

(81) 広幅員連続ラーメン橋における水平反力調整工及びウェブ合流付近の有限要素解析について

阪神高速道路公団大阪第二建設部設計課 米澤 康夫
 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 正会員 ○ 和田 教志

1. はじめに

本橋は阪神高速道路公団大阪池田線(延伸部)神田出入路料金所に場所打ち張出し工法により建設される3径間連続ラーメン橋である。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ラーメン橋脚の場合、設計荷重時、地震荷重時以外にも、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、都市高架橋の場合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。

本橋では、これらの断面力を軽減するために張出施工終了後に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(図-1, 図-3参照)。また、本橋橋面に設けられる料金所の線形条件から幅員が1径間内で52.8m~35.7mに変化する。そこで図-2に示すようにⅢP39~ⅢP40径間で箱桁ウェブ数を1径間内で5~3ウェブに変化させた。このためⅢP40橋脚付け根でウェブが合流する構造となり、応力の乱れが懸念され、この応力状態を解明するため、ウェブ合流付近を対象に三次元有限要素解析を行った。

本業務のうち、設計的概要については昨年度のシンポジウムで発表したため、本年は水平反力調整工において水平力導入時における主桁の変位と主桁に埋め込んだ鉄筋応力計とコンクリートひずみゲージによる測定結果、およびウェブ合流部の三次元有限要素解析について報告する。

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けた工事の内

ⅢP38~ⅢP41径間

橋格：1等橋(TL-20)

橋脚間隔：40.00 + 65.00 + 40.00 m

幅員：52.80 ~ 30.50 m

構造形式：上部工 3径間連続ラーメン橋

支点部 上下線一体構造

径間部 上下線分離構造

ⅢP38~ⅢP40径間 上下線各々4室多重箱桁

ⅢP40~ⅢP41径間 上下線各々2室多重箱桁

下部工

ⅢP39 3柱ラーメン橋脚(対称系)

ⅢP40 1柱ラーメン橋脚(道路中心から1.644m偏心)

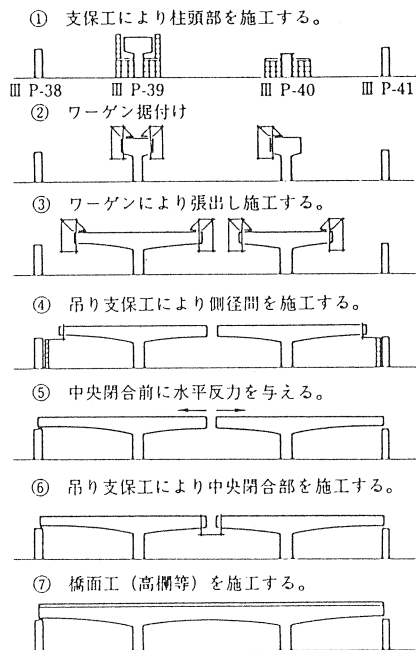
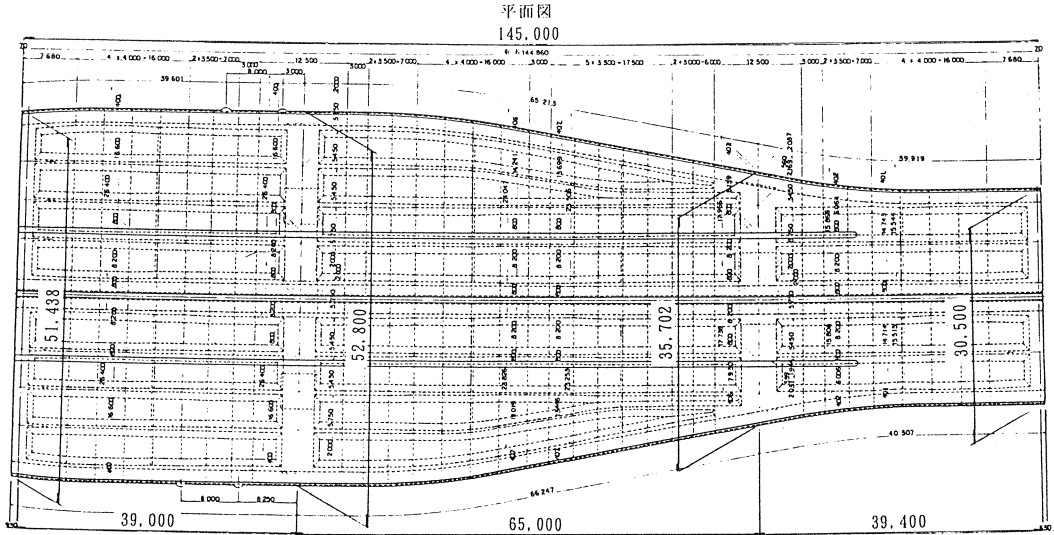
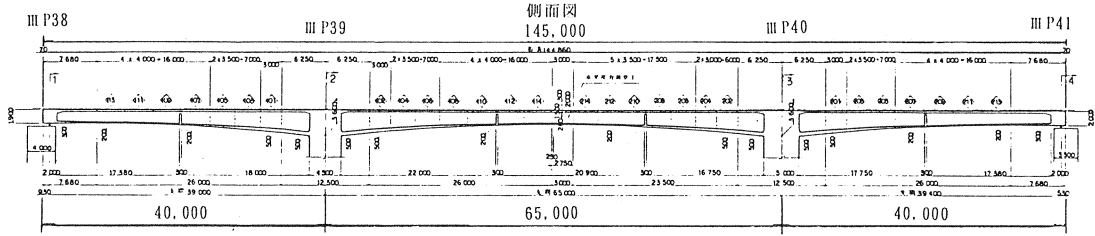
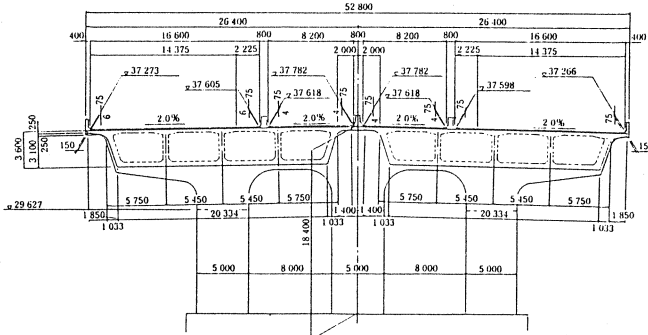


図-1 施工順序



III P 39 橋脚断面図



III P 40 橋脚断面図

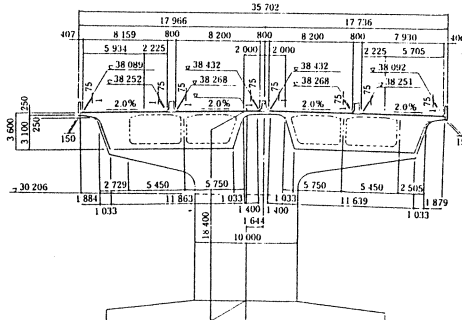
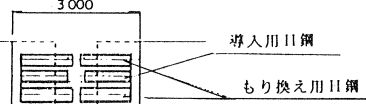
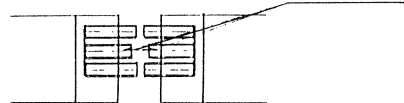


図-2 橋梁一般図

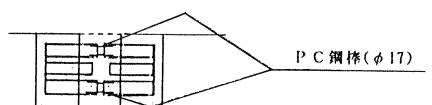
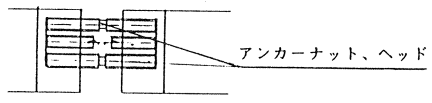
1. 上下線張出し施工終了
2. 水平反力導入用H鋼を埋め込み、中央閉合ブロックの内約1/3を打設する。H鋼は各ウェブに対して導入用1本、もり換え用2本の計3本とする。



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換え、H鋼に取付けた1カ所4本のPC鋼棒(φ17)を固定する。この後導入用ジャッキを撤去する。



5. 中央閉合部中央を打設する、完成。

図-3 水平反力調整工の導入要領

3. 水平反力調整工の測定結果

3-1) 概要

前述の上部工の乾燥収縮、クリープによる橋脚の応力度を軽減するために(詳細内容は参考文献1参照)水平反力調整工を行った。水平反力調整工の導入要領を図-3に示す。導入荷重はクリープ、乾燥収縮の減少を考慮して、全導入量で $P=1585\text{ton}$ (設計時 $P=1450\text{ton}$)となった。上下線で6本の主桁より導入するため、1主桁当たり264.2tonとなった。(図-4参照)

水平反力調整工において導入量を判断するに当たり、以下の理由により計測を行うこととした。

- ① 水平反力調整工を採用した橋梁の施工実績が少なく、水平反力調整量の管理方法が確立されていない。
- ② 水平反力調整量が 1585 ton に対して、水平反力調整用のジャッキのマノメーター示度のみでは十分な管理が行えない。
- ③ 水平反力調整による移動量(変位量)は、中央閉合部で図-4のA、B点で水平方向A点4.8mm, B点5.6mmと小さく、導入力の管理対象としてはふさわしくない。

したがって、主桁内に鉄筋応力計を埋め込み、主桁コンクリート表面にコンクリートひずみゲージを取り付けて水平反力調整工により主桁に発生する応力を計測する事で、橋脚に導入された水平反力量を判断するためである。

3-2) 測定位置

変位測定位置は図-4に示すように上下線の中央閉合部、桁端、および107, 108, 208, 207ブロックとした。鉄筋の応力、コンクリートのひずみ測定位置はⅢP41橋脚から張出施工される下り線の210ブロック、211ブロック、ⅢP41橋脚とした。鉄筋応力計は中央分離帯側からG1~G3主桁の上下床版の軸方向筋とした。コンクリートひずみゲージは鉄筋応力計と同位置の上下床版のコンクリート表面とした。ⅢP41橋脚ではコンクリートひずみゲージを橋脚天端から5.6m下の位置にⅢP39側2カ所、ⅢP41側2カ所取り付けた。

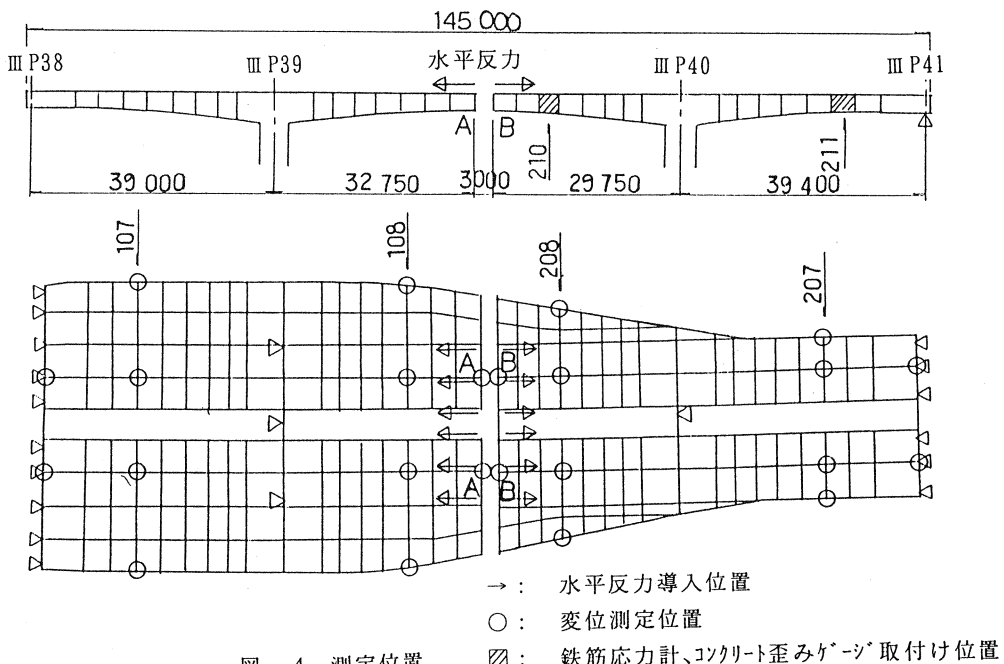


図-4 測定位置

3-3) 測定結果

(1) 変位

表-1に変位の測定結果と計算値を示す。水平変位はⅢP41側の変位が計算値より大きくなったが、ほぼ計算値と測定値が一致した。鉛直変位については、導入位置(中央閉合部)では、測定値が計算値の1/3程度となった。その他の点では計算値とほぼ一致した。導入位置で測定値と計算値が大きく違った原因として、計算上は張出し状態で水平力を外力として与えたのに対して、施工では水平反力調整用のジャッキが変位を拘束したためと考えられる。

(2) 鉄筋の応力とコンクリートのひずみ

ジャッキとコンクリートのなじみを取らせるために荷重を一度150tonまで上げ、その後30tonまで下げ、そして最終導入量 264.2tonまで上げ、導入を終了した。

図-5、図-6よりⅢP41側、211ブロックでの水平導入力と鉄筋の応力、コンクリートのひずみの測定値はほぼ計算値と一致した。図-7より中央閉合部側、210ブロックでの鉄筋の応力は計算値とあまり一致しなかった。この原因は幅員が変化するために道路中心側の6本の主桁で導入した影響、およびジャッキで相手側の主桁に反力を取ったためにジャッキが主桁の変形を拘束した影響により誤差が生じたものと考えられる。

以上より、変位、鉄筋計の応力、およびコンクリートのひずみが計算値とほぼ一致したことより、設計で必要とされる水平反力が導入できたものと考えられる。

表-1 変位の測定値と計算値

	水平変位		計算値 (mm)
	測定値 (mm) 上り線	測定値 (mm) 下り線	
E1	-5	-5	-4.4
114	11.9	11.6	-4.8
214			5.4
E2	7	7	5.3

	鉛直変位		計算値 (mm)
	測定値 (mm) 上り線(G2)	測定値 (mm) 下り線(G2)	
107BL	-3	-4	-4.2
108BL	4	5	5.8
114BL	4	4	11.5
214BL	4	5	13.3
208BL	4	5	7.1
207BL	-4	-3	-5.2

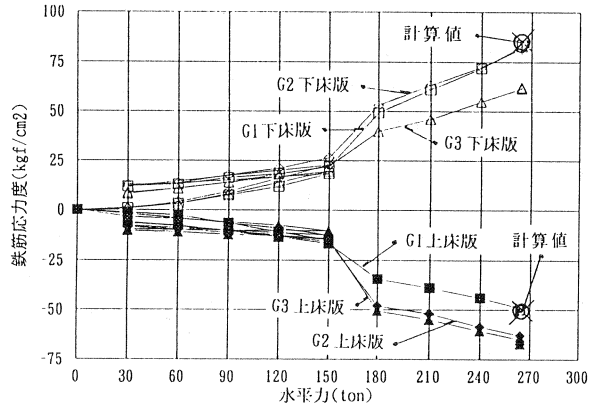


図-5 水平力と211°ブロックの鉄筋の応力の関係

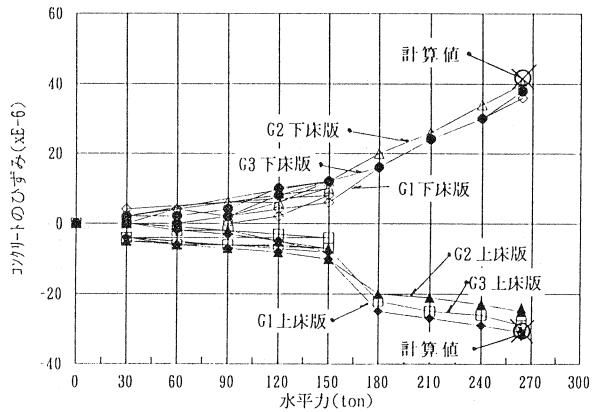


図-6 水平力と211°ブロックのコンクリートのひずみの関係

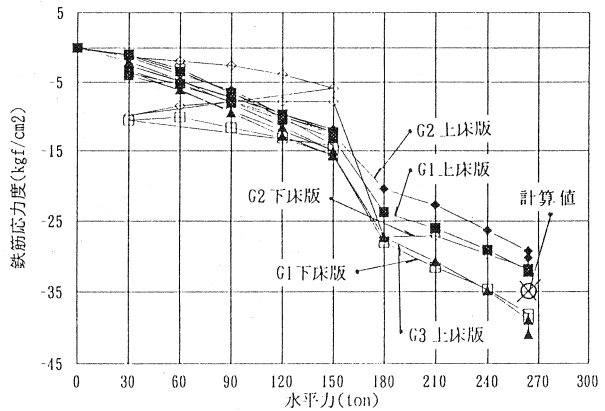


図-7 水平力と210°ブロックの鉄筋の応力の関係

4. ウェブ合流部の有限要素解析について

4-1) 概要

前述したように、本橋は幅員変化の影響によりⅢP40橋脚付近で片車線で5ウェブから3ウェブに変化する。これによる応力の乱れを検証するため、下り線側ⅢP40付近を取り出し三次元FEM解析を行った。

(1) 検討荷重

検討の対象とする荷重ケースは、以下のとおりである。

ケース-1 死荷重時 (自重+橋面荷重+乾燥収縮+プレストレス)

ケース-2 温度荷重時 (死荷重時+温度変化)

(2) モデルおよび使用要素

検討のためのモデル化は、以下の要領で行った。

- ・モデル化の範囲はⅢP40をはさんで中間隔壁までとする。
- ・着目は下り線のみとし、モデル化もこの範囲とする。
- ・上下線はⅢP40橋脚の横梁で結合しているの、上下線の境界位置に対称条件を入れる。
- ・橋脚は脚下端まですべてモデル化する。脚は途中からビーム要素でモデル化する。
- ・解析は三次元解析とするが、その使用要素は以下のとおりとする。

ソリッド要素：着目部付近の上部工および橋脚部

プレート要素：着目部以外の上部工

ビーム要素：着目部以外の橋脚部

これらの要素を組み合わせた要素全体イメージ図を図-8に示す。着目部付近のソリッド要素のみを取り出したイメージ図を図-9に示す。

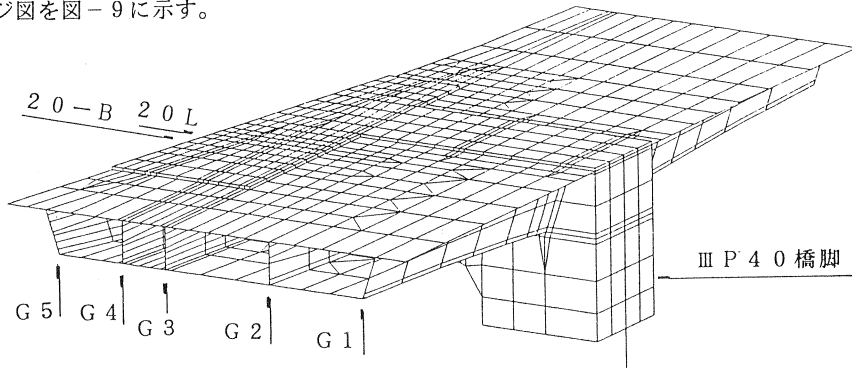


図-8 全体イメージ図

4-2) 検討結果

検討は死荷重時、温度荷重時に対して、変位および橋脚、横梁、上床版、下床版、断面方向、ウェブでの応力について行った。ここでは死荷重時について上床版、下床版、断面方向の応力度について述べる。

(1) 床版の応力状態

上床版においては、主桁G3、G4、G5がⅢP40橋脚に近づくに従って、各々の桁間隔が狭くなる。20L断面ではG4、G5が1本となり、ⅢP40橋脚横梁部でG3(G4、G5)が間隔約2.2mで剛結される。ⅢP41側ではG3(G4、G5)が1本の主桁となっている。図-10に上床版に主引張応力(σ_1)を示

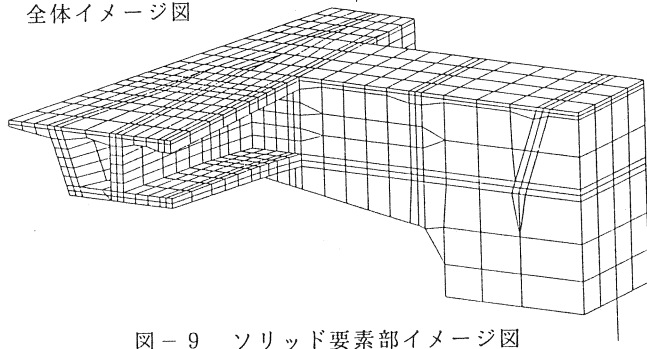


図-9 ソリッド要素部イメージ図

すが、このほか σ 、 σ_x 、 σ_y を見る限りでは応力集中や応力の乱れはない。また、下床版の応力状態は上床版と同様に σ 、 σ_x 、 σ_y の応力度を見る限りでは応力集中や応力の乱れはない。

(2)断面方向の応力状態

20L断面ではG4、G5桁が主桁本数が5本から4本に減少し、断面形状が変化する。図-11、図-12に20L断面前後の主引張応力(σ_1)を示すが、このほか σ 、 σ_x 、 σ_y を見る限りでは応力度状態に大きな変化がない。また、20L断面前後でのウェブと横桁壁との応力差は2~3kgf/cm²程度である。

今回のFEM解析の結果施工性を考慮して20L断面前後でG4、G5主桁を一体化することは特に問題がなかったことがわかった。

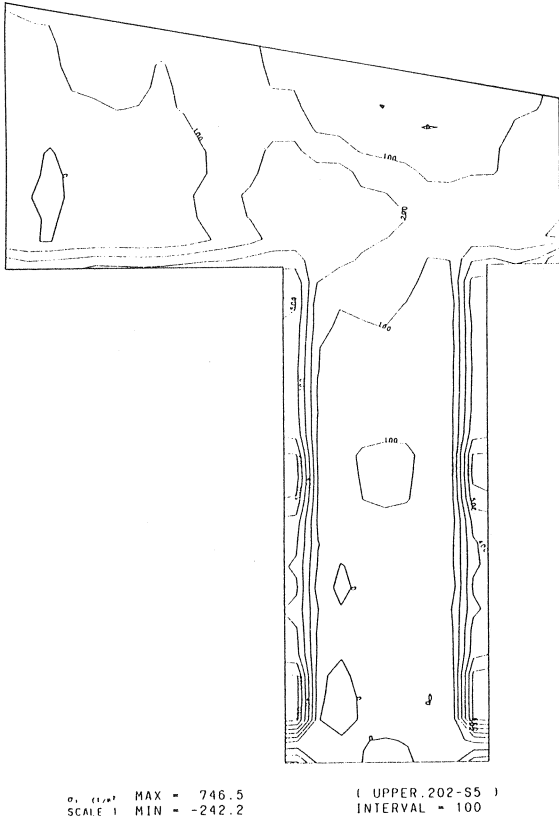


図-10 上床版最大主応力図

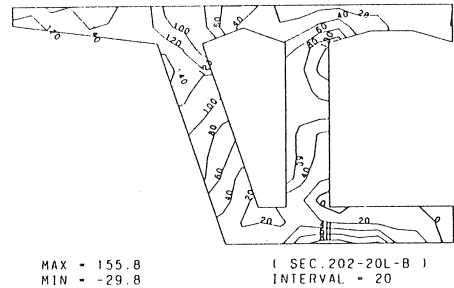


図-11 開断面側最大主応力図
(20L-B断面)

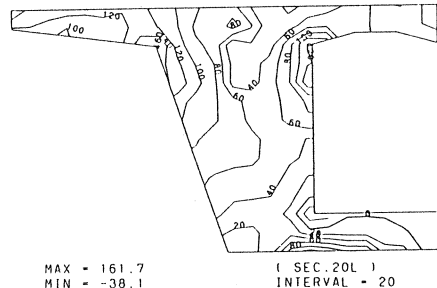


図-12 閉断面側最大主応力図
(20L断面)

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。このうち、本報告で述べた水平反力調整工は近年実施例も少なく、下部工施工完了後での設計上の方策として有効な手法といえる。また、橋脚近くで3ウェブが合流する構造においても適切な部材厚さとウェブの軸線の流れを考慮すれば、応力集中が発生しないことがわかった。

参考文献

- 1) 前川・内海・樋上・和田：池田工区(その5)PCけた工事の設計について、プレストレストコンクリート技術協会第4回シンポジウム論文集、1994.10
- 2) 前川・内海・樋上・和田：水平反力調整工を用いた連続ラーメン橋設計概要、プレストレストコンクリート、VOL.37、1995年5月