

(87) 池田工区(その5) PCけた工事  
の設計について

阪神高速道路公団大阪第二建設部設計課 前川 順道  
 阪神高速道路公団計画部計画第一課 内海 敏  
 ドーピー建設工業(株)大阪支店設計部 正会員 ○ 樋上 登志夫  
 ドーピー建設工業(株)大阪支店設計部 和田 教志

1 はじめに

本橋は、阪神高速道路大阪池田線(延伸部)神田出入路料金所に建設される場所打ち張出工法で架設される3径間連続ラーメン橋であるが、路下条件および用地の関係から、フーチングおよび橋脚の大きさに制約を受けた構造となっている。

PC連続ラーメン桁の場合、設計荷重、地震荷重以外にも、クリープ、乾燥収縮によりラーメン橋脚に多大な断面力が作用することとなる。高橋脚ラーメン橋の場合、これらの作用力は橋脚の変位として吸収されるため、連続ラーメン形式は一般に高橋脚に有利とされている。しかし、都市内高架橋の場合一般に橋脚高がそれほど高くないため、地震力等は橋脚に過大な断面力を発生させる。

本橋の詳細設計にあたり、これらの断面力を軽減するため、張出施工終了後主桁橋軸方向にジャッキにより水平力を導入し、橋脚に発生する断面力と逆方向に断面力を発生させ、橋脚に発生する断面力を緩和し橋脚断面の軽減を図った。

ここでは、本橋詳細設計の概要およびこの水平反力調整工の考え方について報告する。

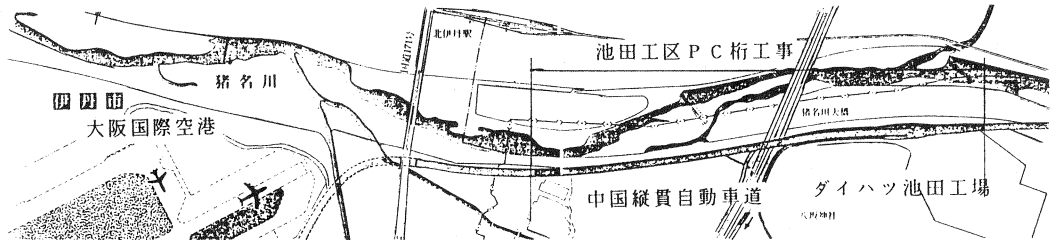


図-1 位置図

2 橋梁概要

本橋の橋梁概要を以下に示す。

|      |  |
|------|--|
| 路線名  | 阪神高速道路公団大阪池田線(延伸部)   |
| 工事名  | 池田工区(その5)PC桁工事 の内ⅢP38~41径間   |
| 橋格   | 1等橋(TL-20)   |
| 橋脚間隔 | 40.00+65.00+40.00m   |
| 幅員   | 52.80~30.50m   |
| 構造形式 | 上部工 3径間連続ラーメン箱桁<br>支点部 上下線一体構造<br>径間部 上下線分離構造<br>ⅢP38~39径間 上下線各々4室多重箱桁<br>ⅢP39~40径間 " 4室多重箱桁<br>ⅢP40~41径間 " 2室多重箱桁<br>下部工 ⅢP39 3柱ラーメン橋脚(対称系)<br>ⅢP40 1柱ラーメン橋脚(道路中心から約1.6m編心) |



3 設計概要

(1) 断面力の算出

本橋の構造特性を考慮し、上部工設計用および下部工照査用断面力の算出は以下の要領で行った。

1) 上部工設計用

- ・平面骨組み構造：面内荷重と考えられる荷重に対して適用。  
(主桁自重、クリープ、プレ2次、温度関係、乾燥収縮、地震荷重および基礎バネに対する検討)
- ・立体格子構造：橋体完成後面外荷重として載荷される荷重に適用。上下線各1主桁構造とした。  
(橋面荷重、活荷重、架設時照査用として主桁自重)
- ・平面格子構造：柱頭部(中間橋脚)横桁および支承設計用。全主桁をモデル化。  
(主桁自重、橋面荷重、活荷重)

2) 下部工(橋脚)照査用

- ・主桁自重、クリープ等  
平面骨組み構造として算出した断面力を立体格子構造の主桁により発生する断面力比率で分配。
- ・橋面荷重、活荷重、乾燥収縮、温度荷重、地震荷重、水平反力  
立体格子構造として解析。

(2) 上部工設計結果

表-1 上部工主要点の設計結果

上部工各主要点の主鋼棒本数および設計荷重時応力状態を、表-1に示す。

|       | 側径間 (38) |       | ⅢP39 (265) |      | 中央径間 (155) |       | ⅢP40 (186) |      | 側径間 (18) |      |
|-------|----------|-------|------------|------|------------|-------|------------|------|----------|------|
|       | 上縁       | 下縁    | 上縁         | 下縁   | 上縁         | 下縁    | 上縁         | 下縁   | 上縁       | 下縁   |
| 静荷重時  | 18.0     | 16.2  | 15.1       | 75.4 | 45.4       | 23.1  | 20.0       | 54.7 | 4.7      | 34.7 |
| 設計荷重時 | 27.8     | 1.7   | 15.5       | 75.0 | 57.4       | 7.3   | 20.9       | 52.8 | 15.6     | 16.3 |
|       | 16.3     | 18.9  | 7.6        | 83.2 | 44.1       | 24.6  | 10.2       | 67.3 | 2.0      | 39.7 |
| 温度荷重時 | 39.0     | 25.1  | 32.4       | 88.4 | 68.4       | 36.4  | 30.6       | 74.5 | 28.3     | 1.3  |
|       | 12.1     | -10.1 | 2.5        | 65.0 | 43.8       | -12.2 | 9.6        | 45.8 | -3.2     | 48.2 |
| 地震荷重時 | 22.7     | 6.9   | 20.2       | 66.6 | 44.7       | 22.5  | 30.1       | 38.2 | 0.0      | 45.0 |
|       | 13.3     | 25.5  | 10.0       | 84.2 | 46.1       | 23.7  | 9.9        | 71.2 | 9.4      | 24.4 |

注) ( )内数値は、各主要点での必要鋼棒本数をしめす。

(3) 下部工の照査

上部工詳細設計後、前項解析方法により算出した断面力によ

りラーメン橋脚の応力照査を行った結果、表-2に示すように各許容値を大きくオーバーした。

その原因として、下部工詳細設計(上部工予備設計)での断面力に対して次の差異があることがわかった。

① 予備設計時の乾燥収縮度  $\epsilon_s$  の値が小さい。

予備設計  $-5 \times 10^{-5}$  → 詳細設計(平均材合)  $-15 \times 10^{-5}$

表-2 ラーメン橋脚発生応力

② 予備設計時主桁断面力は、一括施工として施工順序を考慮せず算出していた。このため、構造系変化による二次断面力に相当する荷重として、中央閉合前に主桁に水平力を与え、閉合後この水平力を除荷している。(水平反力調整工)

|                               |            | ⅢP39-2  | ⅢP39-3  | ⅢP40    | 許容値    |
|-------------------------------|------------|---------|---------|---------|--------|
| 断面力                           | M (tfm)    | 15589.4 | 33230.4 | 83079.2 |        |
|                               | N (tf)     | 2080.6  | 5890.1  | 9347.9  |        |
|                               | S (tf)     | 1462.3  | 2634.4  | 5824.6  |        |
| 応力度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_c$ | 89.1    | 179.6   | 183.3   | 148.5  |
|                               | $\sigma_s$ | 2726.2  | 4444.1  | 5408.6  | 3300.0 |
|                               | $\tau$     | 6.0     | 10.8    | 10.9    | 6.9    |
|                               |            |         |         |         |        |

(4) 対応策

本橋の下部工は、工場用地および猪名川河川敷で施工範囲が限定されており、予備設計の結果として水平反力調整工を行うことにより下部工形状寸法の軽減がなされたようである。今回の上部工設計時には、下部工は施工済みであったため、橋脚の許容値オーバーに対して以下の対応策が考えられる。

- ① 橋脚の許容値を越える部分を鋼板接着により補強する。
- ② 水平反力調整を行う。

上記2案のうち、補強の有効性および施工直後の対応策と言う面から、施工例は少ないが ② の水平反力調整工を採用することとした。

#### 4 水平反力調整工

##### (1) 概要

3径間PC連続ラーメン橋の場合、クリープ、乾燥収縮の影響により中間橋脚には常に径間中央側への曲げモーメントが作用している。水平反力調整工とは、張出施工終了時に主桁中央閉合部において側径間側にジャッキにより水平力を与えることで、常時橋脚に作用しているクリープ、乾燥収縮による断面力を低減しようとする手法である。

わが国での最近の実施例として、祖山橋(富山県、 $\pi$ ラーメン橋)がある。この橋梁の場合、設計段階から水平反力調整を積極的にとり入れ、ラーメン脚は非常にスレンダーな形状となっている。

しかし、本工区のように、橋脚高さの低い脚剛度の高いラーメン橋に対して水平反力調整を行った例は報告されていない。また、本橋は3脚と1脚のラーメン構造であり、かつ各車線ごとの多重箱桁であるため、水平力導入についてはさまざまな検討が必要である。水平反力調整に関する検討手順を以下に示す。

- ① 概算必要水平力を算出する。
- ② 概算導入力に対して、導入時期およびそのときの構造系について検討する。
- ③ 導入構造系を評価できるモデルにおいて、橋脚断面力に着目しつつ最終導入力を算出する。
- ④ 水平反力調整が上部工に与える影響を照査する。
- ⑤ 実際の水平力導入方法を検討する。

##### (2) 導入構造系の検討

上下線をモデル化した平面骨組み解析の結果、概略導入水平力として上下線当り  $H = 1500 t$  の値を得た。この値を用いて水平力導入構造系の検討を行う。検討要素として、下記の項目に対する組合せを行った。

###### 1) 検討項目

- ・ 水平力載荷時期
  - (1) 片車線張出施工完了後
  - (2) 上下線張出施工完了後
  - (3) 片車線側径間閉合後
  - (4) 上下線側径間閉合後
- ・ 水平力載荷構造
  - (A) 各車線単独
  - (B) 上下線同時
- ・ 水平力載荷部材
  - (a) 主桁5ウエブ載荷
  - (b) 主桁3ウエブ載荷

###### 2) 解析および着目要素

解析は、橋脚をバネ支点と考えた平面格子構造に水平力を載荷し、支点に発生するねじり反力に対して橋脚断面に発生するねじりせん断応力度に着目し、水平力導入構造系を検討した。検討項目の組合せおよび発生応力度を表-3に示す。

###### 3) 解析結果

前記検討ケースのうち、側径間閉合前に片車線ずつ導入すると許容値を満足しない。また、側径間閉合後導入すれば、片車線ずつあるいは5ウエブ、3ウエブ導入のいずれの場合も許容値を満足する。以上の結果、施工性および発生応力の状態を考慮し、CASE 11を採用した。

表-3 導入構造系の検討

| CASE | モデル | 組合せ   | ねじりせん断応力度<br>$\tau_{ta} = 4.2 \text{ kg/cm}^2$ |        |        |        |
|------|-----|-------|--|--------|--------|--------|
|      |     |       | ■P39-1   | ■P39-2 | ■P39-3 | ■P40   |
| 1    |     | 4 A a | -0.19  | -0.46  | -0.26  | 0.70   |
| 2    |     | 4 A a | 0.26   | 0.46   | 0.20   | -0.82  |
| 3    |     | 4 B a | 0.08   | 0.01   | -0.05  | -0.11  |
| 4    |     | 3 A a | 2.30   | 1.28   | 0.26   | -2.08  |
| 5    |     | 2 A a | -2.21  | -2.52  | -2.71  | 6.12   |
| 6    |     | 2 A a | 2.76   | 2.62   | 2.36   | -5.71  |
| 7    |     | 2 B a | 0.56   | 0.09   | -0.35  | -3.59  |
| 8    |     | 1 A a | 2.51   | 2.66   | 2.39   | -5.71  |
| 9    |     | 4 A b | -0.43  | -0.58  | -0.34  | 1.14   |
| 10   |     | 4 A b | 0.34   | 0.58   | 0.45   | -1.01  |
| 11   |     | 4 B b | -0.09  | 0.00   | 0.11   | 0.13   |
| 12   |     | 3 A b | 2.32   | 1.48   | 0.57   | -2.61  |
| 13   |     | 2 A b | -4.55  | -3.92  | -3.47  | 10.58  |
| 14   |     | 2 A b | 3.52   | 4.00   | 4.68   | -14.15 |
| 15   |     | 2 B b | -1.62  | 0.08   | 1.21   | -3.58  |
| 16   |     | 1 A b | 2.76   | 4.26   | 4.87   | -14.13 |

(3) 最終導入力の算出

前項までで導入構造系を決定し、立体格子解析にて必要水平力を試算した。試算結果を表-4に示す。

表-4 水平反力調整工を考慮した下部工反力

|        |      | MP39-2   |        |         | MP39-3   |        |         | MP40     |        |         |
|--------|------|----------|--------|---------|----------|--------|---------|----------|--------|---------|
|        |      | M (tfm)  | N (tf) | S (tf)  | M (tfm)  | N (tf) | S (tf)  | M (tfm)  | N (tf) | S (tf)  |
| 地震+温度  | (+→) | -7445.4  | 2048.6 | 922.9   | -23574.9 | 5798.1 | 1829.1  | -5244.2  | 9441.0 | 1185.1  |
|        | (+←) | 13236.3  | 2084.7 | -719.2  | 1344.6   | 5788.0 | -530.5  | 52253.1  | 9199.6 | 3655.5  |
|        | (-→) | -15589.4 | 2080.6 | 1462.3  | -33230.4 | 5890.1 | 2634.4  | 25581.8  | 9589.3 | -983.9  |
|        | (-←) | 5092.3   | 2116.7 | -179.8  | -8311.0  | 5880.0 | 274.8   | 83079.2  | 9347.9 | -5824.6 |
| 水平反力調整 |      | 6386.9   | -7.8   | -409.8  | 7013.9   | -46.0  | -521.3  | -21142.7 | -56.0  | 1450.5  |
| 合計     | (+→) | -1058.5  | 2040.8 | 513.1   | -16561.0 | 5752.1 | 1307.8  | -26386.9 | 9385.0 | 2635.6  |
|        | (+←) | 19623.2  | 2076.9 | -1129.0 | 8358.5   | 5742.0 | -1051.8 | 31110.4  | 9143.6 | 5106.0  |
|        | (-→) | -9202.5  | 2072.8 | 1052.5  | -26216.5 | 5844.1 | 2113.1  | 4439.1   | 9533.3 | 466.6   |
|        | (-←) | 11479.2  | 2108.9 | -589.6  | -1297.1  | 5834.0 | -246.5  | 61936.5  | 9291.9 | -4374.1 |

この試算結果からも明らかなように、MP39 橋脚下端において水平反力調整による断面力は正の曲げモーメントとして発生するが、(地震+温度荷重時)断面力は正負交番する。すなわち、MP39-2橋脚(+←)とMP39-3橋脚(-

表-5 橋脚応力度

|                               |            | MP39-2  | MP39-3  | MP40    | 許容値    |
|-------------------------------|------------|---------|---------|---------|--------|
| 断面力                           | M (tfm)    | 19623.2 | 26216.5 | 61936.5 |        |
|                               | N (tf)     | 2076.9  | 5844.1  | 9292.0  |        |
|                               | S (tf)     | 1129.0  | 2113.2  | 4374.0  |        |
| 応力度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_c$ | 108.9   | 144.0   | 136.9   | 148.5  |
|                               | $\sigma_s$ | 3325.1  | 3114.0  | 3326.2  | 3300.0 |
|                               | $\tau$     | 4.6     | 8.7     | 8.2     | 6.9    |

→)の断面力バランスで必要導入水平力が決定される。試算の結果、設計荷重作用時での必要水平力は、上下線あたり H = 1450 t となった。この時の橋脚下端応力状態を表-5に示す。この状態では発生応力が許容値を若干越えるが、断面力のバランス上水平力の増減により応力調整を行うことは不可能である。本橋は杭基礎構造であるが、設計上基礎バネを考慮した場合上下部工とも若干安全側の設計となるため、詳細設計では橋脚下端固定条件で解析を行っている。基礎バネを考慮した解析を行った場合鉄筋応力度がさらに 50 kgf/cm<sup>2</sup> 程度緩和されるため、許容値を満足できる。故に、水平反力調整量は上下線当り H=1450 t と決定した。

(4) 上部工に与える影響

水平反力調整工により上部工に発生する曲げ応力度は、側径間で下縁 -7.2 kgf/cm<sup>2</sup> 程度、中央径間では上下縁とも圧縮応力となる。これらの曲げ応力度はあくまで二次的に発生するものと評価し、本詳細設計においては断面に対して不利に作用する場合のみP C鋼棒で補強することとした。

表-6 上部工曲げ応力度明細

|              |       | (38)  |       | (265) |       | (155) |       | (186) |       | (18)  |       |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |       | 上縁    | 下縁    | 上縁    | 下縁    | 上縁    | 下縁    | 上縁    | 下縁    | 上縁    | 下縁    |
| 荷重による<br>応力度 | 主桁自重  | 14.0  | -20.7 | -63.8 | 57.7  | 38.8  | -55.6 | -79.6 | 82.6  | 10.4  | -17.3 |
|              | 橋面工   | 12.6  | -18.4 | -12.4 | 12.7  | 8.3   | -11.2 | -8.6  | 10.2  | 3.7   | -6.3  |
|              | 水平力   | 3.1   | -4.7  | 6.4   | -6.2  | 0.2   | 9.9   | 1.3   | 6.5   | 6.6   | -7.2  |
|              | ブレン静定 | 6.3   | 33.2  | 109.5 | -13.7 | -15.2 | 131.2 | 99.1  | -18.6 | 8.2   | 29.3  |
|              | 活荷重   | -14.9 | 22.1  | -18.2 | 18.7  | 13.5  | -41.3 | 9.9   | -19.5 | -17.6 | 29.0  |
|              | 温度荷重  | 9.8   | -14.5 | 0.4   | -0.4  | 12.0  | -15.8 | 0.9   | -1.9  | 10.9  | -18.4 |
|              | 地震荷重  | -1.7  | 2.7   | -7.5  | 7.8   | -1.3  | 1.5   | -9.8  | 12.6  | -2.7  | 5.0   |
|              | 温度荷重  | 11.2  | -11.8 | 16.9  | -10.0 | 10.4  | 4.1   | 9.7   | 7.2   | 12.7  | -15.0 |
|              | 地震荷重  | 2.8   | 0.6   | 6.7   | 0.4   | 11.0  | -19.5 | 8.5   | -6.8  | 2.3   | 2.0   |
|              | 地震荷重  | 4.7   | -9.3  | 5.1   | -8.8  | -0.7  | -0.6  | 10.1  | -16.5 | -4.7  | 10.3  |
| 地震荷重         | -4.7  | 9.3   | -5.1  | 8.8   | 0.7   | 0.6   | -10.1 | 16.5  | 4.7   | -10.3 |       |
| 水平力無視        | 静荷重時  | 18.0  | -16.2 | 15.1  | 75.4  | 45.4  | 23.1  | 20.0  | 54.7  | 4.7   | 34.7  |
|              | 設計荷重時 | 27.8  | 1.7   | 15.5  | 75.0  | 57.4  | 7.3   | 20.9  | 52.8  | 15.6  | 16.3  |
|              | 温度荷重時 | 16.3  | 18.9  | 7.6   | 83.2  | 44.1  | 24.6  | 10.2  | 67.3  | 2.0   | 39.1  |
|              | 地震荷重時 | 39.0  | 25.1  | 32.4  | 88.4  | 68.4  | 36.4  | 30.6  | 74.5  | 28.3  | 1.3   |
|              | 無視    | 12.1  | -10.1 | 2.5   | 65.0  | 43.8  | -12.2 | 9.6   | 45.8  | -3.2  | 48.2  |
|              | 地震荷重時 | 22.7  | 6.9   | 20.2  | 66.6  | 44.7  | 22.5  | 30.1  | 38.2  | 0.0   | 45.0  |
|              | 静荷重時  | 13.3  | 25.5  | 10.0  | 84.2  | 46.1  | 23.7  | 9.9   | 71.2  | 9.4   | 24.4  |
|              | 設計荷重時 | 21.1  | 11.5  | 21.5  | 69.2  | 45.6  | 33.0  | 21.9  | 61.2  | 11.3  | 27.5  |
|              | 温度荷重時 | 30.9  | -3.0  | 21.9  | 68.8  | 57.6  | 17.2  | 22.2  | 59.3  | 22.2  | 9.1   |
|              | 地震荷重時 | 19.4  | 14.2  | 14.0  | 77.0  | 44.3  | 34.5  | 11.5  | 73.8  | 8.6   | 32.5  |
| 水平力考慮        | 42.1  | -14.8 | 38.8  | 58.8  | 66.6  | -2.3  | 31.9  | 81.0  | 34.9  | -5.9  |       |
| 温度荷重時        | 15.2  | 20.4  | 8.9   | 82.2  | 44.0  | 46.3  | 10.9  | 82.3  | 3.4   | 41.0  |       |
| 地震荷重時        | 25.8  | 2.2   | 26.6  | 60.4  | 44.9  | 32.4  | 31.4  | 44.7  | 6.6   | 37.8  |       |
| 地震荷重時        | 16.4  | 20.8  | 16.4  | 78.0  | 46.3  | 33.6  | 11.2  | 77.7  | 16.0  | 17.2  |       |

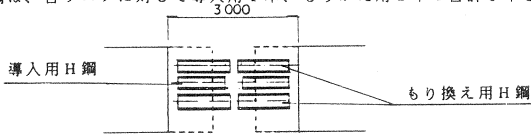
注) ( )内数値は、各上り点での必要鋼棒本数をしめす。主桁自重、ブレン静定にはクリップ、二次力等を含む。

（5）導入方法の検討

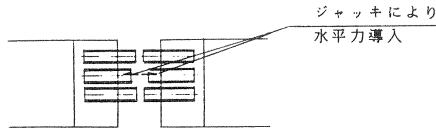
図-3 に中央閉合部での水平力導入要領を示す。

1 上下線張出施工終了

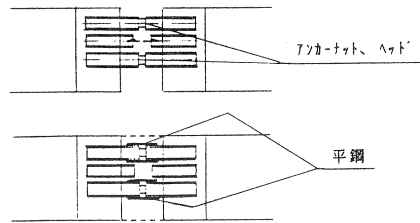
2 水平力導入用H鋼を埋め込み、中央閉合ブロックの内約1/3を打設する。  
H鋼は、各ウェブに対して導入用1本、もりかえ用2本の合計3本とする。



3 ジャッキにより所定の水平力を導入する。



4 2本のH鋼とBBRV工法用アンカーナット、アンカーヘッドを用いて水平力をもりかえ、H鋼上下にFBを溶接し、固定する。この後、ジャッキを撤去する。



5 中央閉合部中央を打設し、完成。

図-3 水平力導入要領

5 おわりに

本橋は、前述のように料金所の関係により1支間内で幅員が大きく変化している。そのため、上部工設計上も諸問題が発生した。しかし、本報告で述べた水平反力調整は近年実施例も少なく、下部工施工完了以後での設計上での方策として有効な手法といえる。ここで紹介した内容以外にも、中央閉合部の細部構造および導入力の検証方法等検討する必要がある。本現場は現在（平成6年7月）上り線張出施工を完了し、下り線張出施工中である。