

(48) 震災により損傷を受けたプレキャストPC桁橋の再構築

阪神高速道路公団 神戸線復旧建設部 川北 司郎
 阪神高速道路公団 第二復旧工事事務所 山田 正一
 ピーシー橋梁株式会社 大阪支店 工務部 正会員 三上 守
 ピーシー橋梁株式会社 本社 技術部 正会員 ○ 守田 啓司

1. はじめに

兵庫県南部地震により被災した阪神高速道路3号神戸線は、損傷構造物に対する橋梁調査、2次災害防止対策工事の実施、本格的な早期復旧工事により約1年と8ヶ月を経て平成8年9月30日に全線の交通が再開された。

今回復旧した神戸線の武庫川～月見山27.7Km間のうち、摩耶工区、京橋工区および月見山工区でPC桁橋が採用されている。これらのPC桁橋は、今回の地震でも全体的に大きな被害は受けなかった(図-1参照)。

しかしながら、摩耶工区においてはPC桁橋の主桁本体には大きな損傷が見当たらなかったが、橋桁全体が大きく横移動、沈下していた。そこで、主桁本体は再利用して橋桁全体の位置を修正してPC桁橋の再構築を図ることとした。

本稿は復旧工事の概要について述べるものである。

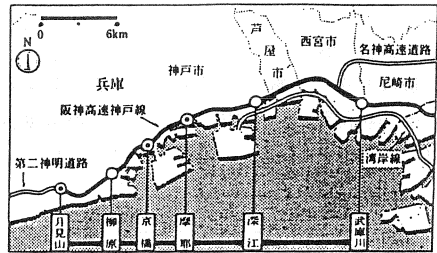


図-1 位置図

2. 構造概要

摩耶工区は支間長25mを基本とした11連のPC単純合成桁橋で構成されており、ランプ橋として東入路と西出路が本線より分岐している(図-2参照)。

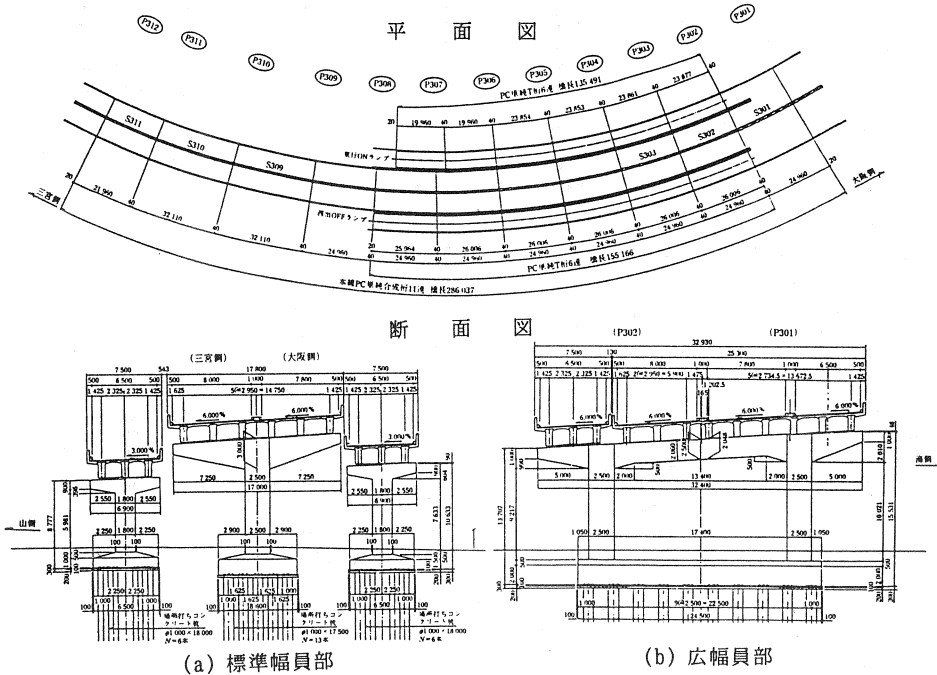


図-2 全体一般図

以下に本工区の道路線形および橋梁上部工の特徴を挙げる。

(1) 平面線形は、直線から緩曲線(クロソイド曲線)を挟み円曲線(曲線半径300m)に変化しており、横断勾配は曲線区間で最大6%と比較的大きな値となっている。

また東入路と西出路のランプは本線に並行しており、東入路(山側)が7%、および西出路が8%の縦断勾配で国道43号に合流している。

(2) 起点(大阪)側の最初のS-301径間は、東入路と西出路のランプとが一体となっており、全幅32.7m、主桁本数12本で構成された広幅員のPC単純合成桁橋である。

その他の本線部は全幅員17.6m、支間長25mを基本とした10連のPC単純合成桁橋(主桁本数6本)で構成されている。

またランプ部は両ランプとも全幅員7.5mの6連のPC単純T桁橋である。

橋脚は、T形単柱および一層一径間ラーメンで構成されており、それら脚の梁天端の横断勾配は、道路線形の横断勾配と同じ値で、海側から山側に傾斜している。

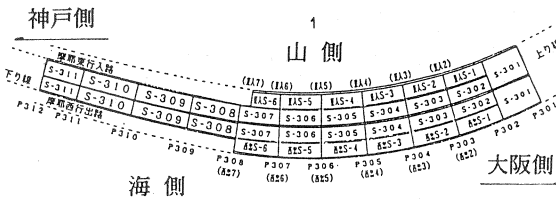
3. 被災状況

被災直後に実施した損傷状況の調査結果を以下に示す。

損傷状況調査は目視で行い、主桁は両側面(例:6主桁×2ヶ所=12ヶ所)、横桁は配置箇所数分調査を行い、損傷状況に応じてAランクからDランク迄の4段階に区分することとした(表-1参照)。

被災状況調査表

	主桁	橋脚												床版	支 承 (岸脚)	アンカーバー	断面補修設置	備 考
		近傍橋 (損傷度)				隣 橋 (損傷度)				中間橋脚								
		A	B	C	D	A	B	C	D									
S-301	P301 明石側	24/24	0/24	0/24	0/24	1/11	5/11	5/11	0/11	損傷無し	B	全て(東岸、中桁其)のゴム面に橋軸垂直方向のズレ、変形、亀裂有り	全ての橋脚に700V-線敷有	ネットゆるみ16/22 縦断材変形4/22				
	P302 大阪側	23/24	0/24	1/24	0/24	0/11	3/11	8/11	0/11	損傷無し							G12番欠損	確認不能
S-302	P302 明石側	8/12	2/12	2/12	0/12	0/5	0/5	1/5	4/5	損傷無し	B	G6番欠損	確認不能	ネットゆるみ14/16				
	P303 大阪側	5/12	6/12	1/12	0/12	0/5	0/5	0/5	5/5	損傷無し							損傷なし	確認不能
S-303	P303 明石側	11/12	1/12	0/12	0/12	0/5	0/5	0/5	5/5	損傷無し	B	損傷なし	確認不能	ネットゆるみ10/10				
	P304 大阪側	12/12	0/12	0/12	0/12	0/5	0/5	2/5	3/5	損傷無し							損傷なし	確認不能
S-304	P304 明石側	12/12	0/12	0/12	0/12	0/5	0/5	4/5	1/5	損傷無し	B	損傷なし	確認不能	ネットゆるみ10/10				
	P305 大阪側	11/12	1/12	0/12	0/12	0/5	2/5	3/5	0/5	損傷無し							損傷なし	確認不能
S-305	P305 明石側	12/12	0/12	0/12	0/12	0/5	0/5	5/5	0/5	損傷無し	A	損傷なし	確認不能	ネットゆるみ10/11、ネット欠損1/11				
	P306 大阪側	12/12	0/12	0/12	0/12	0/5	0/5	5/5	0/5	損傷無し							損傷なし	確認不能
S-306	P306 明石側	11/12	1/12	0/12	0/12	0/5	1/5	3/5	1/5	損傷無し	B	損傷なし	確認不能	ネットゆるみ6/10、縦断材変形10/10				
	P307 大阪側	9/12	3/12	0/12	0/12	0/5	2/5	3/5	0/5	損傷無し							損傷なし	確認不能
S-307	P307 明石側	11/12	1/12	0/12	0/12	1/5	1/5	3/5	0/5	損傷無し	B	損傷なし	確認不能	ネットゆるみ10/10				
	P308 大阪側	7/12	3/12	2/12	0/12	0/5	0/5	5/5	0/5	損傷無し							損傷なし	確認不能
S-308	P308 明石側	10/12	1/12	1/12	0/12	0/5	0/5	4/5	1/5	損傷無し	B	損傷なし	確認不能	ネットゆるみ8/10				
	P309 大阪側	9/12	1/12	2/12	0/12	0/5	3/5	2/5	0/5	損傷無し							損傷なし	確認不能
S-309	P309 明石側	12/12	0/12	0/12	0/12	2/5	2/5	1/5	0/5	損傷無し	B	G1、G6番橋軸方向にズレ	確認不能	ネットゆるみ14/14				
	P310 大阪側	9/12	1/12	2/12	0/12	0/5	2/5	2/5	0/5	損傷無し							損傷なし	確認不能
S-310	P310 明石側	12/12	0/12	0/12	0/12	3/5	2/5	0/5	0/5	損傷無し	B	G1、G6番橋軸方向にズレ	確認不能	ネットゆるみ9/10、縦断材変形1/10				
	P311 大阪側	11/12	1/12	0/12	0/12	3/5	2/5	0/5	0/5	損傷無し							損傷なし	確認不能
S-311	P311 明石側	9/12	3/12	0/12	0/12	0/5	1/5	2/5	2/5	損傷無し	A	G6番ゴム割れ	確認不能	ネットゆるみ12/12、縦断材変形0/12				
	P312 大阪側	9/12	1/12	2/12	0/12	0/5	0/5	1/5	4/5	損傷無し							全て(中、桁其)のゴム面に橋軸垂直方向のズレ	全ての橋脚に700V-抜け出し、線敷、変形有り
合 計		249/288	26/249	13/249	0/249	10/122	27/122	59/122	26/122	—	A 2/11 B 9/11	—	—	ネットゆるみ 227/260				



	主 桁	横 桁	床 版
損傷度 D	損傷が著しく道路構造物の機能低下を招き、交通安全確保上支障をきたす恐れがあると考えられ、緊急補修が必要である場合。		
損傷度 C	ひび割れ幅 0.2mm 以上、最小ひび割れ間隔 50cm 未満	ひび割れ幅 0.3mm 以上、最小ひび割れ間隔 50cm 未満	ひび割れ幅 0.1mm 以上、最小ひび割れ間隔 40cm 未満
損傷度 B	ひび割れ幅 0.1mm 以上、最小ひび割れ間隔 50cm 以下	ひび割れ幅 0.2mm 以上、最小ひび割れ間隔 50cm 以下	ひび割れ幅 0.1mm 以上、ひび割れ間隔 40~50cm 程度
損傷度 A	表面に多少のひび割れがあるが桁本体に影響がないと判断	表面に多少のひび割れがあるが桁本体に影響がないと判断	ひび割れ幅 0.1mm 以上、最小ひび割れ間隔 60cm 以上

表-1 被災状況調査表

これらの被災状況を取りまとめると次の通りである。

- (1) 主桁には全橋にわたって損傷があるが、角欠け等が主でその損傷程度は軽微であった。
- (2) 中間横桁に大きな損傷は見られなかったが、端横桁は全橋にわたって損傷があり、大きな損傷の箇所も多く見られた（図-3参照）。

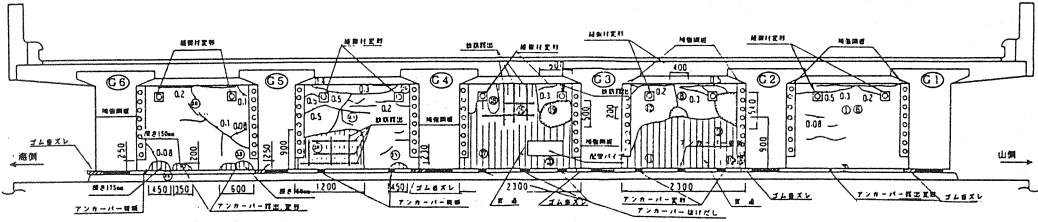


図-3 横桁側面外観状況（P-312）

- (3) 床版は全ての径間においてひびわれが確認された。しかし主桁・横桁の損傷に比べ、地震の影響は明確でなく、また被災程度も軽かった。
- (4) 支承には主桁とのずれ、変形、割れ、欠損が、アンカーバーにも変形が確認された。さらに、桁間連結装置にはナットのゆるみ、緩衝パッキンの変形が確認された。
- (5) 伸縮装置・排水装置は、橋桁全体の大きな横移動、沈下に伴い折損など大きく損傷していた。
- (6) 測定の結果、橋桁全体が以下のように大きく変位していた（図-4参照）。

1) 横移動は、横断勾配の低い方向に移動しており、起点（大阪）側の径間で最も大きい。道路中心線上の横移動量は、P-302橋脚上において山側の東入路ランプで643mm、本線で609mm、海側の西出路ランプで549mmであった。

2) 本線の道路中心線上での横移動量は、次の橋脚P-303上において約350mm、続くP-304橋脚上において道路中心線上で約129mmと順次減少してゆき、最終径間に近づくにつれてP-311橋脚上で約71mm、P-312橋脚上で約174mmと再び増加していた。

3) 沈下量は多少の差はあるが、200mmから130mmの範囲で全径間にわたって全体的に沈下していた。横移動と同様に起点側で最も大きく、中間部より神戸側ではほぼ一定し、震災前よりも約137mm程度沈下していた。

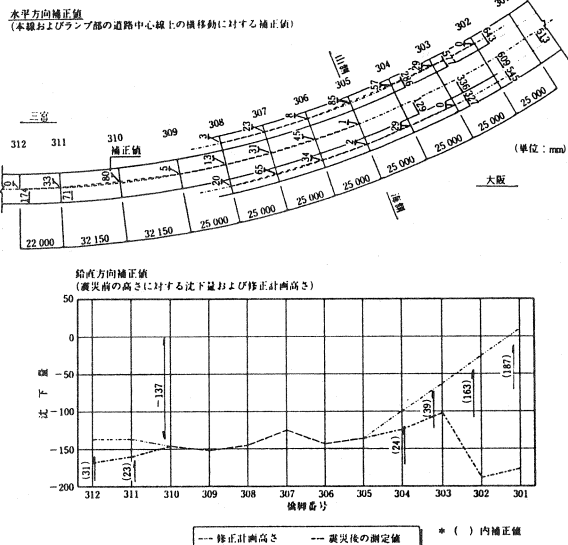


図-4 被災後の移動に対する補正値

4. 復旧設計

4.1 基本方針

神戸線の復旧は次の方針に従って進めるものとした。

- (1) 復旧仕様¹⁾および参考資料²⁾に基づいて全構造物について耐震性を向上させ、より安全な構造物とする。
- (2) 神戸線は関西における交通の大動脈であり、早期復旧が望まれている。そのため損傷状況の調査の結果から補修・補強を施すことにより耐荷力・耐久性の回復が可能な構造物は再利用し、早期復旧に努める。
- (3) 環境対策にも配慮する。

本工区の復旧においてもこの基本方針に則り、被害が軽微であった主桁は損傷部の補修・位置修正を行い、

再利用することとした。また床版についても部分的な補修を行うに止めた。

これらの基本方針を踏まえた補修・補強方法を表-2に示す。また本工区において耐震性向上のための落橋防止装置対策および主桁の沈下・移動に対する桁移動工について以下に述べる。

被災状況	補修・補強内容	被災状況	補修・補強内容
(1) 桁位置 起点側で60cm程度の横移動が確認され13cm~20cmの範囲で沈下していた。	復旧線形に基づき桁移動を行った。	(6) アンカーバー 変形、破損が確認された。	復旧線形に基づき撤去、新設を行った
(2) 主桁 全橋にわたって被災していたが、破損の程度は微少であった。	損傷をランク分けし、おのおの補修を行った。	(7) 桁間連結装置 全ての桁間連結装置にナットの弛み、緩衝パッキンの変形が確認された。	復旧線形に基づき撤去、新設を行った
(3) 横桁 中間横桁は被災が殆どなかった。端横桁は全橋にわたって破損があり、大きな損傷もあった。	損傷をランク分けし、おのおの補修を行った。	(8) 伸縮装置 部分的に段差が確認された。	撤去、新設。
(4) 床版 すべての径間にひび割れが確認されたが損傷の程度は軽かった。	損傷をランク分けし、おのおの補修を行った。	(9) 排水装置 下部工補強工事により排水管撤去。	撤去、新設。
(5) 支承 主桁とのずれ、変形、破損が確認された	復旧仕様にに基づき撤去、新設を行った	(10) 壁高欄 部分的にひび割れ、コンクリートの離剥、鉄筋露出が確認された。	撤去、新設。
		(11) 舗装 使用上支障となる損傷は認められず。	不要。

表-2 被災状況及び補修・補強内容表

4.2 落橋防止対策

4.1(1)で述べたように、復旧仕様¹⁾および参考資料²⁾に基づいて落橋防止装置を複数設置して、耐震性向上を図ることとした。

落橋防止装置としては、アンカーボルト、鋼製ストッパーおよび桁間連結装置等が考えられる。本工区では、図-5に示すフローにより横桁の損傷度、橋座幅の確保およびアンカーボルト用削孔が可能なことなどを考慮して、アンカーボルトを配置することにした。また、別途桁間連結装置を設置することとした。

横桁の補修に関しては、本工区は橋脚幅が広く拡幅に余裕があることから横桁を増厚することを基本とし、損傷の激しいもの・縁端拡幅の困難なものに対して撤去・新設を検討した。

4.3 桁移動工法の検討

多径間にわたって横移動、沈下した橋桁を元の位置に戻す工事は大掛りであり、施工方法を選定する際には現地の状況、施工条件および安全対策に十分配慮する必要がある。

当工区は大部分が国道(2号、43号)あるいは神戸市道の上を走る神戸線の中にあつて、公団の用地上を走る数少ない区間であるが、左右方向の用地上の余裕はほとんどない。また、移動すべき桁は標準幅員部

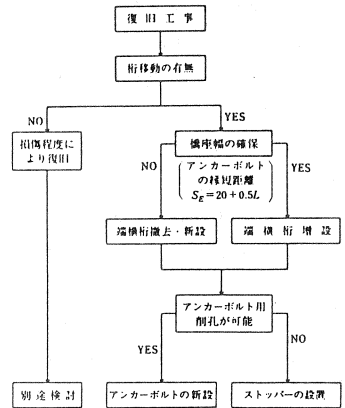


図-5 選定フローチャート

の桁で約700tf、広幅員部の桁では1300tfにも及び大規模である。さらに数多くの桁を水平方向および鉛直方向の両方向に移動する必要があるが、早期復旧を図るためには工期を短く抑える必要がある。

一般的にPC桁橋の横移動を行う場合、橋脚上でジャッキアップする桁移動工法が考えられる。

しかし工事数が狭隘な施工空間であり十分な安全対策が困難なこと、人的作業が大半で作業工数も多く施工が煩雑になることなどから、安全性および工期短縮の面でデメリットが多いと考えられたので、本工区ではこの工法を採用しないことと

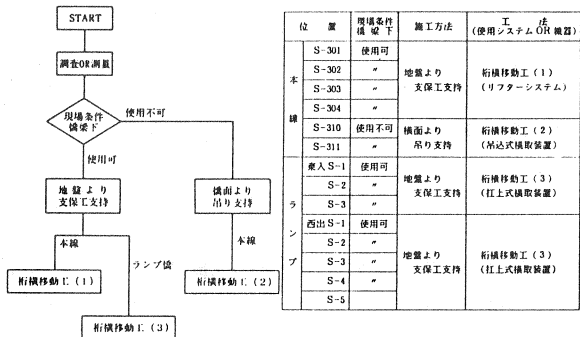


図-6 選定フローチャート

した。そこで、橋桁全体の扛上・扛下と横移動さらに横断勾配の補正を同時に実施可能で、作業工期の短縮が可能となる工法について、次のフローチャートを基本に検討を行い桁移動工法を選定した(図-6参照)。

代表的な工法としてS-301~S-304に適用した桁横移動工(1)リフターシステムを図-7に示す。

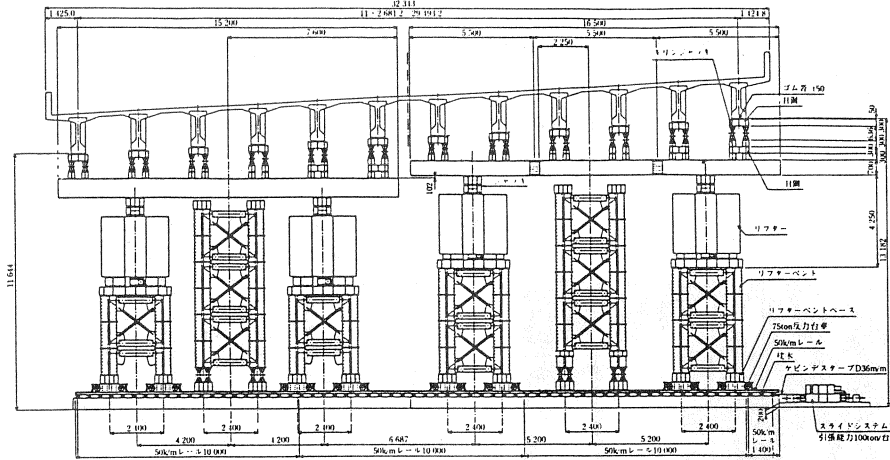


図-7 桁横移動工(1)リフターシステム

5. 復旧工事

代表例としてS-301の施工内容を述べる。

(1) 主桁の扛上

橋脚手前にリフターシステムを配置して、主桁を同時に仮支持させて主桁を扛上させた(写真-1参照)。主桁の仮支持における主桁・横桁・床版の応力分布、ならびに支持梁のたわみ等については事前に平面格子解析により検討を行った。

ジャッキアップ完了後、横移動工に支障をきたさないように、既設ゴム沓およびアンカーバーを撤去した。

(2) 横移動工

主桁の横移動量は、震災で横移動した道路中心線上での値を移動量として設定した。起点側、終点側の横移動量は各々513mm、609mmであり、4回に分けて移動することとし、隣接する橋桁との目地遊間量に留意しながら徐々に横移動を行った。

(3) 横断勾配の補正

主桁の沈下量が起点側と終点側で一様でなく、震災前の横断勾配6%に修正する為には、起点側と終点側の横断勾配を各々調整する必要があり、起点側を0.1%(31mm)、終点側を0.04%(14mm)補正した。

補正量が大きい起点側を先行して0.06%分(補正量17mm)補正し、両側の補正量が同じとなったことを確認後、横断勾配の補正作業を起点側と終点側とで同時に行った(図-8参照)。

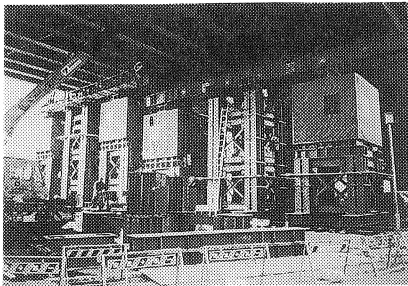


写真-1

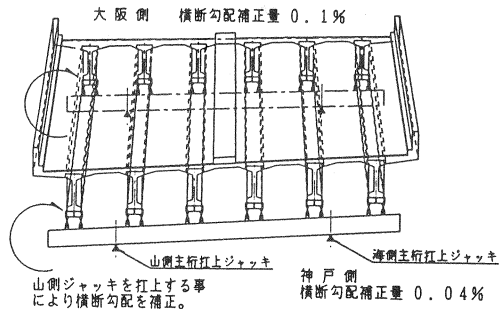


図-8

(4) 橋面の測量

横断勾配補正後、橋面を測量して所要の勾配になっていることを確認した。その後、沓座を施工するため、桁全体をさらに一律50mmジャッキアップした。

(5) 支承の施工

沓座モルタルを施工し、支承を正規の高さに据付けた。

(6) 主桁の設置

主桁をジャッキダウンし、支承上に主桁を設置した。

(7) 横桁の増設

レーザー探査によるアンカーバー・横締ケーブルの破損状況確認後(写真-2参照)、耐震連結装置の増設位置の削孔及び鉄筋組立、コンクリート打設、横締ケーブルの緊張を行った(図-9参照)。

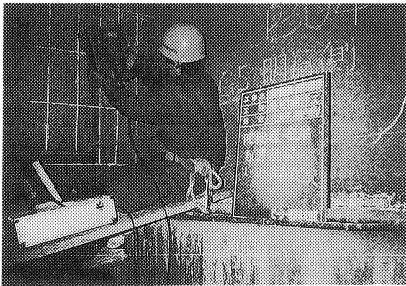


写真-2

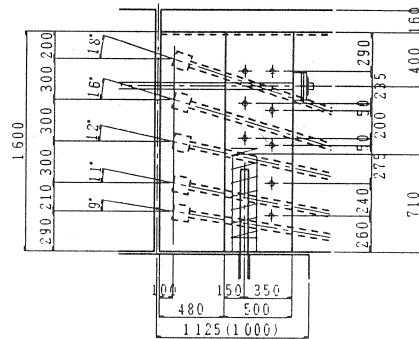


図-9

(8) 橋面工

最後に壁高欄の施工を行った。

6. おわりに

阪神高速道路3号神戸線は国道2号線と合わせて物流における大動脈である。震災復旧における社会基盤の安定・整備のため、早期開通を命題とされており、本工区は厳しい施工条件と数々の課題を克服して無事に終了することができた。そして阪神高速道路3号神戸線は平成8年2月から摩耶ICより京橋IC区間、8月10日に摩耶～深江間の供用を無事開始することが出来た。

昨今、コンクリート構造物の維持管理、補修・補強が注目されている中で、本工事例が参考となれば幸いである。また、工事期間中ご指導ご協力いただいた関係者の方々に心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様」の準用に関する参考資料(案)，1995.4
- 2) 阪神高速道路公団：道路構造物の点検標準(土木構造物編)，1985.9
- 3) プレストレストコンクリートVol.1.39：「震災により横移動した高架橋の桁移動」，1997.1