首都高速道路の長大橋の耐震補強の検討例

首都高速道路　　山本　泰幹

阪神高速道路の長大橋の耐震補強の検討例

阪神高速道路　　西岡　　勉

首都高速道路の長大橋の耐震補強の検討例

平成19年10月2日

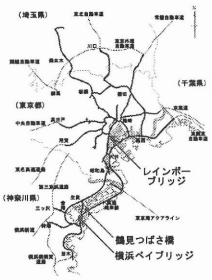
首都高速道路(株)
山本　泰幹

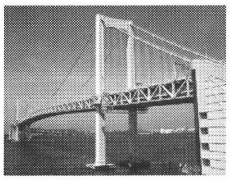
内容

- 長大橋の耐震補強の入力地震動の検討
- 横浜ベイブリッジの対策方法

2

首都高速道路の長大橋（1）



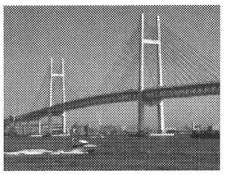


■レインボーブリッジ （1993）

中央径間570m，全長798m
3径間2ヒンジ補剛トラス吊橋

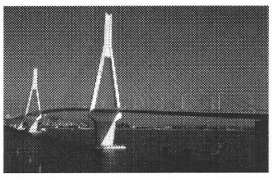
3

首都高速道路の長大橋（2）



■横浜ベイブリッジ （1989）

中央径間460m，全長860m
3径間連続鋼トラス斜張橋



■鶴見つばさ橋 （1994）

中央径間510m，全長1,020m
一面吊り3径間連続鋼斜張橋

4

首都高速道路の長大橋の耐震性検討の流れ

目標とする耐震性能の設定

↓

レベル2地震動の検討 ／ 解析モデルの検討

↓

非線形動的解析による地震応答の算出

↓

解析結果の評価

↓

耐震補強構造の提案

5

目標とする耐震性能の設定

レベル2地震動に対して、「地震による損傷が限定的なものにとどまり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能」（道路橋示方書V　耐震性能2）

■上記の耐震性能の観点から考慮する事項
- 安全性：落橋に対する安全性を確保する
- 供用性：地震後、橋としての機能を速やかに回復できる
- 修復性：①機能回復のための修復が応急で対応できる
  ②比較的容易に恒久復旧を行うことが可能である

6

レベル2地震動の設定

①プレート境界型の地震動（関東大震災M8クラス）

・1923年の関東地震を基本としたシナリオ型地震による入力地震動を対象

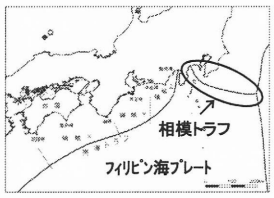
②内陸直下型の地震動（兵庫県南部地震M7クラス）

・既往最大規範の考えに基づき，兵庫県南部地震で観測された地震動（標準加速度波形）を対象

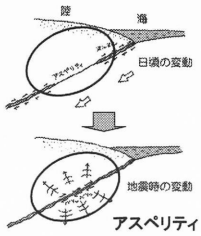
⇨ ①7波，②3波のうち，最も大きな損傷を与える地震動で各構造要素の損傷を評価

7

首都圏におけるプレート境界型地震の環境



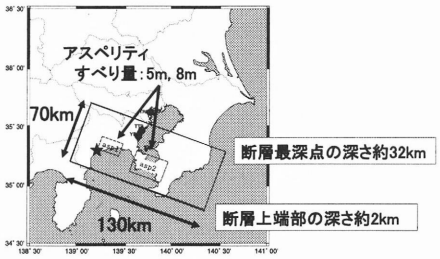
地震調査研究推進本部HPより



日本地震学会HPより

8

基本の震源断層モデル

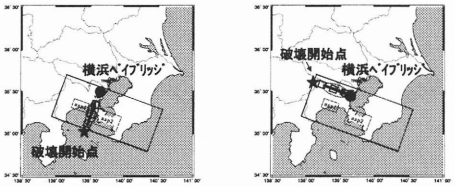


相模湾から房総半島南沖にかけてのプレート境界付近の震源断層モデルを設定（1923年関東地震の震源断層モデルを基本とした）

9

断層破壊モデル設定の一例

横浜ベイブリッジを対象とした場合



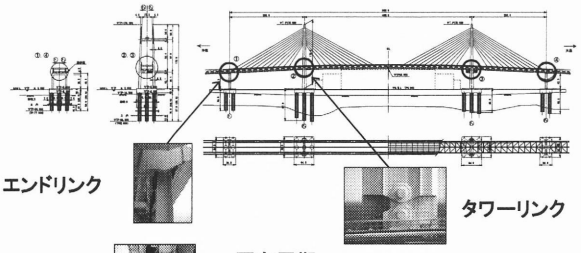
南部から迫る　　北西部から迫る

アスペリティの配置、サイズ、破壊の伝搬方向を変化

（橋の主要な固有振動モードの固有周期と同じ周期のものが多く含まれるように）

10

横浜ベイブリッジの構造の特徴



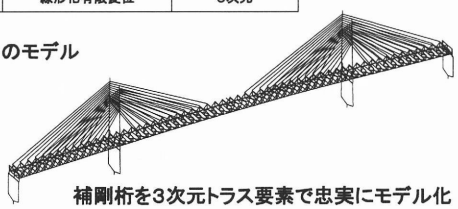
固有周期
- 橋軸方向1次　：7.8秒
- 橋軸直角方向1次　：3.6秒

11

横浜ベイブリッジの動的解析モデル

着目方向	幾何学的非線形性	解析モデルの次元
橋軸方向	線形化有限変位＋硬化型バネ（タワーリンク）	2次元
直角方向	線形化有限変位	3次元

直角方向のモデル



補剛桁を3次元トラス要素で忠実にモデル化

12

横浜ﾍﾞｲﾌﾞﾘｯｼﾞの補強方法選定の基本方針

①耐力が不足している構造部位は耐力を増加する

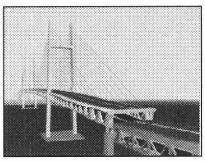
②回避できない損傷には落橋防止構造システムを向上させる

⇒ これらの補強にて、横浜ﾍﾞｲﾌﾞﾘｯｼﾞの目標とする耐震性能を確保

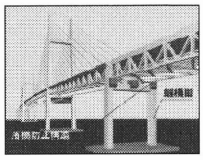
13

横浜ベイブリッジの対策方法

①隣接橋の落橋防止構造の設置



補強



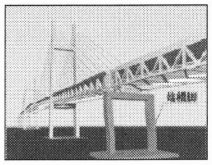
橋軸方向の桁端変位による隣接桁の押出し

端橋脚に落橋防止構造を設置

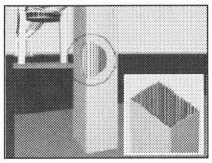
14

横浜ベイブリッジの対策方法

②端橋脚の補強（1）



補強



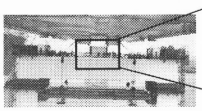
橋軸直角方向の地震動による端橋脚の損傷

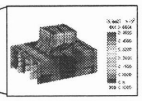
縦リブ増設による補強

15

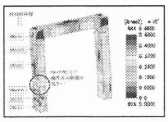
横浜ベイブリッジの対策方法

②端橋脚の補強（2）





ウインドタング



橋脚（ラーメン系）

・補強前の耐力

橋脚（ラーメン系）＜ウインドタング＜アンカー部

・補強後の耐力

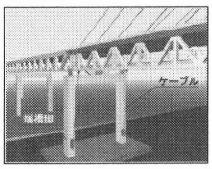
ウインドタング＜橋脚（ラーメン系）＜アンカー部

16

横浜ベイブリッジの対策方法

③桁の浮上り防止構造の設置

補強



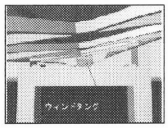
エンドリンクの損傷による桁端部の浮上がり

桁端部のアップリフト防止ケーブルの設置

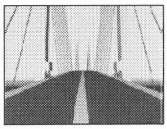
17

横浜ベイブリッジの対策方法

④主塔部周辺の改良



連鎖



橋軸直角方向の地震力によるウインドタングの損傷

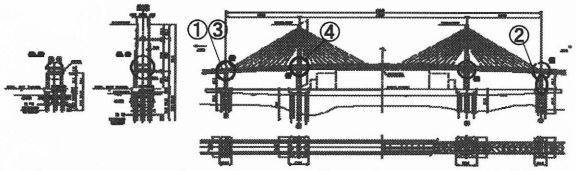
タワーリンクの損傷

補強

段差防止構造の設置

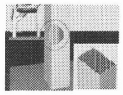
18

横浜ベイブリッジの耐震補強イメージ

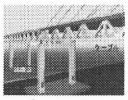


①隣接橋　②端橋脚　③桁端部　④主塔部

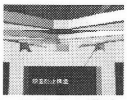
落橋防止構造



縦リブ増設補強



アップリフト防止ケーブル



段差防止構造

19

まとめ

- 橋の架橋地点と固有振動特性を考慮したシナリオ型地震の作成方法を概説
- 吊構造形式の長大橋特有な損傷の連鎖現象を考慮した横浜ベイブリッジの対策方法を紹介

20

参考文献

1)小森、吉川、小田桐、木下、溝口、藤野、矢部：技術展望 首都高速道路における長大橋耐震補強の基本方針と入力地震動、土木学会論文集、No.794／Ⅰ-72、pp.1-19、2005.7

2) 小森、吉川、小田桐、木下、溝口、藤野、矢部：技術展望 首都高速道路における長大橋耐震補強検討、土木学会論文集、No.801／Ⅰ-73、pp.1-20、2005.10

3)吉川、並川、溝口、山口、矢部：短リンクを有する斜張橋の複合非線形地応答に現れる飛び移り現象とその解決、土木学会地震工学論文集、Vol.27（CD-ROM）、2003

4)山本、伊東、徳山、新井：横浜ベイブリッジの地震観測記録に基づく長周期地震動の伝播経路に関する一考察、第12回日本地震工学シンポジウム論文集、pp.1446-1119、2006.11

阪神高速道路の長大橋の耐震補強の対策例

平成19年10月2日

阪神高速道路(株)
西岡　勉

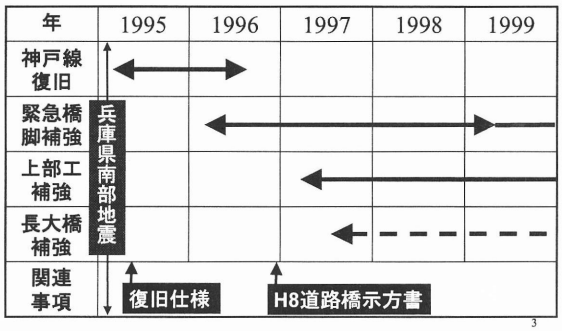
1

内容

1. 兵庫県南部地震以後の阪神高速道路の耐震補強対策
2. 長大橋の耐震補強対策の特徴
3. 港大橋(ゲルバートラス橋)の耐震補強対策

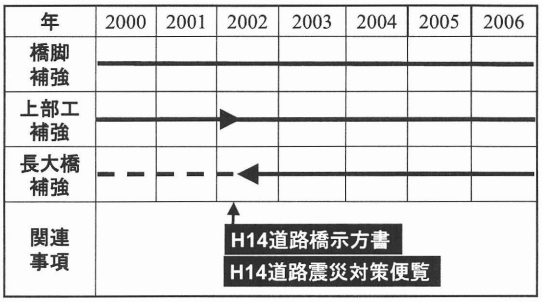
2

兵庫県南部地震以後の耐震補強対策(1)

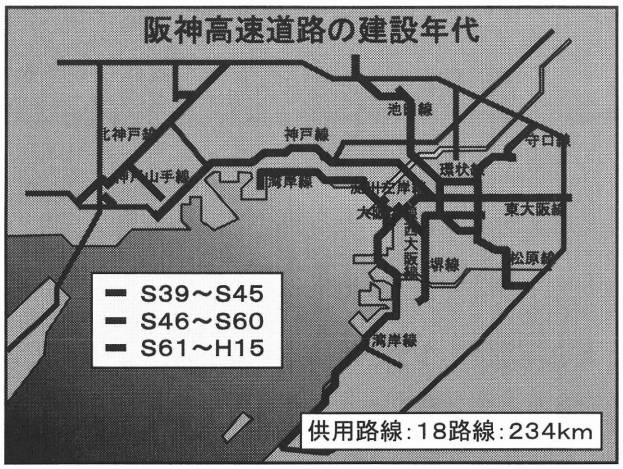


3

兵庫県南部地震以後の耐震補強対策(2)



4



耐震対策の優先度の考え方

1. 構造物の重要度

   当該路線の重要度(緊急輸送道路、交通量)、迂回路の有無

2. 構造物の耐震性能

   構造物が保有している耐震性能、震後の交通機能

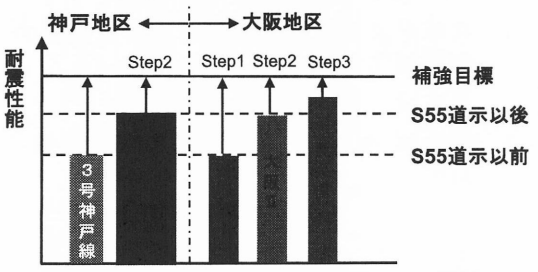
3. 地震動強度(地震危険度)

   活断層の有無、想定される地震動、地震発生の切迫度

6

耐震補強方針

H14道示に示される橋の耐震性能を目標



大阪Ⅰ：環状、池田、守口、東大阪、松原、堺、西大阪、大阪西宮
大阪Ⅱ：大阪港、4号湾岸、淀川左岸

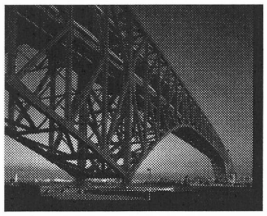
7

阪神高速道路の長大橋（湾岸線）

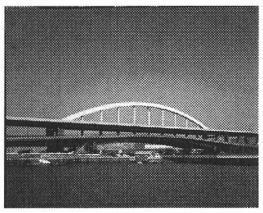
ゲルバートラス橋	1橋	港大橋
斜張橋	3橋	大和川橋梁、天保山大橋、東神戸大橋
アーチ橋	7橋	南港水路橋、神崎川橋梁、中島川橋梁、新浜寺大橋、西宮港大橋、六甲Is大橋、岸和田大橋
Vレッグラーメン橋	1橋	梅町水路橋
長大箱桁橋（200m以上）	3橋	正蓮寺川橋梁、春木川大橋、尼崎港大橋

8

阪神高速道路の長大橋(1)



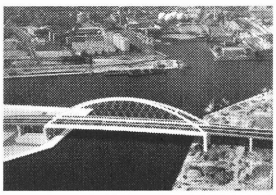
港大橋



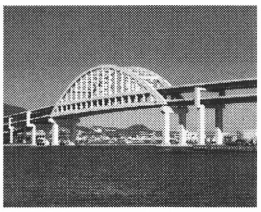
南港水路橋

9

阪神高速道路の長大橋(2)



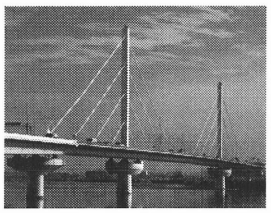
西宮港大橋



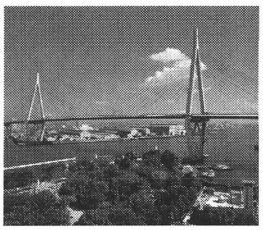
六甲アイランド橋

10

阪神高速道路の長大橋(3)



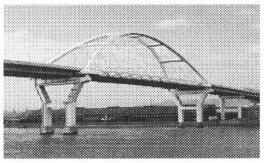
大和川橋梁



天保山大橋

11

阪神高速道路の長大橋(4)

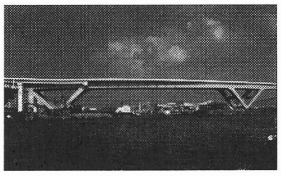


中島川橋梁

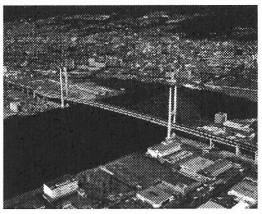
正蓮寺川橋梁

12

阪神高速道路の長大橋(5)



梅町水路橋



東神戸大橋

13

阪神高速道路の長大橋の耐震補強対策の特徴

1. 地域特性を考慮した耐震補強のための設計地震動を設定
2. 橋梁全体系の動的解析を用いた耐震補強設計
3. 免震化・制震化により部材補強・じん性補強を最小限とする考え方

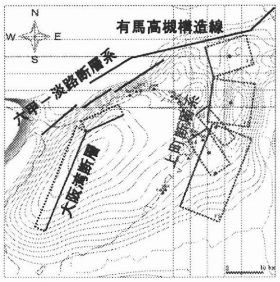
14

地域特性を考慮した設計地震動

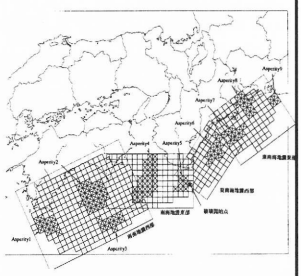
- 合理的な長大橋の耐震補強を実施するため、架橋地点の内陸活断層情報、プレート境界地震の情報、地下構造の情報をもとに、断層モデルにより強震動予測を実施
- 内陸活断層地震（上町断層、大阪湾断層、有馬高槻構造線、六甲淡路断層系）
- 海溝型地震（南海・東南海地震）

15

内陸活断層地震、南海・東南海地震

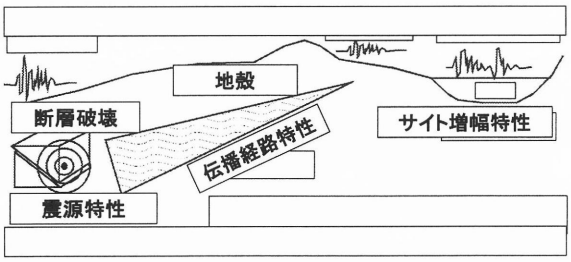


内陸活断層地震
（3次元地盤構造を考慮）



南海・東南海地震
（中央防災会議の断層モデル）

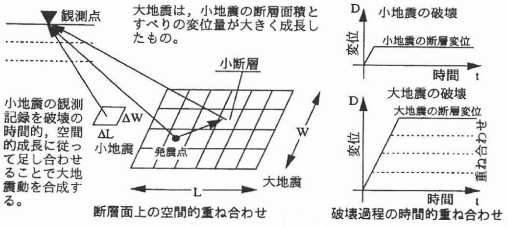
地震動を構成する要因



観測される地震動＝震源特性×伝播経路特性×サイト増幅特性

17

断層モデルによる強震動推定

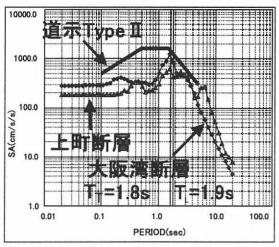


グリーン関数による小地震波形から大地震波形を合成する考え方

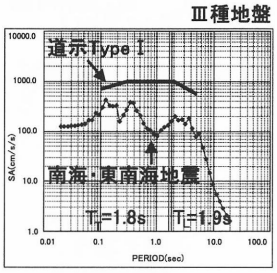
18

推定した地震動の例（西宮港大橋）

Ⅲ種地盤



内陸活断層地震による推定地震動の加速度応答スペクトル

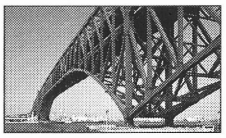


南海・東南海地震による推定地震動の加速度応答スペクトル

19

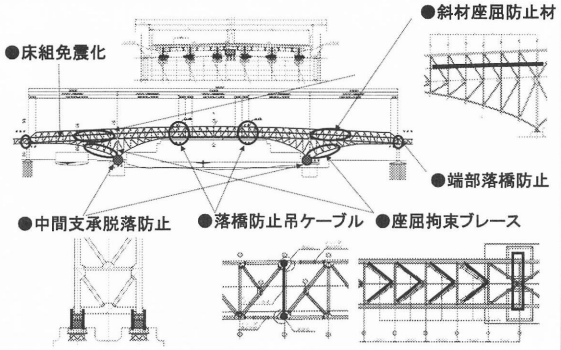
港大橋の耐震補強対策

1. 低摩擦型すべり支承を用いた床組構造の免震化
2. 横構や対傾構などの２次部材を座屈拘束ブレースに取替（制震化）
3. 最小限の部材補強とフェールセーフ対策

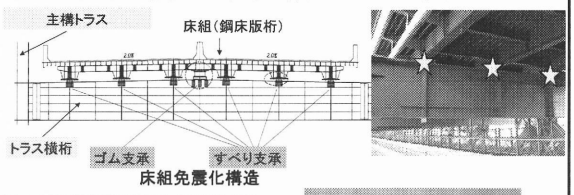


20

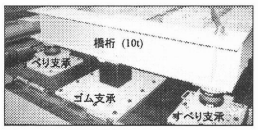
港大橋の耐震補強メニュー



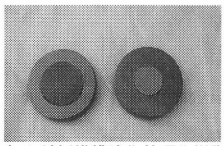
低摩擦型すべり支承を用いた港大橋の床組構造の免震化



床組免震化構造

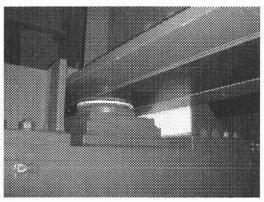


すべり免震支承システムの振動台実験

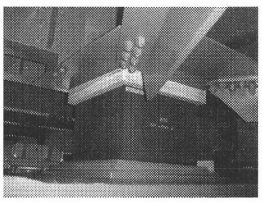


すべり材（繊維強化熱硬化樹脂）

滑り支承とゴムばね支承



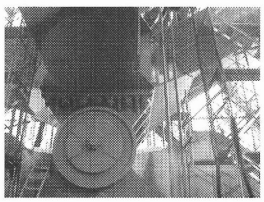
橋軸方向免震化の滑り支承



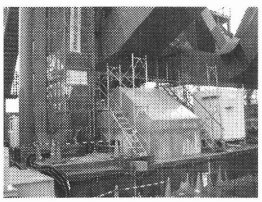
復元力確保のゴムばね支承

23

中間支承部のフェールセーフ対策



上下沓分離を防止する移動制限装置



下弦材脱落を防止する段差防止装置

24

既設橋梁への座屈拘束ブレース適用の課題

1．橋梁への適用課題

大規模な座屈拘束ブレース（自重たわみの影響：橋梁>>建築）

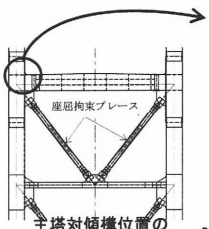
2．既設トラス橋への適用課題

既存部材が多数配置された中での重機を用いた部材取替工施工時の安全性の確保

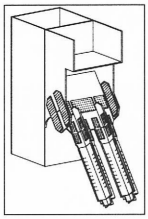
座屈拘束ブレースの軽量化

並列2本組構造の採用

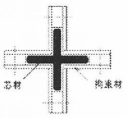
座屈拘束ブレースの構造



主塔対傾構位置の座屈拘束ブレース

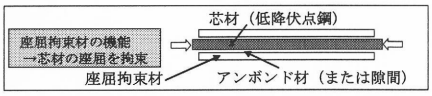


2本組の座屈拘束ブレース

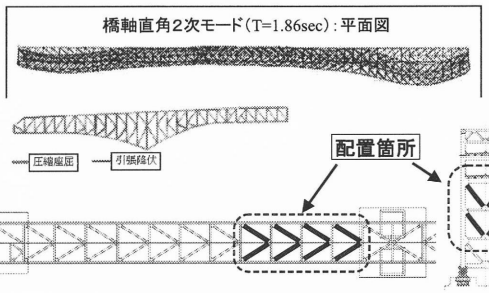


ブレース断面

座屈拘束ブレースの概念図



座屈拘束ブレースの設置位置

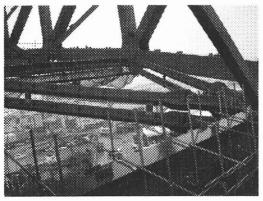


側径間下面側平面図　　主塔断面図

27

座屈拘束ブレースの取付状況

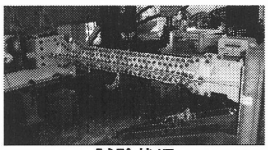
トラッククレーンによる吊り上げ



2本組構造の座屈拘束ブレース

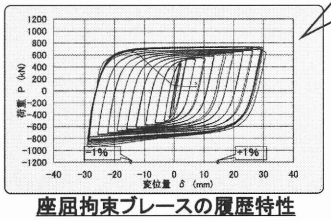
28

適用座屈拘束ブレースの履歴特性



試験状況

安定した履歴特性

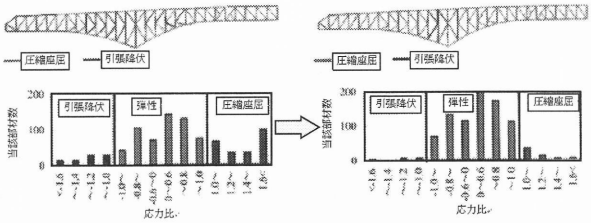


座屈拘束ブレースの履歴特性

29

座屈拘束ブレースの効果

現状構造　　座屈拘束ブレース構造



部材応力比（部材発生応力と降伏応力または座屈応力との比）

※応力比1.0を超過する部材については、 部材補強を実施

30

まとめ

- これまでの阪神高速道路の耐震補強対策の進め方を概説
- 長大橋の耐震補強対策では、地域特性を考慮した設計地震動の設定、最新の免震・制震技術の採用などの特徴
- 港大橋（ゲルバートラス橋）の対策事例の紹介

Thank you

31