

4

イスタンブール長大橋耐震補強プロジェクト

古市洋也

FURUICHI Hiroya

株式会社日本構造橋梁研究所/
設計第1部

徳永文生

TOKUNAGA Fumio

株式会社日本構造橋梁研究所/
設計第2部

本プロジェクトは、日本国際協力銀行とトルコ共和国政府との特別円借款の契約締結後、トルコ共和国公共整備事業省道路総局より受注したコンサルタント業務であり、トルコ共和国イスタンブール市内の内側・外側環状幹線高速道路に架かる重要な13橋梁の耐震補強プロジェクトに関する設計業務及び施工監理業務を行うものである。本稿では、本プロジェクトの概要を紹介する。

1—背景

日本とトルコは、伝統的に友好的な二国間関係を築いてきている。特

に経済面で親密な関係にあり両国の協力の下、日本の政府開発援助が有効に活用されている。

1999年にイスタンブール近郊で発生した2つの大地震によりトルコの世界経済は大きな被害を被った。これに対して日本は物資・借款の供与、調査団の派遣等の災害援助を実施した。さらに、円借款により第2ボスフォラス橋及び新ゴールデンホーン橋が建設されている。

これらの経緯から、本プロジェクトにおいても円借款が締結された。

2—地震国トルコ

トルコ北部には、東西約1,200kmにおよぶ北アナトリア断層があり、有史以来多くの大地震が発生している。20世紀には、1939年にこの断層の東端で発生した地震を皮切りに、M(マグニチュード)7以上の地震の震源が東から西に向かって移動し活動を続けている。(図1参照)

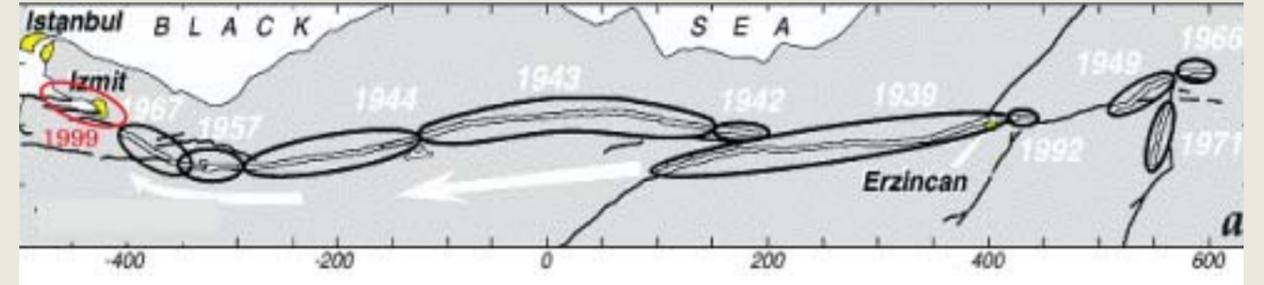
そして1999年8月にイスタンブールから東へ約110kmのイズミット市でM7.4の地震、同年11月にイスタンブールから東へ約170kmのデズジェ市でM7.2の地震が連続して発生し



■写真1—第2ボスフォラス橋(塔上より)



■写真2—第2ボスフォラス橋(ヨーロッパ側より)



■図1—1939年から1999年に北アナトリア断層で発生した大地震の震源の変遷



■写真3—ブルーモスク



■写真4—ボスフォラス海峡



■写真5—ボスフォラス海峡沿いの城壁と第2ボスフォラス橋

た。これらの地震は、いずれも北アナトリア断層西端の地域で発生している。

また、この地震以降、イスタンブール沖マルマラ海においても活断層の存在が確認されており、近い将来イスタンブールに大地震が発生する可能性が高いと報告されている。

さらにイスタンブール周辺の地震被災履歴によると、マルマラ海付近では約100年に一度(1,500年間で12回)の割合で大地震が発生しており、前回の1894年から既に100年以上経過している事からもイスタンブールにおける大地震の危険性を推察する事ができる。

3—イスタンブール市の概要と耐震補強の緊急性

●1 イスタンブール市の概要

イスタンブール市は、トルコ共和国西部に位置し、ボスフォラス海峡を挟んでアジアとヨーロッパの2大陸にまたがる都市である。首都アンカラを上回る同国最大の都市であり、国の経済、文化の中心でもある。イ

スタンブール市の人口は、約880万人であり、その近郊を含めると1,000万人(国の人口の約1/7)を超える。

●2 耐震補強の緊急性

1999年の大地震後、イスタンブール市が設立した防災管理センターの防災行動計画において、災害・緊急時の救援活動、復旧作業等の為の交通確保が最優先事項として位置づけられた。そして、防災の観点から地震後の代替道路の設定が行われたが、本プロジェクトの対象橋梁である第1ボスフォラス橋、第2ボスフォラス橋、ゴールデンホーン橋には代替ルートが無いという結論に至っている。

イスタンブールで大地震が発生した場合、本プロジェクト対象橋梁の建設時に想定していた耐震設計条件を超える地震動が生じる可能性が高く、これらの橋梁は早急に耐震補強を実施する必要がある。対象橋梁はいずれも約10年から30年前に建設されており、建設当時の地震の設計基準が近年の世界基準に適していない事より、最新の基準によ

る耐震性の照査が急務である。

そしてなによりも1999年の地震以降、地震に対する不安と関心が高まっているトルコ国民の本プロジェクトへの期待が大きいという事が挙げられる。

4—対象橋梁

●1 路線概要

本プロジェクトの対象路線は、ヨーロッパ大陸とアジア大陸を結ぶ国際幹線道路であり内側環状幹線高速道路と外側環状幹線高速道路の2本である。

内側環状幹線高速道路は、当初1日8万台の交通量を見込んで設計されたが年々交通量は増加傾向を辿り1999年には1日17万6千台にまで及んでいる。

日本の一般的な高速自動車国道の計画交通量(3万台以上)の約6倍の交通量となっており、イスタンブー

ル市のライフラインとして重要な役割を担っている。

●2 耐震補強対象橋梁

内側環状幹線高速道路では、ボスフォラス海峡に架橋されている第1ボスフォラス橋とその取付橋であるオルタキョイ橋及び金角湾に架橋されている新・旧ゴールデンホーン橋が対象橋梁である。外側環状幹線高速道路では第2ボスフォラス橋である。その他、上述の橋梁に取付く高架橋を含めて表1に示す全13橋が耐震補強基本設計の対象橋梁である。

5—入力地震動

●1 地震動の設定

入力地震動は本プロジェクトのトルコ側アドバイザーであるボスフォラス大学地震観測所の教授が構築した中規模地震と大規模地震を採用するものとした。

中規模地震の発生確率は50年に1回地震の起こる確率が50%であり大規模地震では同2%となっている。

●2 標準加速度応答スペクトル

日本の耐震設計に用いる地震動と本プロジェクトに用いる地震動の標準加速度応答スペクトルを示す。本プロジェクトに用いる地震動は最大応答加速度時の固有周期が0.1s～0.5sの間であり、日本に比べて短



■図2—位置図



■写真6—新・旧ゴールデンホーン橋

■表1—耐震補強対象橋梁一覧表

No.	竣工年	構造形式			支間長 (m)
		上部工	下部工	基礎工	
1		吊橋(鋼箱桁)	鋼主塔	直接基礎	1074.0
2	1973	鋼4径間連続箱桁橋	鋼円柱橋脚	直接基礎	4@63.75=255.0
3		鋼5径間連続箱桁橋			40.0+3@45.0+56.0=231.0
4	1989	吊橋(鋼箱桁)	鋼主塔	直接基礎	1090.0
5	1974	鋼8径間連続I桁橋	単柱橋脚	鋼管杭・直接基礎	41.0+112.5+108.0+126.0+
6		鋼8径間連続箱桁橋			108.0+139.5+81.0+106.2
7	1998	鋼8径間連続箱桁橋		直接基礎	=822.2
8	1974	PC5径間連続中空床版橋	単柱橋脚	鋼管杭・直接基礎	
9					5@30.4=152.0
10	1998	PC3径間連続I桁橋	ラーメン橋脚	場所打ち杭	
11		PC3径間連続I桁橋		直接基礎	73.5
12		PC9径間連続I桁橋	鋼管杭・直接基礎		9@46.0=414.0
13	1972	PC8径間連続I桁橋	ラーメン橋脚	直接基礎	8@45.0=360.0

周期構造物に与える影響が大きい事が分かる。最大応答加速度の値は中規模地震で440gal・390galと日本に比べて約2.0倍の数値を示し、大規模地震では1360gal・1140galと日本のタイプIとタイプII地震のほぼ中間の数値となっている。

6—耐震補強基本設計成果

耐震補強基本設計成果は、旧ゴールデンホーン橋を代表橋梁として取り上げ記述する。

●1 要求性能

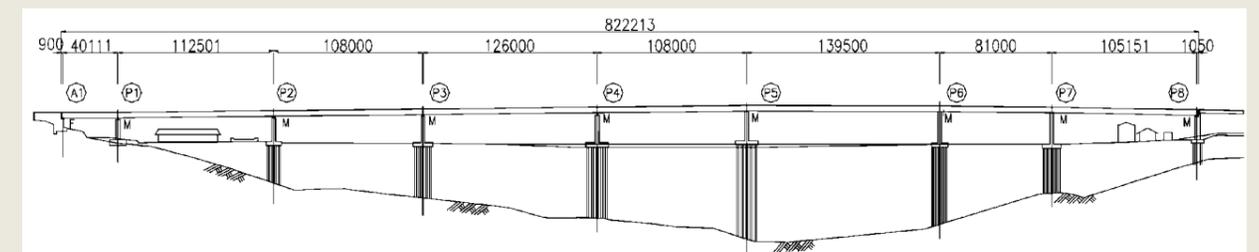
要求性能は表2の通りである。

●2 設計成果

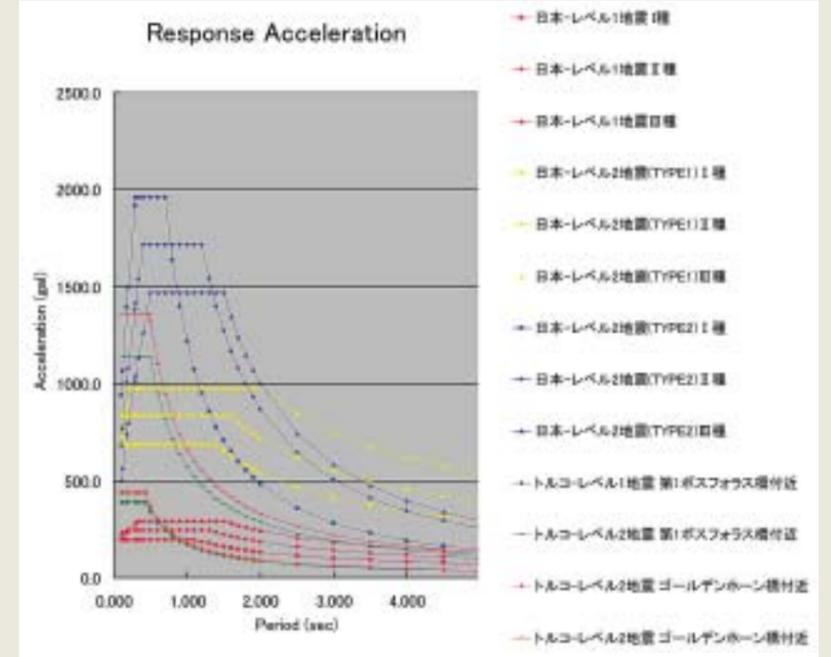
旧ゴールデンホーン橋は、橋長822.2mの鋼8径間連続I桁橋である。支承条件はA1橋台のみ固定でその他すべてが可動というA1橋台1点固定構造であった。動的解析を行った結果、レベル2地震においてA1橋台に上部工重量の慣性力H=85,000KNが作用し、桁端部の座屈、支承の破壊、橋台基礎の滑動等が生じる事から既設の状態では要求性能を満足する事ができなかった。

■表2—要求性能

	レベル1地震	レベル2地震
上部構造 (鋼I桁)	状態：損傷無し 評価：力学的挙動が弾性領域内である事	状態：機能の回復が速やかに実行可能な程度の損傷 評価：降伏応力以下とする
橋脚 (コンクリート)	状態：損傷無し 評価：力学的挙動が弾性領域内である事	状態：機能の回復が速やかに実行可能な程度の損傷 (クラック) 評価：許容塑性率以下とする
杭基礎 (鋼管杭)	状態：損傷無し 過大な変位を生じさせない 評価：力学的挙動が弾性領域内である事 許容変位以下である事	状態：機能の回復が速やかに実行可能な程度の損傷 評価：副次的な塑性化に留める
直接基礎	状態：損傷無し 評価：力学的挙動が弾性領域内である事	状態：安定した状態 評価：地盤のせん断破壊が生じない



■図4—旧ゴールデンホーン橋一般図



■図3—標準加速度応答スペクトル

そのため、A1橋台にTaper Plate Cantilever Hystereticダンパーを5セット11箇所に設置し上部工重量の慣性力を8,000KNにまで低減させる耐震補強を実施するものとした。また他にも、橋脚の補強、フーチングの増厚、A1橋台伸縮装置・支承の取替え、上部工中間支点横桁の補強、

落橋防止構造及び直角方向変位制限装置の設置等の耐震補強が必要であるとの基本設計成果を得た。

7—おわりに

本プロジェクトに続き日本の耐震技術を世界各国に送り出せるように技術力を磨いていきたいと思う。