

図-2 耐震補強箇所および補強工法

1. 構造物の諸元

天保山JCTにおける補強対象の上部工および下部工について各構造諸元を表-1示す。

表-1 対象構造物諸元

下部工	構造形式	橋脚高 (m)
天保山湾入P1 (港上P83)	RCラーメン橋	21.287
		32.122
天保山湾出P1	RC単柱式橋脚	32.807
港上P82	RC単柱式橋脚	31.550
天保山湾出P2	RC単柱式橋脚	31.600
港下P82	RC単柱式橋脚	23.244
上部工	構造形式	橋長 (m)
天保山湾出P1, 港上P83 ～ 天保山湾出P1, 港上P82	単純合成I桁	40.00

2. 本橋梁の損傷要因

本橋梁においては、平成7年兵庫県南部地震により支承の損傷が見られた。この支承の損傷につ

いては、主に次のような要因があげられる。

- ①上部工は、拡幅に伴う増桁を行っていたが、支承軸で隣接桁と桁のセット方向が異なっており、並列する主桁が同一の挙動をしなかったためと考えられる。
- ②下部工においては、同一の上部工を支える2本の橋脚が、地震時にそれぞれ異なる振動モードにより各橋脚が独自の挙動をおこしたためと考えられる。

3. 補強工の基本方針

耐震補強工は、今回規模の地震動に対し上部工および下部工を一体的に挙動させることにより、基礎構造物に影響しないように、橋脚柱および上部工のみで耐震性の向上を図るものとした。

図-2に、耐震補強箇所および補強工法を示し、以下にその補強工法についての基本方針と概要を述べる。

3-1 疑似箱桁化

増桁を含めた上部工全体が、一体的に挙動する構造に補強する。これは、支間中央の分配横桁以外の横組が対傾構のみであるため、これらによる横方向の剛性が今回規模の地震に対しては十分ではないと考えられた。このため、図-3に示すように、当初の桁と増設桁との桁下面を鋼製パネルにより連結する疑似箱桁化を施し、上部工のねじれ抵抗を大きくし、下部工から伝達される地震力に対して上部工全体が一体的に挙動する構造とした。また、桁下面を連結することにより上部工全体の剛性を高め、曲線桁特有の下フランジの面外方向への変形を拘束した。

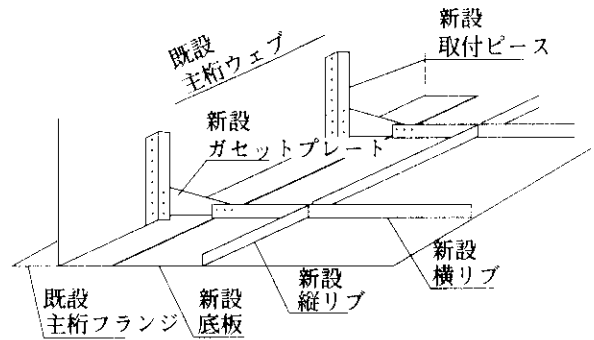
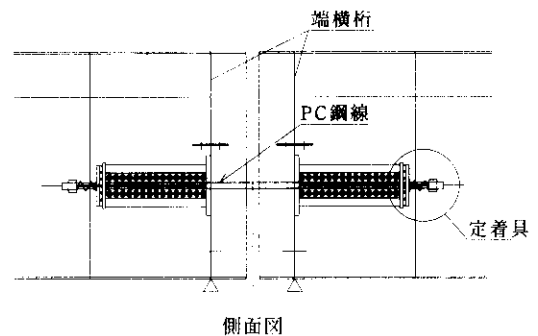


図-3 疑似箱桁化

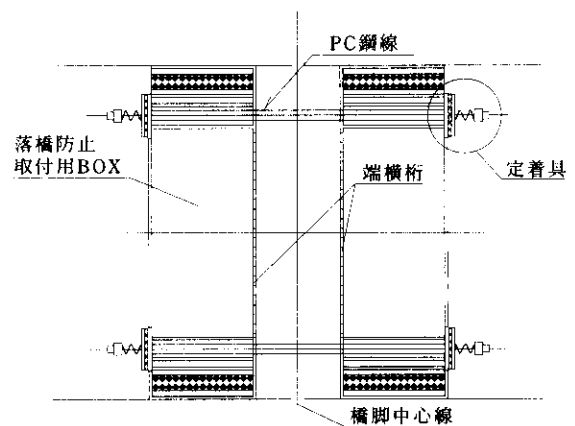
3-2 落橋防止構造

本橋梁の下部工は、昭和63年度に拡幅施工されており、拡幅後による桁かかり長 (SE) の確保が困難であるため、図-4に示すように、桁間連結装置により上部工の落下を防止する。桁間連結装置は、「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料 (案)²⁾に基づく構造とするため、万一下部工から脱落した際にも上部工の重量を支持する構造とする。このため、桁端にラテラル材を追加し端横桁を補強した後、充腹断面化およびBOX化を図り、PC鋼線を使用した桁間連結装置を新設した。



側面図

PC鋼線を使用した桁間連結装置は、橋軸直角方向において弱いと危惧されるが、上部工を疑似箱桁化することによって上部工の落下に対する安全性を確保した。



平面図

3-3 下部工の耐震補強工

下部工は、固有周期の異なる独立した橋脚であり、上部工に対して位相が異なる構造となっているため、地震時に下部工全体が同一の挙動をするように、それぞれの橋脚を中間鋼製梁で連結し、不静定次数の高いラーメン構造物として耐震性の向上を図った。図-5に、下部工の一体化の補強前後を示す。

なお、中間鋼製梁は剛性を高めるものではなく、耐震壁として挙動することを目的としている構造であり、今回規模の地震に対して下部工に発生す

るエネルギーの吸収が可能な構造とした。

中間鋼製梁による死荷重の増加は基礎工に影響しない程度のものであり、増し杭などの補強を必要としなかった。

図-4 桁間連結装置について

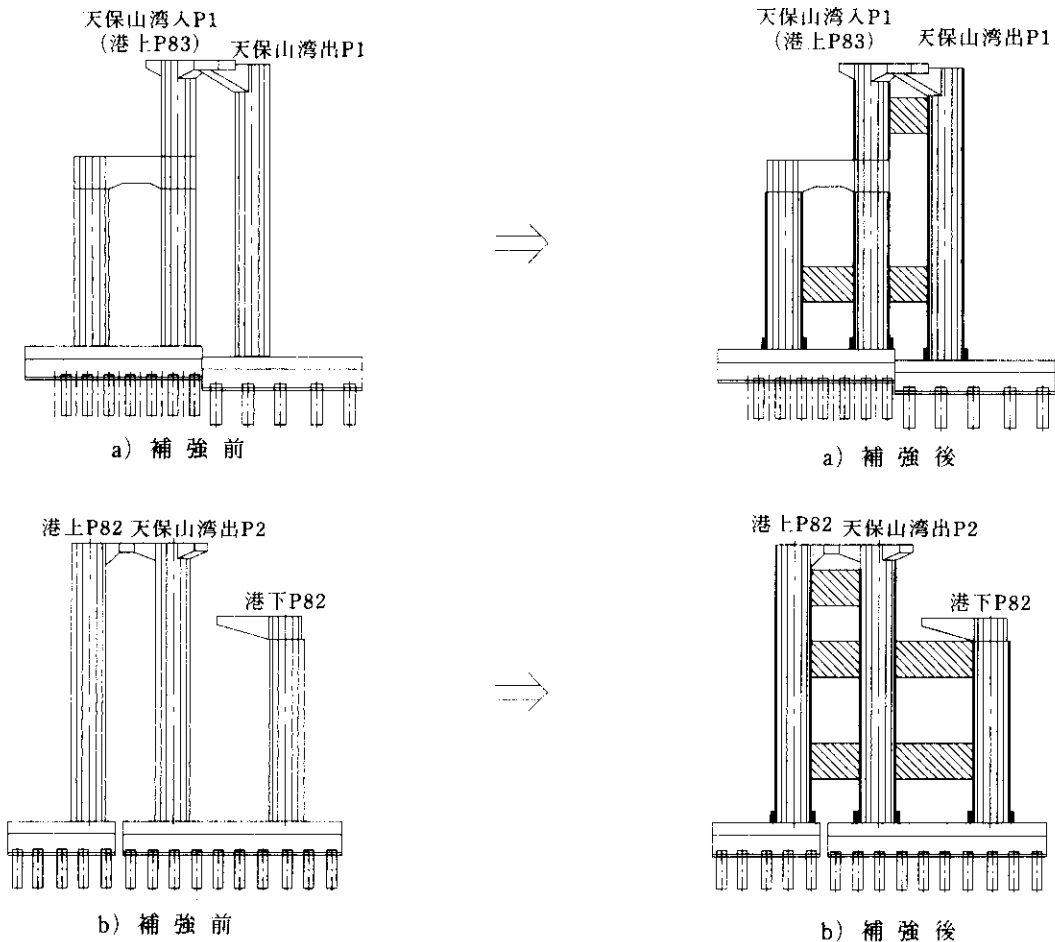


図-5 下部工一体化

4. 動的解析による下部工一体化の検証

下部工を一体化する有効性については、各独立橋脚（補強前）の場合と中間鋼製梁により補強した場合とを動的解析により比較検討した。検討は地震時での橋脚の挙動を把握するとともに、橋脚天端での変位の比較を行った。

なお、動的解析は、モード解析による応答スペクトル法を用いた。

4-1 解析手法および諸条件

解析対象橋脚は、図-5に示す港上P82橋脚、天保山湾出P2橋脚および港下P82橋脚とした。

以下当解析における条件を示す。

- 1) 手法：応答スペクトル法
- 2) モデル：図-6に示すモデルで柱下端は固定とした。本橋脚は、中間鋼

製梁によるラーメン構造であるが、面外方向には耐震壁として挙動することを目的とし、曲げモーメントを伝えない構造である。これより、中間鋼製梁の結合部はヒンジ結合とする。

- 3) 地盤種別：III種地盤
- 4) 入力スペクトル：「H2、道路橋示方書・第V編耐震設計編」³⁾（以下道示Vと略す。）に準じた加速度応答スペクトルを使用した。
- 5) 入力方向：図-7に示すとおり橋軸直角方向（面内方向）および橋軸方向（面外方向）とした。
- 6) 減衰定数：5%（道示Vに準じる。）
- 7) 荷重条件：表-2に示す。

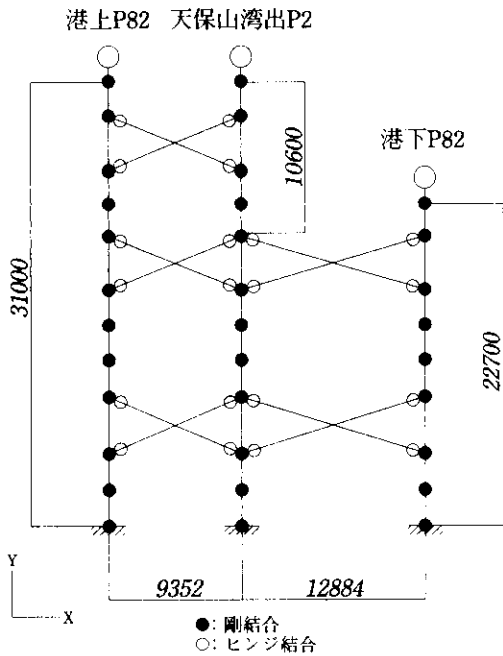


図-6 解析モデル

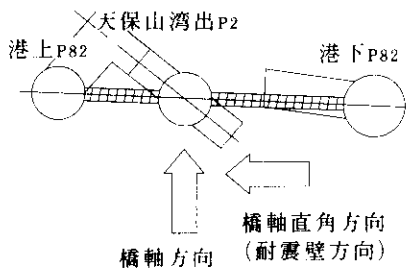


図-7 スペクトルの入力方向

表-2 荷重条件

橋脚名	港上P82		天保山湾出P2		港下P82
	固定	可動	固定	可動	可動
支承条件					
死荷重反力 (tf)	96	75	205	205	444
上部工重量	橋軸方向(t)				
	192		411		0
	直角方向(t)				
	171		411		444

4-2 検討結果

(1) 橋軸直角方向 (面内方向)

表-3に、各独立橋脚(補強前)と下部工一体化補強した場合における各橋脚での1次モードの固有周期および各橋脚天端での最大応答変位の解析結果を示す。

表-3における各橋脚の固有周期は、1次モードが大きく卓越しているため、この1次モードの

解析結果を示す。各独立橋脚の固有周期は、1次モードにおいて0.593S~1.198Sであるが、下部工一体化の補強をすることにより、固有周期が0.360Sとかなり短くなっていることがわかる。

表-3 橋軸直角方向における解析結果

橋脚名	固有周期(S)		最大応答変位(mm)	
	補強前	補強後	補強前	補強後
港上P82	0.966	0.360	76.5	11.3
天保山湾出P2	1.198		108.8	11.9
港下P82	0.593		26.6	5.7

図-8に、各独立橋脚(補強前)および一体化補強後における各橋脚天端での最大応答変位の改善率を示す。これは、表-3に示す補強前の各独

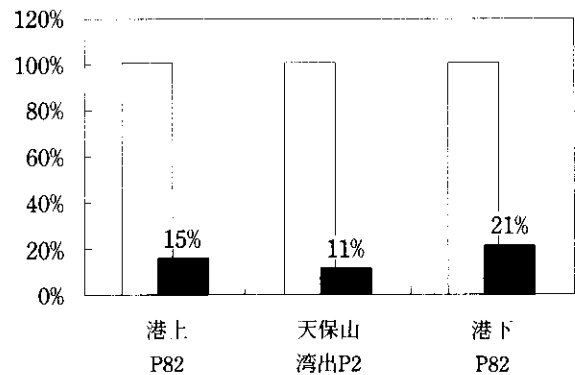


図-8 最大応答変位の改善率

立橋脚天端での最大応答変位を100%としたとき、一体化補強後の各橋脚天端での最大応答変位の改善率をグラフによって表したものであるが、下部工一体化の補強をすることにより、港上P82橋脚は15%に、天保山湾出P2橋脚は11%、また、港下P82橋脚は21%に改善されている。また、図-9に各独立橋脚(補強前)および一体化補強後における最大応答変位図を示すが、下部工を一体化補強することにより、最大応答変位が▲の位置から●の位置へと大きく改善されていることがわかる。また、下部工を一体化補強することによって、本橋脚は同一方向に挙動(一体化挙動)していることがわかる。

(2) 橋軸方向 (面外方向)

表-4に各独立橋脚(補強前)と下部工一体化補強した場合における、各橋脚での1次モードの固有周期および各橋脚柱天端での最大応答変位の解析結果を示す。

表-4における固有周期は、本橋脚が1次モードに大きく卓越しているため、1次モードにおける解析結果を示す。各独立橋脚の1次モードにおける固有周期は、0.325S~1.102Sであるが下部工一体化補強することにより、1.004Sとなった。また、補強前の各独立橋脚天端での最大応答変位を100%としたとき、一体化補強した場合の天保山湾出P2橋脚および港下P82橋脚天端の最大応答値は、約10%小さくなることわかる。

図-10に、下部工一体化補強した場合の最大応答変位図を示すが、一体化補強することによって本橋脚は同一方向に挙動(一体化挙動)していることがわかる。

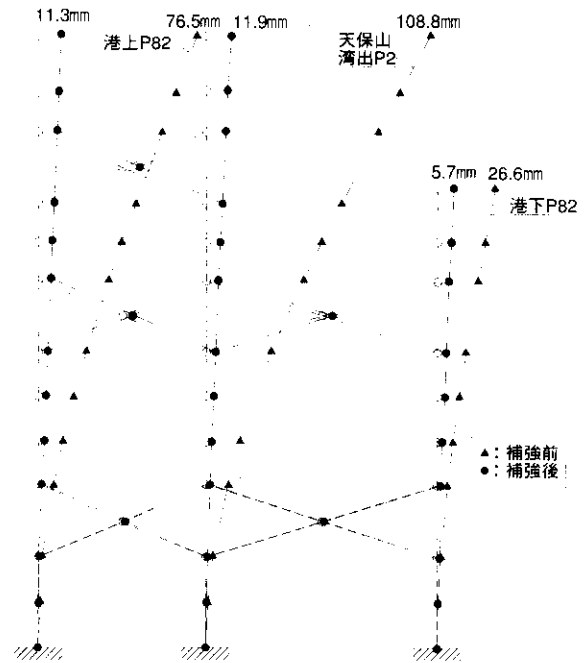


図-9 補強前および補強後の各橋脚の最大応答変位図

表-4 橋軸方向における解析結果

橋脚名	固有周期(S)		最大応答変位(mm)	
	補強前	補強後	補強前	補強後
港上P82	0.942	1.004	77.0	86.1
天保山湾出P2	1.102		101.0	91.0
港下P82	0.325		10.9	9.8

(3) まとめ

①橋軸直角方向(面内方向)においては、各独立橋脚(補強前)の場合に比べ下部工を一体化に補強することにより、固有周期および各橋脚天端での最大応答変位がかなり小さくなることわかった。これより、下部工を一体化に補強することにより、その効果が大きいことが推察できる。

②橋軸方向(面外方向)においては、下部工を一体化に補強することによって、最大応答変位の改善率は約10%で飛躍的な改善にはならなかった。しかし、これはあくまでも理想的な状況を再現した解析上の問題であり実際の地震方向は面外と一致することではなく、ある程度の角度を持つものと考えられ、

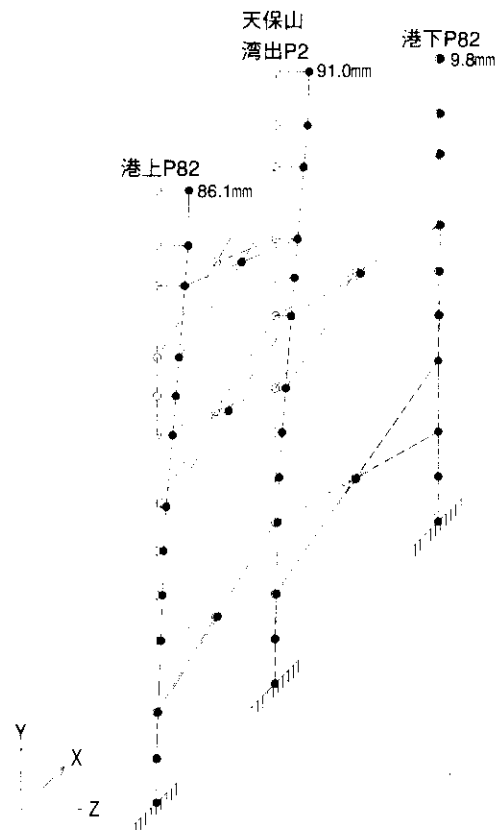


図-10 補強後の各橋脚の最大応答変位図

面内方向の改善率の大きさから判断すると実際には著しい改善といえる。また、橋軸方向に関しては、下部工一体化補強の効果に併せて疑似箱桁化による上部工の補強および落橋防止構造で十分に対応できるものである。

③橋軸直角方向および橋軸方向ともに、下部工を一体化に補強することによって、各独立橋脚は一体挙動を示すことがわかった。

以上より、中間鋼製梁による下部工を一体化に補強することは、当該地区の各独立橋脚に対し有効な耐震補強であると考えられる。

5. 施 工

(1) 疑似箱桁化

上部工の疑似箱桁化による補強については、以下の手順で施工を行った。

・ 施工手順

- ①補強前
- ②足場架設・調査工
- ③孔明け工
- ④部材取付け工 (写真-1)
- ⑤ボルト本締め工
- ⑥塗装工
- ⑦足場解体
- ⑧完了 (写真-2)

(2) 下部工一体化補強

下部工の一体化による補強は、以下の手順で施工を行った。



写真-2 完了

(1) 疑似箱桁化

上部工の疑似箱桁化による補強については、以下の手順で施工を行った。

・ 施工手順

- ①補強前
- ②足場架設・調査工
- ③孔明け工
- ④部材取付け工 (写真-1)
- ⑤ボルト本締め工
- ⑥塗装工
- ⑦足場解体
- ⑧完了 (写真-2)

(2) 下部工一体化補強

下部工の一体化による補強は、以下の手順で施工を行った。



写真-3 補強前



写真-1 パネル取付



写真-4 中間鋼製梁取付け工



写真-5 中間鋼製梁充てんコンクリート打設

・施工手順

- ①補強前 (写真-3)
- ②仕口取付け工
- ③仕口溶接工
- ④中間鋼製梁取付け工 (写真-4)
- ⑤ボルト本締め工
- ⑦中間鋼製梁充てんコンクリート打設 (写真-5)
- ⑧塗装工
- ⑨完了 (写真-6)

あとがき

本稿は、天保山JCT付近における本橋梁で実施した耐震補強工について、その基本方針を述べるとともに、下部工を一体化させたときの有効性を動的解析により示した。施工状況については、概率的に状況写真により紹介した。

動的解析による検討の結果、中間鋼製梁による下部工一体化についての有効性は、同一支承線上の橋脚の挙動を同一にするとともに橋脚天端での変位を抑制することが確認できた。

中間鋼製梁の取付けに当たっては、その取付部分において最低限橋脚柱に鋼板を巻く必要があっ



写真-6 完了

た。部分的な鋼板巻立てを行うと、その部分のみ柱の剛性が大きくなるため、柱全体に鋼板を巻立てることとした。柱全体鋼板巻立てによる効果は、補強前の単柱橋脚と比較した場合、今回規模の地震動に対し十分な地震時保有水平耐力を有することを確認した。

最後に本報告をまとめるにあたり、(株)建設技術研究所大阪支社の担当者の方々にはここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，1996.12.
- 2) 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る仕様」の準用に関する参考資料(案)，1995.6.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，1990.2.