

PC板を用いた波形鋼板ウェブ橋の新しい構造

—杉谷川橋—

大阪支店	技術部	畑仲俊治
大阪支店	技術部	小林仁
大阪支店	技術部	杉浦一毅

概要：本稿は、杉谷川橋において、構造の合理化および実施工程の短縮、工事費の削減効果等を目的に、橋梁構造の一部変更を提案するにあたり、新しい構造における性能確認が必要な品質上の課題に対して実施した実験による確認結果を報告するものである。杉谷川橋における新しい構造としては、①波形鋼板ウェブと下床版（場所打ち）の一体化を担う接合構造、②下床版に代替型枠として用いるPC板と場所打ちコンクリートとの合成構造、の2点を採用するが、本稿では、②PC板と場所打ちコンクリートとの合成構造について報告する。

Key Words：波形鋼板ウェブ，PC板，合成構造

1. はじめに

杉谷川橋は、第二名神高速道路（滋賀県甲賀市杉谷一塩野間）として建設するPC6径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ箱桁橋である。施工にあたっては、実施工程の短縮および工事費の削減を目的として橋梁構造の一部変更を提案している。新しく提案する構造は、①波形鋼板ウェブと下床版（場所打ち）の一体化を担う接合構造、②下床版に代替型枠としてPC板を用いて場所打ちコンクリートと合成させる構造、の2点である。本稿においては、②PC板と場所打ちコンクリートとの合成構造に対して実施した実験による確認結果を報告する。

1.1 工事概要

工事名：第二名神高速道路 杉谷川橋（PC上部工）下り線工事

発注者：西日本高速道路株式会社 関西支社 大津工事事務所

施工者：ピーエス三菱・コアツ工業JV

構造形式：PC6径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ箱桁橋

橋長：445.390m

支間：49.090+3@79.000+94.000+63.550m

全幅：12.350m

縦断勾配：2.0%

横断勾配：2.5%

平面線形：R=4500m

施工方法：張り出し施工と固定支保工の併用



畑仲俊治



小林仁



杉浦一毅

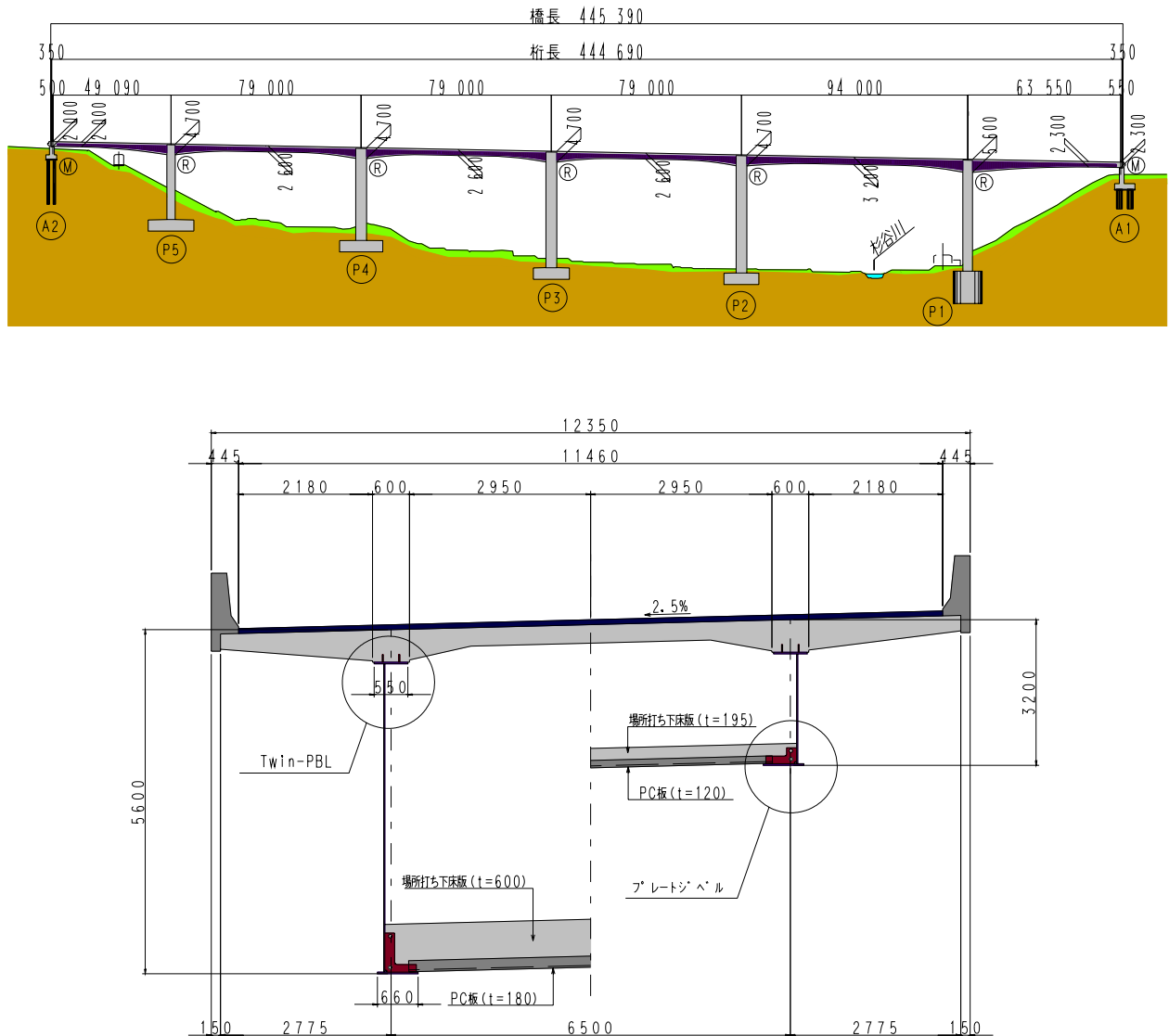


図-1 構造概要図

2. 実験の目的

本橋では、PC板を下床版の型枠・支保工として使用するが、PC板自体、高い耐荷性能を有しており、主構造の一部に取り込むことで合理的な設計が可能となる。

PC板を使用した合成構造のほとんどが上床版への適用であり、この場合、PC板の剛性は横方向（直角方向）の設計において考慮される。しかし、下床版に作用する横方向の断面力は上床版に比べ小さく、積極的に合成構造とする必然性が薄い。一方、PC板を主方向（橋軸方向）の抵抗断面として考慮することができれば、場所打ち床版厚を低減することが可能となり、より経済的な設計を行うことができる。

しかしながら、PC板を下床版、主方向に合成させた事例はなく、一般的な合成床版の細目を無条件に適用することはできない。PC板を場所打ち部と合成させるための仕様、およびその効果については実験で確認する必要があると考えられる。

さらに、PC板は橋軸方向に不連続に配置されるため、下床版が引張を受ける状態や終局状態まで合成構造とするためには多くの検証を必要とし、満足な結果が得られる保証もない。このため、使用時の範囲かつ下床版が圧縮を受ける状態のみを対象とするのが現実的である。

以上より、本実験においては、『使用時において主方向に圧縮応力を受ける状態下で、PC板を場所打ち床版と確実に合成させるための接合仕様の選定』を目的とした。

3. 供試体

3.1 対象

下床版に最大の圧縮応力が作用する柱頭部近傍に着目した。また、柱頭部は桁高が大きく、下床版部分の軸方向応力分布を長方形に近似しても実験の主旨を損なうものではないと判断される。したがって、供試体は主桁断面全体をモデル化せず、下床版部分のみを取り出した形状とし、軸方向応力に近似する軸圧縮力をプレストレスにより与えることとした。供試体概念図を図-2に示す。

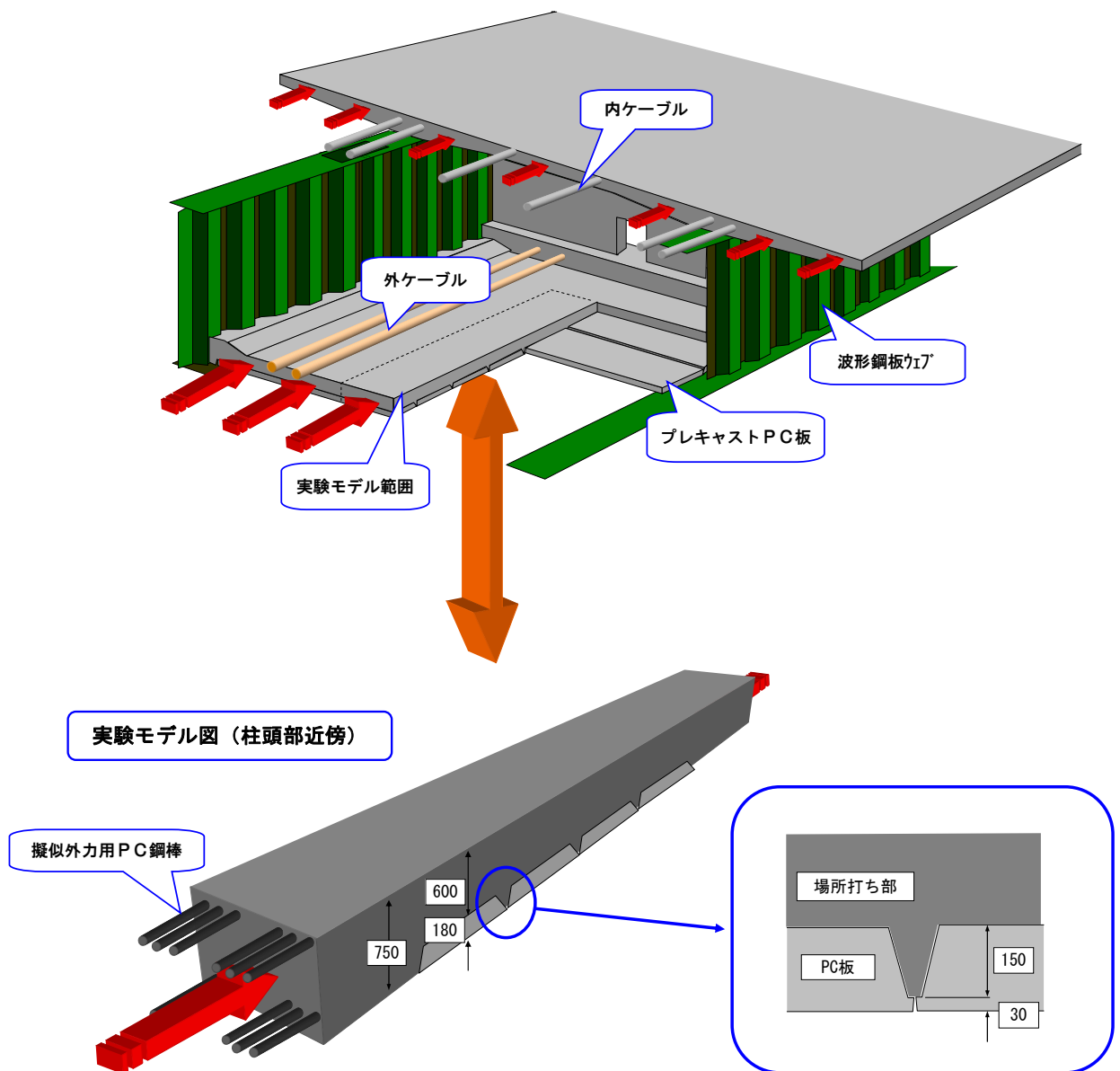


図-2 供試体概念図

3.2 供試体寸法

供試体は、杉谷川橋 P1 柱頭部の下床版を対象とした実寸法とし、橋軸方向寸法 ($L=5400\text{mm}$) は、FEM 解析により PC 板位置でのプレストレスによる応力が均一になる長さとして決定した。(図-3、写真-1、図-4) また、直角方向寸法 ($W=1130\text{mm}$) は、PC 鋼材定着具の構造細目より決定した。

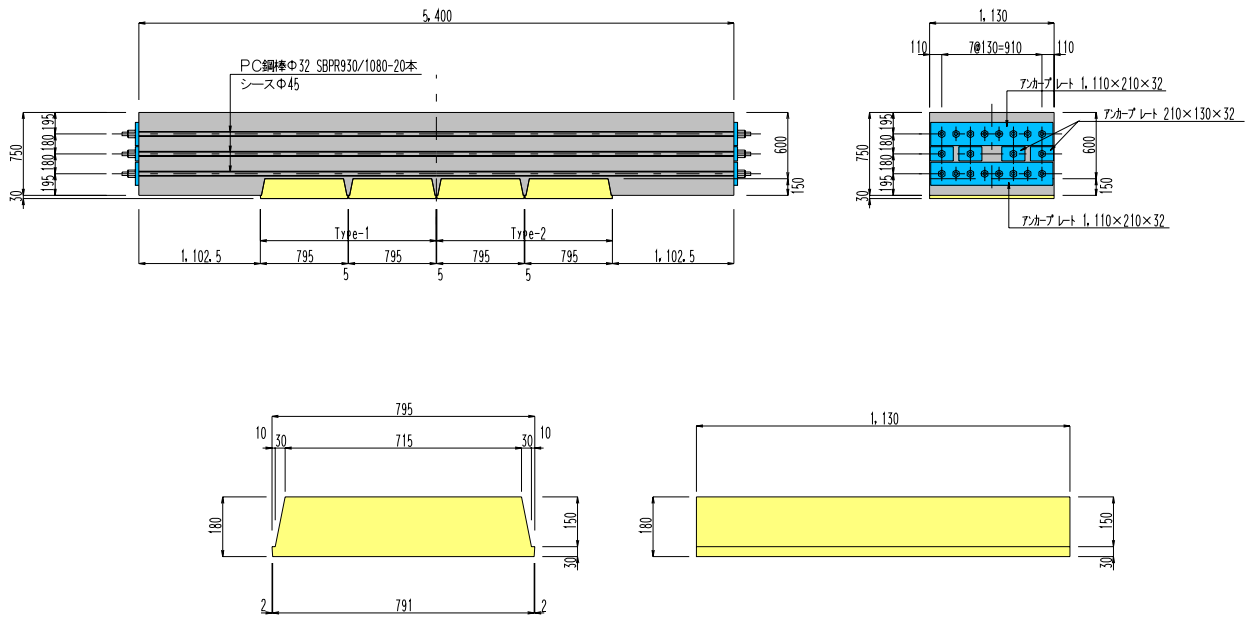


図-3 供試体寸法

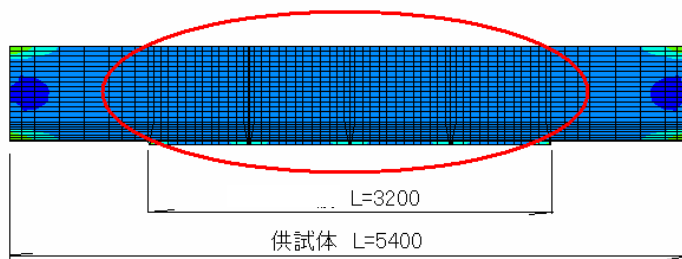


図-4 FEMによる主応力分布図



写真-1 供試体

3.3 使用材料

本実験に使用した材料の仕様，およびコンクリートの物性値を以下に示す．(表-1，表-2)

表-1 材料表

	材料	仕様
場所打ち部	コンクリート	$\sigma_{ck} = 40\text{N/mm}^2$
	鉄筋	SD345
	PC鋼材	SBPR930/1180 $\phi 32$ PC鋼棒
PC板	コンクリート	$\sigma_{ck} = 50\text{N/mm}^2$
	鉄筋	SD345
	PC鋼材	なし※

※PC板は使用したコンクリートの弾性係数と表面処理の方法が重要であり，PC構造であるか否かは実験結果に影響しないことから，PC鋼材を配置せずRC床版とした。

表-2 コンクリートの物性値

供試体	タイプ	種別	材齢 (日)	弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比
NO.1	TYPE1, 2	場所打ち	7	34,539	0.173
		PC板	15	37,528	0.182
NO.2	TYPE3, 4	場所打ち	7	30,092	0.162
		PC板	15	35,133	0.166

4. PC板の表面処理

4.1 概要

PC板上面の表面処理は以下の4ケースを選定した。(図-5, 写真-2)

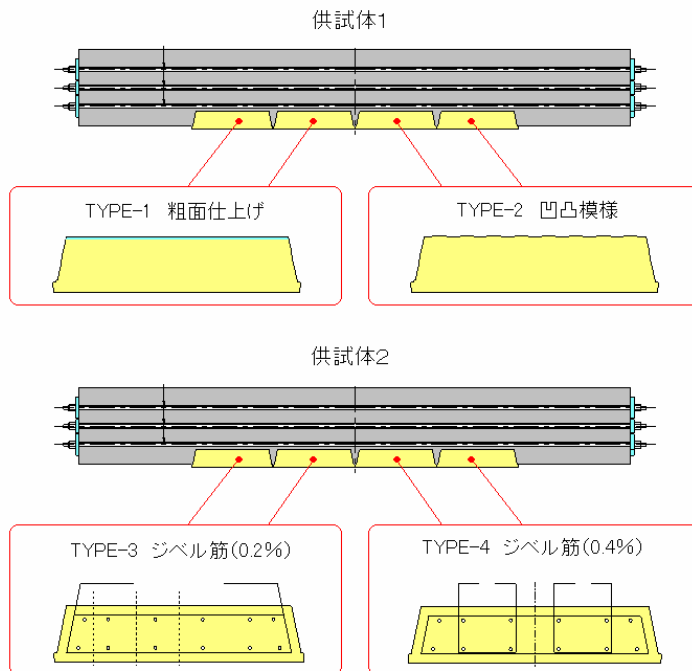


図-5 PC板の表面処理

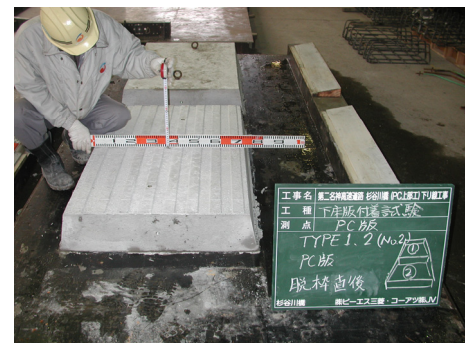


写真-2 TYPE-1, 2(上) TYPE-3, 4(下)

4.2 TYPE-1 粗面仕上げ (写真-3)

PC板の表面を高圧水で洗浄し、粗骨材を露出させる。これにより新旧コンクリートの付着性能が向上することは知られているが、具体的な効果については、[プレストレストコンクリート(PC)合成床版設計施工指針・同解説 21条]¹⁾に「打継ぎ面を人為的に粗面とした場合、打継ぎ面の長期許容せん断応力度は、3kgf/cm²としてよい。」という記述がある。

また、[PC合成げた橋(PC合成床版タイプ)設計・施工指針(案)]²⁾によると「PC板の上面に網目を付ける程度の粗面仕上げを行えば、場所打ちコンクリートと一体となって挙動することが確認されている。」とある。



写真-3 TYPE-1

4.3 TYPE-2 凹凸模様 (写真-4)

〔道路橋示方書Ⅲ 11 章 合成げた橋 11.4 構造細目〕に記載の凹凸形状を使用した。これは、PC コンポ橋に代表される合成げた橋の推奨形状である (〔PC 合成げた橋 (PC 合成床版タイプ) 設計・施工指針 (案)〕²⁾ 等)。ただし、主方向合成により凹凸のパターンは図-6 のとおりとなる。

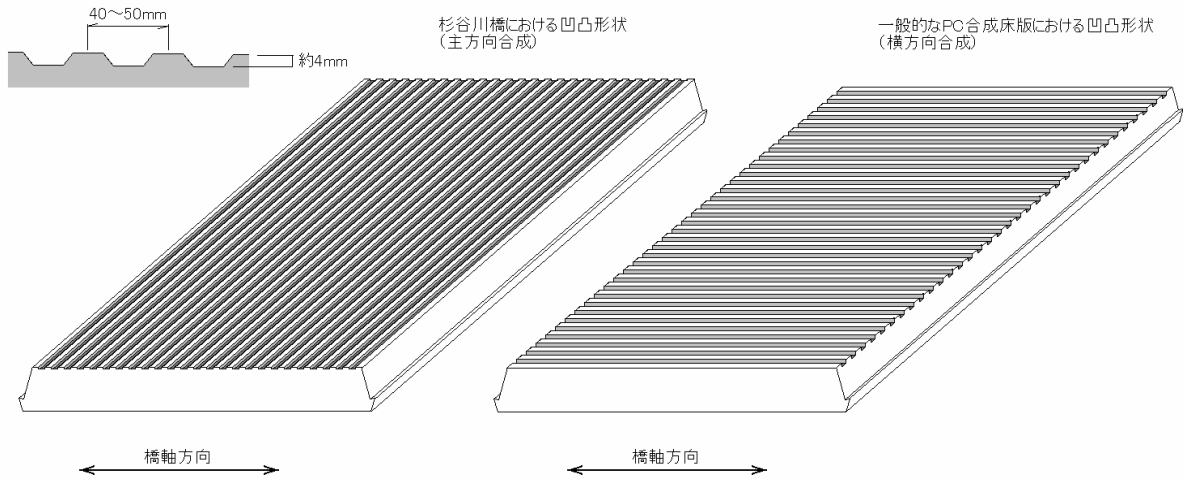


図-6 PC 板凹凸形状の概念図

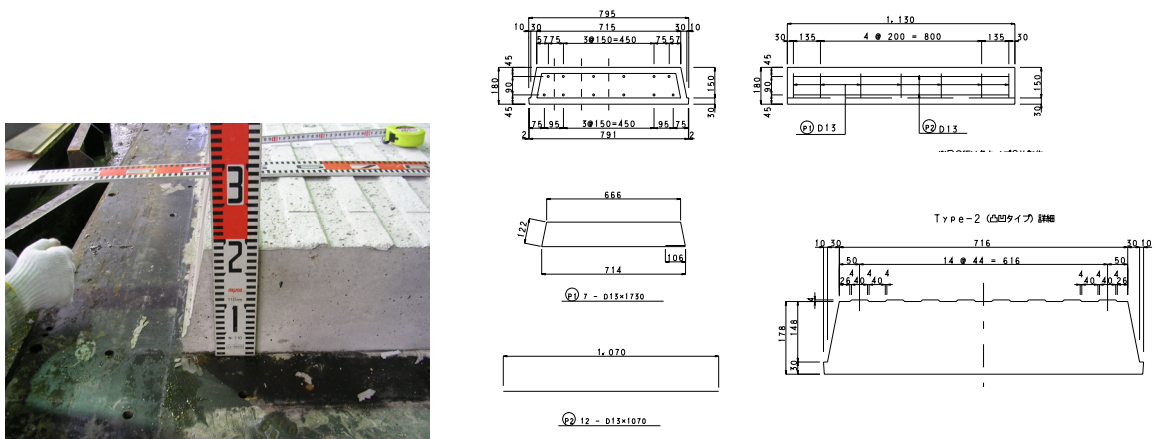


写真-4 TYPE-2

図-7 TYPE-1, 2 構造図

4.4 TYPE-3, 4 ジベル筋 (写真-5, 写真-6)

〔道路橋示方書Ⅲ 11 章 合成げた橋 11.3 けたと床版の結合〕に、「ずれ止め鉄筋の鉄筋量は、けたと床版の結合面の面積の 0.2%以上とするものとする。」の記載があり、これに準じたものを TYPE-3、鉄筋量を 2 倍 (0.4%) にしたものを TYPE-4 とした。(図-8, 図-9)



写真-5 TYPE-3



写真-6 TYPE-4

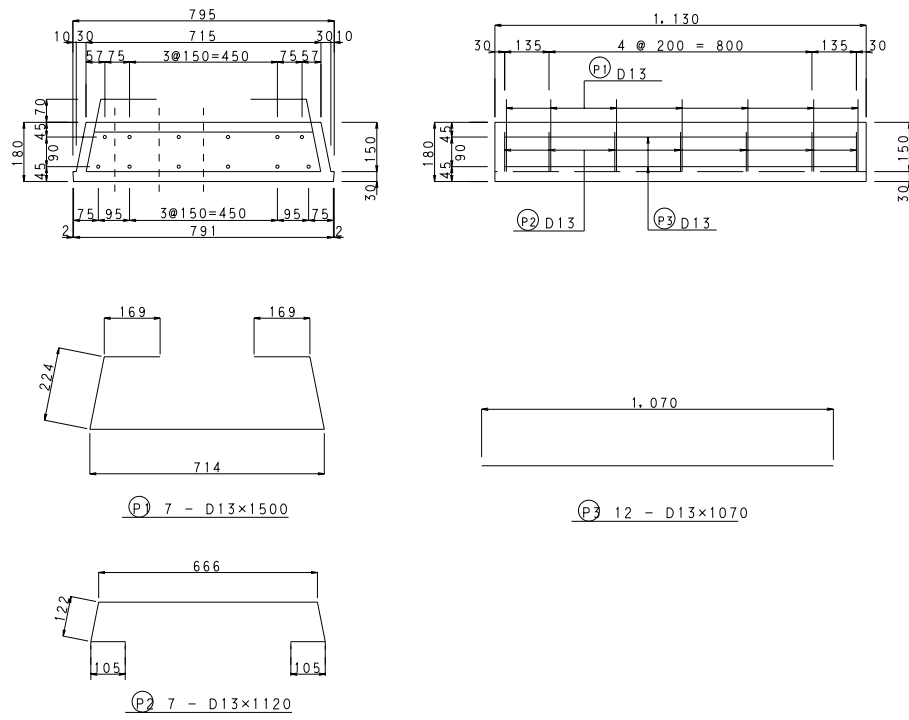


図-8 TYPE-3 構造図

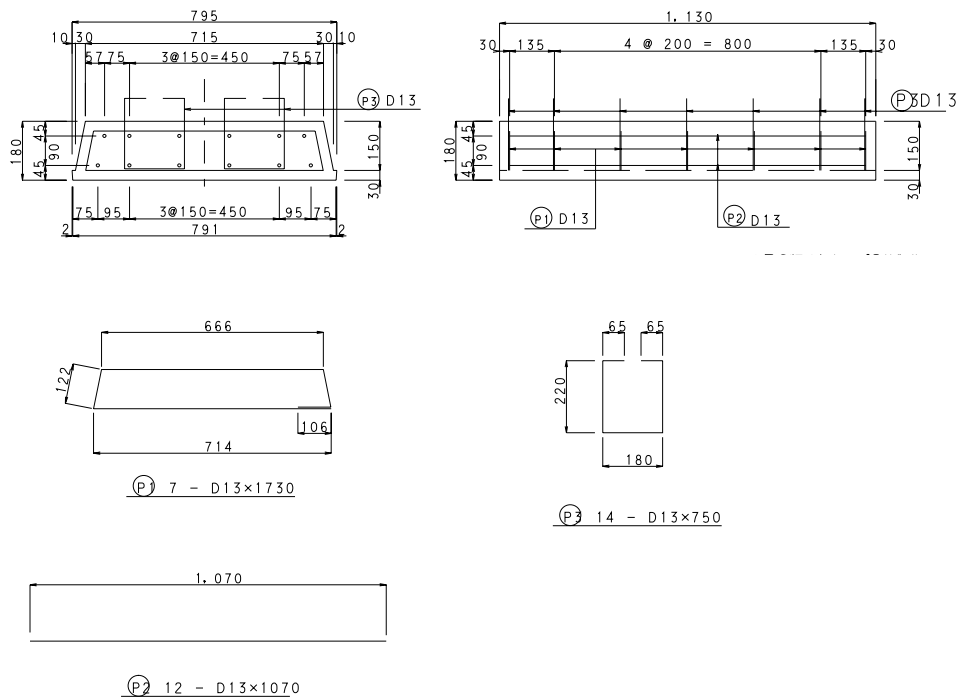


図-9 TYPE-4 構造図

5. 載荷方法

φ32のPC鋼棒20本を緊張し、場所打ち部(40N/mm²)の設計時許容値(14N/mm²)に相当する圧縮応力度を導入する。

なお、終局時はPC板と場所打ち部が一体挙動しない状態を想定し設計を行っている。このため、設計上の使用時において許容される最大圧縮応力度を載荷目標に設定した。

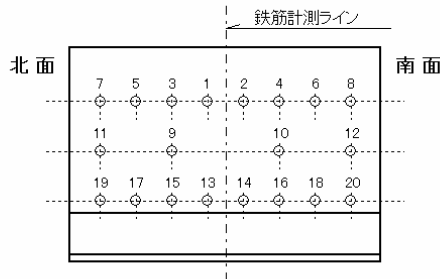
5.1 実載荷重 (全20本の緊張完了時)

TYPE-1, 2 : $\Sigma P = 12939.8$ (kN) → 導入目標値 (12,579kN) の 102.9%

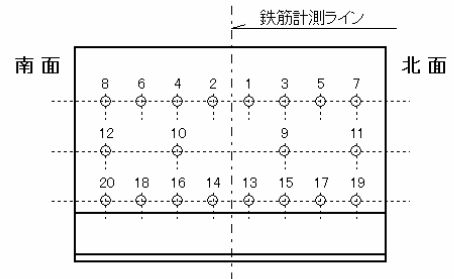
TYPE-3, 4 : $\Sigma P = 13012.0$ (kN) → 導入目標値 (12,579kN) の 103.4%

表-3 導入プレストレス力

供試体1 (TYPE-1、2)



供試体2 (TYPE-3、4)



P C 鋼 棒 軸 力 (単位:kN)							
P-8	P-6	P-4	P-2	P-1	P-3	P-5	P-7
650.5	667.9	637.5	641.7	663.2	615.0	673.5	646.5
P-12		P-10			P-9		P-11
664.3		644.5			642.2		668.8
P-20	P-18	P-16	P-14	P-13	P-15	P-17	P-19
646.6	673.5	637.6	663.3	641.8	615.1	667.9	650.6

P C 鋼 棒 軸 力 (単位:kN)							
P-7	P-5	P-3	P-1	P-2	P-4	P-6	P-8
639.4	667.4	630.7	634.4	626.0	628.1	687.9	647.1
P-11		P-9			P-10		P-12
652.2		646.3			651.6		659.1
P-19	P-17	P-15	P-13	P-14	P-16	P-18	P-20
635.5	677.0	625.6	624.3	646.3	643.4	673.3	644.2



写真-7 緊張端

6. 計測項目

計測項目, および計測位置を写真-8, 図-11に示す.

コンクリート表面のひずみゲージは, 目地部で PC 板と場所打ちに跨って設置されるため, 計測値の信頼性が問題になる. そこで, 目地部には小型のゲージを追加することにした. (図-10)



写真-8 供試体表面ゲージ

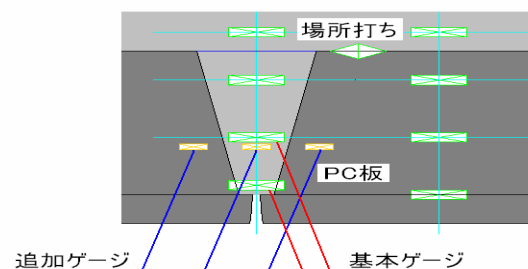


図-10 小型 (追加) ゲージ

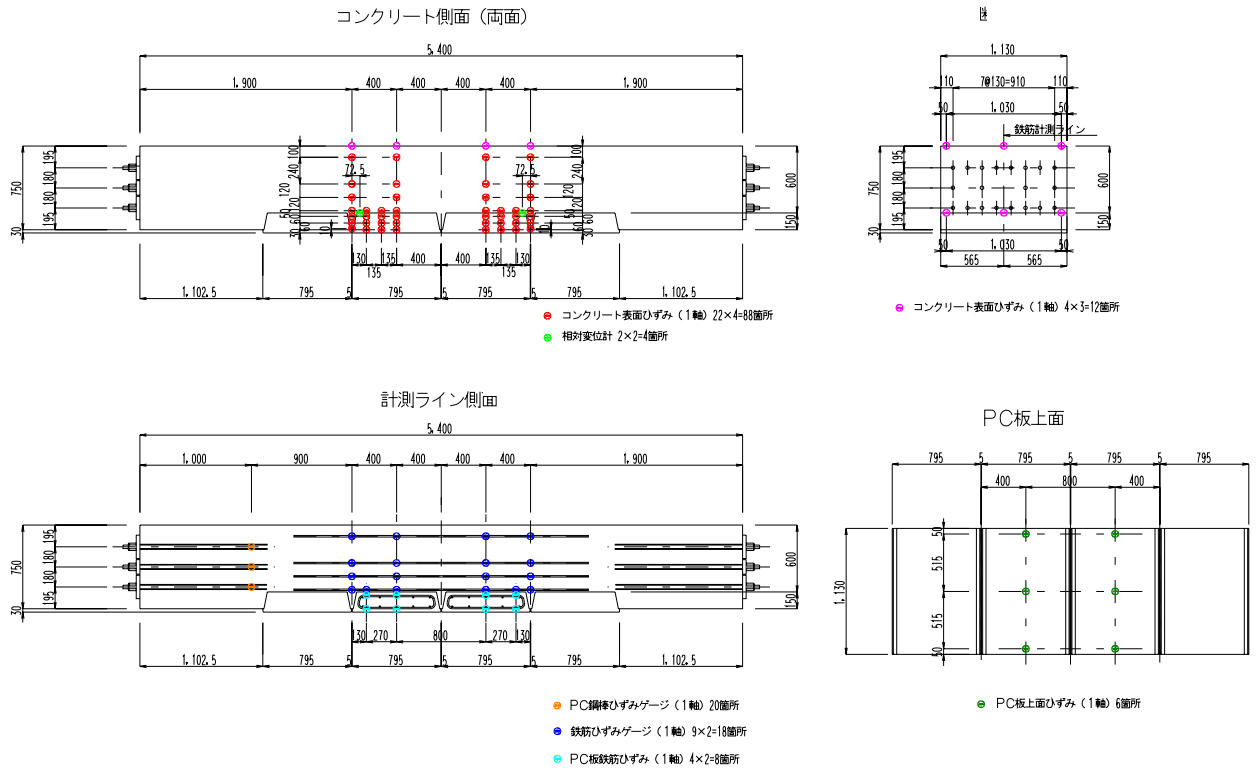


図-1-1 計測位置図

7. 実験結果

7.1 計測結果一覧

7.1.1 供試体 1 (TYPE-1 : 粗面仕上げ, TYPE-2 : 凹凸模様)

相対変位は TYPE-1, 2 ともほとんど生じていない。なお、タイプごとの絶対変位量の差異は、支承条件 (TYPE-1 側が固定, TYPE-2 側が可動) および計測方向の差異による。

表-4 導入プレストレス (左)・PC板と場所打ち界面の軸方向相対水平変位 (右)

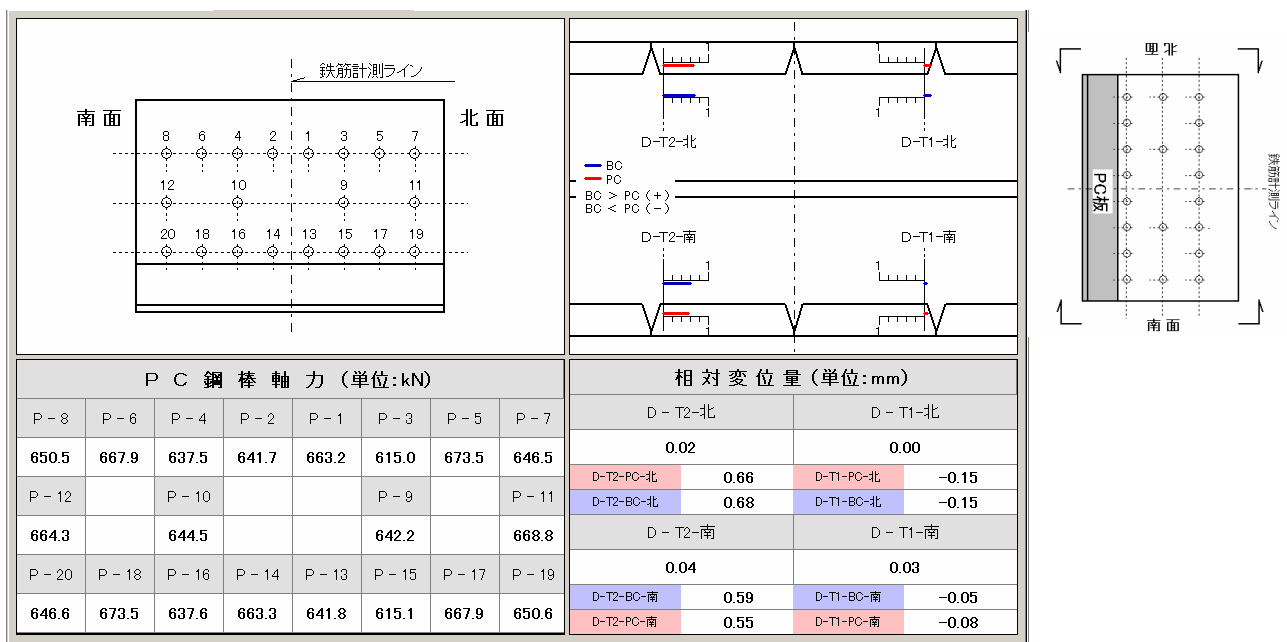
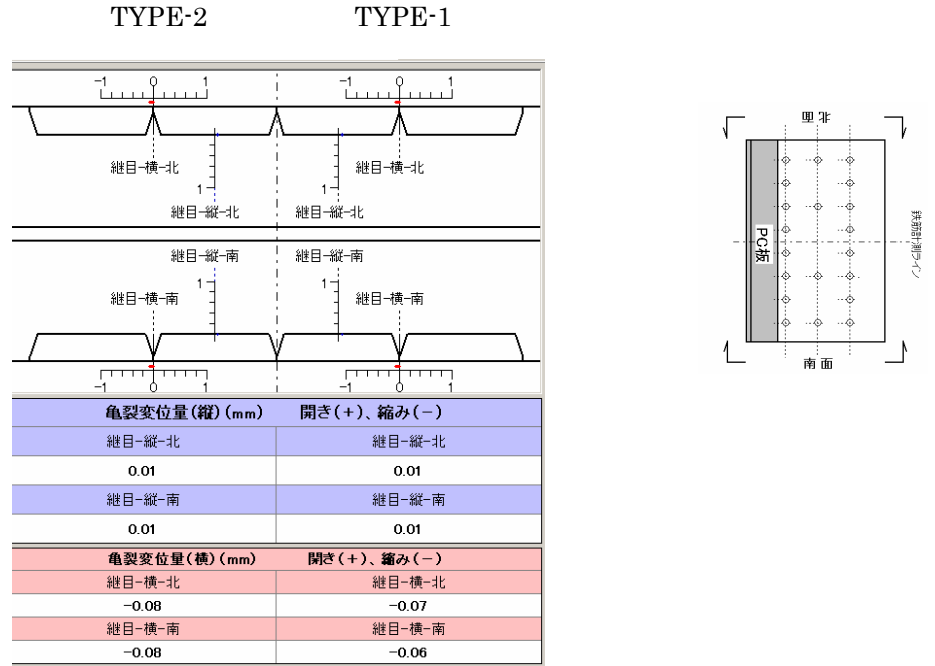


表-5 PC板下面の水平方向目開き量, 場所打ちとの鉛直方向目開き量 (左)



7.1.2 供試体 2 (TYPE-3 : ジベル筋 0.2%, TYPE-4 : ジベル筋 0.4%)

相対変位は TYPE-3, 4 ともほとんど生じていない. なお, タイプごとの絶対変位量の差異は, 支承条件 (TYPE-3 側が固定, TYPE-4 側が可動) および計測方向の差異による.

表-6 導入プレストレス (左) ・ PC板と場所打ち界面の軸方向相対水平変位 (右)

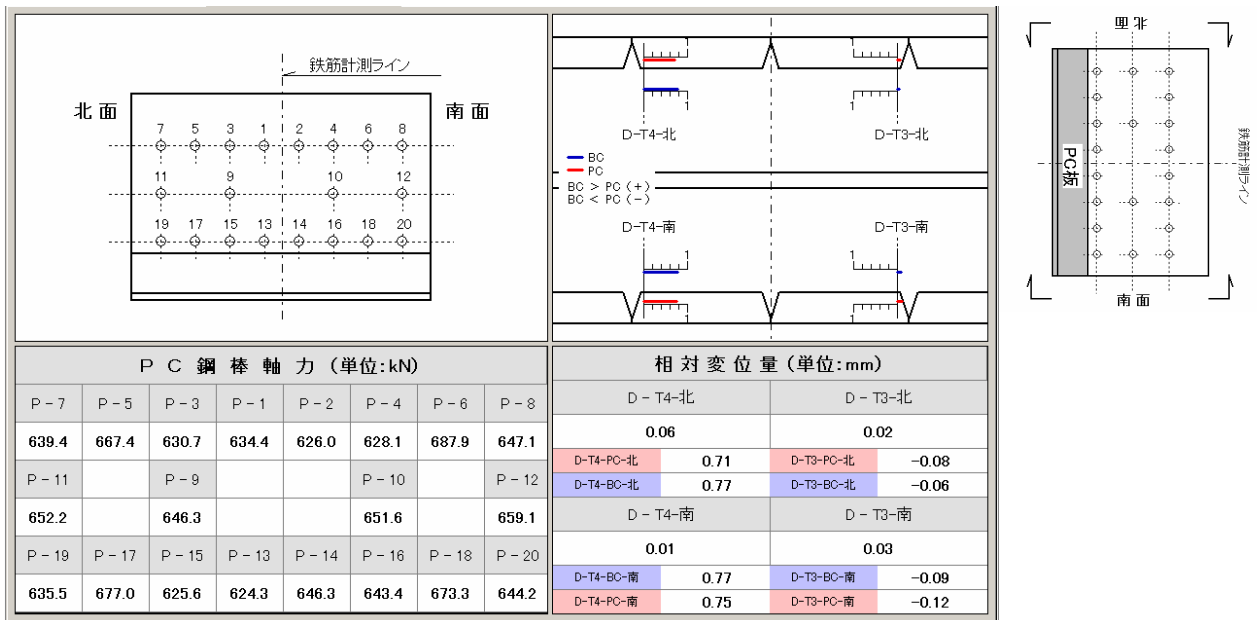
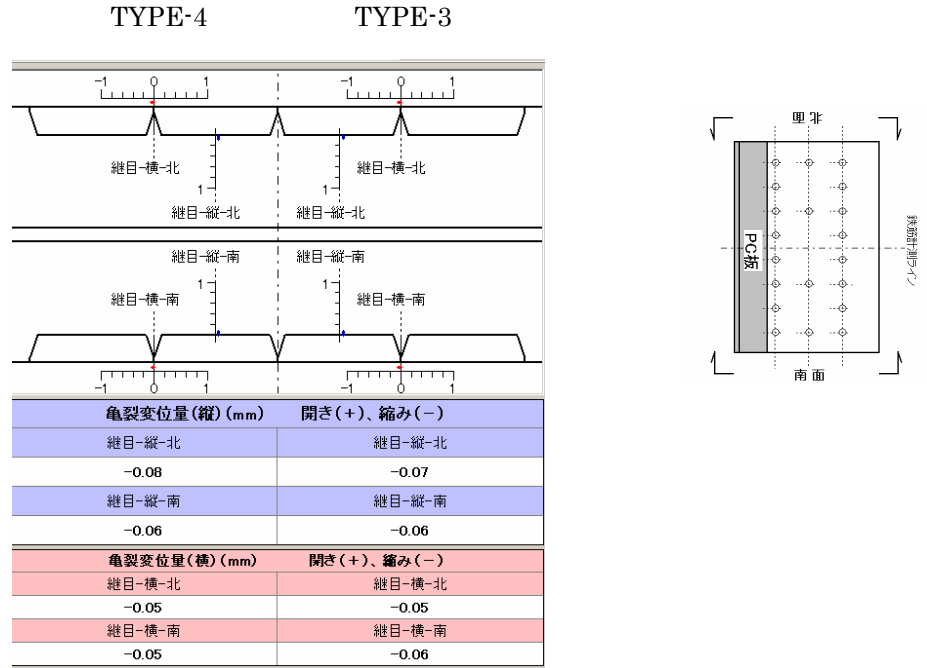


表-7 PC板下面の水平方向目開き量, 場所打ちとの鉛直方向目開き量 (左)



7.2 軸方向ひずみ

FEM 解析結果ならびに初等梁理論により算出した結果との比較を示す. FEM 解析は 3 次元の線形有限要素法で行い, PC 板と場所打ち部は連続要素 (完全一体化) としている.

コンクリートの物性値, 導入軸力等は全て, 試験結果・計測値によった. (図-12, 図-13)

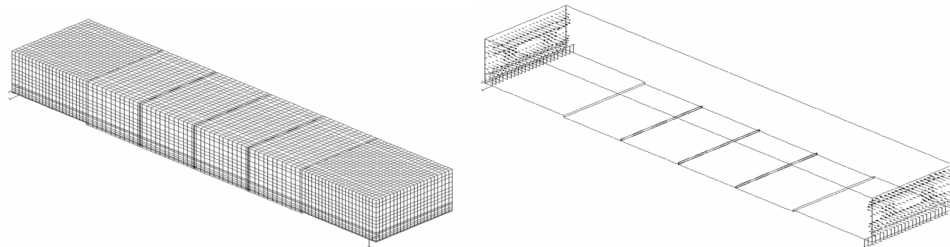


図-12 FEMモデル図

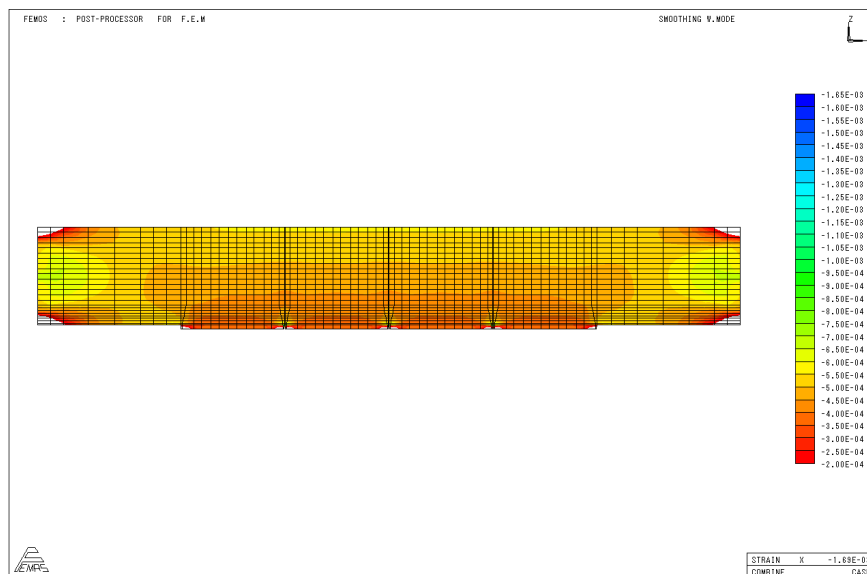


図-13 軸方向ひずみ分布 (解析値)

7.2.1 TYPE-1 (粗面仕上げ)

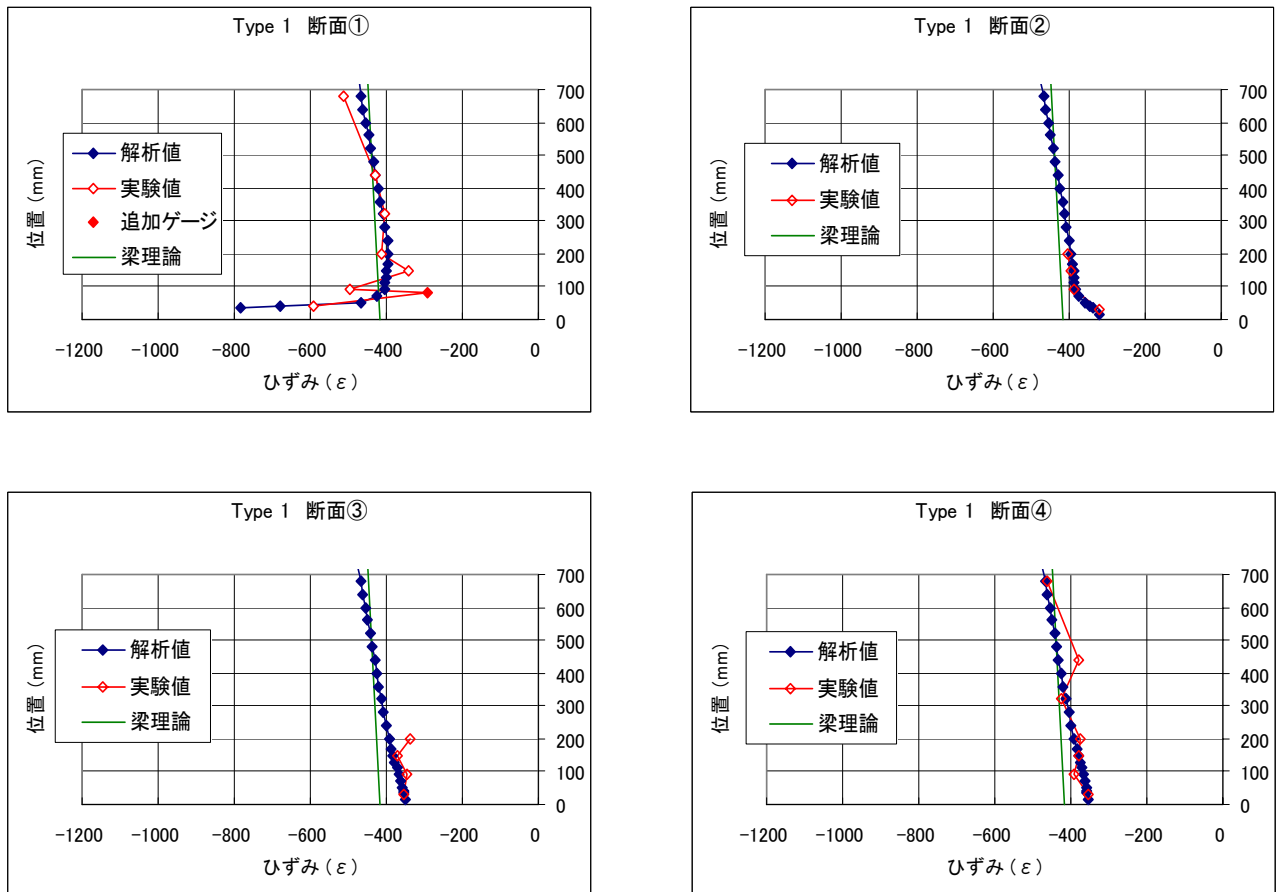


図-14 軸方向ひずみ分布 (TYPE-1)

図-15の①～④の位置におけるコンクリート表面の軸方向ひずみ分布を示す(図-14)。実験値は両側面(南北)の平均値である。①では実験値, 解析値ともにひずみが直線分布とならず, PC板遊間の目地部コンクリートに大きな圧縮ひずみが生じる結果となっている。

最下段ゲージによる計測値は 590μ であるが梁理論による理論値は供試体下縁で 470μ であり, およそ 1.25 倍のオーダーである(応力換算では 20.4N/mm^2)。なお, 追加ゲージによる計測値と上下ゲージの値にばらつきが見られるが, 詳細は不明である。

ひずみ分布は①から遠ざかるに従い直線分布に近づき, ②以降では多少のばらつきはあるものの実験値は解析値とよい精度で一致している。解析モデルは PC板と場所打ち部を完全に一体化したものであるが, 使用時には実構造も同様の挙動を示すことを裏付けるものである。また, ①の局所的なひずみを除くと, 梁理論によるひずみは概ね実験値, 解析値と一致しており, 特別な設計手法によらずとも部材の安全性は評価可能であると考えられる。

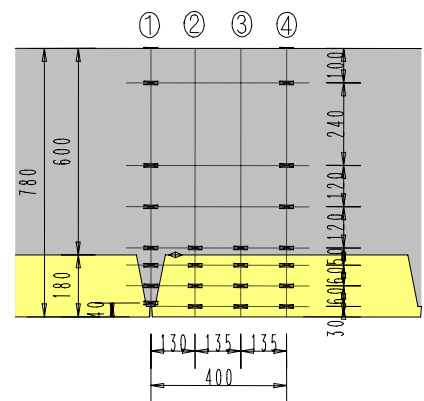


図-15 計測位置

7.2.2 TYPE-2 (凹凸模様)

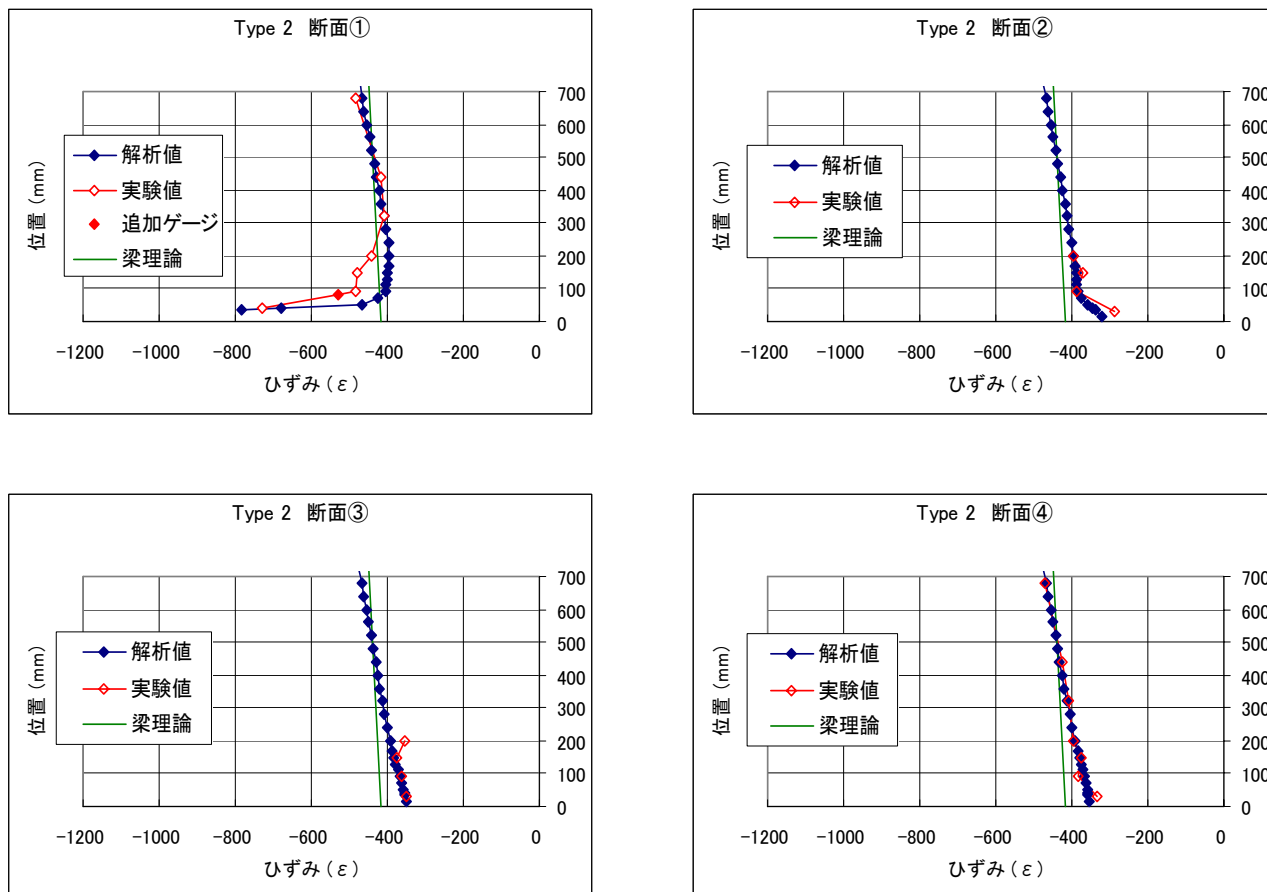


図-16 軸方向ひずみ分布 (TYPE-2)

TYPE-1 との大きな相違はなく、解析値と実験値にも高い相関が認められる。

PC 板遊間の最大圧縮ひずみは実験値で 730μ に達している。これは梁理論の値の 1.55 倍であり、応力に換算すると 25.2N/mm^2 になる。

7.2.3 TYPE-3 (ジベル筋 0.2%)

同様、実験値は解析値と整合しており、①においても高い相関が認められる。(図-17)

PC 板遊間の最大圧縮ひずみは実験値で 660μ であり、供試体下縁の理論値 517μ に対し 1.27 倍のオーダーである。応力に換算すると 19.9N/mm^2 となる。

TYPE-1, 2 と異なり PC 板表面の付着性能を期待せず、ジベル筋による機械的な接合を合成の基本としている。しかし結果に大差がなかったことから、実際には付着の効果が反映された可能性がある。

7.2.4 TYPE-4 (ジベル筋 0.4%)

ジベルの鉄筋量は 2 倍であるが、結果は TYPE-3 とほとんど変わらない。(図-18)

PC 板遊間の最大圧縮ひずみも 670μ であり、TYPE-3 とほぼ同等である。

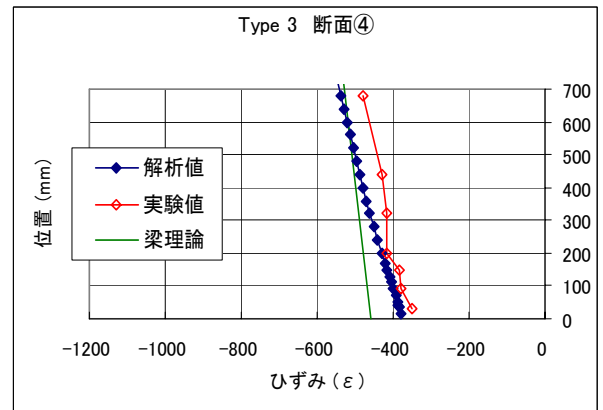
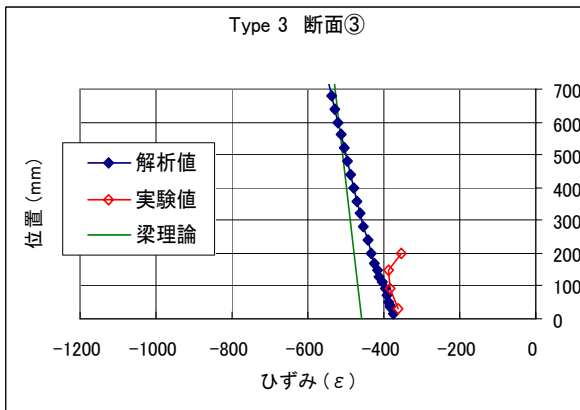
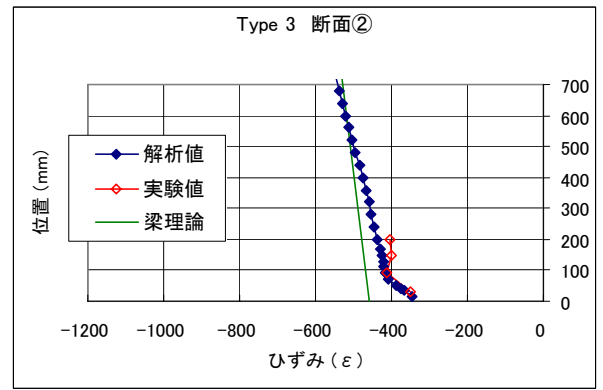
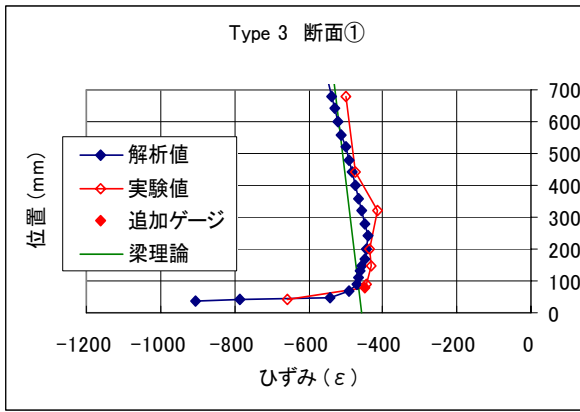


図-17 軸方向ひずみ分布 (TYPE-3)

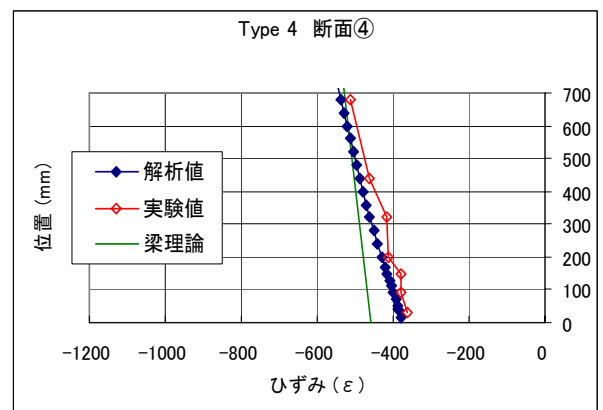
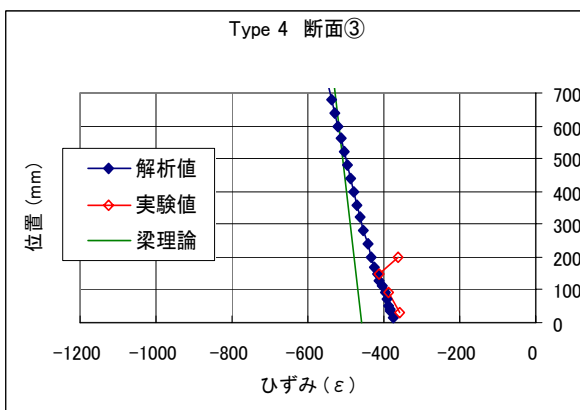
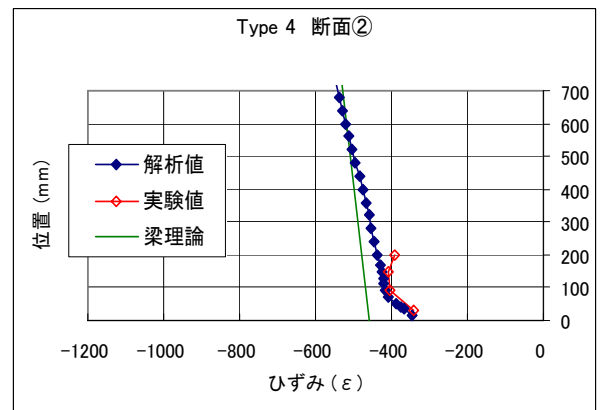
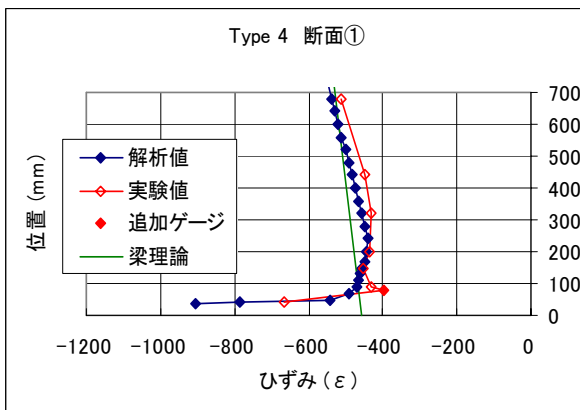


図-18 軸方向ひずみ分布 (TYPE-4)

7.3 PC板と場所打ち部の相対水平変位

以下は、図-20に示す位置（断面②のa, b）での軸方向ひずみを、導入プレストレス力の経時変化に沿ってプロットしたものであるが、

- ・ a (PC板上部), b (場所打ち下部) とともに、軸方向ひずみは導入プレストレス力と常に線形関係にあること
 - ・ a, b の比率は常に一定であること
- から、最終応力度に達するまで a, b 間の界面にずれが生じなかったことを裏付けている。

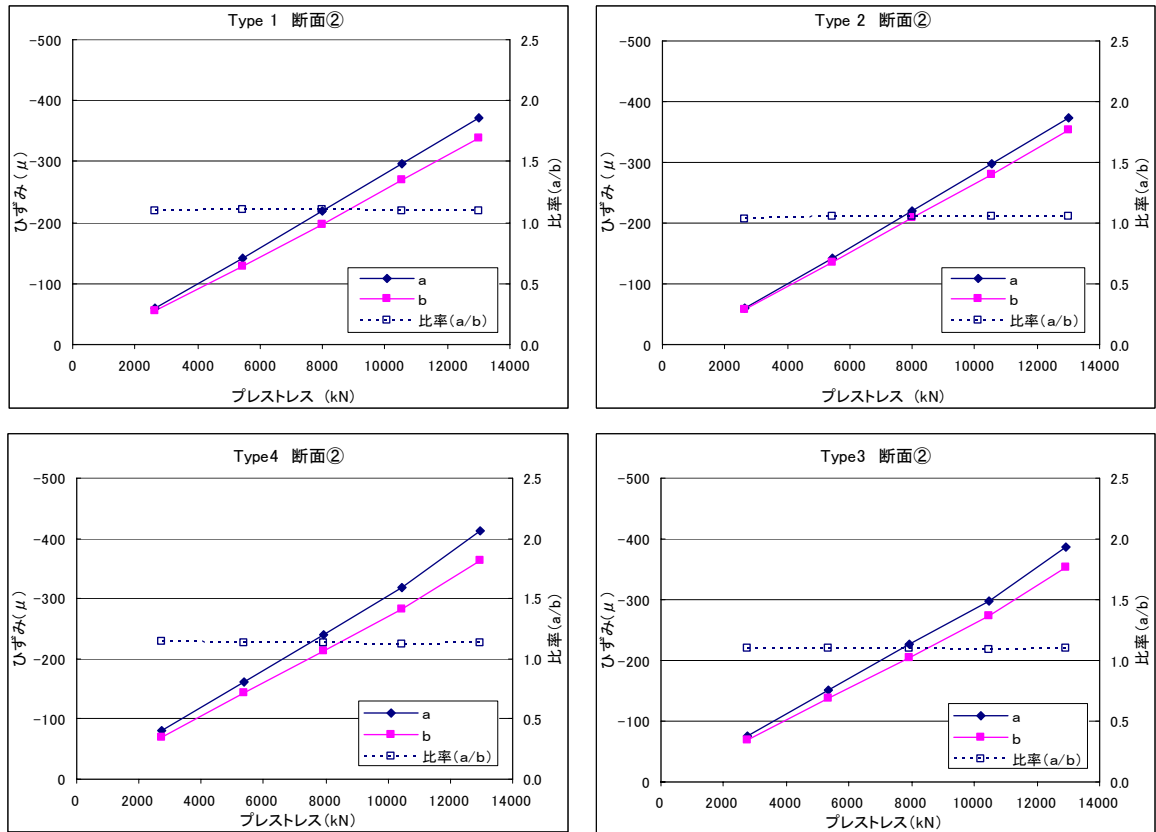


図-19 プレストレスと軸方向ひずみの経時変化

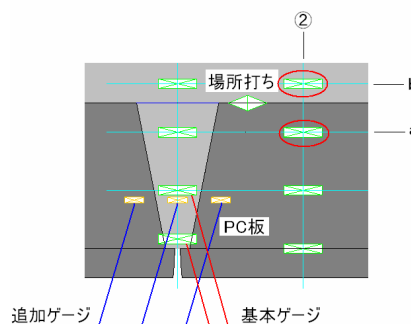


図-20 計測位置

8. まとめおよび考察

実験結果を総括する。

- ①軸方向ひずみの供試体高さ方向の分布は、TYPE-1~4の何れもPC板と場所打ち部を一体化したモデルによるFEM解析の結果と一致した。
- ②各タイプとも、PC板と場所打ち部の界面両側の軸方向ひずみは線形挙動を示し、また両者の比率も一定値を示した。

③実験中、終了後の何れも供試体に目視による損傷は確認されなかった。

以上から、使用時の圧縮状況下に対しては、何れのタイプにおいても PC 板と場所打ち部の合成の確保が可能であると判断される。

④初等梁理論による軸方向ひずみは、PC 板遊間の近傍を除き概ね実験値、解析値と一致した。これにより標準的な設計手法の適用が可能であると判断される。

⑤PC 板遊間の場所打ち部に、梁理論による理論値の 1.3~1.6 倍の軸方向ひずみが生じた。

粗面仕上げ (TYPE-1)、凹凸模様 (TYPE-2)、ジベル筋 (TYPE-3, 4) の何れにおいても、PC 板と場所打ち部は使用時において一体挙動することが確認された。したがって、何れのタイプを使用しても構造上の問題は無いと思われるが、杉谷川橋においては以下の理由により TYPE-3 (ジベル筋 0.2%) の仕様を選定する。

(理由 1) 下床版において PC 板を場所打ちコンクリートと合成させた例はなく、見かけ上の効果は同じでもより安全性が高い方法を選択すべきである。コンクリートの付着力、凹凸のせん断抵抗に期待する TYPE-1, 2 に比べ、PC 板と場所打ち部をジベル筋により機械的に縫い付ける TYPE-3, 4 の方がより確実な方法であると判断される。

(理由 2) 実橋においては、活荷重により引張、圧縮の何れも作用する部位があり、本実験においては、繰り返し荷重の履歴に対する安全性は検証していないことから、引張力が作用しても確実な合成が期待できるジベル筋接合が望ましい。さらに、主方向に比較して小さいが横方向の断面力により、一体性が損なわれないよう配慮する観点からも機械的な接合の方が適切である。

(理由 3) ジベル筋の鉄筋量による明解な挙動の差異は確認されなかった。

なお、PC 板遊間に比較的大きな圧縮ひずみ (応力) が作用している点については、解析により事前に予想された局所領域の応力集中 (図-21) に分類される問題であり、構造全体の安全性に重大な影響を及ぼすものではない。発生応力も $20\text{N}/\text{mm}^2$ 程度であり特別な補強を要しないと思われるが、遊間の場所打ちコンクリートを介して軸方向の応力が伝播されることは事実であるため、欠陥が生じないように特に入念な施工を行うこととする。

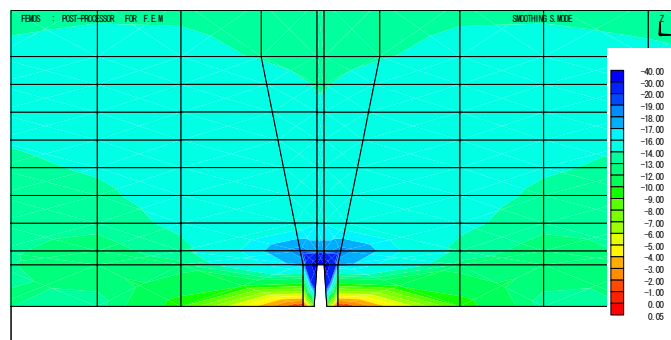


図-21 FEMによる応力集中発生領域

謝辞

本橋における橋梁構造の設計および性能実験に対して、西日本高速道路株式会社関西支社および大津工事事務所の関係者の方々には、多大なご支援およびご理解をいただき、心より御礼申し上げます。また、本実験で供試体の製作および载荷実験にご協力いただいた滋賀工場の方々にも御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本建築学会：プレストレストコンクリート (PC) 合成床版設計施工指針・同解説，1994
- 2) 建設省土木研究所・(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：コンクリート橋の設計・施工の省力化に関する共同研究報告書 (II) -PC 合成げた橋 (PC 合成床版タイプ) に関する研究-，1998.12