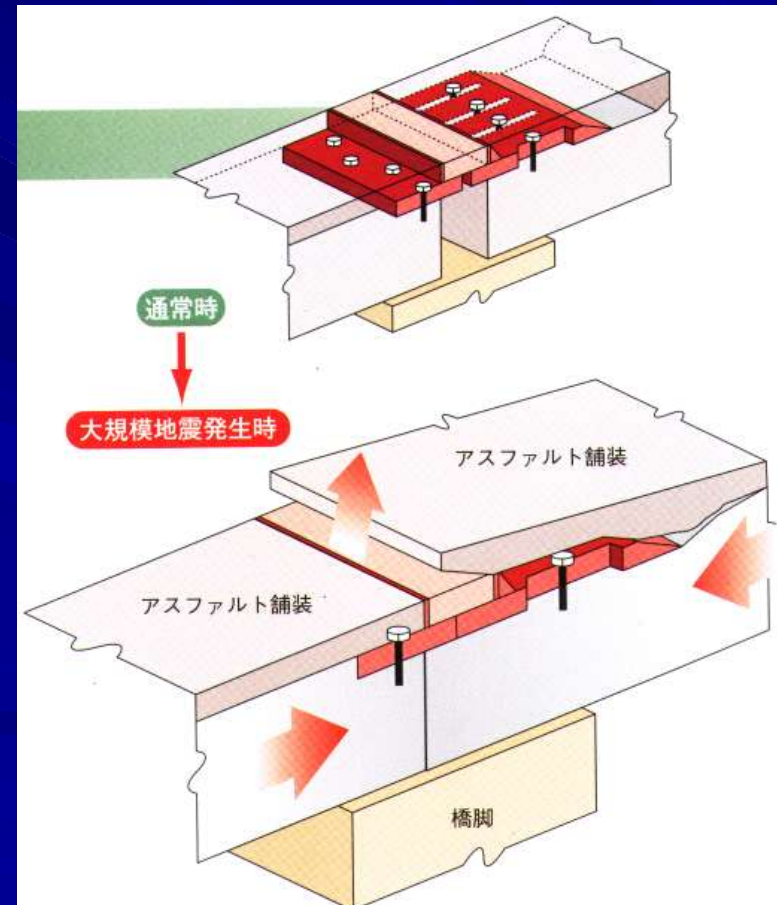
主塔内に設置された
座屈拘束ブレース

2-4 免震構造や免震支承に特徴がある免震橋

- ① 桁端部の大变位対策として大变位吸収システムが採用された免震橋（天野川高架橋）
 - ② 国内最大級の免震支承を用いた免震橋
（神戸スカイブリッジ、東京ゲートブリッジ主橋梁部、天満橋、光橋）
 - ③ 変位制限機構を有する免震支承を用いた免震橋
（みえ川越ICランプ橋）
-その他

① 桁端部の大変位対策として大変位吸収システムが採用された免震橋（天野川高架橋）（1）

- 国道8号・滋賀県：2004年竣工
- 6+17径間連続PC中空床版橋等一例の高架橋区間
- 橋長：1,200m
- 免震支承：鉛プラグ入り積層ゴム支承（LRB）
- 平成8年道路橋示方書
- 桁端部における大変位吸収構造
 - ・ 常時・L1、L2に対する2段階の変位吸収構造

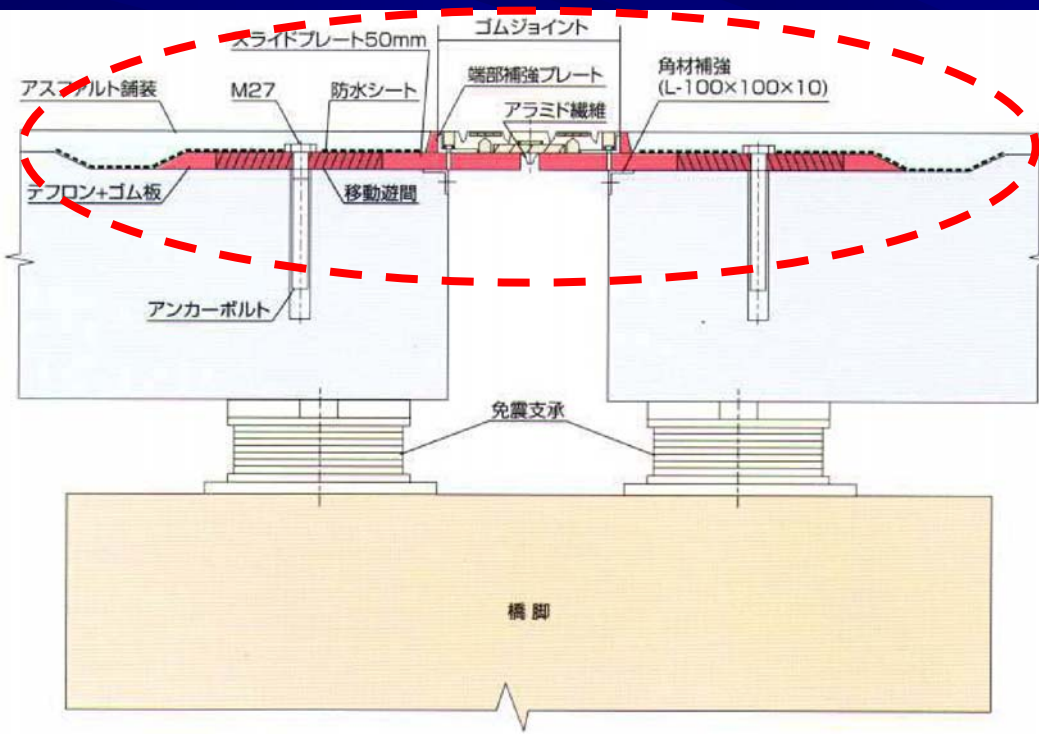


大変位吸収システムの作動メカニズム

①桁端部の大変位対策として大変位吸収システムが採用された免震橋（天野川高架橋）（2）

■ 大変位吸収システムの特徴

- ①簡単な構造で日常の維持管理が容易
 - ②システムが稼動した時の舗装段差が $\pm 10\text{cm}$ 以下
 - ③大規模地震後においても車両の交通を確保
 - ④本復旧においても全面的に交通遮断をしないこと
- 常時 $\pm 8\text{cm}$ 、大地震時 $\pm 60\text{cm}$ の変位量



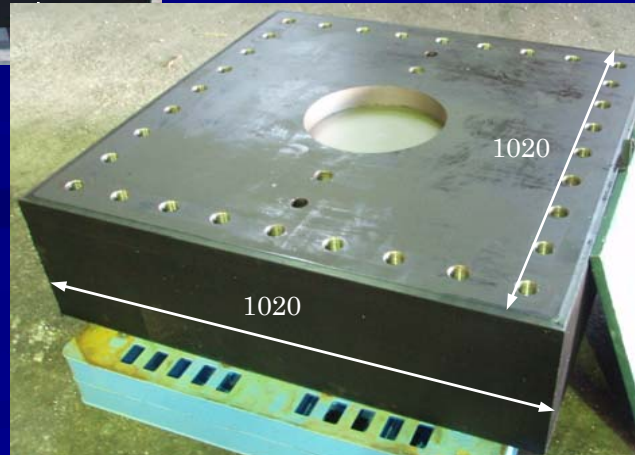
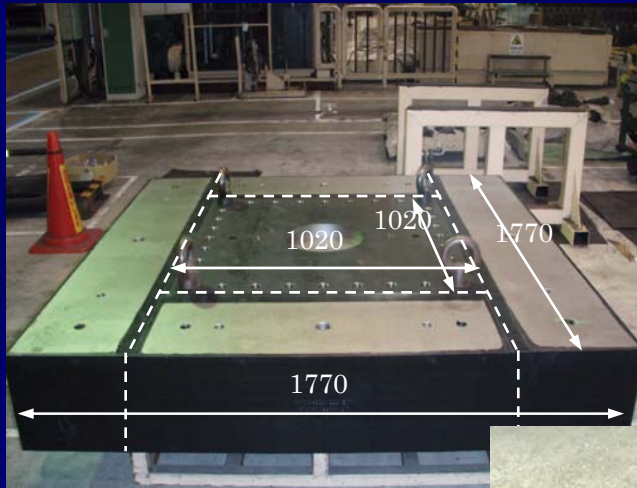
②国内最大級の免震支承を用いた免震橋(1) (神戸スカイブリッジ)

- 神戸空港・神戸市：2006年竣工
- 7径間連続鋼床版箱桁橋
- 橋長：1,180m（支間長110～160m）
- 免震支承：高減衰積層ゴム支承（HDR）
- 平成8年道路橋示方書
- 国内最大級の高減衰積層ゴム支承の採用
 - ・ 支承サイズ：1,770mm×1,770mm
 - ・ 実支承から切り出した縮小試験体を用いたせん断変形性能試験の実施

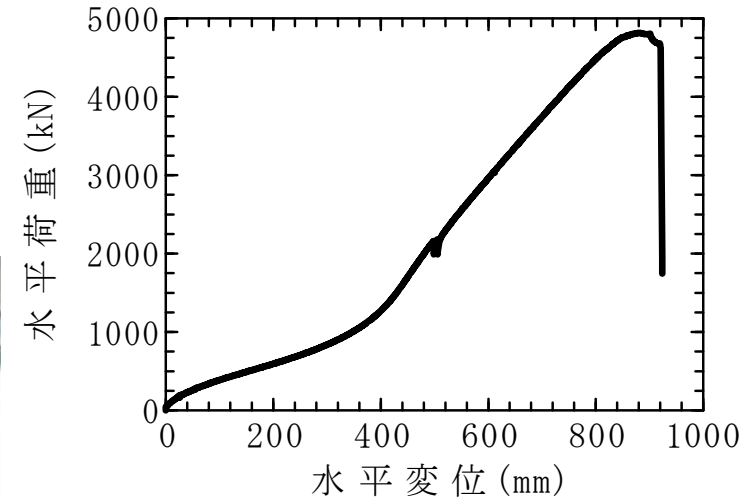


②国内最大級の免震支承を用いた免震橋(1) (神戸スカイブリッジ)

- 実支承から切り出した縮小試験体を用いたせん断変形性能試験
 - ・ 支承サイズ：1,770mm×1,770mm+1層厚さ50mm@8層
 - 切り出し：1,020mm×1,020mm+1層厚さ50mm@5層
(2次形状係数を合わせた縮小試験体の製作)
 - ・ 破断特性：368%の破断ひずみ

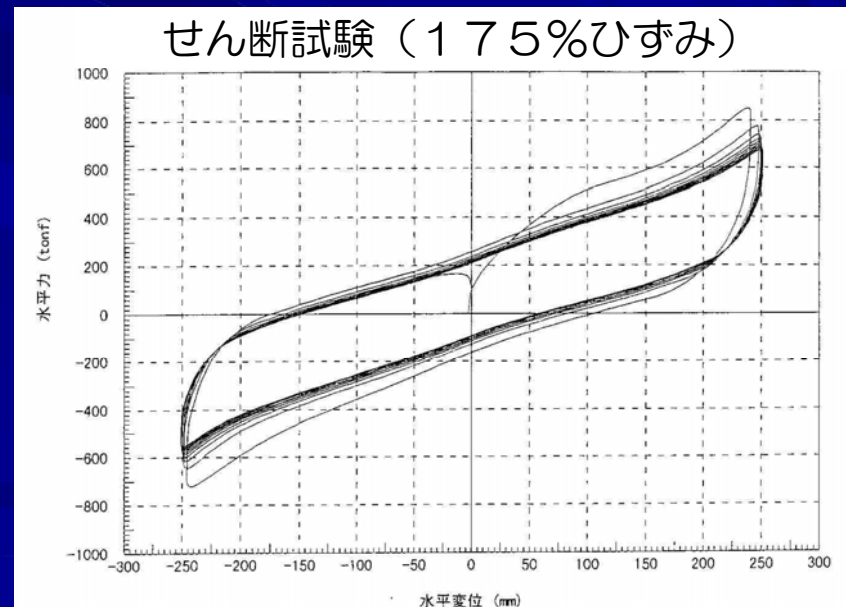


せん断破断試験



②国内最大級の免震支承を用いた免震橋(3) (光橋)

- 長野県道：2000年竣工
- 5径間連続PC箱桁橋
- 橋長：440m (73+3@98+73m)
- 免震支承：鉛プラグ入り積層ゴム支承 (LRB)
- 平成8年道路橋示方書
- 国内最大級の鉛プラグ入り積層ゴム支承の採用
 - ・ 3,040tf (支承サイズ：2,120×1,720mm、1個16,400kg)
 - ・ 実支承の実大試験の実施

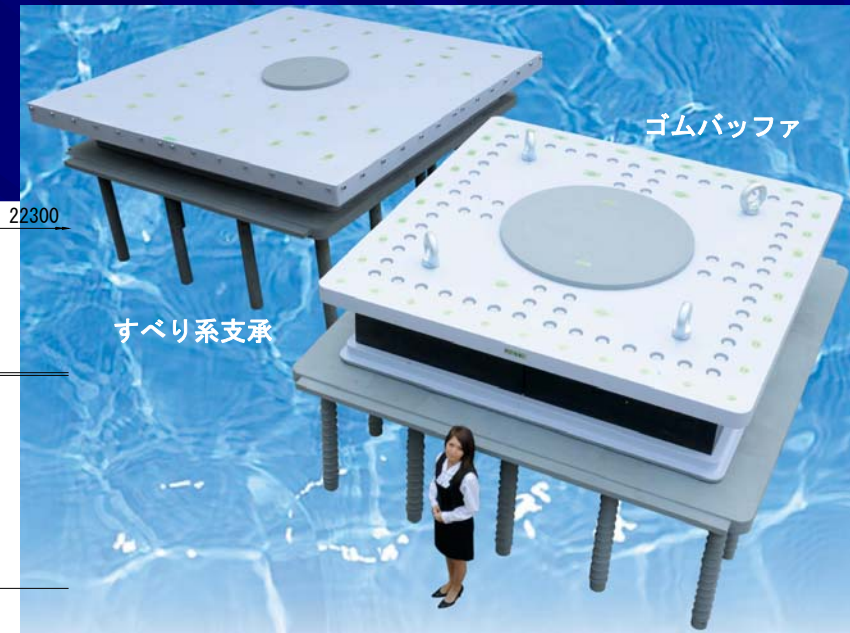
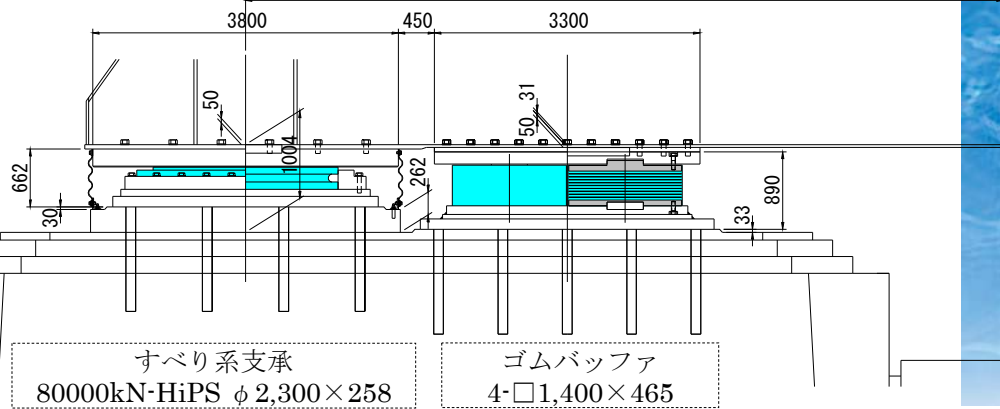


設計値との比較
等価剛性+1.4%、等価減衰定数+5.9%

②国内最大級の免震支承を用いた免震橋(3) (東京ゲートブリッジ主橋梁部、天満橋)

■ 東京ゲートブリッジ

- ・ 直径2.3mのすべり支承
- ・ 1.4m×1.4mのゴム支承



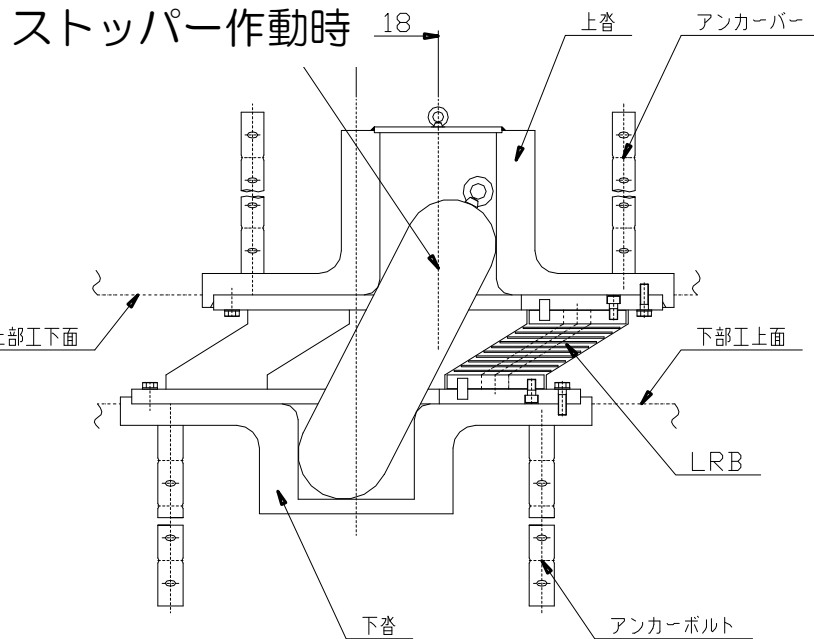
■ 天満橋：国道269号

- ・ 最大幅2.5mの積層ゴム支承

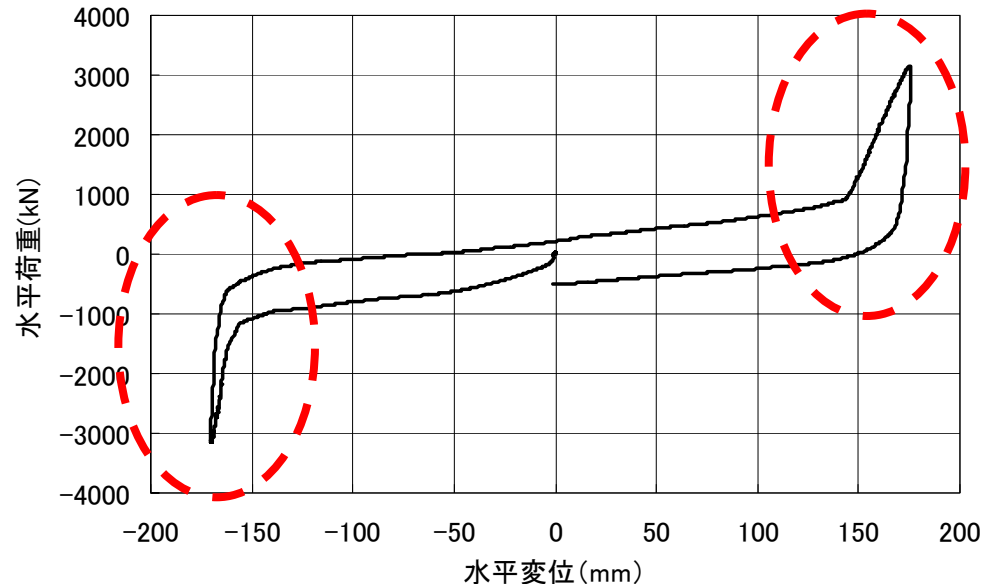


③変位制限機構を有する免震支承を用いた免震橋 (みえ川越IC ランプ橋)

- 第2名神・三重県：2002年竣工
- 4～9径径間連続PC箱桁橋 6連
- 橋長：1,679m（支間長：39.72～85.29m）
- 免震支承：鉛プラグ入り積層ゴム支承（LRB）
- 平成8年道路橋示方書
- ランプ橋・S字曲線橋（最小曲線半径85m）
→ 全方向に対する変位制限機構を有する免震支承



せん断試験結果



その他の免震橋の事例

2-5 地震観測記録が得られた免震橋と免震建築物

- ①地震観測記録が得られた免震橋（松の浜高架橋）
- ②地震観測記録が得られた免震橋（温根沼大橋）
- ③最近の地震による免震建築物の地震観測の例

2-6 免震橋の施工技術

- ①免震支承の後ひずみ調整の実施例
（狩野川高架橋）
- ②免震支承の後ひずみ調整の実施例（鬼怒川橋）

あとがき

- これまでに建設された特徴的な免震橋の事例集
- さらなる技術開発と技術の蓄積
 - ・ 試験データ、検討データの蓄積
- 2011年東日本大震災における免震支承、積層ゴム支承等を有する橋の挙動の検証

ご静聴ありがとうございました。