第　4　回　定　期　研　究　会

平成 21 年度 SGST 第４回定期研究会　議事録

日時　：平成 21 年 10 月 23 日(金)　16：00～18：00
場所　：愛知工業大学 本山キャンパス　２階多目的室
出席者：後藤（名工大），川西（豊田高専），森谷（海洋架橋），野田（中日本 HW.E），安藤（富士 E），泉野（玉野 C），大内（オリ C），佐藤（片平 E），原田（創建），山本（サクラダ），村瀬，神頭，吉嶺（日車），織田，中川，加藤，松村（瀧上）

17 名(敬称略)

2．定期研究会（川西担当幹事）

講演者：16:00～17:30　福永　勧氏（本州四国連絡高速道路株式会社長大橋技術センター耐風・耐震グループリーダー）

講演項目：「長大橋に関する話題」

講演内容

講演「長大橋に関する話題」：

本州四国連絡高速道路株式会社の維持管理および海峡横断プロジェクトについてのご説明を頂いた。長大橋における吊橋ケーブルの腐食対策、電着工法による防食、耐風・耐震対策および伊勢湾口道路のプロジェクトの概要のご説明を頂いた。耐震対策においては、耐震補強用の地震動の設定方針や解析モデルの設定のポイント等のご紹介を頂いた。

本発表については参加者の関心も高く、活発な質疑応答が行われた。

以上//

平成 21 年 10 月 23 日　SGST 第 4 回定期研究会

講演題目：「長大橋に関する話題」

講演者：　本州四国連絡高速道路株式会社　長大橋技術センター
耐風・耐震グループリーダー　福永　勧　氏

講演要旨：

本州四国連絡高速道路㈱における長大橋の維持管理の内、鋼構造物に係わる維持管理と耐震対策の現状について、全般的な紹介を行う。また、次世代の海峡横断道路プロジェクトの内、伊勢湾口道路の概要を紹介する。

本四連絡橋の維持管理については、重防食塗装の塗替計画の考え方や因島大橋等における工事の状況、主ケーブル防食のための送気乾燥システムと明石海峡大橋における状況、大鳴門橋や因島大橋におけるハンガーロープの防食工法や部分取替工法、瀬戸大橋における鋼ケーソン防食のための電着工法、維持管理の合理化のための門崎高架橋における耐風安定化部材撤去について紹介する。耐震対策については、明石海峡大橋に対する設計地震動の設定、橋梁のモデル化や解析方法と解析結果、耐震性の評価と伸縮装置に対する落下防止のための耐震対策について紹介する。また、伊勢湾口道路については、調査や検討の概要について紹介する。

長大橋に関する話題

本州四国連絡橋の維持管理・耐震補強・等

2009年10月23日

本州四国連絡高速道路株式会社
長大橋技術センター　耐風・耐震G
福永　勧

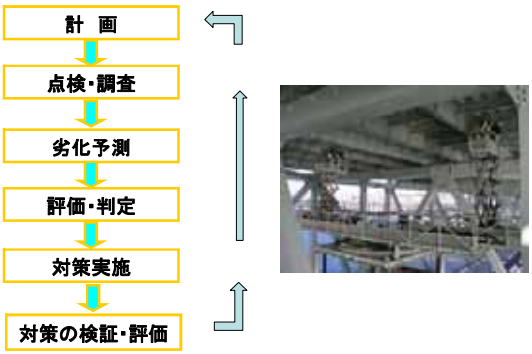
内容

1　本州四国連絡橋
2　本四連絡橋の維持管理
3　明石海峡大橋の耐震対策
4　海峡横断道路プロジェクト

1．本州四国連絡橋

2　本四連絡橋の維持管理

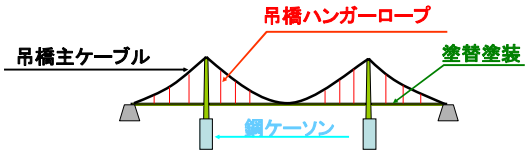
予防保全による構造物の維持管理



構造種別毎の予防保全

構造種別	予防保全
塗替塗装	重防食塗装系と塗膜消耗を観測し劣化予測による上塗り・中塗りに限定した塗替
吊橋主ケーブル	送気乾燥システム（特許）による防食で長寿命化
吊橋ハンガーロープ	全磁束法（特許）による内部腐食量を把握し対策
鋼ケーソン	電着工法によるライニング
コンクリート構造物	点検・非破壊検査に基づく劣化予測により劣化が顕在化する前に対策
橋面舗装	マイクロサーフェシング工法による長寿命化

２．１　鋼構造物の防食

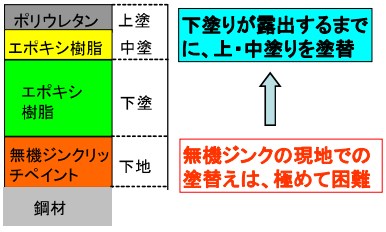


構造種別	予防保全
塗替塗装	上塗り・中塗りに限定した塗替
吊橋主ケーブル	主ケーブル内に乾燥空気を送る送気乾燥システム（特許）による防食
吊橋ハンガーロープ	全磁束法（特許）による内部腐食量の定量化による合理的な防食
鋼ケーソン	電着工法によるケーソン被覆防食

塗替塗装の方針

塗膜の消耗量を観測しながら、上中塗りに限定して塗替え

（重防食塗装の劣化）
鋼材からの錆・剥がれはなく、表面からの塗膜消耗



下塗りが露出するまでに、上・中塗りを塗替

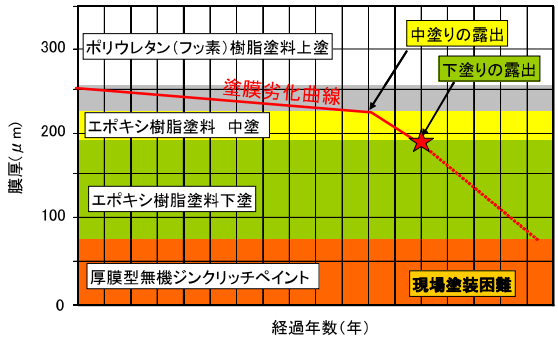
無機ジンクの現地での塗替えは、極めて困難

重防食塗装

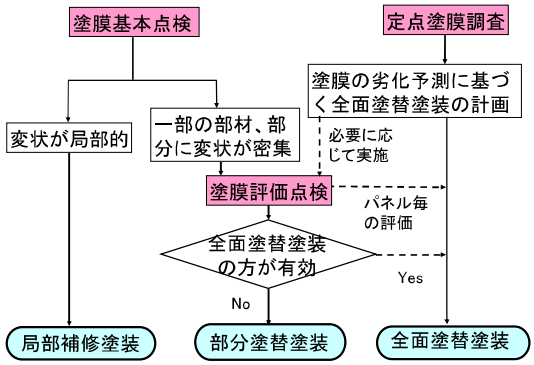
上中塗りの消耗による透けの状況

塗替塗装計画

塗膜消耗量から消耗速度を算定し下塗り層の露出時期を予測



塗替塗装の選定フロー



塗替塗装（素地調整）

素地調整は、上・中塗りの劣化塗膜を下塗り塗膜から働き取るように除去する熟練作業

塗替えは、塗装管理専任者、作業グループ毎に熟練作業者を配置

赤色部分は下塗り層、
白色部分は上・中塗り層の活膜

主塔の塗替塗装工事（因島大橋）

路面防護工

ゴンドラによる塗替塗装

補剛桁塗替塗装工事
（瀬戸大橋）

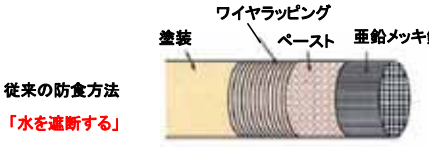
鉄道営業線近接工事

技術開発（箱桁塗装装置）

桁外面作業車上に設置した箱桁塗装装置

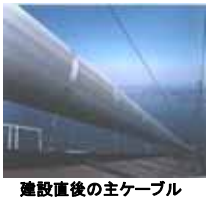
傾斜面塗装状況

吊橋主ケーブルの防食



従来の防食方法
「水を遮断する」

（黒色が腐食部分、薄茶色はペースト）



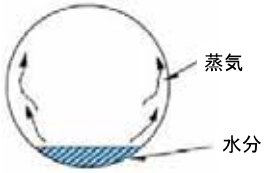
建設直後の主ケーブル

腐食が確認された因島大橋の主ケーブル

吊橋主ケーブルの腐食メカニズム

従来の「水を遮断する」方法は、長期間にわたり水を遮断することは不可能

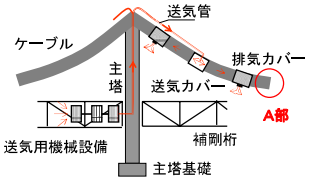
腐食のメカニズム



ケーブル内に乾燥空気を送り水分（湿気）を除去

吊橋主ケーブル送気乾燥システム

乾燥送気システムの概念



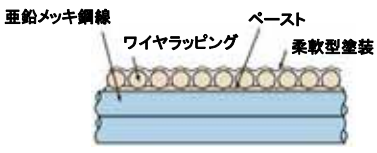
乾燥空気は亜鉛めっき鋼線間の隙間を流れる

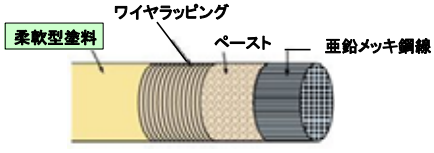
A部　送気の概念

送気設備

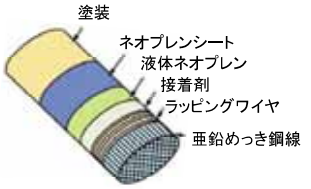
送気カバー

主ケーブルの気密化対策＜既設橋＞

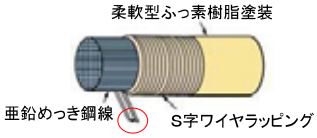




主ケーブルの気密化対策＜新設橋＞



明石海峡大橋
ゴムラッピング
（ネオプレーンシート）

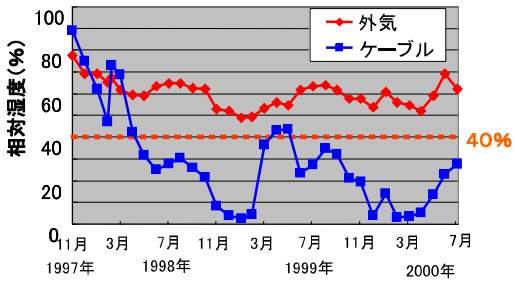


来島海峡大橋（S字ラッピング＋柔軟型塗料）

吊橋主ケーブルの湿度管理

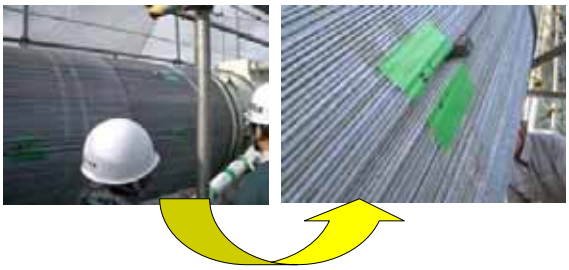
亜鉛めっき鋼線の腐食限界湿度60%に対し40%以下で管理

明石海峡大橋



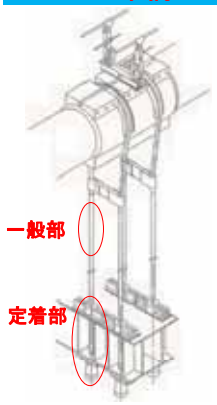
送気開始からの湿度変化

送気乾燥システムの防食性能

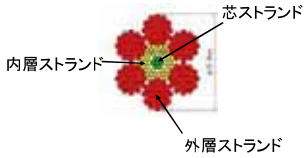


供用10年後の明石海峡大橋

吊橋ハンガーロープの防食

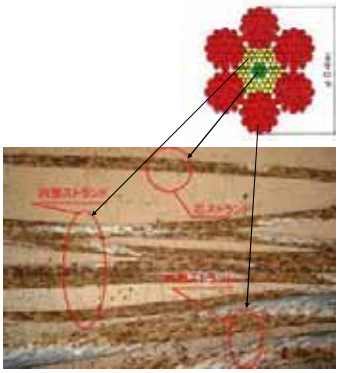


CFRCロープ



CFRCロープ断面

CFRCハンガーロープの開放調査（因島大橋）

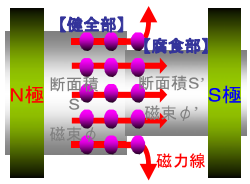


一般部の
内部腐食

全磁束法による腐食状況調査

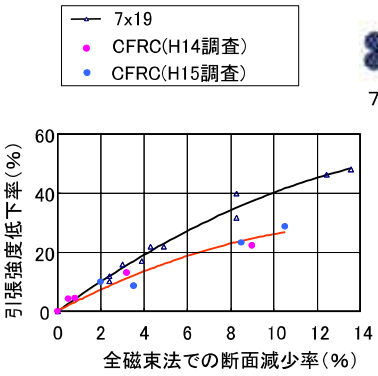
全磁束法で腐食状況を腐食断面減少率として定量化

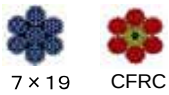
健全部の断面積と磁束量
の比例関係を利用



全磁束法の概念図

腐食断面減少率と引張強度低下率の関係





腐食断面減少率よりも引張強度低下率が大きい

吊橋ハンガーロープの浸漬塗装

塗替塗装は浸漬塗装（ハンガーロープ）

適用部位	素地調整	第1層	第2層
ハンガーロープ（浸漬塗装）	第3種	柔軟型エポキシ樹脂塗料 浸漬　1000	柔軟型ふっ素樹脂塗料 浸漬　700

数字は塗料の標準使用料（g／㎡）を示す

素地調整

第1層完了

第2層完了

浸漬塗装作業

ゴンドラ作業

浸漬塗装器

浸漬塗装状況

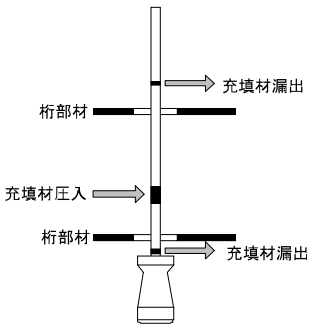
定着ソケット近傍のハンガーロープ部の腐食状況（大鳴門橋）

ハンガーロープ補剛桁定着部

吊橋ハンガーロープ定着部防食対策

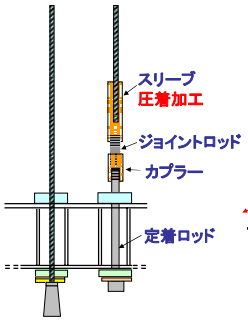
定着部は内部充填工法で長寿命化

ペトロラタムペースト

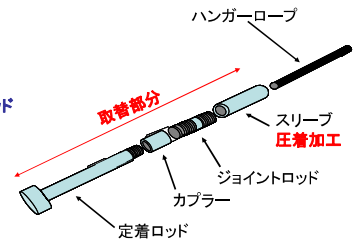


部分取替工法による対策

定着部の腐食箇所は、部分取替工法



部分取替工法の概念



部分取替部詳細

部分取替工法による施工

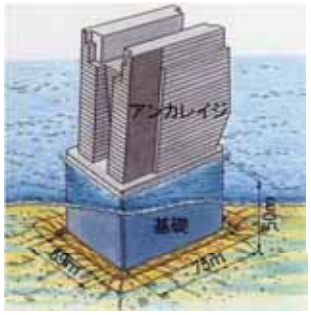
試験施工
状況

圧着加工

施工完了状況

鋼ケーソンの防食

海中基礎は、鋼ケーソンによる設置ケーソン工法



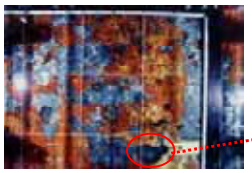
南備讃瀬戸大橋　7Aアンカレイジ

鋼ケーソン製作

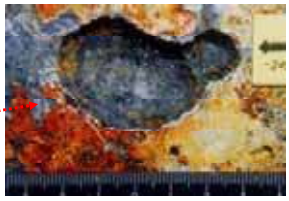
鋼ケーソンの曳航

鋼ケーソン外壁腐食状況

設置後１０年程度で、鋼ケーソン外壁鋼板に孔食

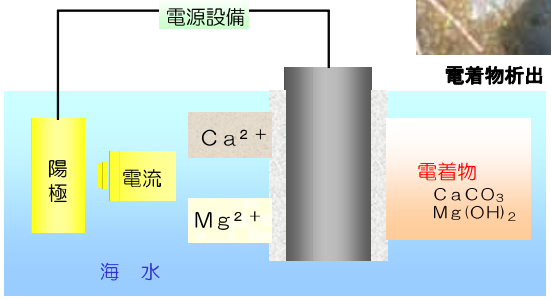


孔食



電着工法による防食

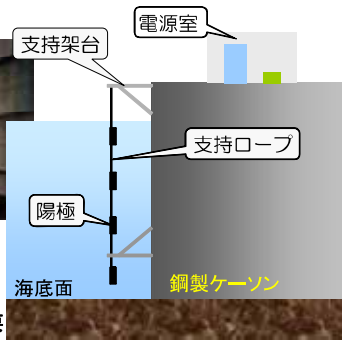
電着物析出



電着工法による防食工法（１）

海水浸漬率80%以上となるTP－1.0m以深が対象

設備設置状況



電着設備の概要

電着工法による防食工法（２）

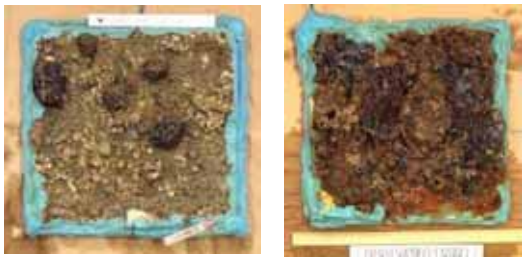
外壁鋼板のスケール（鉄錆、海生生物）は除去

スケールの状況

スケール除去

壁面清掃装置

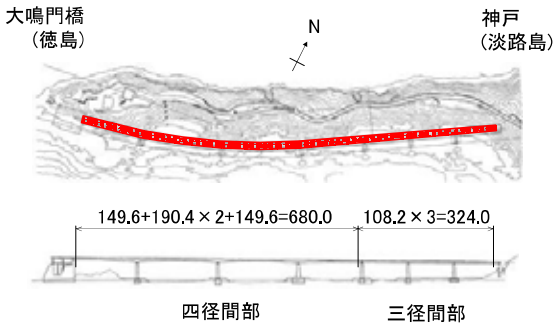
外壁鋼板の状況



電着施工箇所　　電着未施工箇所

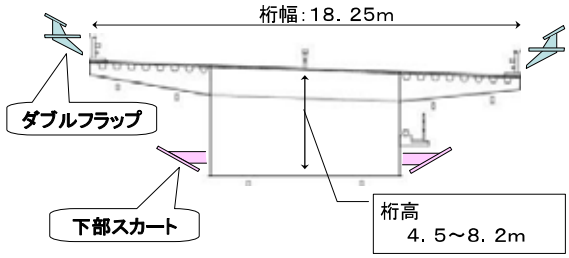
2．2　門崎高架橋の耐風安定化部材の合理化

門崎高架橋



耐風安定化部材の設置

・ダブルフラップ
・下部スカート



耐風安定化部材の腐食状況
（ダブルフラップ）

耐風安定化部材の腐食状況
（下部スカート）

耐風安定性の再評価
維持管理コスト（防食・取替）の削減

- 建設後に得られた知見
- 新たな風洞試験結果

⇩

耐風安定化部材の合理化

建設後に得られた知見（構造減衰）

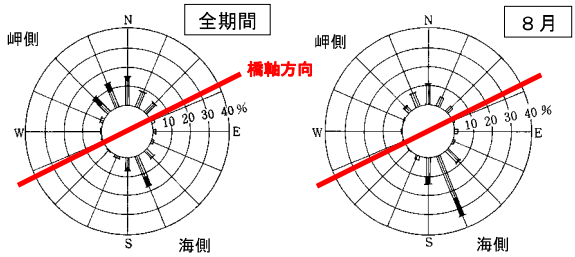
当初設計では、対数減衰率を、δ ＝0.02と想定

橋梁完成後の実橋振動試験では、δ ＝0.05程度

➡ 耐風安定性上、好ましい傾向

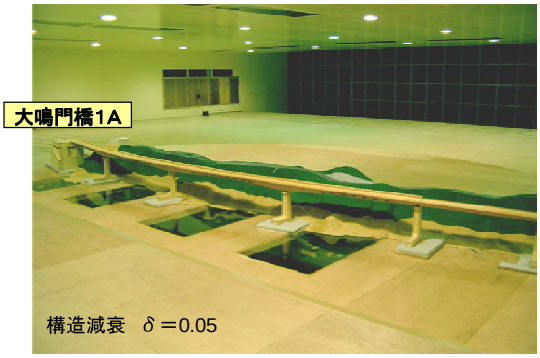
建設後に得られた知見（現地気流特性）

- 特に、南東（海側）からの風が卓越
- 北西（岬側）からの風の発生頻度は低い

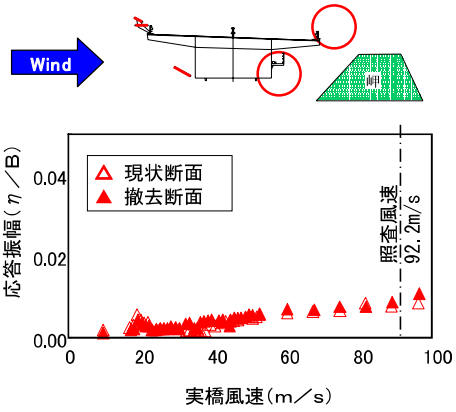


風観測結果 （S46～S59）

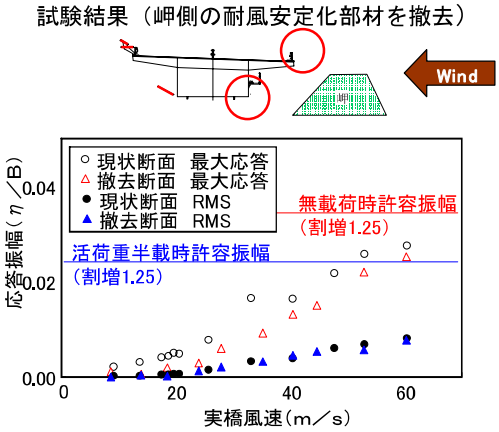
全橋模型試験(縮尺1/100)



試験結果 （岬側の耐風安定化部材を撤去）



試験結果 （岬側の耐風安定化部材を撤去）



耐風安定化部材撤去状況

岬側ダブルフラップ撤去

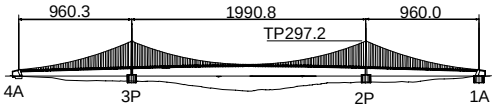
下部スカート撤去

3　明石海峡大橋の耐震対策

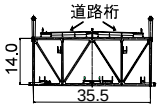
1998年4月　完成

明石海峡大橋の概要

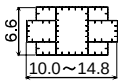
全体側面図

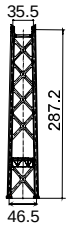


補剛桁断面図



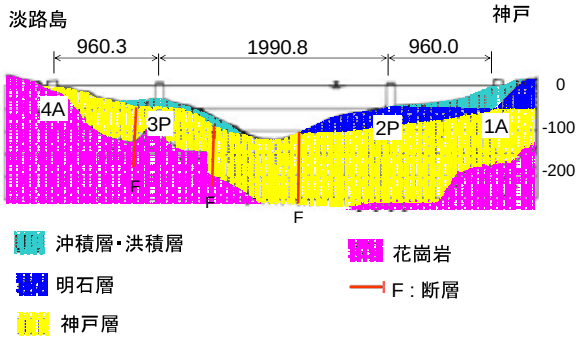
塔柱断面図





主塔正面図

地質条件



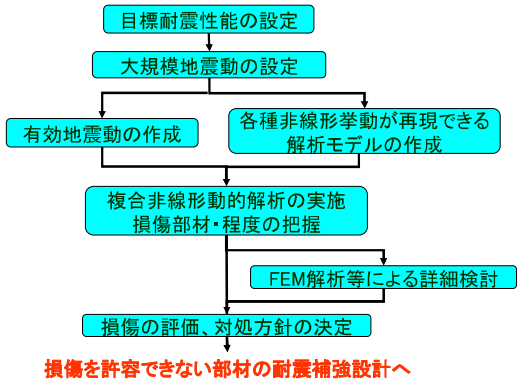
耐震補強の必要性

- 設計地震力を上回る地震の発生が懸念
  - 内陸直下型地震は明確に考慮してない
- 地震時には緊急輸送道路となる
  - 神戸と淡路島間の唯一の道路
- 長周期地震動の影響が懸念
  - 長周期地震動の研究が進展

⇩

- 大規模地震動を新たに設定し、耐震性能照査と耐震補強検討を実施

照査フロー図



損傷を許容できない部材の耐震補強設計へ

目標耐震性能

安全性

・落橋、倒壊が生じない。

地震時の使用性

・必要な修復が行える。
・緊急車両は、応急修復により通行可能である。
・一般車両も、走行制限を実施することにより地震後短期間で通行可能である。

耐震補強検討用地震動の設定方針

①最新の地震情報に基づき、シナリオ地震を想定

②未知なる活断層の地震動も考慮

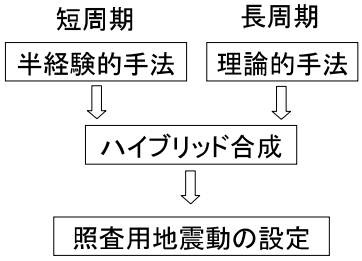
③長大橋梁が対象であるため、広帯域（0.05～30秒）の地震動を定義

④推定はハイブリッド法により実施

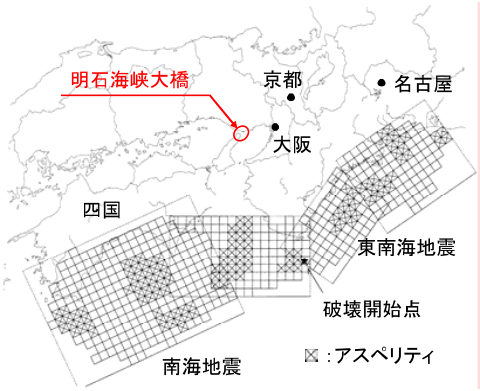
想定したシナリオ地震

- 東南海・南海地震による地震　M8.5
  30年以内の発生確率は約50%
  50年以内の発生確率は約90%
- 六甲ー淡路断層帯による地震　M7.9
  50年以内の発生確率は最大2%
- 伏在断層による地震動　M6.8
  発生位置・時期を特定出来ない地震

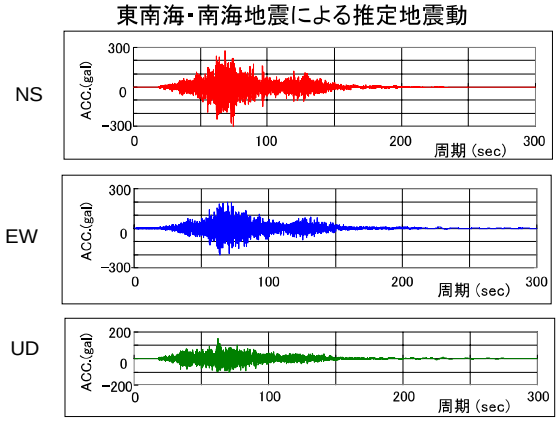
耐震補強検討用地震動の推定方法



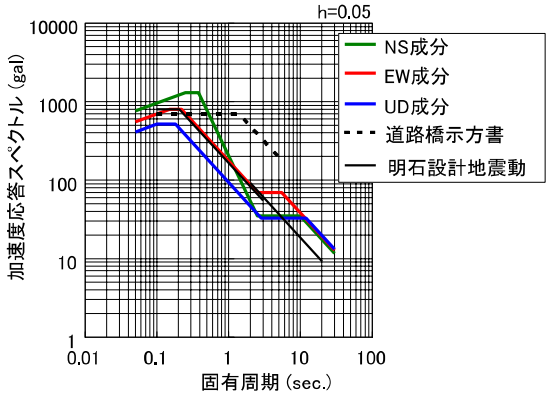
東南海・南海地震



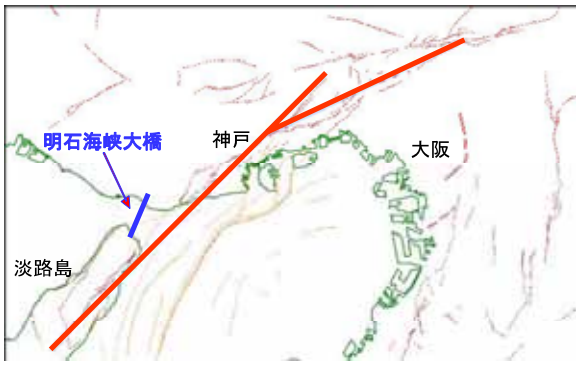
東南海・南海地震による推定地震動



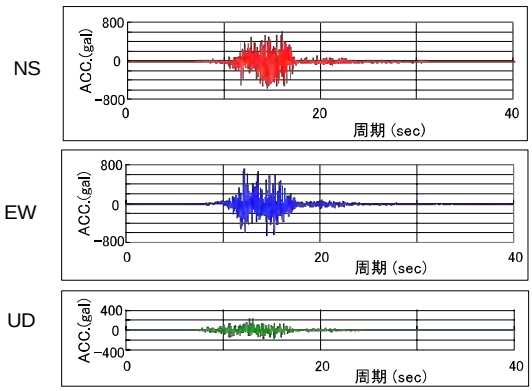
東南海・南海地震動の加速度応答スペクトル



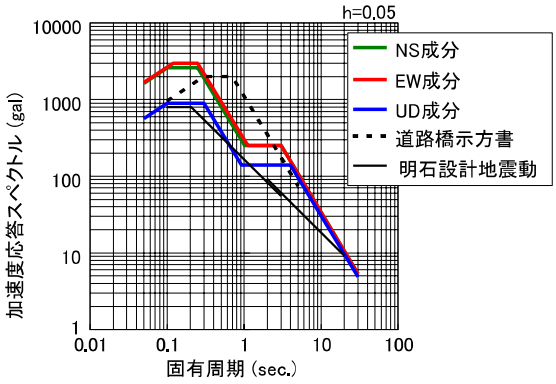
六甲－淡路断層帯



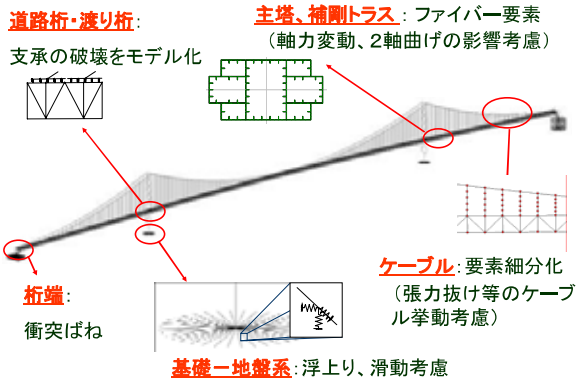
六甲－淡路断層帯による推定地震動



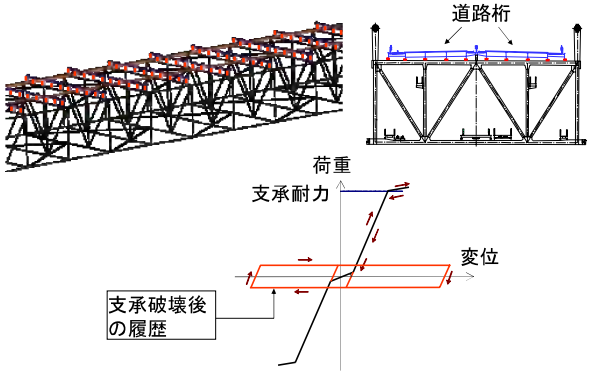
六甲－淡路断層帯の地震動の加速度応答スペクトル



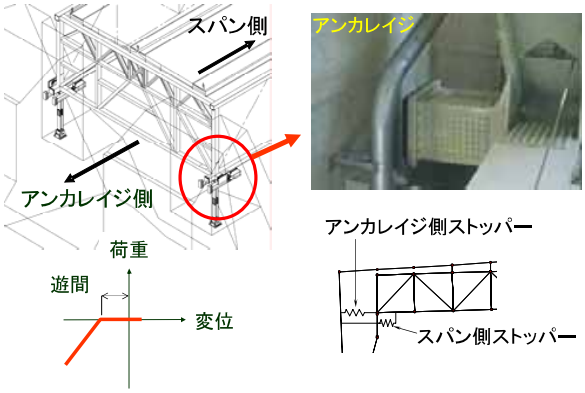
吊橋全体系解析モデル



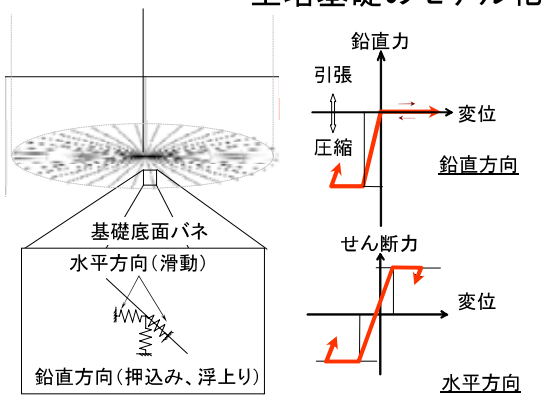
道路桁支承の破壊のモデル化



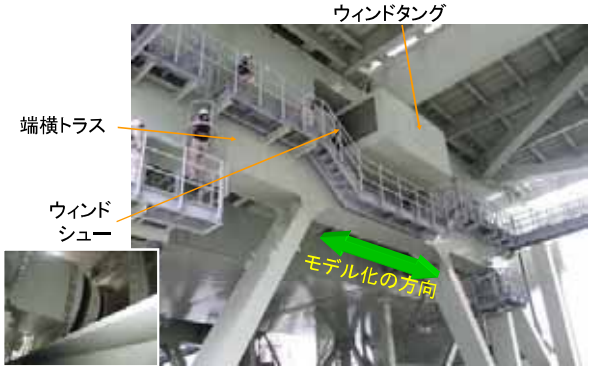
衝突バネのモデル化（側径間補剛桁端部）



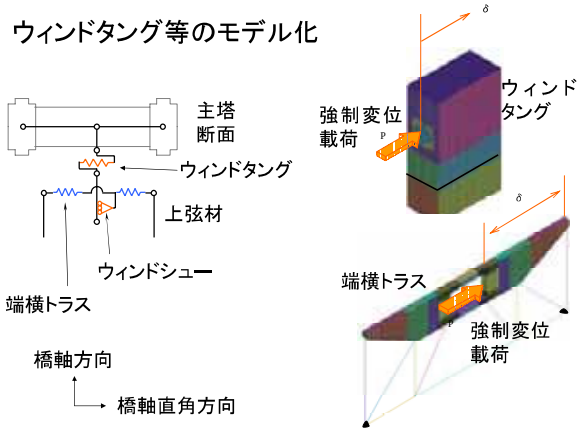
主塔基礎のモデル化



主塔と補剛桁接続部



ウィンドタング等のモデル化

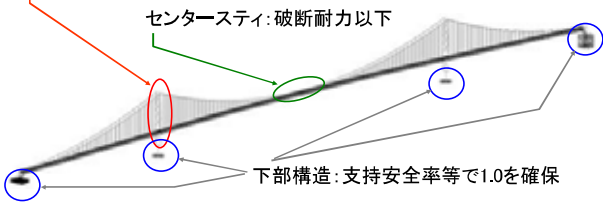


地震応答解析の方法

- 複合非線形動的解析を実施
  - 材料非線形性を考慮
  - 幾何学的非線形性を考慮
- 各基礎位置で算出した有効地震動（3方向）を入力
- 減衰モデルは要素別剛性比例型
- 構造要素の破壊を考慮した計算

解析結果（1）

主塔 { 塔柱基部の角部で**座屈強度に対して103%**の応答
下部水平材で**座屈強度に対して142%**の応答

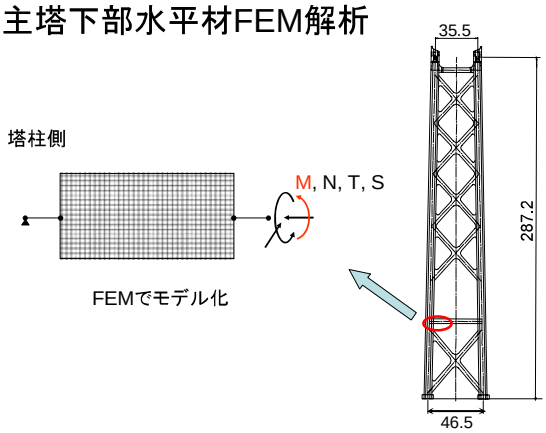


補剛桁
主ケーブル
ハンガーロープ } 弾性範囲内・無損傷

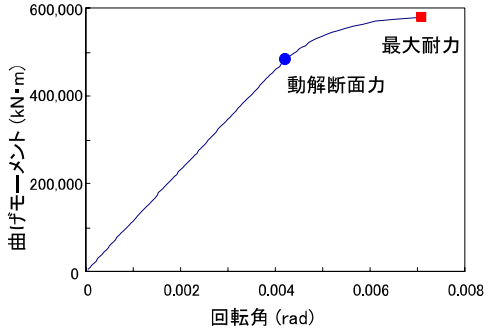
損傷の評価及び対処方針（1）

主塔（塔柱基部）	✓応答が角部で僅かに降伏応力度を超過するのみ ✓動解断面力は最大耐力以下 等から**損傷を許容する**
主塔（下部水平材）	✓動解断面力は最大耐力以下 ✓主塔の面内（直角）方向は余剰耐力を有すると考えられる ✓水平材の補強は、塔柱の損傷を誘導する可能性がある ✓水平材の軽微な損傷は修復可能と考えられる から**損傷を許容する**

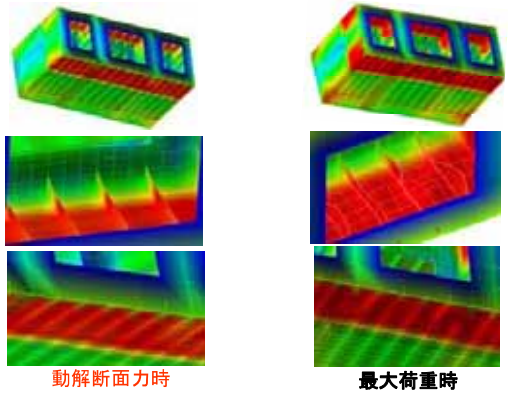
主塔下部水平材FEM解析



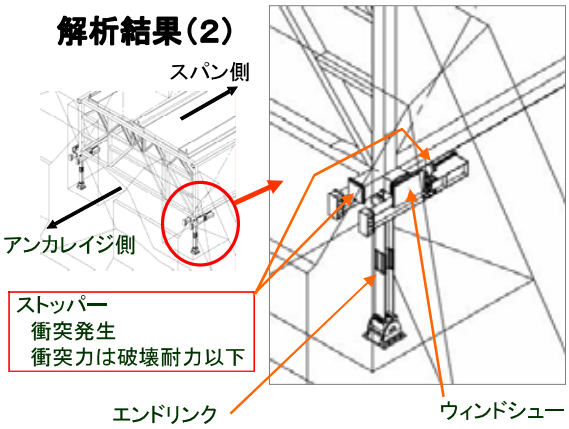
主塔下部水平材FEM解析結果



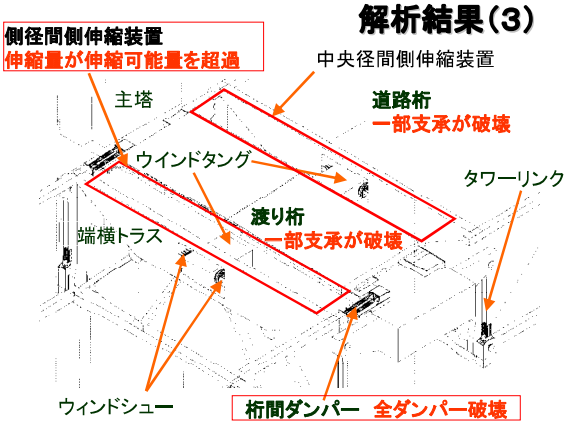
主塔FEM解析（下部水平材）



解析結果（2）



解析結果（3）



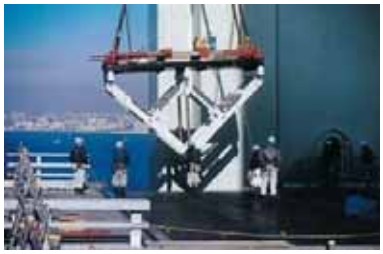
損傷の評価及び対処方針(2)

桁間ダンパー	✓橋としての機能に影響を及ぼさない ✓修復が可能である から**損傷を許容する**
道路桁支承	✓道路桁が拘束を失うことは無い ✓支承の補強は、道路桁や補剛トラスの損傷を誘導する可能性がある ✓修復が可能である から**損傷を許容する**

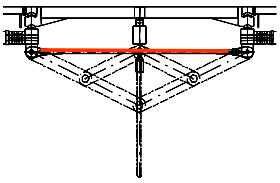
桁間ダンパー

損傷の評価及び対処方針(3)

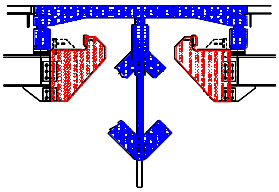
伸縮装置 主塔部 側径間側	✓路面に大きな貫通穴が発生する ✓通行車両の地震時走行性(安全性)に重大な影響を及ぼす可能性がある から**通行車両の落下防止対策を行う**



伸縮装置に対する対策



PCケーブルによって伸縮装置の伸びを拘束し、伸縮装置がバラバラにならない様にする



伸縮装置の固定部が損傷しても下に落ちない様にする。

来年度以降、対策工事を実施する予定

4　海峡横断道路プロジェクト
伊勢湾口道路

伊勢湾口道路建設促進期成同盟会のHPより

ルート図

全長　　約90km

湾口部　約20km

現地調査の結果

調査等の経緯

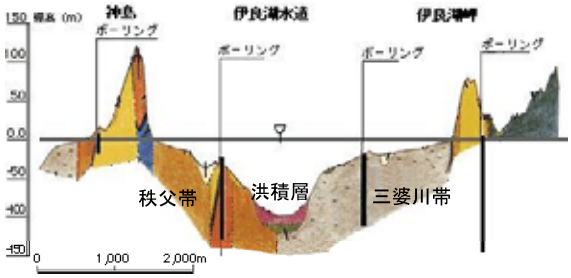
平成元年～　気象観測調査開始

平成8年～　海上ボーリング開始

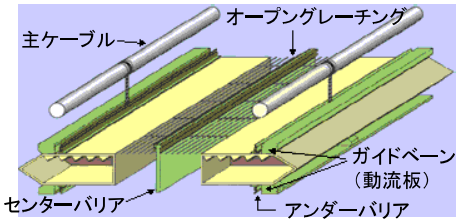
海象(波浪)調査結果

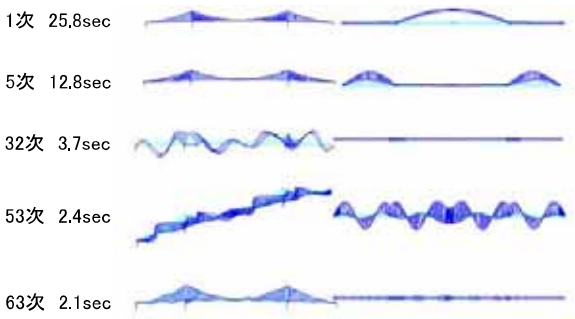
現地調査	最大波高	周期	備考
神島南東沖	12.8m	14.0秒	平成9年7月26日　台風9号
神島西側	10.8m	11.0秒	平成6年9月29日　台風26号

地質の状況



技術調査結果（補剛桁断面）



有り難う御座いました

モード解析結果（主なモード）