

## (24) 新川音川橋(PC 7径間連続ラーメン橋)の設計と施工

日本道路公団 黒岩正 富士ビー・エス・コンクリート㈱ 花田忠臣  
 ビー・シー橋梁㈱ 新川浩 同 上 o中嶋秀幸

はじめに

新川音川橋は、径間長90mを基調とする7径間連続ラーメン橋である。この構造形式は橋脚に支承を必要とせず、複数の橋脚で地震時水平反力を負担するため、大きな橋台・橋脚が不要となり経済的であるばかりか、高次の不静定構造であるため、不測の地震に対しても耐震上優れた構造形式である。本橋は

高次の不静定構造物とすることによる耐震性の向上

支承の維持補修を不要とする

伸縮装置を少なくすることによる走行性の向上

を目的として、従来例をみない多径間連続ラーメン橋を指向して計画した。

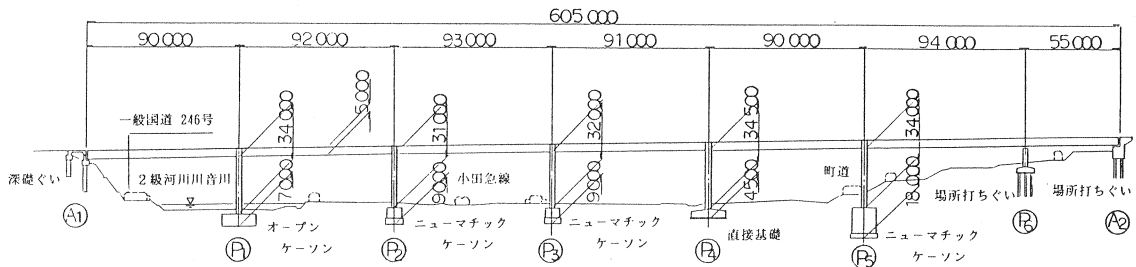


図-1 新川音川橋側面図

### 1 設 計

#### 1-1 設計基本方針

本橋の構造形式は、P1-P5橋脚と主桁を剛結し、P6橋脚に支承を配した7径間連続ラーメン橋である。多径間連続ラーメン橋を設計するに当たっては、主桁コンクリートの乾燥収縮・温度変化等による変形を橋脚が拘束するため、本橋の様に固定支間長366mに対して橋脚高が、31.0~34.5mと低い橋梁では、設計

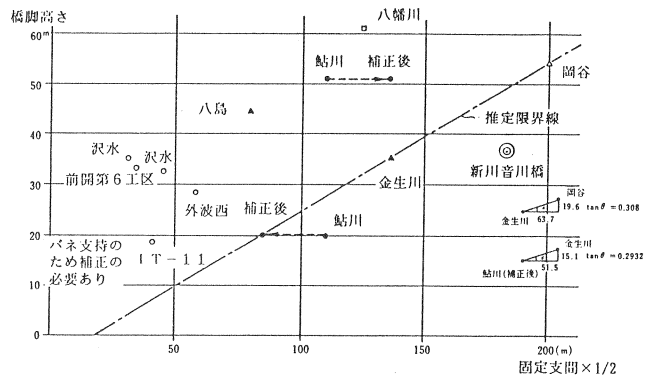


図-2 固定支間 $\times 1/2$ と橋脚高さ

が困難とされていたが、橋脚巾を3.0mと通常の橋梁に比べ、薄く柔軟な構造とすることで拘束力を軽減している。しかしながら、橋脚には過大な引張応力が発生し、ひび割れの発生は避けられない。さらに地震荷重を加えると極めて高応力となり、その挙動は弾塑性域に及ぶことを考慮する必要が生じる。特に高軸力鉄筋コンクリート柱は、塑性域に於けるじん性に乏しく、耐震安全性に欠ける傾向にあり、さらに設計上の仮定よりも大きな地

震の発生を否定出来ないことを考え、橋脚の保有耐力を弾塑性解析により照査した。

一方、本橋の架設地点は、我国でも有数の強震発生地帯に位置し、また東名高速道路は被災時に於ても極めて高い機能の確保が不可欠であり、本橋の設計には合理的かつ適切な耐震設計法の採用が必要となる。静的耐震設計法は、その基本を一自由度系の構造物にしているため、本橋の様な多径間連続ラーメン橋では、一自由度系としてモデル化することは困難であり、その適用には問題があると考え、動的解析により耐震設計を行った。

### 1-2 設計概要

主構造の設計に当り、橋軸方向・直角方向ともに、任意系平面骨組構造として解析を行った。本橋では、橋脚高及び基礎工型式・形状が大きく異なるため、橋脚下端を固定とすると変位を生じて力を分散する基礎工と、変位を生じないため力を分担する基礎工とを区別せずに取り扱うため、危険で不経済な設計となる。基礎バネは、常時に於ては歪み速度が遅いことから道路橋示方書に従い、地震時に於ては歪み速度に見合ったバネとして、ケーソン基礎で道路橋示方書の5～10倍、直接基礎で10倍、杭基礎で20倍のバネ値を採用した。

主桁の断面力は、A1-P1径間中央及びP1上で卓越し、PC鋼棒(SBPR95/120φ32)の最大本数を配置した。図-3に設計荷重作用時の曲げモーメント、図-4に主桁鋼棒配置図を示す。

橋脚では、温度変化等の不静定力が集中するP1・P5橋脚に於いて断面力が卓越し、D51ctc150 3段を配置した。図-5にP1・P5橋脚配筋図、表-1にP1橋脚応力度を示す。

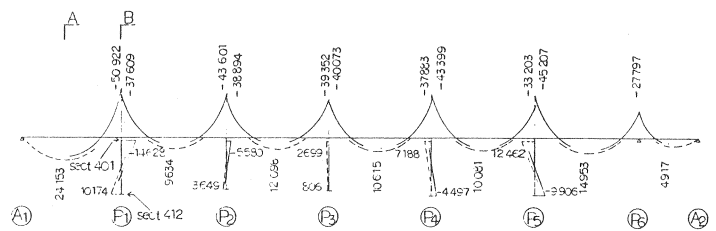


図-3 設計荷重作用時・曲げモーメント

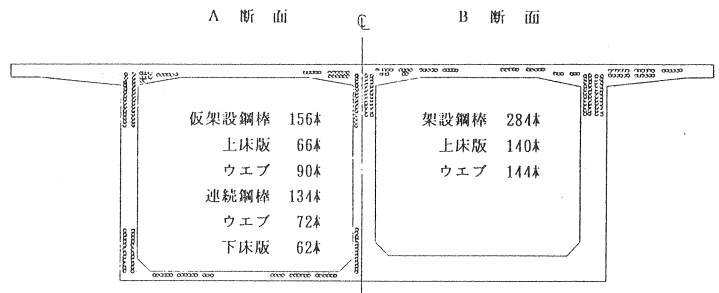


図-4 主桁鋼棒配置

表-1 P1橋脚応力度

	死荷重+活荷重+温度		死荷重+地震+温度	
	401断面	412断面	401断面	412断面
曲げモーメント(t・m)	18.232	14.458	30.992	31.591
軸力(ton)	4.871	6.973	5.023	6.447
鉄筋応力度(kg/cm <sup>2</sup> )	1.393	872	2.696	2.664
コンクリート応力度(kg/cm <sup>2</sup> )	87	71	141	142

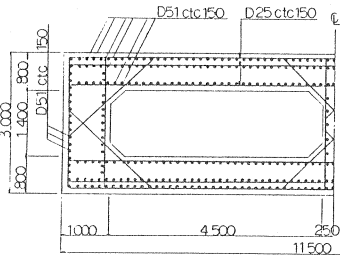


図-5 P1・P5橋脚配筋図

### 1-3 橋脚耐力の安全性照査

本照査の目的は、橋橋の耐震安全性を断面の弾塑性域に於ける耐力と変形性能の照査な

どから、総合的に検討するものである。橋脚断面を多数のファイバー要素に分割し、ファイバー要素の応力-ひずみ関係から、塑性域に於ける繰返し荷重に対する曲げモーメント-曲率関係を数値シミュレーションにより算出した。この照査に当っては、京都大学工学部土木工学教室耐震工学研究室に検討を依頼し、同研究室保有の変形性能照査プログラム（SS-NONMIFE）により解析した。

解析対象断面としてP1・P5橋脚の配筋より、図-6に示す解析モデルを作成した。同モデルでは、主鉄筋及びフープ筋で横拘束されたコンクリート、無拘束コンクリート、鉄筋に分類し、総計119個のファイバー要素で構成し、各々について応力-ひずみ関係をモデル化した。数値解析の対象として、下記の4ケースを設定した。

ケース	軸力	荷重履歴
A	5.099t (実荷重)	単調振幅増大
B	同 上	繰返し振幅増大
C	25.000t (仮想荷重)	単調振幅増大
D	同 上	繰返し振幅増大

ケースAでは、実荷重に相当する軸力作用下での耐力として

ひび割れ発生曲げモーメント	$M_c = 10,000 \text{ tm}$
降伏時曲げモーメント	$M_y = 43,000 \text{ tm}$
最大耐力時曲げモーメント	$M_u = 53,000 \text{ tm}$

を算出した。図-7を見ると、降伏時より最大耐力に至るまでは、曲率じん性率にして約7.5

であること、また塑性域に於ける耐力の急激な減少が見られないこと、などが判る。

ケースBでは、実荷重に相当する軸力作用下での非弾性挙動を、繰返し振幅増大荷重の荷重シミュレーションにより検討した。図-8を見ると、降伏耐力や最大耐力は、ケースAとほぼ同一の値を示している。塑性域に於ても、大きな繰返し荷重を受けているにも拘らず、履歴ループの最大耐力はほとんど落ちておらず、この橋脚が変形性能に富んだものあることを示している。

ケースC・Dでは、どの様な場合にぜい性的破壊を示すかを解明するため、実荷重の5倍の高軸力状態を仮想した解析を行った。ケースCに於けるM-φ関係図（図-9）を見ると、降伏モーメントはケースAよりも5割程度高くなっているが、塑性域に入った後、曲率じん性率が2.0を越えたあたりから、耐力の急激な低下が起っている。

同様に、ケースDに於けるM-φ関係図（図-10）を見ると、最大耐力後の繰返し荷重により、履歴復元力曲線が大きく崩れ、部材が破壊されたことを示している。この様に高軸力下での鉄筋コンクリート部材では、降伏強度は増大し、最大耐力と降伏耐力との間には、ほとんど差がなくなるが、本橋の軸力レベルでは、塑性域に於ける繰返し荷重が作用した場合に於ても、復元力特性が急激に劣化することはなく、十分な変形性能を有していると言える。

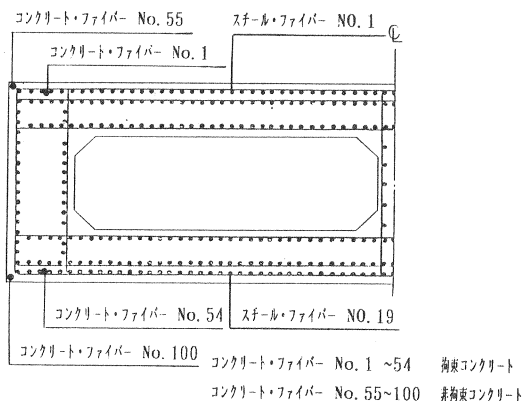


図-6 解析モデル

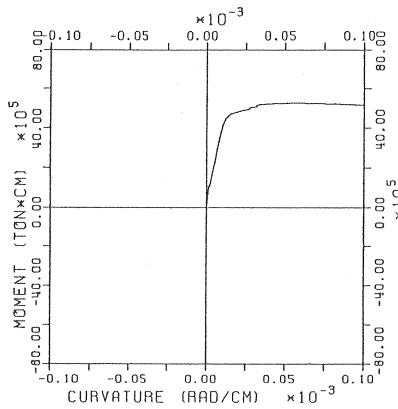


図-7 (a) モーメント (M) - 曲率 ( $\phi$ ) 関係 (0~30秒)  
N = 5,099ton, 単調振幅増大載荷 (ケースA)

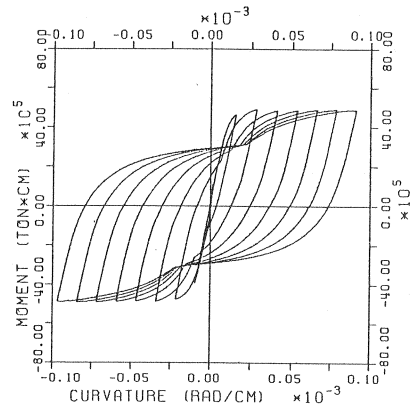


図-8 (a) モーメント (M) - 曲率 ( $\phi$ ) 関係 (0~30秒)  
N = 5,099ton, 繰返し振幅増大載荷 (ケースB)

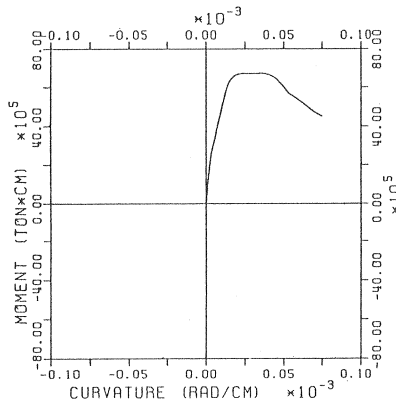


図-9 (a) モーメント (M) - 曲率 ( $\phi$ ) 関係 (0~30秒)  
N = 25,000ton, 単調振幅増大載荷 (ケースC)

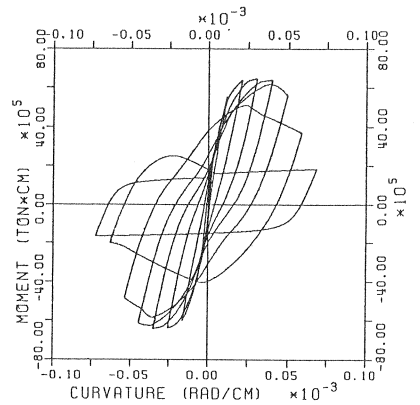


図-10 (a) モーメント (M) - 曲率 ( $\phi$ ) 関係 (0~30秒)  
N = 25,000ton, 繰返し振幅増大載荷 (ケースD)

前述までに算出した降伏耐力・最大耐力と、設計断面力を比較し、耐震安全性の評価を行った。表-2のケース3・4は、設計条件よりも大きな温度変化を考慮して設定したものである。ケース4に於ても、設計曲げモーメントは降伏耐力を上回ることはなく、本橋脚は、耐力・変形性能双方からも十分な耐震安全性を有していると判断した。

表-2 設計断面力に対する安全率 412断面

組み合わせケース	設計断面力	降伏耐力・安全率		極限耐力・安全率	
ケース1 常時荷重+温度変化(10℃)	14,458tm	43,000tm	2.97	53,000tm	3.67
2 常時荷重+温度変化(10℃)+地震荷重	31,591		1.36		1.68
3 常時荷重+温度変化(20℃)	16,293		2.64		3.25
4 常時荷重+温度変化(20℃)+地震荷重	33,426		1.29		1.59

## 2 施工

### 2-1 施工概要

本橋の架設地点は、旧川音川の扇状地に位置する。A1附近は地形が急峻で、また国道

246号線・川音川が横断し支保工の設置が困難であるため、A1側 8.3mを吊り支保工、それ以外の区間をフォルパウ・ワーゲンによる張り出し施工を行った。

A1-P1径間の張り出し施工区間は、P2側に比べて長くなることから、支間のほぼ中央に仮支柱を設けた。A2附近は比較的なだらかな段丘を程し、桁下高も14~2mと低い

## 2-2 仮支柱

仮支柱は、施工時のP1橋脚アンバランス・モーメント、主桁の負曲げモーメント、地形条件等を考慮し図-11に示す位置に決定した。

仮支柱は、直径1.8mの鋼管をウェブ直下に3本配置し中央部仮支柱1本に作用する断面力を

$$\text{常時反力} \quad R = 930 \text{ t}$$

$$\text{地震時曲げモーメント} \quad M = 453 \text{ tm}$$

として設計した。

仮支柱基礎は、現河床より3m掘り下げた砂礫層を支持地盤に、直接基礎として施工し、仮支柱とはφ32mm鋼棒48本で緊結した。

仮支柱の組み立ては、ワーゲン通過に支障がないように、仮支柱上部を除き先行施工し、ワーゲンを25BL上へ前進させ、下部作業台後方を解体した後に、仮支柱上部を施工した。これにより、P1橋脚には25BL施工によるアンバランス・モーメント約

5,500tmが生じるが、仮支柱設置後に反力調整を行うことで、これを相殺した。

本橋では、橋脚の剛性が主桁に比べ極端に小さいため、反力調整時の変位は、鉛直変位1.0に耐して水平変位0.4が生じる。また、仮支柱の曲げ耐力上の制約より、常時作用する曲げモーメントを極力小さくするため、反力調整時に水平変位を拘束しないよう、主桁と仮支柱の間にテフロン板、油圧ジャッキを配置し、変位を解放した。

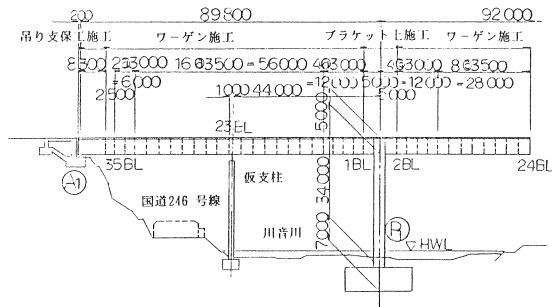


図-11 側径間施工図

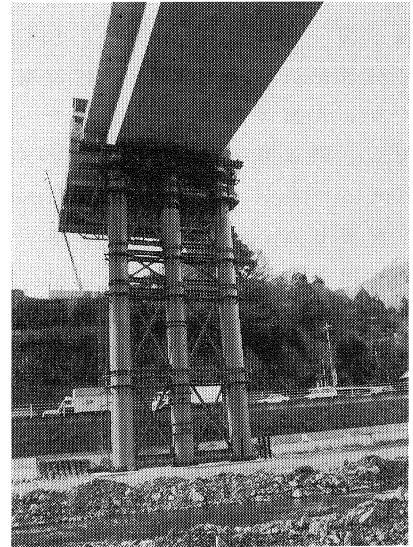


写真-1 仮支柱

約

5,500tmが生じるが、仮支柱設置後に反力調整を行うことで、これを相殺した。

本橋では、橋脚の剛性が主桁に比べ極端に小さいため、反力調整時の変位は、鉛直変位1.0に耐して水平変位0.4が生じる。また、仮支柱の曲げ耐力上の制約より、常時作用する曲げモーメントを極力小さくするため、反力調整時に水平変位を拘束しないよう、主桁と仮支柱の間にテフロン板、油圧ジャッキを配置し、変位を解放した。

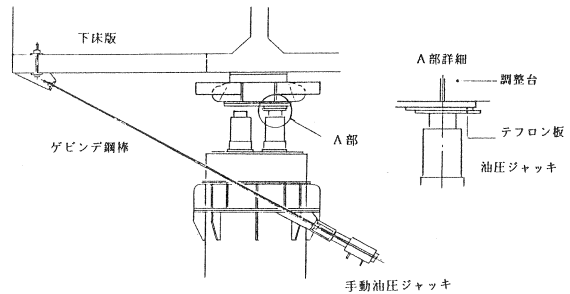


図-12 水平変位の解放

## 2-3 A1-P1径間の施工

A1-P1 径間では、張り出し施工時に於ては、負曲げモーメントが生じるが、施工完了後の径間中央部に於ては応力が交播し、正曲げモーメントが生じる。負曲げモーメントは最大  $-32,900 \text{ tm}$  となり、これに対して架設鋼棒 156本を配置した。架設鋼棒は図-13に示すように、23BL・24BL区間に分散配置される。仮支柱設置後の施工により、A断面附近の負曲げモーメントは増加し、架設鋼棒のみではプレストレスが不足するため、5BL以降の断面に仮架設鋼棒を配置した。上床版ハンチ附近に配置した架設鋼棒は3BLまでに配置を終了し、5BL以降に仮架設鋼棒を配置することにより、両者の重複を避けた。ウェブ仮架設鋼棒は同様に、架設鋼棒の巻き下げが始まる13BL以降に配置した。

仮架設鋼棒は、上床版及びウェブに設けた突起に定着し、A1-P1径間閉合後に緊張力の解放を行った。主桁内に定着突起を設けた場合、内型枠の組み替え、突起補強筋の組み立て等の作業のため、標準的なブロックに於ける施工サイクルに対して数日の遅れが生じる。このため、定着突起は形状を統一することにより作業の効率化・省力化を図った。定着突起の型枠は、ワーゲン内型枠の先端を下降、或いは内型枠幅を縮小し、補助型枠とを組み合わせて施工した。

2-4 A1吊り支保工部施工時に於ける温度差応力の残留

A1吊り支保工部コンクリート打設直後の主桁応力度は、仮支柱附近の下縁に於いて、最大  $173 \text{ kg/cm}^2$  になる。A1吊り支保工部の施工は5月初旬となり、この時期は1年を通じ日射量も多く、打設1週間前における上下床版温度差は、最大  $8^\circ\text{C}$  を記録した。コンクリート打設前に床版温度差  $8^\circ\text{C}$  が生じ、これによる変位を拘束したまま硬化した場合、温度差が解消された状態で主桁下縁には  $+22 \text{ kg/m}^2$  の応力が残留する。温度差による応力は、長期的に見ればクリープの影響で緩和され、設計荷重作用時に於てはその影響は無視し得る。しかしながら、仮支柱撤去までの一時期には  $\sigma_c = 195 \text{ kg/cm}^2$  の高圧縮状態となり、また、主桁のたわみは35BLで  $-24 \text{ mm}$  が生じ、橋面出来形管理上からも問題となる。このような理由から、上下床版温度差を解消する必要がある、コンクリート打設前より橋面に散水を行い、気化熱により上床版温度の上昇を抑え、良好な結果を得た。

参考文献 PC多径間連続ラーメン橋に関する研究報告書；(財)高速道路調査会・橋梁研究委員会・PC多径間連続ラーメン橋に関する研究班

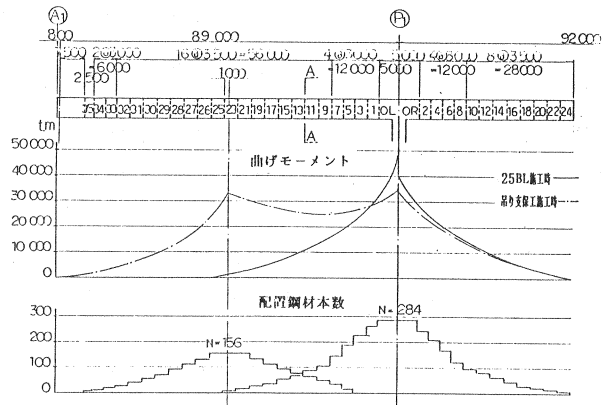


図-13 架設鋼棒・仮架設鋼棒の配置

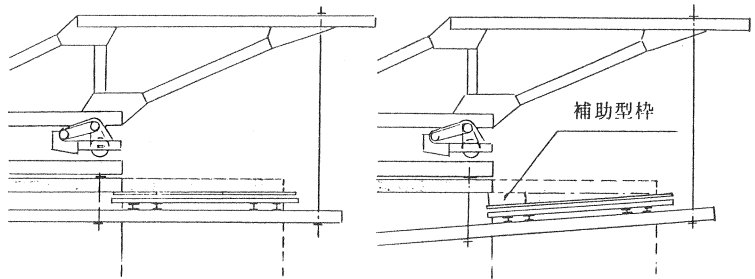


図-14 定着突起型枠