

平成22年度 技術発表会

# 複合斜張橋の設計と施工

## — 銚子大橋(斜張橋部)

### 上部工工事 —



日本橋梁建設協会  
Japan Bridge Association

技術委員会 設計小委員会

青木 大輔 増田 高志 小塚 正博

## 本日の内容

1. 橋梁概要
2. 鋼2主桁複合斜張橋の構造
3. 工場製作
4. 主塔施工
5. 上部工架設
6. まとめ

2

## 1 橋梁概要

### ■ 銚子大橋について

千葉県東総部地域と茨城県鹿行地域を結ぶ幹線道路として、国道124号の一級河川利根川上に架設。

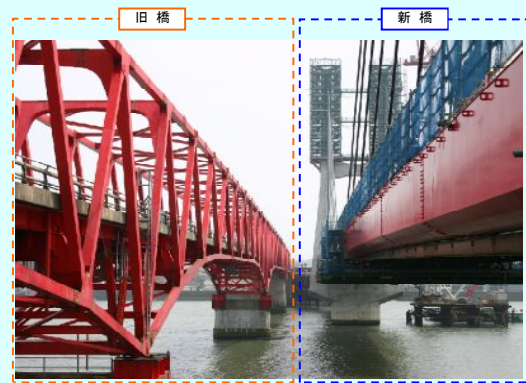


旧橋(昭和37年建設)  
・塩害等による損傷  
・大型車両の通行規制  
・耐震性確保  
・歩行者の安全性向上

現在の複合斜張橋(国内初のエッジゲータータイプの複合斜張橋)へ架け替え

3

## 1 橋梁概要



4

## 1 橋梁概要



所在地:千葉県銚子市~茨城県神栖市  
(国道124号)

道路規格:第3種第2級

設計速度:60km/h

橋長:473.7m(全長1208.6m)

支間長:106.3+192.6+107.4+65.45m

幅員構成:車道:7.5m+歩道:3.0m

橋梁形式:4径間連続複合斜張橋  
(RC主塔)

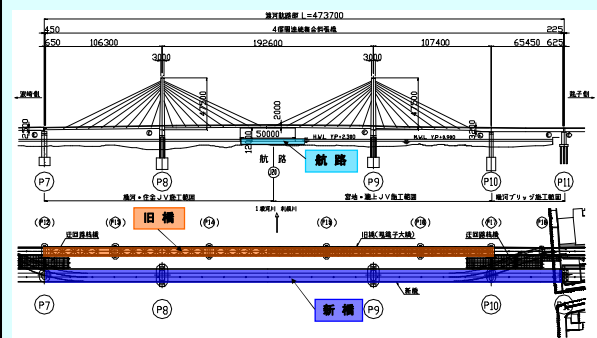
基本風速:U10=45m/s

地盤種別:II種地盤

(地域区分A,Cz=1.0)

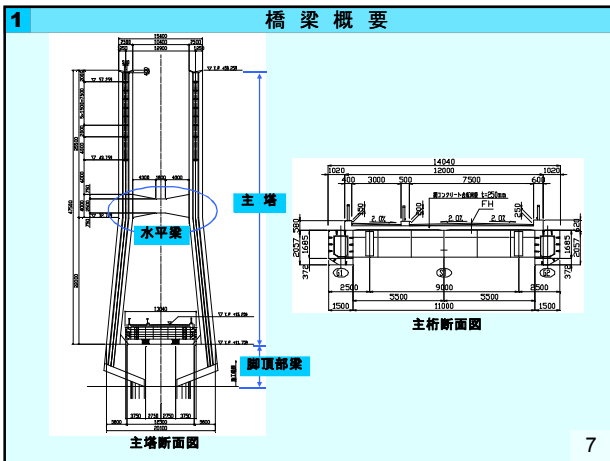
5

## 1 橋梁概要



全体一般図

6



### 2 鋼2主桁複合斜張橋の構造

■ 構造形式の選定

【構造形式の選定条件】

- ・建設費が低コスト
- ・橋脚の基数が最小
- ・工期短縮

↓

エッジガーダータイプの鋼2主桁複合斜張橋

- ・国内初の構造
- ・Alex Fraser橋(カナダ) Owensboro橋(米国), Rion-Antirion橋(ギリシャ)等の海外での施工実績が多い。

8

### 2 鋼2主桁複合斜張橋の構造

【海外での構造形式】

- ・RC主塔+鋼I断面エッジガーダー
- ・プレキャストPC床版  
(継手部:ループ継手部に後打ちコンクリート)

↓

国内での設計基準への準拠

- ・耐風安定性確保
- ・耐震性の確保

↓

少数主桁橋, 細幅箱桁橋の構造および設計手法を斜張橋へ応用

↓

【鈹子大橋での構造形式】

- ・RC主塔+鋼箱断面エッジガーダー
- ・鋼・コンクリート合成床版

9

### 2 鋼2主桁複合斜張橋の構造

既往の鋼斜張橋: 鋼重600kg/m<sup>2</sup>

箱断面エッジガーダータイプの複合斜張橋の採用により,

鋼重が1/2

(鋼I断面エッジガーダーが適用可能な条件では更なる鋼重削減も可能)

鈹子大橋: 鋼重300kg/m<sup>2</sup>

比較項目	海外における施工実績	鈹子大橋	既往の鋼斜張
主桁形状			
床版	プレキャストRC床版+場所打ちコンクリート	鋼・コンクリート合成床版	鋼床版
床版支間	橋軸方向	橋軸直角方向	橋軸・橋軸直角方向
床組み構造	橋軸方向に4~5m間隔で縦桁配置	主桁間に縦桁1本 横桁間隔は11.4m	橋軸方向に2.5m間隔で縦桁配置
定着部構造	桁より上で定着	箱桁内で定着	箱桁内で定着orアンカー方式...等
ケーブル	現場施工型ケーブル	現場施工型ケーブル	工場製作ケーブル
主塔	RC製	RC製	鋼製
鋼重	180~220kg/m <sup>2</sup>	300kg/m <sup>2</sup>	500~700kg/m <sup>2</sup>
桁高支間比	1/150~1/250	1/100	1/150~1/250

10

### 2 鋼2主桁複合斜張橋の構造

■ 構造的特長

①主桁: 鋼箱断面

- ・ケーブル定着部や添架物の箱桁内への格納(耐久性向上)
- ・耐風安定性に優れた断面

②床組構造: 主桁間に1縦桁配置(床版支間5.5m), 横桁間隔11.4m(ケーブル定着点間隔)

- ・構造の簡素化による維持管理性向上

③床版: 鋼・コンクリート合成床版  
(コンクリート打設を主桁閉合後一括として連続性確保)

- ・長支間の床版支間(5.5m)に対応
- ・耐久性の高い床版構造

11

### 2 鋼2主桁複合斜張橋の構造

④ケーブル定着部: 定着梁による箱内定着方式

- ・定着部の防錆の向上
- ・応力伝達の円滑化による疲労耐久性の向上

(a) 海外の事例 (b) 鈹子大橋の定着構造

12

2 鋼2主桁複合斜張橋の構造

⑤主塔:RC構造のH形主塔, 主塔基部は受け梁構造

- 耐震性, 施工性への配慮
- 河川内の根入れの深い基礎のコンパクト化

主塔の中間横梁

主塔基部の構造

13

2 鋼2主桁複合斜張橋の構造

■ 技術的課題への対応

【技術的課題】	【技術的対応】
①耐風安定性の確保	風洞実験に基づく剥離干渉法による箱断面形状の改良
②耐震性の確保	免震支承の適用

14

2 鋼2主桁複合斜張橋の構造

①耐風安定性の確保

【耐風安定性に関する課題】

- 強風地域に架設される
- 塩害対策区分S地域のため、腐食環境下における耐久性に課題がある、フェアリングやフラップ等の2次部材を設置せず、耐風安定性を確保する必要がある

↓

【風洞実験による耐風安定性の検証】

- 耐風特性の把握
- 耐風安定性に優れた断面形状の決定

15

2 鋼2主桁複合斜張橋の構造

○風洞試験概要

実験模型: 縮尺率1/40, 2次元剛体模型

剛体模型支持方法

模型設置状態

実橋と模型との相似率の一覧

単位	実橋	模型	相似率	
等価質量	$\text{kN}\cdot\text{sec}^2/\text{m}^2$	29.8	0.018	$1/(40.6)^2$
等価重量慣性モーメント	$\text{kN}\cdot\text{sec}^2$	3540	0.0013	$1/(40.6)^2$
たわみ1次振動数	Hz	0.43	2.85~2.88	$\sqrt{43.9\sim 44.8}$

16

2 鋼2主桁複合斜張橋の構造

○風洞実験結果(その1)

初期設定断面

初期設定断面では, 実風速 $V_p$ =約9.5m/secでたわみ渦励振の発生を確認

↓

断面形状を変化させた耐風安定性の検証

①: 外桁主桁ウェブ高  
 p: フランジ傾斜部の水平長  
 $\theta_u$ : 上フランジ端と地覆端との角度  
 $\theta_d$ : 下フランジ傾斜角

17

2 鋼2主桁複合斜張橋の構造

○風洞実験結果(その2)

たわみ応答

①: 外桁主桁ウェブ高  
 p: フランジ傾斜部の水平長  
 $\theta_u$ : 上フランジ端と地覆端との角度  
 $\theta_d$ : 下フランジ傾斜角

$\theta_d=30^\circ$ ,  $p/D'=0.38$ の断面形状が最も耐風安定性に優れていた。

18

## 2 鋼2主桁複合斜張橋の構造

### ②耐震性の確保

- ・重要度:B種
- ・要求耐震性能

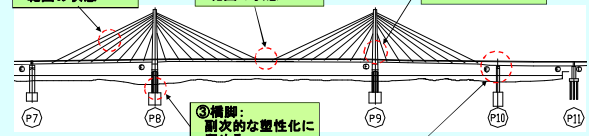
レベル1地震動:  
耐震性能1を確保

レベル2地震動:  
耐震性能2を確保

④ケーブル:  
弾性域を超えない範囲の状態

①上部構造(主桁):  
弾性域を超えない範囲の状態

②主塔:  
弾性域を超えない範囲の状態



③橋脚:  
副次的な塑性化に留める

⑤免震支承:  
エネルギー吸収が確保できる限界の状態

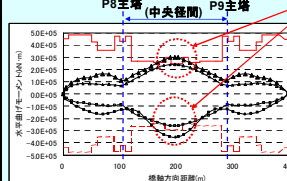
19

## 2 鋼2主桁複合斜張橋の構造

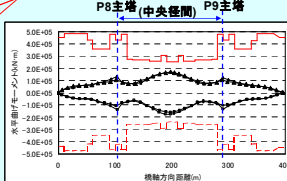
### ○免震支承の効果

【上部工】  
レベル2地震動の応答曲げモーメント < 抵抗曲げモーメント  
(抵抗曲げモーメントは常時荷重で決定された断面のもの)

①分散支承



②免震支承



主桁の応答曲げモーメントと抵抗曲げモーメントの比較

【RC橋脚, RC主塔】  
一般的な桁橋と同様に、応答値の大幅な低減

20

## 2 鋼2主桁複合斜張橋の構造

### ○床版ひび割れに配慮した免震支承の構造

【床版設計における課題】  
活荷重載荷時、主塔中間支点上に負の曲げモーメント発生。床版ひび割れの抑制が必要。

↓

【対策】  
支承上面に隙間を設け、鉛直反力を支持せず、活荷重の負曲げモーメント発生を抑制



主塔部の中間支点の免震支承

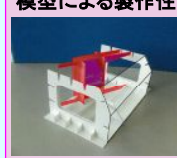
21


## 3 工場製作

### ■ ケーブル定着部の検討

#### ①検討フロー

模型による製作性(溶接作業性, 塗装作業性)の検討





状態1: 定着部+床版+ダイヤ    状態2: 状態1+残り床版    状態3: 状態2+上下フランジ

↓

ケーブル架設に配慮したケーブル定着部の構造検討

↓

構造変更に伴い、FEM解析による応力状態の確認

22

## 3 工場製作

### ②ケーブル架設に配慮したケーブル定着部の構造検討

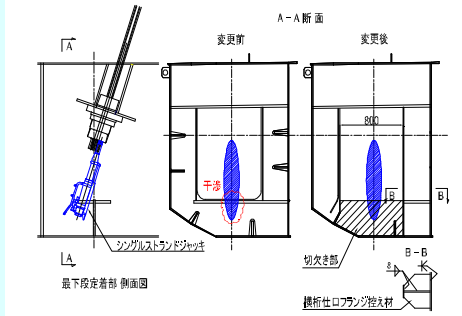
#### ○使用ジャッキに対する構造検討事項

使用ジャッキ	シングルストランドジャッキ	マルチストランドジャッキ
使用状況	ケーブル張力調整(増引き)時	ケーブル張力調整(引戻し)時
形状重量	200Φ×900mm、25kg	570Φ×445mm、610kg
検討課題	ケーブル定着角度が大きい箇所、ダイヤフラム開口部とジャッキが干渉	①桁内が狭隘で、定着部間隔が14mで移動が困難 ②桁側定着具の重量が大きく、施工性が悪い
対応構造	ダイヤフラム構造の変更(切り欠き設置、T型断面化による剛性向上)	①ジャッキ搬入用マンホール設置 ②桁側定着具を桁製作時に設置し、現場へ搬入

23

## 3 工場製作

### ○シングルストランドジャッキ定着部の構造



ケーブル定着部ダイヤフラム

24

3 工場製作

○マルテストランドジャッキ定着部の構造

桁側定着具+アンカープレート

ジャッキ搬入用マンホール

ジャッキ桁側定着部

25

3 工場製作

③FEM解析によるケーブル定着部応力検討

○解析モデル:着目部のスムアアップモデル

着目部

平滑部

モデル化範囲

FEM解析モデル

定着部拡大図

26

3 工場製作

○着目部の発生応力

[A-A断面(変更前)]

248N/mm<sup>2</sup>

ダイヤフラム

ケーブル定着部

[A-A断面(変更後)]

118N/mm<sup>2</sup>

定着梁

着目点(主桁ウェブ;  
ダイヤフラム付近下側定着梁取付部)

定着梁を延長

27

3 工場製作

■鋼・コンクリート合成床版の主桁定着金具の検討

○鋼・コンクリート合成床版の主桁定着金具の検討フロー

- 主桁断面の剛性が低い
- ・バラシング架設工法の採用

↓

架設時の耐風対策が必要

防錆対策上  
横構の設置は望ましくない

↓

定着金具による合成床版パネルと主桁、縦桁を連結することにより、横構設置と同等以上の剛性確保

↓

FEM解析による定着金具設置の耐風安定性向上効果の確認

28

3 工場製作

○定着金具の構造

定着金具

底銅板

高力ボルト

合成床版

主桁上フランジ

概念図

開孔部:  
・コンクリート充填性確保  
・ボルト締付け用ハンドホール

合成床版リブ

定着金具

定着金具

29

3 工場製作

○FEM解析による耐風安定性の効果の確認(その1)

解析モデル

【最大張出し時の架設系】

解析モデル全体図

解析モデル拡大図

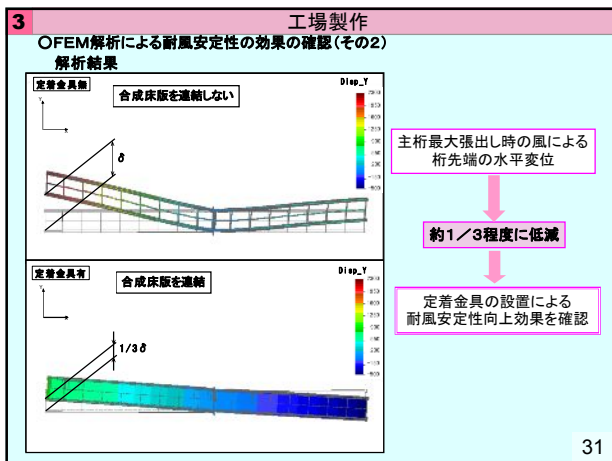
合成床版:シェル要素

主桁・横桁:シェル要素

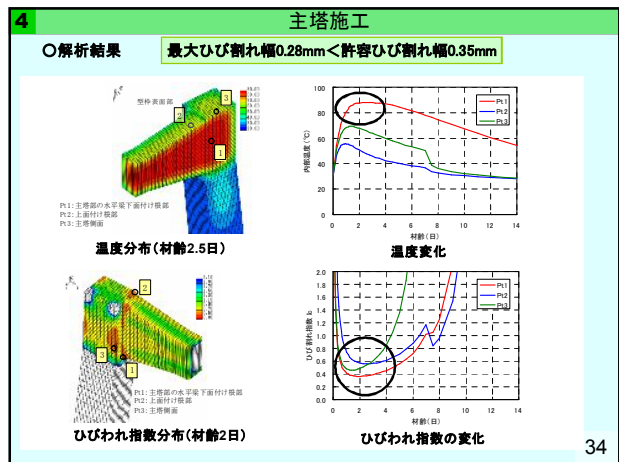
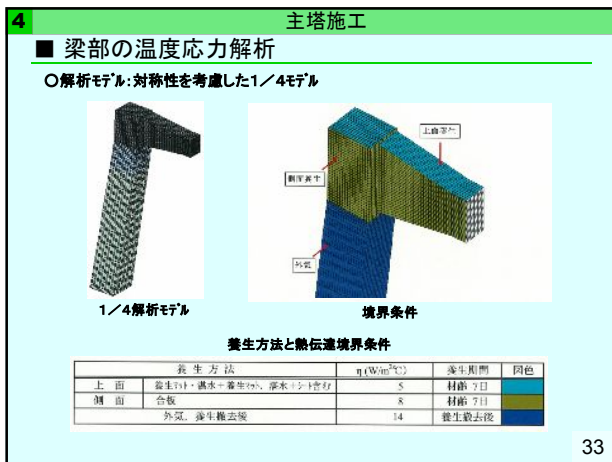
載荷荷重

- ・荷重組合せ:死荷重+プレストレス+風荷重
- ・死荷重:自重, 架設時荷重(移動防護工, 覆工設備を含む)
- ・プレストレス:ケーブルプレストレス
- ・鋼構造架設設計施工指針(土木学会)による架設地点の状況を考慮した橋直方向の風荷重(架設時の設計風速:36m/sec, W=3.19kN/m<sup>2</sup>)

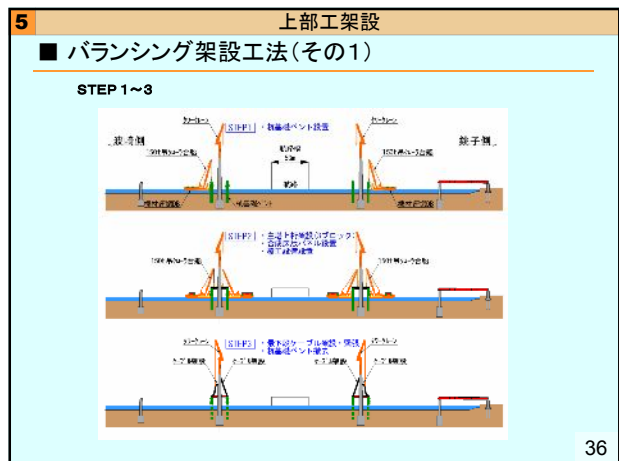
30



- ### 4 主塔施工
- #### 主塔施工における検討項目
- ①塩害対策**
    - ・コンクリートのかぶり厚を一般部で100mm以上確保
    - ・鉄筋は全てエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用
    - ・型枠固定用セパレータは、耐久年数100年後の腐食限界塩化濃度検出から、躯体表面から300mm以内をステンレス製とした
  - ②コンクリート配合**
    - ・梁・中間梁は鉄筋量が多く、かつ圧送距離が水平管換算で最大約300mとなり、十分なワーカビリティの確保に配慮
    - ・筒先でスランプ12cm程度確保するため、スランプロスを6cm想定し、生コン車荷おろし時スランプを18cmとした
    - ・AE減水剤の添加により水セメント比を最小限とし、膨張剤の添加により、ひび割れの抑制を図った
  - ③梁部の温度応力解析**
    - ・梁部はマッシュアップ構造、コンクリート設計基準強度が40N/mm<sup>2</sup>であり、温度ひび割れの発生に配慮
    - ・コンクリート温度応力解析による、適正な配合と養生方法の検討を実施
- 32



- ### 5 上部工架設
- #### 架設概要
- 【架設工法選定における制約条件】
- ①全長に渡り海上に位置する
  - ②中央径間部の50mの航路を確保する
  - ③漁業に影響を与えない架設工法とする
- ↓
- 【架設工法】
- ・150t吊クローラ台船を用いたバランシング架設工法
  - ・現場施工型ケーブルの採用
- 35



5 上部工架設

■ バランシング架設工法(その2)

STEP 4~6

37

5 上部工架設

■ 150t吊クローラ台船架設

38

5 上部工架設

■ バランシング架設

中央径間7ブロック  
側径間6ブロック張出し状態

39

5 上部工架設

■ 施工ステップ

1サイクル3日で張出し架設

40

5 上部工架設

■ 現場組立型ケーブルの概要

ケーブル断面図			ストランド断面図	
断面構成	19H	22H	31H	ストランド
断面図				
断面積	2783 mm <sup>2</sup>	3223 mm <sup>2</sup>	4541 mm <sup>2</sup>	146.5 mm <sup>2</sup>
引張荷重	4959 kN	5742 kN	8091 kN	261 kN
弾性係数	190 kN/mm <sup>2</sup>	190 kN/mm <sup>2</sup>	190 kN/mm <sup>2</sup>	190 kN/mm <sup>2</sup>
単位長さ質量	26.9 kg/m (19x1.288+2.43)	30.8 kg/m (22x1.288+2.43)	42.7 kg/m (31x1.288+2.79)	1.288 kg/m

41

5 上部工架設

■ 現場組立型ケーブルの施工(その1)

○現場組立型ケーブルの架設の流れ①

42

### 5 上部工架設

#### ○現場組立型ケーブルの架設の流れ②

準備工  
保護管、ファーストストランド設置  
ストランド設置  
制振装置設置、保護管処理  
ウレタン注入、完了

43

### 5 上部工架設

#### ○現場組立型ケーブルの架設の流れ③

準備工  
保護管、ファーストストランド設置  
ストランド設置  
制振装置設置、保護管処理  
ウレタン注入、完了

44

### 5 上部工架設

#### ○現場組立型ケーブルの架設の流れ④

準備工  
保護管、ファーストストランド設置  
ストランド設置  
制振装置設置、保護管処理  
ウレタン注入、完了

45

### 5 上部工架設

#### ○現場組立型ケーブルの架設の流れ⑤

準備工  
保護管、ファーストストランド設置  
ストランド設置  
制振装置設置、保護管処理  
ウレタン注入、完了

46

### 5 上部工架設

#### ■現場組立型ケーブルの施工(その2)

準備  
ケーブル架設  
張力調整  
緩衝装置取付  
制振装置取付  
定着具防錆処理

保護管組立  
保護管溶着  
ストランド架設  
1次緊張 (架設時設計張力60%)  
2次緊張 (架設時設計張力80%)  
3次緊張 (架設時設計張力100%)  
鋼桁閉合時  
床版コンクリート施工完了時  
定着具内ウレタン注入  
定着具露出部防錆テープ巻付

主塔側定着部 (ジャッキに張力導入)

47

### 5 上部工架設

#### ■現場組立型ケーブル(その3)

- 床版コンクリート前は、全死荷重の40%程度
- 架設時の誤差を残した状態で後死荷重を載荷した場合、ケーブル応力超過の懸念がある

合計2回の全体張力調整

- 主桁架設完了時
- 床版コンクリート打設後

最下段ケーブル(22H)の場合

荷重状態	斜材張力	ストランド1本当たりの張力	設計張力に対する割合
ケーブル架設時	58.2 t	2.6 t	39%
主桁閉合時	53.1 t	2.4 t	36%
床版・地覆打設後	134.8 t	5.7 t	90%
設計張力(D+Ps)	149.5 t	6.8 t	100%

48



**5** 上部工架設

■ 出来形管理

出来形管理項目			
管理項目	計測機器	計測位置	規格値・適用
主桁キャンバー	レベル	橋点の主桁和置キャンバー	±0.0±25(L/2)
ケーブル張力	ロードセル	架設済みの全てのケーブル	±10%以内 +応荷重設計張力に対する +ケーブル張力許容値以下
温度	熱電対	主桁・主塔・ダミーケーブル	標準温度からの差分を設計値に反映

桁キャンバー管理図

ケーブル導入張力管理図

49

**6** まとめ

鈔子大橋＝国内初のエッジガーダータイプの複合斜張橋

- ◆ **低コスト、橋脚数の制限(長スパン)に対応可能な構造**
  - RC橋脚＋鋼箱断面エッジガーダーにより構成
  - 鋼・コンクリート合成床版の採用
  - 現場組立ケーブルの採用
- ◆ **全長海上架設、航路の確保、漁業への影響に配慮した架設工法**
  - バランシング架設工法の採用
- ◆ **技術的な課題への対応**
  - ①耐風安定性の確保 → 剥離干渉法を用いた断面形状の決定
  - ②耐震性能の確保 → 免震支承の採用
  - ③RC橋脚の塩害対策 → 鉄筋のかぶり100mm以上確保, エポキシ樹脂塗装鉄筋の適用
  - ④RC橋脚の温度ひび割れ対策
    - 温度応力解析による、適切な配合と養生方法の検討

50

平成22年度 技術発表会

複合斜張橋の設計と施工

終

ご清聴ありがとうございました

一般社団法人 日本橋梁建設協会 技術委員会 設計小委員会

Support for Bridge Association, Japan

51