

平成24年度 技術発表会

トルコ共和国耐震補強工事報告

—イスタンブール市における耐震補強工事の設計・施工—



企画委員会 国際小委員会

発表内容

1. ゴールデンホーン橋の耐震補強
2. オルタキョイ高架橋の耐震補強
3. メジデキョイ高架橋の耐震補強
4. 第1ボスポラス橋のハンガープレートの交換

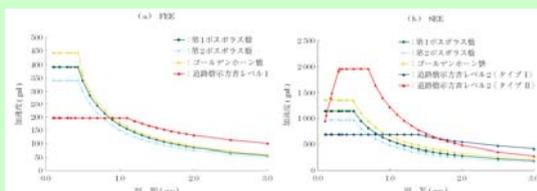
トルコ共和国



各橋梁の位置図

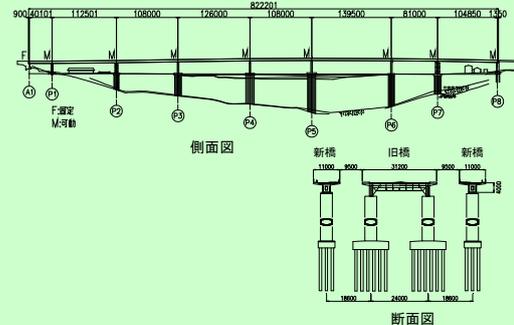


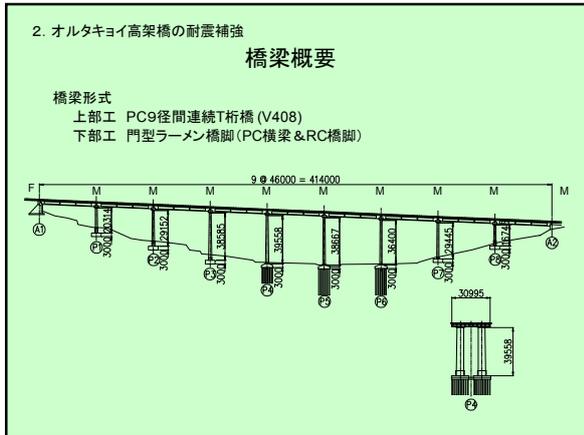
耐震設計に用いた地震波



1. ゴールデンホーン橋の耐震補強

構造一般図





2. オルタキョイ高架橋の耐震補強

耐震補強設計概要

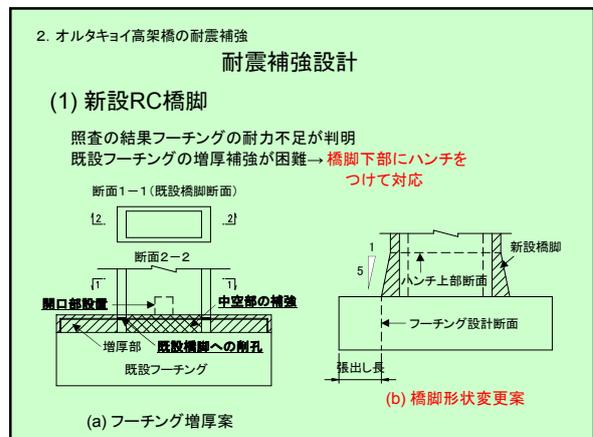
道路橋示方書V耐震設計編(道示)に準じ、非線形動的解析を実施し、所定の耐震性能を確保する
 FEE時(道示レベル1相当)→弾性範囲内
 SEE時(道示レベル2相当)→曲げ 応答回転角<許容回転角
 せん断 応答値<耐力

既設門型ラーメン橋脚の残存耐力が期待できない

↓

既設構造の周囲に新設門型ラーメン橋脚を構築し、上部工反力を新設構造に移行

2. オルタキョイ高架橋の耐震補強
- ### 耐震補強設計概要
- 耐震補強設計項目
- (1) 新設RC橋脚
 - (2) 新設PC横梁
 - (3) 新設PC横梁への反力移行
 - (4) 新設上部工横桁
 - (5) 橋軸直角方向変位制限ブロック
 - (6) 橋軸方向落橋防止ケーブル
 - (7) 伸縮装置



2. オルタキョイ高架橋の耐震補強

耐震補強設計

(2) 新設PC横梁

設計荷重作用時 → PC構造、許容応力度法による設計
地震時 → 横梁付根の正負交番荷重に対し、許容塑性率3を制限値に設定

2. オルタキョイ高架橋の耐震補強

耐震補強設計

(3) 反力移行

ジャッキアップ → フラットジャッキ(FJ)を使用
片側10支承を同時、両側交互にジャッキアップ
ジャッキアップ量 → 既存支承の戻り量(2mm) + 新設支承のクリープ変形(4mm) × 安全率 3 = 14mm
支承能力集中緩和 → FJ(φ500mm)とゴム支承(□530mm)の間に鋼板を設置

2. オルタキョイ高架橋の耐震補強

耐震補強設計

(3) 反力移行

3次元線形FEM解析 (積層ゴム支承)

フラットジャッキ設置状況

3. メジデキョイ高架橋の耐震補強

1. 概要

1-1 一般図(補強前)

2本柱(ピンタイプ) 2本柱(固定タイプ) 1本柱

橋長: 860.7m
幅員: 21.0m
構造形式: 29径間PC箱桁

特徴
・地震に対しては1本柱で抵抗
・P16-P17間でゲルバー構造
・基礎は直接基礎

3. メジデキョイ高架橋の耐震補強

1. 概要

1-2 設計フロー

```

    graph TD
      Start[スタート] --> PreCheck[事前検討]
      PreCheck --> Confirm[既設耐力確認]
      Confirm --> Check[補強方法検討]
      Check --> Dynamic[動的解析]
      Dynamic --> Design[支承設計]
      Dynamic --> Accessory[付属品設計]
      Dynamic --> Framework[架設検討]
      Dynamic --> Inspection[下部工照査]
      Dynamic --> Upper[上部工照査]
      Design --> Final[支承の設計・プロトタイプテスト]
      Accessory --> Final
      Framework --> Final
      Inspection --> Final
      Upper --> Final
      Final --> End[完了]
  
```

事前検討: 概略解析、基礎照査、下部工照査、架設工法

既設耐力確認: 概略解析、基礎照査、下部工照査

補強方法検討: 施工条件、架設工法、橋脚補強方法

動的解析: 地震波入手、上部工断面性能、変位、断面力、モデル作成、脚補強後断面性能

支承設計: 支承の設計、プロトタイプテスト

付属品設計: 伸縮装置、桁端スラスト支承及び橋直ダンパー、落防、他

架設検討: 架設工法、交通切り回し、現地計測、他

下部工照査: 補強後断面照査

上部工照査: 既設耐力照査

3. メジデキョイ高架橋の耐震補強

2. 既設橋梁の耐力

2-1 概略解析・耐力検討

Push Over解析及び概略動解により現況における橋脚、基礎の耐力を確認した。その結果、以下のことが分かった。

(1) 橋脚の耐力

- ① ひび割れ時: 0.05~0.10程度
- ② 降伏時: 0.15~0.20程度
- ③ 終局時: 0.20~0.24程度

⇒ 曲げ耐力、せん断耐力共に不足しているため補強が必要

(2) 基礎の耐力

- ① 安定計算において水平震度が $K_h=0.20$ 程度でOUTとなる。
- ② 曲げ耐力、せん断耐力は安定計算に対し、比較的余裕がある。

⇒ 基礎の補強は困難

3. メジデキョイ高架橋の耐震補強

3.補強方法の検討

【施工地域の特徴】
 市内中心街、上下とも重交通量地帯
 →最低限の交通規制での工事遂行が必要
 →市民の安全への配慮が必要

3. メジデキョイ高架橋の耐震補強

3.補強方法の検討

条件	方針	具体策
最低限の交通規制	免震化	LRBIによる免震化
工期の短縮	橋脚補強	1本柱: RC巻き立て
橋脚の耐力不足(補強可能)	その他	2本柱: 鋼板巻き立て
フーチングの耐力不足(補強不可能)		伸縮装置: 取替
		桁端: スライド支承 + ダンパー
		その他

3. メジデキョイ高架橋の耐震補強

4.耐震補強設計

4-1 動的解析

(1) 解析モデル
 ① 立体モデル
 ② 上部工断面性能: 既設のまま
 ③ 下部工(橋脚)断面性能: 補強後断面使用(降伏剛性)

(2) 荷重条件
 ① 死荷重: 節点集中荷重
 ② 活荷重: 20kN/m/Girder を考慮

(3) 地震波
 ① DBE(レベル1相当)、MCE(レベル2相当)ともに7波
 ② 鉛直地震波も考慮(3方向同時載荷)

(4) 判定基準
 ① 2本柱は補強後断面において降伏まで許容
 ② 1本柱は動解結果を用いて補強計算を実施
 ③ 橋脚に作用する水平力を1000kN程度以下にする支承を設計

3. メジデキョイ高架橋の耐震補強

4.耐震補強設計

4-2 補強内容

	P1 P30	P2-P4 P7-P28	P5,P6 P29
上部工			
伸縮装置取り替え	○		
落橋防止装置	○		
橋直方向ダンパー	○		
免震支承		●	●
スライド支承	○		
横梁補強			○
下部工			
鋼板巻き立て		●	
RC巻き立て			○
根巻きコンクリート補強	○		
新設横梁			○

ここでは、免震支承及び鋼板巻き立てについて述べる。

3. メジデキョイ高架橋の耐震補強

4.耐震補強設計

4-3 支承の設計

(1) AASHTO
 $Y_c \leq 2.5$ (Equation 25)
 $Y_c + Y_{s,s} + Y_r \leq 5.0$ (Equation 26)
 $Y_c + Y_{s,cq} + 0.5Y_r \leq 5.5$ (Equation 27)

(2) Turkish specification
 $Y_c \leq 2.5$ (Equation 25)
 $Y_c^{DL+LL} \leq 2.5$ (Equation 26)
 $Y_c^{DL+LL+E} + Y_s + Y_r \leq 6.0$ (Equation 27)

(3) 結果

	AASHTO		Turkish Specification	
	Calculation result	Allowable value	Calculation result	Allowable value
Equation 25	1.94	2.50	1.50	2.50
Equation 26	3.98	5.00	1.32	2.50
Equation 27	3.86	5.50	4.72	6.00

3. メジデキョイ高架橋の耐震補強

4.耐震補強設計

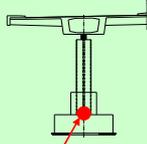
4-4 鋼板巻き立て補強

3. メジデキョイ高架橋の耐震補強

4. 耐震補強設計

4-5 2本柱 断面力照査

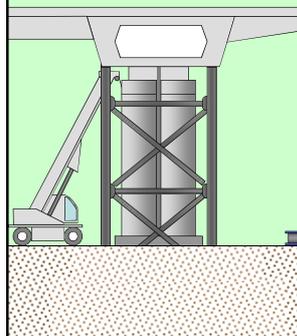
橋脚	断面力	単位		既設橋脚 許容耐力	補強後橋脚 許容耐力	発生力 (動的解析)
P2,P3 P8-P27	橋軸せん断力	kN	MAX	793	1289	816
			MIN	-793	-1289	-927
	橋軸せん断力	kN	MAX	877	1769	1040
			MIN	-877	-1769	-956
	橋軸方向曲げモーメント	kN・m	MAX	0	10221	9494
			MIN	0	-10221	-8364
橋軸方向曲げモーメント	kN・m	MAX	9086	12268	9884	
		MIN	-9086	-12268	-10922	
P4,P7,P28	橋軸せん断力	kN	MAX	793	1817	761
			MIN	-793	-1817	-843
	橋軸せん断力	kN	MAX	877	1960	887
			MIN	-877	-1960	-875
	橋軸方向曲げモーメント	kN・m	MAX	7020	10080	7566
			MIN	-7020	-10080	-6856
橋軸方向曲げモーメント	kN・m	MAX	9086	12638	7549	
		MIN	-9086	-12638	-7894	



基部を照査

3. メジデキョイ高架橋の耐震補強

4.2 耐震補強施工ステップ



- ・ 掘削
- ・ 鋼板巻き立て
- ・ 根巻きコンクリート打設
- ・ ベント設置
- ・ ジャッキアップ(桁持ち上げ)
- ・ 橋脚上部撤去
- ・ 免震支承の据付
- ・ ジャッキダウン
- ・ ベント撤去
- ・ 鋼板巻きたて(上部)
- ・ 埋め戻し

3. メジデキョイ高架橋の耐震補強

補強工事の状況(1)

写真工程

★ 橋脚鋼板巻き立て工事



3. メジデキョイ高架橋の耐震補強

補強工事の状況(2)

写真工程

★ 橋脚根巻き
コンクリート打設



3. メジデキョイ高架橋の耐震補強

補強工事の状況(3)

写真工程

★ 支承設置

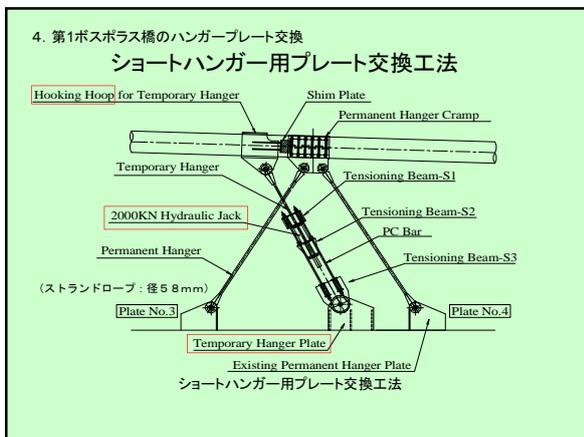
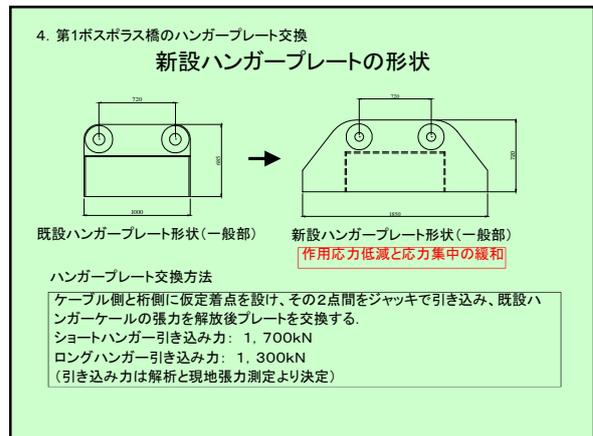
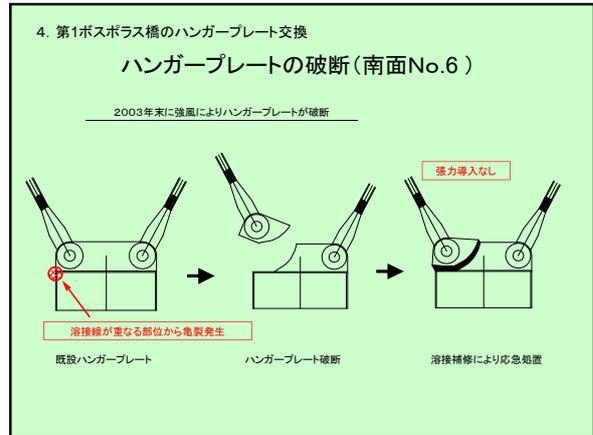
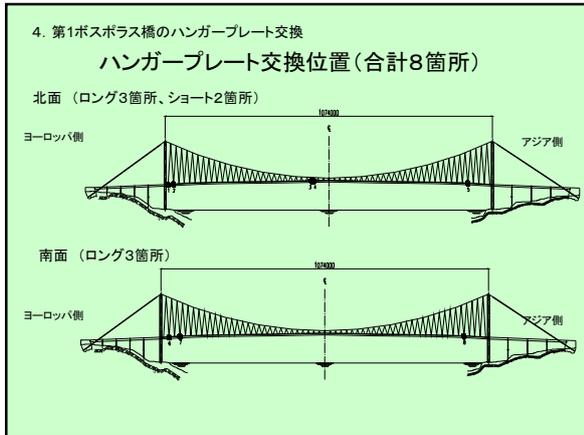


4. 第1ボスポラス橋のハンガープレート交換

第1ボスポラス橋の特徴

- (1) 形式: 吊橋(斜めハンガーケーブル、側径間は桁橋)
- (2) 中央径間長: 1074m
- (3) 供用開始: 1973年(約30年経過)





4. 第1ボスボラス橋のハンガープレート交換
ロングハンガー用プレート交換工法

(ストランドロープ: 径φ 8 mm)

ロングハンガー用プレート交換工法

ケーブルクランプ

4. 第1ボスボラス橋のハンガープレート交換
グリッピングクランプ

4. 第1ボスボラス橋のハンガープレート交換
クランプ耐荷力試験

くさび挿入部

クランプ耐荷力試験状況

4. 第1ボスボラス橋のハンガープレート交換

くさび(クランプ側接触面) くさび(ケーブル側接触面)

4. 第1ボスボラス橋のハンガープレート交換
エポキシ樹脂を使用するメリット

くさびとの接触でケーブル表面が傷つく心配がない。
 エポキシ樹脂がストランドロープ表面の凹凸に食い込むためグリップ力が向上する。
 装着が現場で容易にできて、また脱着もハンマーで叩き割る程度で容易に行うことができる。

4. 第1ボスボラス橋のハンガープレート交換
試験後のエポキシ樹脂

試験後のエポキシ樹脂表面

撤去後のエポキシ樹脂破片

4. 第1ボスボラス橋のハンガープレート交換

ロングハンガー用プレート交換状況写真



ロングハンガー用プレート交換状況



ケーブルクランプの取付け(夜間)

4. 第1ボスボラス橋のハンガープレート交換

既設ハンガープレート撤去後の状況



4. 第1ボスボラス橋のハンガープレート交換

新設プレート取付け後の状況

