

(10) PRCプレキャスト部材の耐震性能に関する実験的研究

(株)ピー・エス 正会員 ○奥山和俊
 八戸工業大学 塩井幸武
 八戸工業大学 長谷川明
 PCウェル工法研究会 正会員 中井将博

1. PRCプレキャスト工法の概要

現在、鉄筋コンクリート橋脚は場所打ち施工するのが通常である。しかし、都市内施工や急速施工をする場合には鉄筋組み立て、型枠の取り付け、コンクリート打設の作業の繰り返し等、工期・作業空間の確保等の点で大きな負担となっており、これらの問題を解決する方法として、部材のプレキャスト化が考えられる。

そこで、各プレキャスト部材（以下Pca部材）を最小限のPC鋼材で連結し（1N/mm²程度）、構造物構築完了後、部材に予め設けられた孔に高強度・超遅延性・ノンブリージングのモルタルの注入り、最後に主筋の一括挿入を行う工法を考案した。（図-1）これにより、主筋が部材接合部にも配置され、構造上RCに近いPRC構造となる。

本研究では、従来の構造とPRCプレキャスト構造（以下PRCPca構造）の力学的性状を比較するため、正負交番載荷試験を行い、耐震性能を検証するものである。

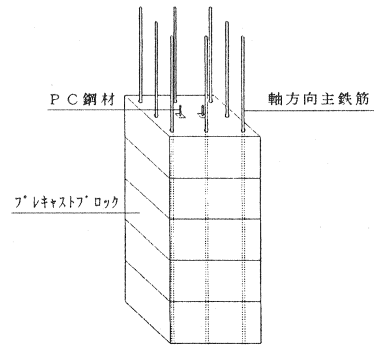


図-1 PRCPca工法概念図

2. 試験方法

試験は、図-2に示す供試体にPC鋼棒でPca部材の接合に必要な1N/mm²の軸力を導入し、上部に交番の水平荷重を繰り返し載荷するものである。

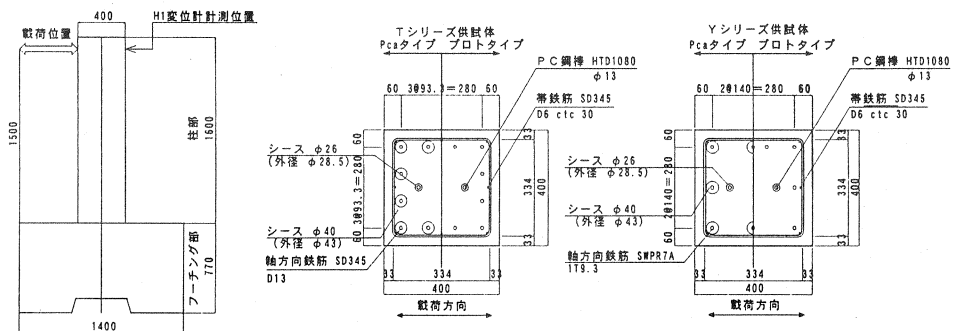


図-2 供試体形状

PRCPca 供試体の目地部にはエポキシ樹脂を塗布した。

載荷は以下の条件にて行った。

- ・載荷は回転角（水平変位/載荷スパン）によって制御する。
- ・1/200 を基準としてその整数倍（2/200、3/200・・・）を載荷する。各ステップは繰り返しを正負3回（3

サイクル) 行う。

・荷重は主筋降伏時までは荷重制御、それ以降は変位制御で行い、
 載荷速度は 0.05mm/sec および
 0.1mm/sec とする。

・最大荷重の 80% を下回った場合
 を供試体の終局状態として載荷
 を終了する。

また、供試体の種類は表-1 に示す 9 種類とした。

表-1 供試体種類

シリーズ	供試体名	主筋の種類	主筋の定着	固定方法	PC鋼棒の定着	備考
Tシリーズ	TC	鉄筋 (SD345,D13)	コンクリート	完全固定 付着固定 支圧固定 完全固定	アンボンド	プロタイプ
	TMKK		モルタル			下端定着体設置
	TMFK		セメントペースト			定着長50D
	TMSK		モルタル			主筋端部ナット設置
	TSKK		モルタル			下端定着体設置
	TMKB		モルタル			ボンド
Yシリーズ	YC	PC鋼より線 (SWPR7A,1T9.3)	コンクリート	完全固定	アンボンド	プロタイプ
	YMKK	モルタル	モルタル			下端定着体設置
	YSKK	セメントペースト	セメントペースト			

3. 試験結果

3-1 荷重-変位曲線

TC、TMFK、YMKK についての荷重-変位曲線を図-3~5 に示す。

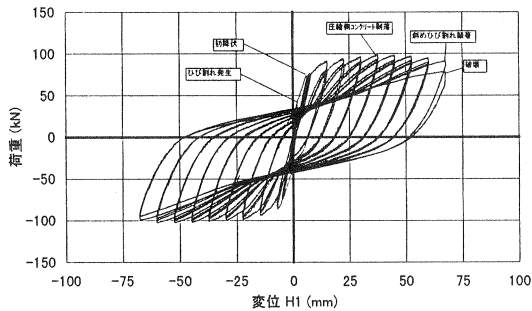


図-3 TC 供試体

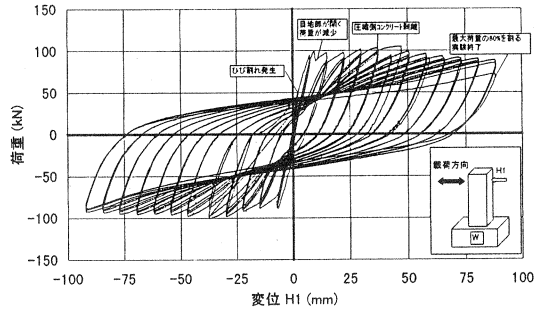


図-4 TMFK 供試体

PRCpca 構造は場所打ち供試体と比べて耐力、変形性能ともに同等以上である。

主筋を鉄筋とした TMFK と PC 鋼より線の YMKK を比較すると、YMKK は降伏までの変位が大幅に増大すると言える。また、曲線の形状については、YMKK は原点指向型で復元性能に優れており、終局時の残留変位は TC、TMFK 約 50mm に対して、約 20mm である。

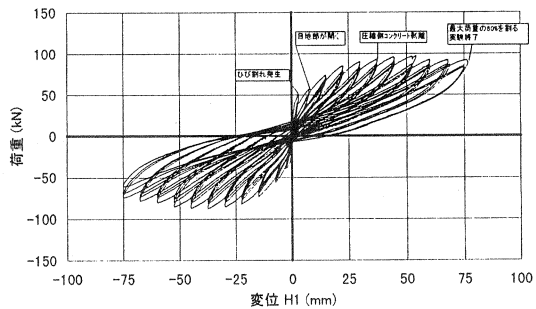


図-5 YMKK 供試体

3-2 破壊状況



写真-1 TC 供試体

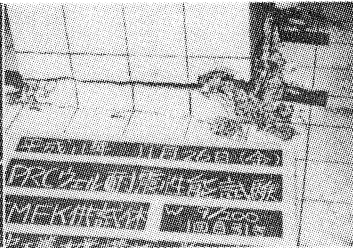


写真-2 TMFK 供試体

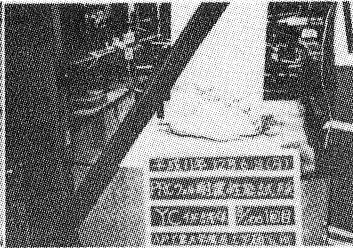


写真-3 YMKK 供試体

以下に各供試体のひび割れおよび破壊状況を述べる。

T C…初期ひび割れは、載荷荷重 40kN にて基部に発生した。その後、基部より 25、50、75cm の位置に生じた。通常の RC 部材に比較し、ひび割れ本数が少ない。9/200rad に斜めひびわれが顕著となり、右側面のかぶりコンクリートが基部から 40cm の範囲にわたって剥落した。鉄筋のはらみだしの顕著な箇所は基部より 5~10cm であった。

TMFK…初期ひび割れは、50kN にて基部に発生した。その後、基部より 5、35、50、60cm の位置に生じた。2/200rad に目地部の接着剤が剥がれ、その後はせん断ひび割れがほとんど発生せず、曲げに伴う目地部の目開き量のみが増加した。終局時は荷重が徐々に減少し、最大荷重の 80% を下回ったため、終了した。

YMKK…初期ひび割れは、載荷荷重 40kN にて基部に発生した。ひび割れの本数は非常に少なく、目地位置と基部から 45cm の位置にのみ生じた。荷重が進むに連れてより線の抜け出しによるロッキング現象が生じた。TMFK と同様にせん断ひび割れは発生せず、目開き量のみが増加し、荷重が徐々に減少し、最大荷重の 80% を下回ったため、終了した。

3-3 主筋の塑性化の範囲

図-6~8 に主筋のひずみ分布図を示し、塑性化の範囲を検討する。

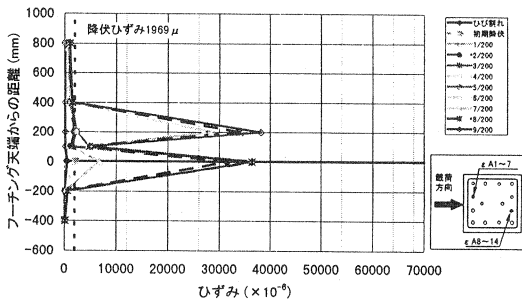


図-6 TC 供試体

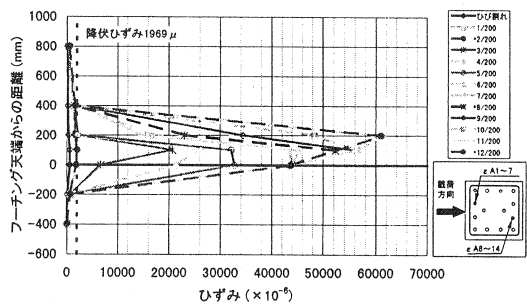


図-7 TMFK 供試体

TC および TMFK はフーチング天端より上 20~40cm, 下 0~20cm の範囲で鉄筋の塑性化が見られる。よって塑性化の全体の範囲としては場所打ちも PRCpca も同じであると言える。

YMKK はシース内のモルタルの付着強度が小さく、載荷回転角が増加するに従って PC 鋼より線のフーチングからの引抜けが生じ、全長にわたってひずみの増加が見られる。また、ひずみ値は降伏ひずみまでに至っておらず、弾性域である。したがって荷重-変位曲線からも明らかなように高い復元性能を保持しており、付着強度が大きければさらに高い耐力が確保できる。

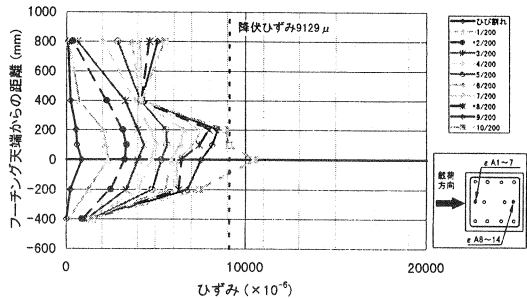


図-8 YMKK 供試体

3-4 帯鉄筋の変化

図-9~11 に圧縮側の帯鉄筋のひずみ分布を示す。

TC は荷重の増大とともに帯鉄筋のひずみが増大している。破壊形態からも TC は主筋のはらみだしによってコンクリートが広範囲に剥落しており、帯鉄筋に荷重が作用していることがうかがえる。

TMFK、YMKK は帯鉄筋のひずみに変化はなく、荷重が作用していない。これは主筋が座屈してもその周囲

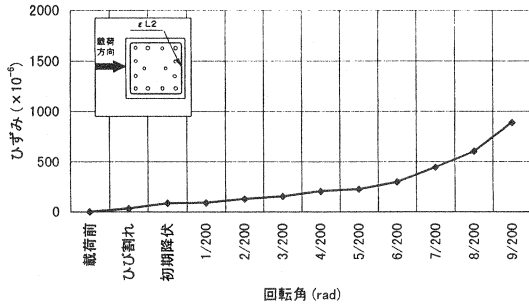


図-9 TC 供試体

にあるモルタルおよびシースが主筋のはらみだしを拘束しているものと考えられる。このことはPRCPca構造の特徴の一つであり、終局変位が場所打ち構造に比べて増加し、変形性能の向上につながるということができる。

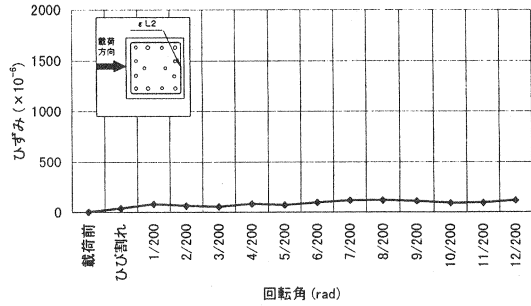


図-10 TMFK 供試体

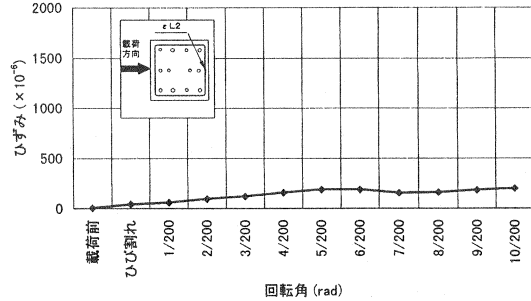


図-11 YMKK 供試体

3-5 エネルギー吸収性能

図-12 にエネルギー吸収性能を示す。

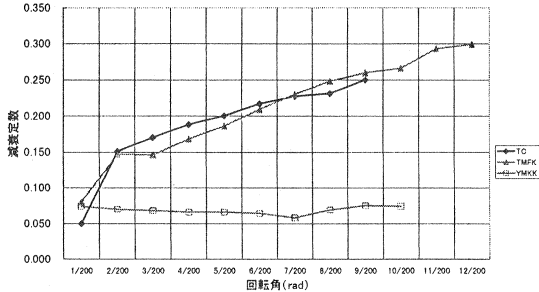


図-12 減衰定数

TC と TMFK はいずれも変形と共に直線的な増加を示し、ほぼ同一の値となっている。したがって、PRCPca 構造は場所打ち構造と同様な地震エネルギーを吸収する性能を有している。

また YMKK は変形の増大に関わらず減衰定数の変化は小さい。その値は鉄筋使用の供試体に対し、変形の増大により約 1/3 となり、鉄筋使用の方が、地震時においてI補料・損失が大きく、振動を減衰させる性能が優れていることが示されている。

3-6 M-θの包絡線とバネ定数の算定

TMFK についての荷重変位曲線から算出したM-θの包絡線を図-13に示す。

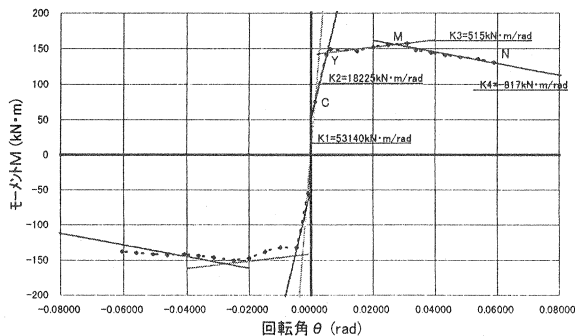


図-13 M-θ包絡線

グラフ中のバネ定数はひび割れ時、主筋降伏時、最大曲げモーメント時、終局時に分類し、それぞれの値を最小2乗法にて近似したものである。

本構造を解析モデルとして表現する場合には、破壊形態より、変形が基部の目地部に集中し、その目地部における開口幅のみが増大するということから、弾塑性回転バネを設ける構造となる。次章にこのバネ定数を用いて解析を行った結果を示す。

4. 解析的検討

PRCpa 構造は、前述の荷重-変位曲線より、通常の場合打ち構造と同等以上の耐力、変形性能があると確認された。したがって、現行の保耐法と同様の解析を行うことができる。

また、動的解析等を行う場合には、弾塑性フレームモデルを作成し、地震動を入力する方法がとられているが、その際、重要となるのは、適切なモデル設定である。そこで、本実験における弾塑性フレームモデルを作成し、プッシュオーバー解析を行い、モデルの妥当性を検証した。なお、検証は主筋に鉄筋を使用した構造 (TMFK) について行う。

図-14 に解析モデルのスケルトン図を示す。解析は2ケースについて行った。

case1-基部に1箇所目地を設置したモデル (実験供試体)

case2-目地を多段に配置したモデル

通常の部材は弾塑性はり要素とし、目地部位置に弾塑性回転バネを設置した。また、基部より 400mm (1D) は弾性はり要素とした。これは主筋の塑性化の範囲より決定した。

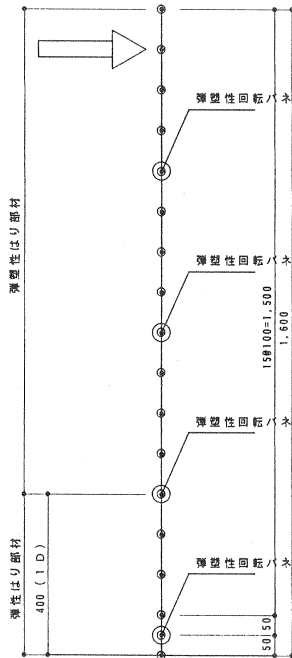


図-14 スケルトン図(case2)

[case1 は再下段のバネのみ]

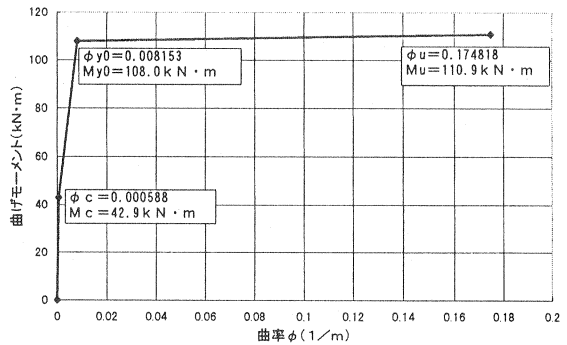


図-15 弾塑性はり部材M-φ

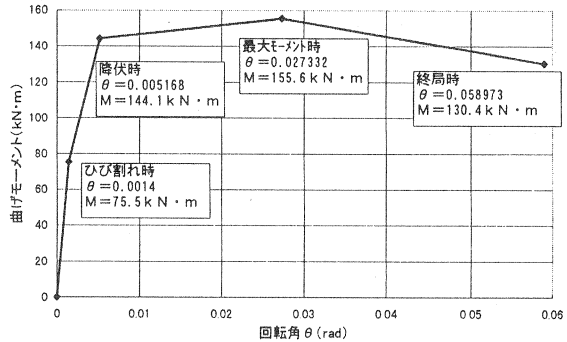


図-16 弾塑性回転バネM-θ

図-15、16に弾塑性はり要素のM-φおよび弾塑性回転バネのM-θ曲線を示す。M-θ曲線では前述のバネ定数を使用した。また、材料特性は実験結果と比較するため、圧縮試験結果およびミルシート値を用いた。

材料特性

コンクリート	$\sigma_{ck} = 43.82 \text{ N/mm}^2$	P C 鋼棒	SBPR930/1080
	$E_c = 3.26 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$		$\sigma_{py} = 1062 \text{ N/mm}^2$
鉄筋	SD345 D13		$E_s = 1.99 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
	$\sigma_{sy} = 371 \text{ N/mm}^2$		
	$E_s = 1.88 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$		

計算結果を図-17, 18に示す。(実線: 計算値

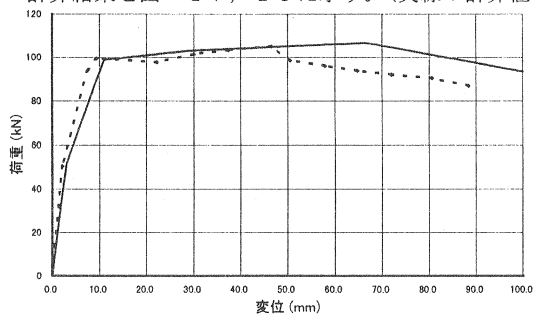


図-17 計算結果(case1)

点線: 実験値)

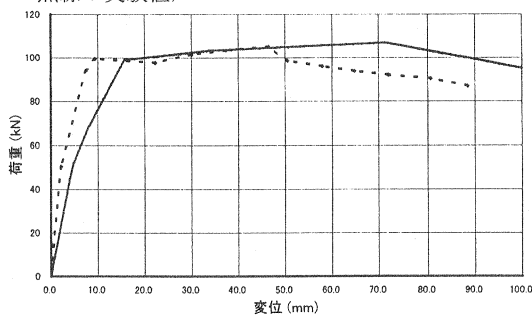


図-18 計算結果(case2)

計算値と実験結果はほぼ一致しており、解析モデルは妥当であることがわかる。

また、case1 と case2 を比較すると、ひび割れ時の変形量が大きくなっており、降伏後のグラフ形状は違いは見られない。よってひび割れ-降伏時は各段に設けられた目地が変形を負担しているが、降伏後は、再下段の目地のみによって変形を負担している。

図-19~21に变形図を示す。

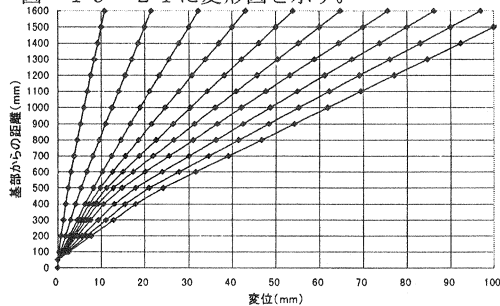


図-19 変形図(case1)

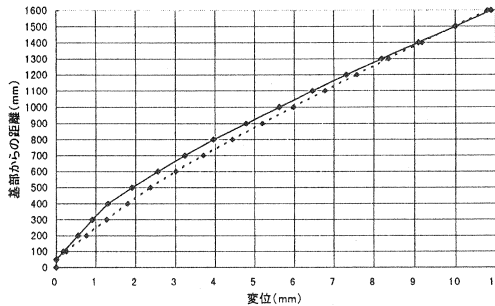


図-20 変形図 case1 と case2 の比較 変位 10mm

点線 case1 実線 case2

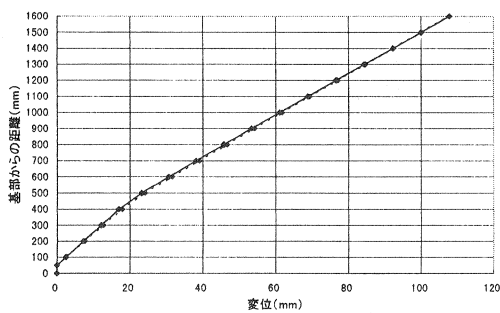


図-21 変形図 case1 と case2 の比較 変位 100mm

点線 case1 実線 case2

5. まとめ

- (1) 耐力は場所打ち試体および PRCpca 供試体とも同等であった。変形性能は、PRCpca 供試体には顕著な主筋の座屈によるコンクリートの剥離・剥落が生じず場所打ち供試体より優れていた。
- (2) PRCpca 構造のせん断破壊は生じず、曲げ破壊が先行することが判明した。
- (3) 鉄筋使用の PRCpca 構造は場所打ち構造と同等の減衰定数を有している。
- (4) 鉄筋使用の PRCpca 構造は、場所打ち構造と同様に RC 構造の地震時水平保有耐力の照査を適用することが出来る。また、弾塑性フレーム解析においても、本構造をモデル化することが可能である。