

報告 PCa 型枠を用いた高橋脚の急速施工法の開発

小田切 隆幸*1・水口 和之*2・橋本 和重*3・中井 裕司*4

要旨：高橋脚施工の省力化，及び工期の短縮を目的とし，帯鉄筋を埋設した PCa 型枠を使用する工法を開発した。今回，全体構造系の中での PCa 型枠と橋脚内部の後打ちコンクリートとの一体性，及び終局状態を把握するのを目的とした確認試験を行った。その結果，PCa 型枠と後打ちコンクリートとの一体性は保持され，RC 一体打ちと同等の靱性能，及びエネルギー吸収能を有し，道路橋示方書によって求めた計算値を満足する変形性能を有するのが確認された。

キーワード：高橋脚，省力化，PCa 型枠，一体性，変形性能

1. はじめに

今後，高橋脚の施工において，現場における省力化や急速施工等が望まれる。そこで，従来の場所打ち施工方法に変わり，省力化，及び工期の短縮に優れた，埋め込み式 PCa 型枠を使用する施工方法を開発した。本工法は，工場製作した PCa 型枠を使用することにより型枠組立解体作業を省力化し，さらに帯鉄筋を PCa 型枠内に埋設することにより鉄筋組立作業を省力化し工期短縮を可能にしている。著者等は開発に当たり，部分モデルでの PCa 型枠と後打ちコンクリートの一体性，及び橋脚の各種構造細目が所定の強度を有し，優れた耐震性能を有するのを確認した。¹⁾しかし，PCa 型枠と内部の後打ちコンクリートとの一体性については部分モデルでの確認のみであり，今回，全体構造系の中での付着劣化についての確認試験を行った。

本報告は，全体構造系の中での PCa 型枠と橋脚内部の後打ちコンクリートとの一体性，及び終局状態を把握するのを目的として行った確認試験の結果報告である。

2. 本工法の概要

本工法は，予め帯鉄筋を埋設した PCa 型枠により中空橋脚の内外面を形成して，内部に後打ちコンクリートを打設し一体化するものである。PCa 型枠の組立概略図を図-1 に，PCa 型枠の構造一般図を図-2 に示す。

構造上の特徴は，鉄筋組立作業の省力化のために帯鉄筋を予め PCa 型枠内面に埋め込んでいることである。さらに，帯鉄筋を鉛直に配置した

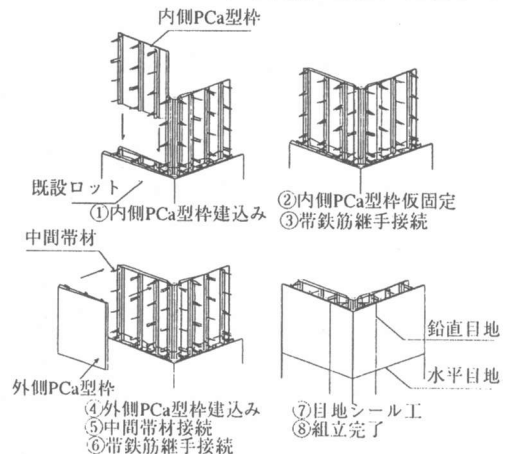


図-1 PCa 型枠組立概略図

*1 住友建設 (株) 技術研究所 工修 (正会員)

*2 日本道路公団 名古屋建設局 構造技術課 課長代理

*3 日本道路公団 名古屋建設局 白鳥工事事務所 高鷲工事区工事長

*4 住友建設 (株) 土木本部 技術設計部 (正会員)

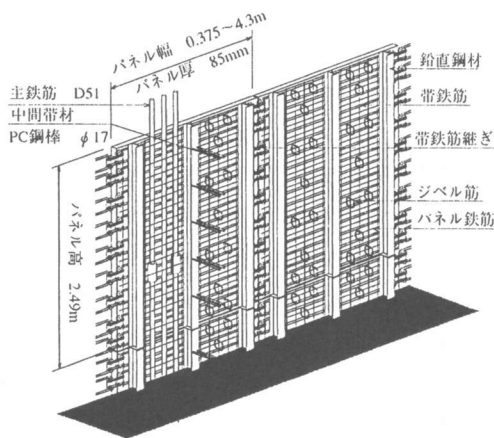


図-2 PCa型枠構造一般図

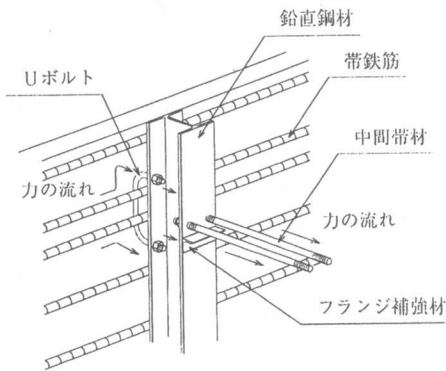


図-3 応力の伝達概念

組立用 H 形鋼に U ボルトにて結合し、内外相互の H 形鋼を高張力のボルトで接続することで型枠を固定する。この高張力ボルトは、後打ちコンクリート打設時にはセパレーターとして、コンクリート硬化後は中間帯鉄筋として機能する。地震時の応力伝達は、図-3 に示すように、帯鉄筋→U ボルト→H 形鋼→高張力ボルトである。すなわち、U ボルト、H 形鋼を介することで帯鉄筋を外側から拘束することができる。また、本工法は帯鉄筋を剛性の高い H 形鋼に U ボルトで固定し、中間帯材に高張力ボルトを用いることにより、中間帯材の鉛直方向の間隔を広げることが可能に

している。

PCa 型枠と 2 次コンクリートの一体化は、型枠に埋設したジベル筋により確保する。

PCa 型枠間の帯鉄筋の継ぎ手は、鉄筋端部をループ状に曲げ加工し鋳物製の金具を取り付け、高張力ボルトで締め付け連結する。

PCa 型枠は、圧縮強度 50(N/mm²)のコンクリートを用い工場製作する。寸法は 2500×4300 mm を基本とし、厚さは 85mm である。型枠内には、ひび割れ防止、及び側圧に抵抗するため D16 を 150mm ピッチで配置する。

3. 一体性確認試験

3.1 目的

PCa 型枠と橋脚内部の後打ちコンクリートとの付着面に着目し、PCa 型枠を使用した供試体と、在来工法を用いた RC 一体打ちの供試体と比較検討し、PCa 型枠のほうき目仕上げの効果や、一体性を確保するために配置したジベル筋の破壊性状等を検証し、全体構造系の中での一体性、及び終局状態を明らかにすることを目的とした。

3.2 供試体の諸元

供試体は、モデルとして東海北陸自動車道一谷橋の橋軸方向を縮尺した (1/7.5)。主筋、及び帯鉄筋の無次元パラメータは実橋脚とほぼ一致している。供試体の諸元を表-1 に示す。

表-1 供試体の諸元

	一谷橋	PCa 供試体	RC 供試体	摘要
橋脚断面外寸 (mm)	4500×6000	650×600	650×600	1/7.5
壁厚 (mm)	800	中実断面	中実断面	
主筋	D51 @150	D10 @34	D10 @34	
主筋断面積 (cm ²)	1486.2	20.1	20.1	(1/8.6) ²
主筋比	0.0059	0.0061	0.0061	
帯鉄筋	D22, a=150	D4, a=33	D4, a=33	
帯鉄筋量	0.0025 b a	0.0025 b a	0.0025 b a	
中間帯鉄筋	D22 s=150, d=1000	PCBar φ 5.0 s=99, d=101.5	D4 s=33, d=101.5	
横拘束筋の平均体積比	0.01 (中実) 0.01 (中空)	0.009 (中実)	0.009 (中実)	
せん断スパン比	5.7~8.2	5.0	5.0	
軸力 (kgf/cm ²)	26.0 (中空)	16.6 (60t)	16.6 (60t)	
PCa 型枠の厚さ (mm)	85	35		1/4.1

PCa 型枠は製作上の限界から厚さ 35mm とした (1/4.1)。よって、主筋、及び帯鉄筋の縮尺 1/7.5 に準ずることはできない。また、PCa 型枠の配置は、供試体製作上の都合により橋軸方向のみとした。PCa 型枠を 600mm×600mm の断面外に配置するため、供試体の断面外形は 650×600 となる。せん断スパン比は 5.0 である。PCa 型枠使用供試体は、高さ 667mm の PCa 型枠を 3 段積み上げ、高さ 2000~3300mm は場所打ちコンクリートとした。PCa 型枠内には、実橋の PCa 型枠と同様に、ひび割れ防止のため $\phi 3.2 \cdot 50 \times 50$ の溶接金網を配置した。供試体の断面図を図-4 に、側面図を図-5 に、試験時のコンクリート圧縮強度を表-2 に示す。以下に各構造細目を示す。

- 1) 主筋は、実橋脚の D51~D32 に対して D10 と D6 に、帯鉄筋は、実橋脚の D22~D25 に対して D4 にした。
- 2) PCa 型枠供試体の帯鉄筋は、PCa 型枠設置面においては PCa 型枠内に埋設し、PCa 型枠を設置しない面においては中間帯鉄筋 (PCBar $\phi 5$) がその役目を果たす。RC 供試体は、在来工法を用いた。
- 3) 中間帯鉄筋は、橋軸方向のみに配置した。PCa 型枠供試体の中間帯鉄筋は、実橋と同様に帯鉄筋 3 段に 1 段の割合で配置した。ただし、中間帯鉄筋の降伏強度は、帯鉄筋の 3 倍である PC 鋼棒 B 種 2 号相当とした。RC 供試体は、帯鉄筋と同径の鉄筋を同ピッチに配置した。
- 4) 実橋の組立用 H 型鋼は、曲げ剛性を考慮して、鉄板 20mm×12mm でモデル化した。縮尺は、断面 2 次モーメントを基準に決定した。
- 5) ジベル筋は、過去の試験結果より結合面積の 0.15% を配置した。ジベル筋の場所打ちコンクリート内の埋め込み長は、実橋脚と同様に $H/d \geq 5.5$ (H ; ジベル筋の高さ d ; ジベル筋径) を満足する長さで配置した。

載荷は、計算降伏荷重における正負の平均水平変位を基準 δy とし、各 3 回載荷し、以後、正負整数倍の δy で同様の手順を行った。

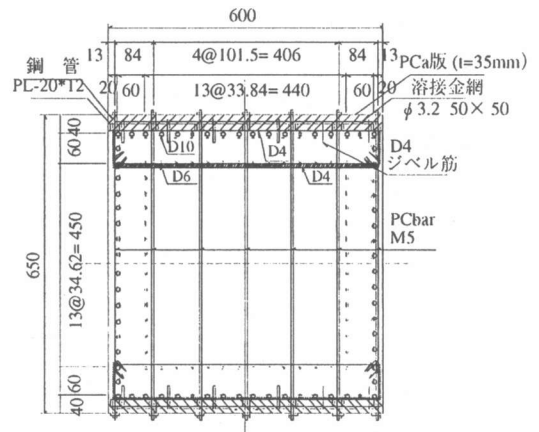


図-4 供試体断面図 (PCa 型枠供試体)

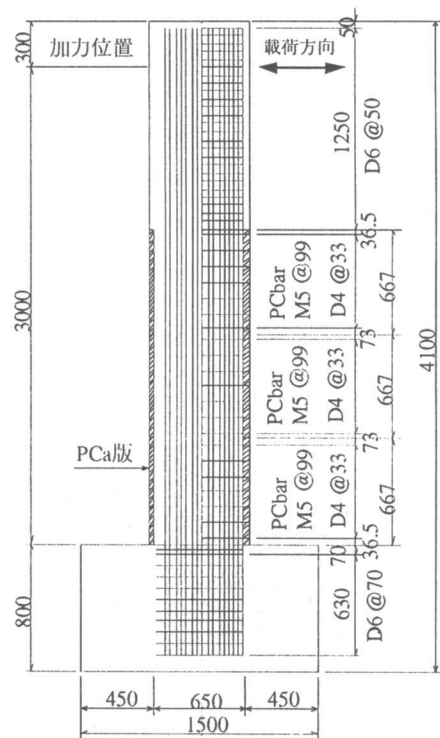


図-5 供試体側面図 (PCa 型枠供試体)

表-2 コンクリート圧縮強度

RC 供試体 (N/mm ²)	30.7
PCa 型枠供試体 (N/mm ²)	28.8
PCa 型枠 (N/mm ²)	55.6

3.3 試験結果

3.3.1 試験時諸荷重

各供試体の履歴曲線を図-6, 7に示す。

PCa型枠供試体は、断面外縁に厚さ $t=35\text{mm}$ の高強度のPCa型枠があるため、RC供試体に比べ最大耐力が高く、また剛性が高いため初期降伏時変位量が小さい。

RC供試体は、主鉄筋が座屈した $7\delta y$ の3サイクル以降、履歴ループが逆S字型となり、主鉄筋の破断本数に比例して徐々に耐力が減少した。PCa型枠供試体は、荷重方向の拘束が強いため拘束力の弱い側方の主鉄筋が 8δ の3サイクルにおいて座屈した。その後、 $9\delta y$ の1サイクル目において主鉄筋が破断するまで履歴曲線の性状は良好であった。その後、鉄筋の破断が顕著になり、耐力を失った。また、終局変位量は、RC供試体の方が大きかった。著しい損傷部は、RC供試体で柱基部より上300mm程度、PCa型枠供試体で150mm程度であった。

RC供試体の靱性率は正側9.5、負側9.5、平均9.5であり、PCa型枠供試体は正側9.8、負側9.4、平均9.6であった。

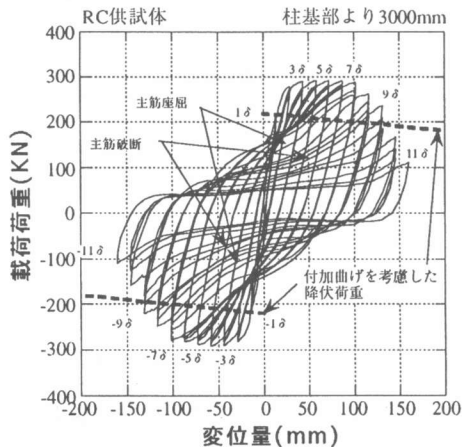


図-6 履歴曲線 (RC供試体)

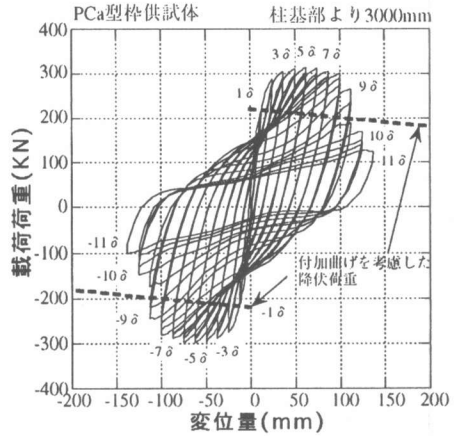


図-7 履歴曲線 (PCa供試体)

3.3.2 中間帯筋の挙動

PCa型枠供試体の中間帯材の高さ方向の歪分布の一例を図-8に示す。中間帯筋は、降伏歪には達しておらず、著しい損傷もなく想定した拘束効果を発揮したと考えられる。

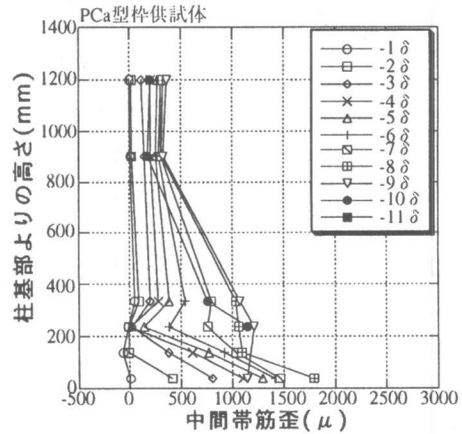


図-8 中間帯筋の歪分布 (PCa供試体)

3.3.3 PCa型枠と躯体との一体性

PCa型枠のひび割れの進展状況を図-9に示す。主鉄筋方向のひび割れが $5\delta y$ で柱基部に発生したのは、RC供試体の場合と同様である。このひび割れは、PCa型枠の付着面以外の位置で発生している。つまり、柱基部におけるひび割れは、付着面の劣化によるひび割れと推定される。

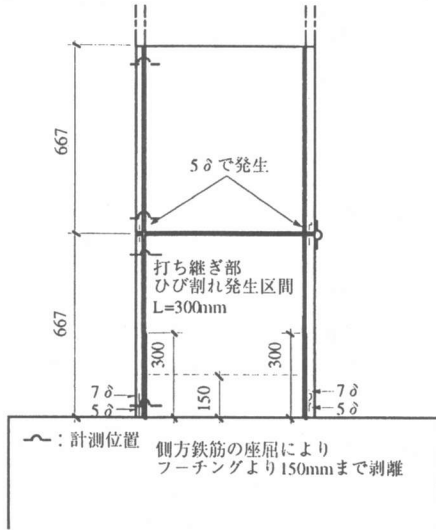


図-9 主鉄筋方向のひび割れ進展状況

PCa 型枠と躯体との開き量を図-9 に示す。計測できた 8δ y まで 0.25mm 程度であり僅かである。また、柱基部より 600mm の位置における PCa 型枠と躯体との開き量の増加は、PCa 型枠の水平継ぎ手面において割裂ひび割れが開口したことの影響である。

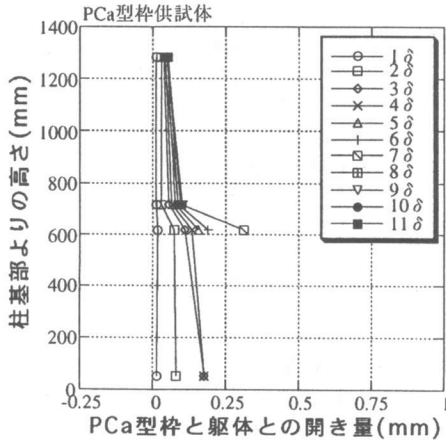


図-10 PCa 型枠と躯体の開き量の分布

水平継ぎ手面の PCa 型枠間の開き量の履歴を図-11 に示す。PCa 型枠間の開き量は、圧縮力作用時の縮み量が一定であり、一体性が確保されていると推定される。

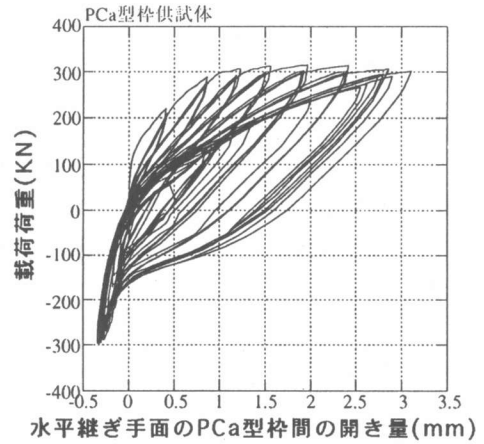


図-11 PCa 型枠間の開き量

試験後、PCa 型枠の付着面におけるひび割れは、ひび割れの区間が柱基部より上 300mm 程度であり、完全に剥離したのは損傷部である 150mm 程度のみであった。従って、PCa 型枠と後打ちコンクリートとの一体性は保持されており、附着性能は、表面のほうき目仕上げとジベル筋で充分機能すると考えられる。

3.3.4 吸収エネルギーの比較

PCa 型枠供試体と RC 供試体との変位レベルにおける累積吸収エネルギーの比較を図-12 に示す。PCa 型枠供試体は、RC 供試体と同等のエネルギー吸収能を有すると考えられる。なお、等価減衰定数もほぼ等しい。

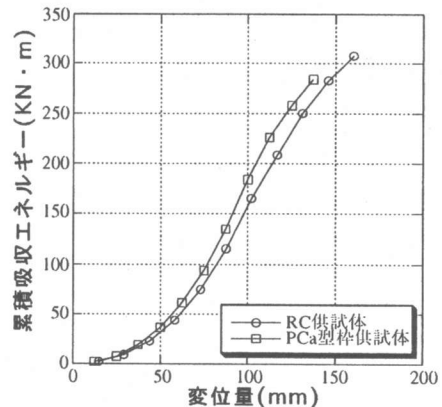


図-12 累積吸収エネルギーの比較

3.3.5 道路橋示方書との比較

荷重-変位置の試験結果と設計計算値の比較を図-13に示す。計算値は、現行の道路橋示方書・同解説に従い、材料物性は、試験値を用い安全率 $\alpha=1.0$ とした。また、図中の修正荷重とは、 $P-\delta$ 効果による付加モーメントの影響を加算したものである。試験値は、計算値の曲げ耐力、及び変形性能に対して十分な安全性を有している。

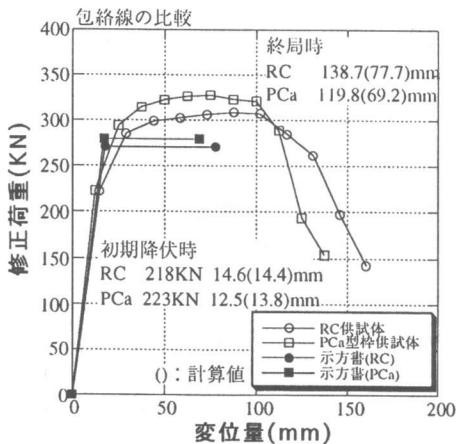


図-13 包絡線の比較

3.3.6 考察

PCa型枠と躯体(2次)コンクリートとの一体性は、終局状態に至るまで良好であり、供試体の耐荷性状に及ぼす影響は少なかった。

その反面、PCa型枠供試体は、RC供試体に比べPCa型枠と中間帯筋により高い拘束力が働いており、塑性ヒンジに相当する著しい損傷区間の長さが短い傾向にある。その結果、PCa型枠供試体は、終局状態での主鉄筋の破断が多く生じている。しかし、PCa型枠供試体とRC供試体は靱性率、エネルギー吸収性能、及び設計計算値に対する安全性がほぼ等しく、実用領域での塑性ヒンジが短いことによるデメリットは少ないと考えられる。

PCa型枠供試体における主鉄筋の最初の座屈は、載荷方向の拘束力が強い為、側方鉄筋で生じた。実橋脚では4面拘束が行われるため、本

試験に比べ、主鉄筋の座屈発生時期が遅くなり、著しい損傷の発生が抑制されると推定される。つまり、側方鉄筋の座屈を抑制することでより一層、変形性能が向上すると思われる。

4. まとめ

- 1) PCa型枠供試体は、RC供試体とほぼ同等の靱性を有する。
- 2) PCa型枠と後打ちコンクリートとの一体性は、ほうき日仕上げとジベル筋で充分である。
- 3) PCa型枠供試体は、RC供試体とほぼ同等のエネルギー吸収性を有する。
- 4) PCa型枠供試体は、現行の道路橋示方書を満足する変形性能を有する。
- 5) PCa型枠供試体の場合、全体を拘束し側方鉄筋の座屈を抑制することで、変形性能の改善が予測される。

東海北陸自動車道一谷橋の橋脚は、平成9年8月に、無事工事が完了した。

謝辞

本工法については、東海北陸自動車道山岳部のコンクリート橋の新技術・新工法に関する検討委員会(委員長:池田尚治横浜国立大学教授)の中で討議され、貴重なご意見を頂きましたことを厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小田切隆幸・中井裕司・高島泰博・浅井学: PCa型枠を用いた高橋脚施工法の開発, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.1, pp1477-1482, 1997.6
- 2) 道路橋示方書・同解説, コンクリート橋編, 平成8年12月, 日本道路協会
道路橋示方書・同解説, 耐震設計編, 平成8年12月, 日本道路協会