

## 笹路川橋の設計・施工

(プレグラウトPC鋼材を用いたPRC3径間連続ポータルラーメン中空床版橋)

日本道路公団 関西支社 大津工事事務所 土山工事長 正会員 荒川 一成  
 川田建設株式会社 大阪支店 工事部 竹之熊 邦志  
 川田建設株式会社 大阪支店 技術部 ○大久保 孝  
 川田建設株式会社 技術部 正会員 伊達 安子

### 1. はじめに

本橋は、第二名神高速道路の亀山JCT(仮称)から甲賀土山IC(仮称)間に建設されたPRC3径間連続ポータルラーメン中空床版橋である。ポータルラーメン橋は主桁が橋台部において剛結されているため、主桁の橋台剛結部付近に地震荷重の影響が集中する。そのため、隅角部付近の主桁の耐震性向上を図る必要があった。

また、近年では構造物の耐久性向上を目的として、プレグラウトPC鋼材の使用が増加してきている。これまで同鋼材は床版締めめケーブルとして数多く施工されてきているが、部材断面が大きく、コンクリートの硬化熱の影響が予想される主ケーブルの適用は未だ少なく、使用に際しては確認すべき点が多い。本橋では、プレグラウト鋼材への温度の影響を確認するため、温度解析と供試体での確認実験および実橋での温度計測を行った。

本報告では、笹路川橋の設計と施工および現場において実施した計測等について報告する。

### 2. 橋梁概要

笹路川橋の橋梁諸元を以下に、標準断面図を図-1、全体一般図を図-2に示す。

- ・発注者：日本道路公団 関西支社 大津工事事務所
- ・工事名：第二名神高速道路 笹路川橋(PC上部工)工事
- ・道路規格：第1種第1級A規格
- ・構造形式：PRC3径間連続ポータルラーメン中空床版橋
- ・橋長：97.500 m
- ・支間：32.500 m + 33.000 m + 31.500 m
- ・総幅員：18.050 m
- ・有効幅員：16.500 m
- ・平面線形：R=∞
- ・縦断線形：1.730%~2.000% VCL=120m
- ・横断勾配：i = 2.500% 片勾配
- ・活荷重：B活荷重
- ・施工方法：A2橋台側からの各径間毎の分割施工

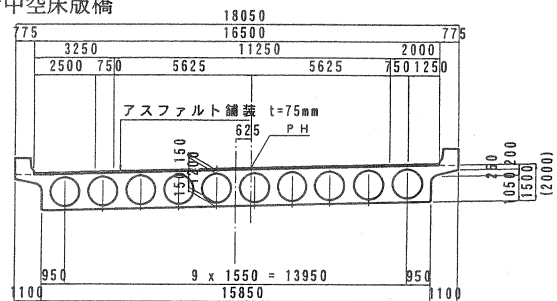


図-1 標準断面図

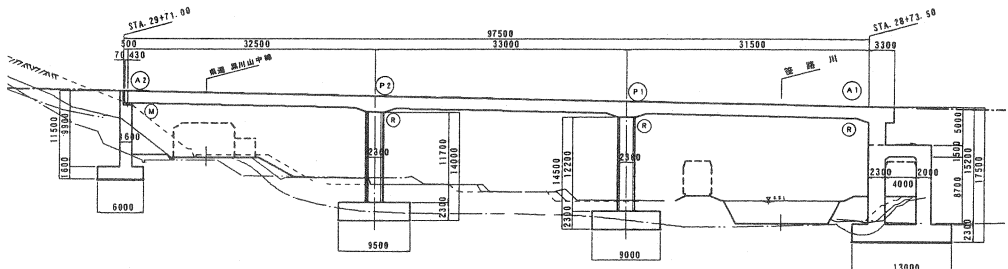


図-2 全体一般図

### 3. 設計

#### 3.1 設計概要

本橋梁は、ポータルラーメン構造であり土圧の影響を受けることから、主桁の設計に用いる断面力は、橋台・橋脚をモデル化した平面骨組構造解析に基づき算出した。ただし、活荷重による断面力はオルゼンの版理論による分配係数を考慮した。また、分割施工による構造系の変化により発生する、クリープ・乾燥収縮等の不静定断面力は、図-3に示す施工段階に従い算出した。橋台背面の土圧は、日本道路公団設計要領第二集に示される常時水平土圧および地震時土圧を考慮した。

地震時は、橋台豎壁が土から離れる方向に慣性力が働くとき主動土圧が作用し、背面土の方向に慣性力が働くとき受働土圧が作用する。本橋の地震時土圧は、設計要領第二集に従い、クーロン土圧の片側載荷とした。(図-4)

#### 3.2 主方向の設計

活荷重作用時のPRC部材のひび割れ制御方法は、方法A(ひび割れ幅制御)を基本とした。これは架橋位置が山間部であり、また、①主鋼材にプレグラウト鋼材を採用していること、②橋面防水工が行われること、の2点により十分な防錆対策が施されていることから決定した。なお、全死荷重時においては全断面について、耐久性確保の観点から方法B(ひび割れ発生限界)とした。

#### 3.3 地震時保有水平耐力法による上部工の照査

上部工の耐震照査においては、地震時保有水平耐力法(以下、保耐法と記す。)により行った。

##### (1) 終局状態の設定

道路橋示方書V耐震設計編 9.8では鉄筋コンクリートラーメン橋脚の終局時として、複数箇所形成される塑性ヒンジが全て終局状態に達する時と規定されている。これは、ラーメン橋が不静定構造であることから、一部の部材が設計上の終局曲げモーメントに達しても、ラーメン橋全体としての崩壊に至りにくいことが、実験的に明らかにされているためである。

しかし、本橋は重交通の第二名神であり、地震後の使用性や復旧の観点から、複数の塑性ヒンジが終局状態に達することは好ましくない。また、本橋はラーメン橋台部と中間橋脚部とは剛度差があり、全ての塑性ヒンジが終局に達した時点では、最初に終局に達した塑性ヒンジが破壊に達することも懸念される。

したがって、本橋の終局状態を以下のように設定することとした。

- ① 1つの橋脚の上下端が初降伏に達した時。
- ② 1つの塑性ヒンジが終局点に達した時。

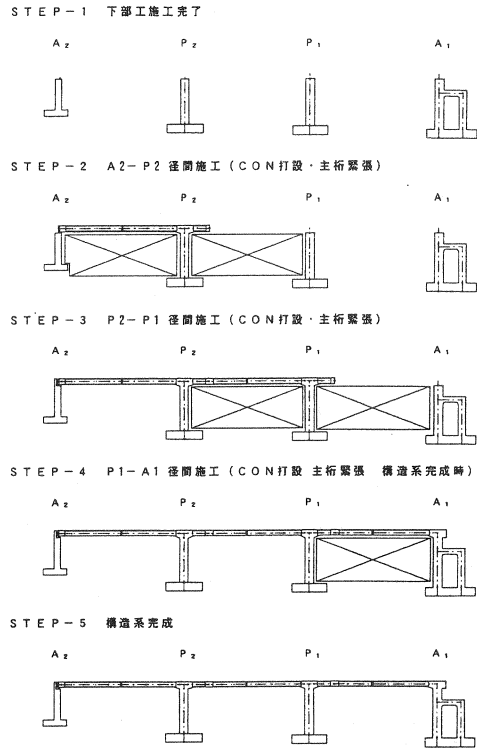


図-3 解析ステップ

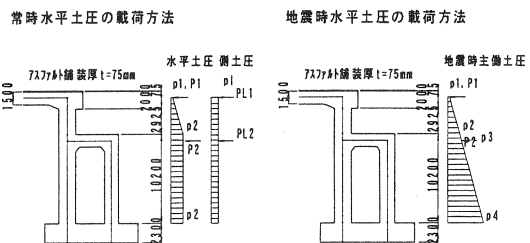


図-4 土圧の載荷方法

(2) 上部工の照査

保耐法での上部工の安全性の照査では、上記で設定した終局状態 (①②のうちいずれか早く達した時) における終局断面力に対して、次の項目について照査を行った。

- A) 終局時の曲げモーメントが初降伏モーメント以下であること。
- B) 終局時のせん断力がせん断耐力以下であること。

以下の図-5に保耐法による上部構造の照査フローを示し、図-6に曲げに対する照査結果、図-7にせん断に対する照査結果を示す。

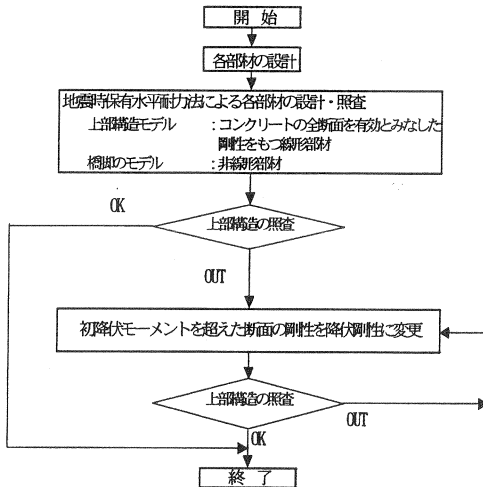


図-5 保耐法での上部工照査フロー

(3) 主桁-橋台部剛結隅角部の構造

本橋のA1橋台はラーメン式橋台で剛性が高く、また主桁とも剛結されているため、大規模地震時において上下部の剛結される隅角部に地震時断面力が大きく発生する。

このため、A1橋台と剛結される主桁の充実断面区間を支間部に延長することにより、隅角部付近の急激な断面剛性変化を緩和した。これにより、保耐法での必要鉄筋の配置も容易になり、耐震性の向上が図れた。(図-8)

3.4 プレグラウト鋼材樹脂の選定と確認試験

プレグラウト鋼材に充填されている樹脂は温度依存性が高い。したがって、マスコンクリートとなるラーメン結合部では、コンクリート打設後の水和熱による温度がどの程度になるかを把握し、鋼材の緊張作業に支障をきたすことのないよう、樹脂選定を行う必要があった。そこで、FEM解析と供試体での確認試験で温度上昇履歴を把握した。

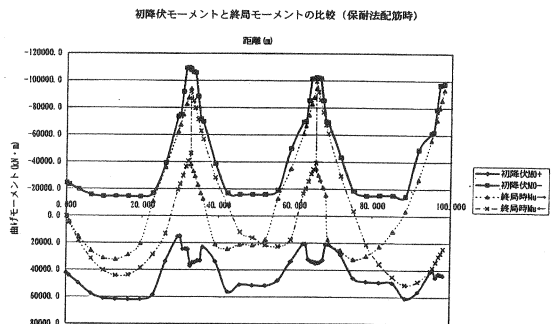


図-6 保耐法での曲げ照査結果

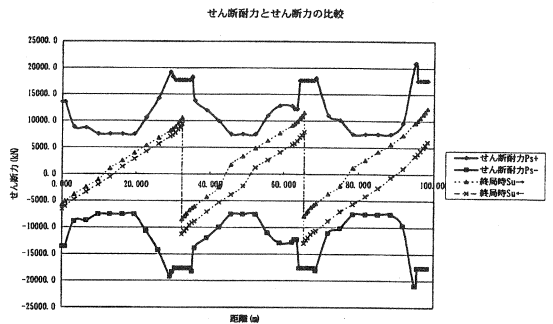


図-7 保耐法でのせん断照査結果

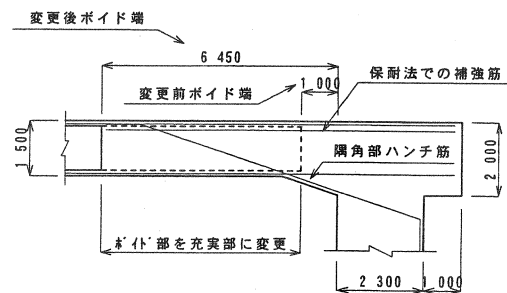


図-8 A1橋台部での剛結構造

(1) 温度履歴解析

1) 解析モデル・解析条件

解析は、柱頭部より取り出したマスブロックを、後述する試験体に置き換えて、3節点3角形ひずみ要素でモデル化し、2次元FEM解析により行った。プログラムは(社)コンクリート工学協会の「マスコンクリートの温度・応力計算用プログラム」を使用した。

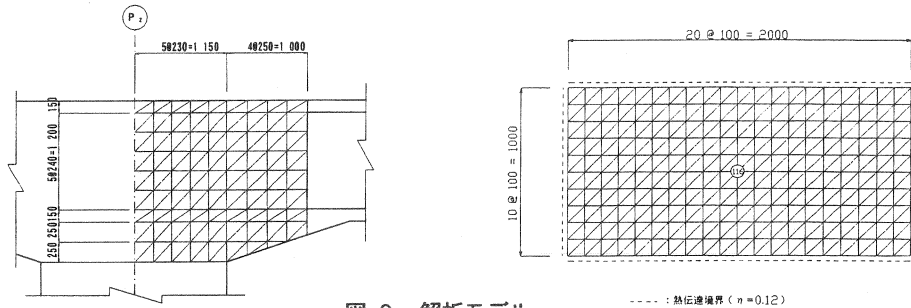


図-9 解析モデル

解析条件のうち、コンクリート温度については、本橋のコンクリート打設時期(11月~1月)における滋賀県彦根の月別平均気温より選定し、さらにコンクリートの練り上がりの温度上昇を考慮した。

以下にコンクリート温度のケースを示す。

CASE1: 10℃ (外気温程度)

CASE2: 20℃ (練り上がりの温度上昇を想定)

また、コンクリート ( $\sigma_{sk}=36\text{N/mm}^2$  早強) の熱物性値を表-1に示す。

表-1 コンクリートの熱物性値

物性	記号	単位	数値		適用
			CASE1:10℃	CASE2:20℃	
熱伝導率	$\lambda_c$	W/m℃	2.8		コンクリート標準示方書
密度	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	2500		"
比熱	$C_c$	kJ/kg℃	1.26		"
熱伝達率(発泡型材+合板)	$\eta$	W/m <sup>2</sup> ℃	0.12		"
断熱温度上昇量	$Q(t)$	℃	$=Q_{\infty}(1-e^{-rt})$		"
終局断熱温度上昇量	$Q_{\infty}$	℃	61.41	58.41	"
温度上昇速度定数	$r$	-	1.0492	1.5425	"
熱物性係数	$a$	-	0.13	0.13	"
熱物性係数	$b$	-	15.0	12.0	"
熱物性係数	$g$	-	0.0016	0.0025	"
熱物性係数	$h$	-	0.478	0.650	"
単位セメント量	$C$	kg/m <sup>3</sup>	357		配合計算より

2) 解析結果

図-10にCASE2での温度解析による履歴結果を示す。

解析結果より、最高温度は打設後3日で約80℃となった。樹脂の硬化反応は、最高温度と高温域での積算日数から決定されるため、履歴曲線から緊張可能日数を算定することになる。

よって、表-2に示す樹脂の高温域に対する硬化特性から、緊張可能日数を考慮し、本橋での樹脂は超高温タイプを採用する事とした。

表-2 高温域に対する効果特性

加温条件	樹脂タイプ(phr)	緊張可能日数(day)
80℃一定	0.00(超高温タイプ)	10
	0.01(超高温タイプ)	9
	MC901	5
90℃一定	0.02(高温タイプ)	5
	0.00(超高温タイプ)	5
	0.01(超高温タイプ)	4
	MC901	2
	0.02(高温タイプ)	2

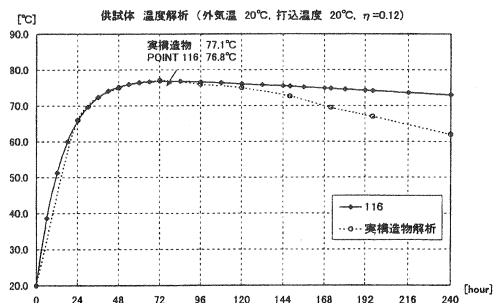


図-10 CASE2での温度履歴

(2) 準断熱モデル供試体での確認試験

1) 試験目的と試験内容

前述の解析により選定した樹脂について、図-1 1 に示す供試体で確認試験を行った。

試験は、①解析値と準断熱モデル供試体の温度履歴比較

②緊張時材令における樹脂の非硬化状態確認 (=樹脂の稠度が300以上であること)

の2点を目的とした。ここで稠度とは、グリース状の物体の軟らかさを示す数値で、熱硬化型樹脂の軟らかさの指標として用いられ、数値が大きいほど軟らかいことを示す。(JIS K2220)

試験方法は、供試体の実測温度による樹脂の硬化度指数の累計値が、温度解析での緊張時の硬化度指数累計値を上回った時点、すなわち供試体の樹脂の硬化反応状態が解析と等価になった時点で緊張作業を行い、緊張の可否を確認する。

2) 試験結果と考察

①温度履歴比較

図-1 2 に試験体の温度履歴を示す。

ピーク時温度は、解析値77.1℃に対して実測値は75.0℃と、ほぼ等しい。

ピーク到達時間は、解析値では打設後72時間前後であるのに対し、実測値では36時間程度と、解析値より早い。

ピーク到達時間に若干の誤差はあるものの、ピーク付近の履歴曲線および最高温度は、解析値と大きな差異は無く、解析の妥当性が確認できた。

②緊張時のプレグラウト樹脂の非硬化確認

ロードセルで計測した緊張端と固定端の荷重示度は、ほぼ線形状態であることから、緊張時材令において樹脂の非硬化が確認出来た。

緊張時の最大伸び量の平均は $\Delta L=15.13\text{mm}$ であり、解析値 $\Delta L=12.84\text{mm}$ に対してやや大きい。すなわち、樹脂の稠度は、解析値よりも大きいことが推測出来る。(図-1 3, 1 4)

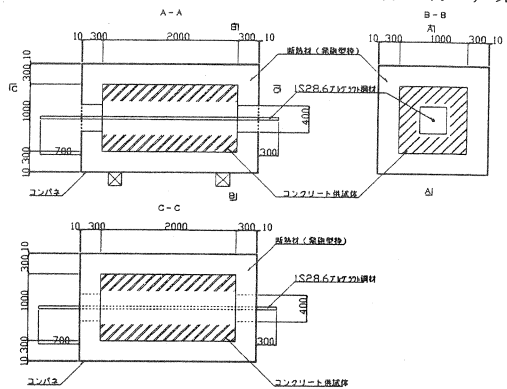


図-1 1 準断熱モデル試験体

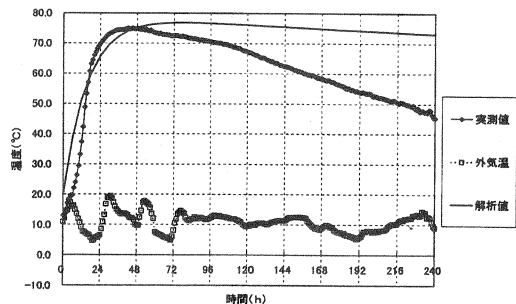


図-1 2 試験体の温度履歴

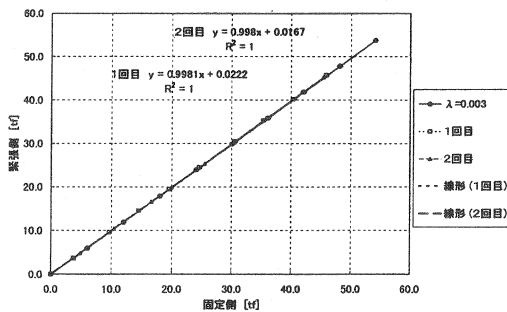


図-1 3 緊張端・固定端のロードセルの荷重示度

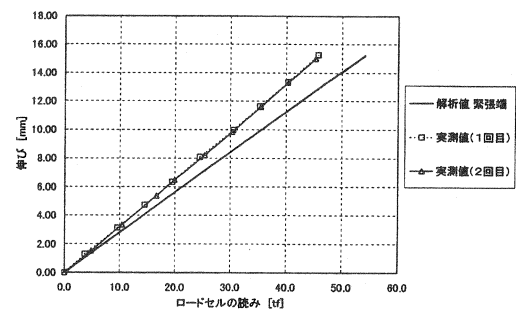


図-1 4 ロードセルの荷重示度と鋼材伸び量

以上の結果より、本橋でのプレグラウトPC鋼材の樹脂選定を適切に行った。

## 4. 施工

### 4.1 施工概要

本橋の施工は、A2橋台側からの各径間毎の分割施工で行った。

A1-P1 径間は一級河川笹路川を跨ぐためトラス式支保工、P1-P2 径間は橋体下面ヤードの交通確保のため、P2-A2 径間は県道-黒川山中線を跨ぐため、梁支柱式支保工により架設した。写真-1に橋体全景を示す。

### 4.2 実橋での温度計測

実施工に先立ち温度解析と供試体により、樹脂選定を行ったが、さらに、実橋においても温度計測を行いコンクリート内部の温度履歴を確認し、樹脂選定の妥当性を確認した。温度計測には、熱電対を用い、打設後10日間継続して計測した。表-4に各測定位置でのピーク時温度と累計硬化度指数を、また図-15に実橋での温度履歴計測結果を示す。

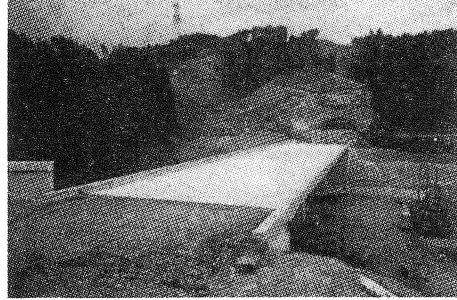


写真-1 笹路川橋全景

表-4 ピーク時温度および累計硬化度指数

測定位置	P2柱頭部	A1橋台部
温度(℃)	75.9	66.0
発現時期(hour)	36~40	38~42
緊張終了時材令(日)	6	6
緊張終了時累計硬化度指数	0.14878	0.13254

※ 累計硬化度指数は、1.0以下であることから  
稠度が300以上であり、緊張可能である。

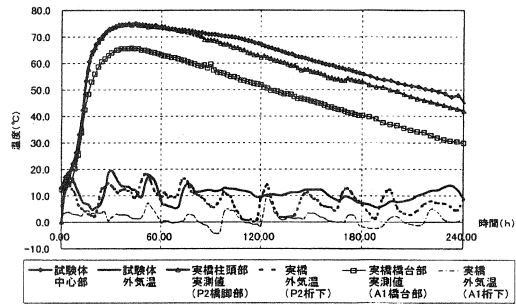


図-15 実橋の温度履歴

上記の結果から、最高温度履歴と発現時期は供試体での確認試験と良く一致しており、供試

体のモデル化の妥当性が確認出来たとともに、実橋での緊張時では樹脂の未硬化状態が間接的に判断できた。よって、緊張作業に支障無く適切にプレストレスが導入された。

## 5. おわりに

ポータルラーメン橋の隅角部は、充実断面区間を設けることで急激な断面剛性変化を緩和し、保耐法レベルの必要配筋も容易となり、耐震性向上が図れた。

プレグラウト鋼材の使用に関しては、温度解析・供試体での確認試験および実橋での計測で行った温度履歴から、樹脂選定の妥当性が確認できたとともに、実橋での緊張作業に支障をきたすことなく確実なプレストレスの導入が可能であった。

本報告が、類似橋梁の設計施工の一助となることを期待する。

最後に、本橋の設計・施工にあたり、多大なるご指導・ご尽力を頂いた関係各位に、感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 日本道路公団：設計要領第二集，平成10年7月
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，平成8年12月