

鋼材付着とプレストレス率が異なるスラブ付き PRC 架構の耐震性能評価

(その1 実験概要および実験結果)

プレストレスト鉄筋コンクリート
鋼材付着性状 プレストレス率

スラブ
耐震性能評価

正会員 ○北山 和宏*1 同 晉 沂雄*2

1. はじめに

最新研究成果よりプレストレスト鉄筋コンクリート (PRC) 部材の耐震性能評価手法¹⁾が提示されつつある。しかし、実建物を模擬し直交梁を含むスラブを有する実験研究²⁾は限られている。スラブが付くと梁上下端引張時のプレストレス率 (λ , 部材断面の曲げ終局強度に対する PC 鋼材の寄与率¹⁾) が大きく異なる可能性があり、これが梁部材の耐震性能に与える影響が高いと考えられるが、スラブを付加し梁上下端引張時の λ の違いに着目した実験研究は非常に少ない。またこの際、PC 鋼材の付着性状が梁の各種限界状態等の耐震性能に影響するが、スラブを付加した上で PC 鋼材の付着性能の違いを考慮した実験事例も殆どなく、性能評価型設計法の確立のための資料は未だ十分ではない。そこで本研究では、直交梁を含むスラブ付き PRC 柱梁部分架構の静的載荷実験を行い、T 形梁の上下端引張時の λ と PC 鋼材の付着性能の違いがその耐震性能に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図1に試験体概要、表1に試験体諸元、表2に使用鋼材の材料特性を示す。試験体はスラブと直交梁を有する立体十字形3体であり、PC鋼材の緊張直後にシース管にグラウトを注入した。試験体No.1では上下PC鋼材に $\phi 21$ を使用し、梁上下引張時の λ の違いによる影響を検討する。PC鋼材の付着性状による影響を検討すべく、試験体No.2では上下PC鋼材にD22を用いた。試験体No.3では上端PC鋼材に $\phi 21$ 、下端PC鋼材に $\phi 13$ 、梁上端主筋に2-D13を配筋し、上下PC鋼材量と梁主筋量を変化させることで上下端引張時の λ を等しく設定した。表1に示す λ の計算の際、上端引張時には全幅のスラブ筋耐力を考慮し、下端引張時にはスラブ筋耐力を無視した。梁断面を $250 \times 400\text{mm}$ 、柱断面を $350 \times 350\text{mm}$ 、柱芯から梁端部支持点までを $1,600\text{mm}$ 、梁芯から上柱加力点及び下柱支持点までを $1,415\text{mm}$ とした。梁あばら筋、直交梁、柱及びスラブの配筋は全試験体共通とし、スラブの協力幅の検討のため片側のスラブ幅は梁スパンの0.2倍 (640mm) とした。全試験体は柱梁曲げ耐力比 (梁曲げ終局強度¹⁾ に対する柱曲げ終局強度³⁾ の比) を2以上とし、梁曲げ破壊するように設計した。

2.2 実験方法

図2に加力装置を示す。梁両端はローラー支持、柱脚はピン支持とし、柱頭の加力点に鉛直・東西・南北方向のジャッキを取り付けた。柱に一定の圧縮軸力を導入後、層間変形角 (R : 頂部加力点の水平変位/頂部加力点から下柱支持点までの距離 ($2,830\text{mm}$)) 0.25% を1回、 0.5% を2回、1, 1.5, 2,

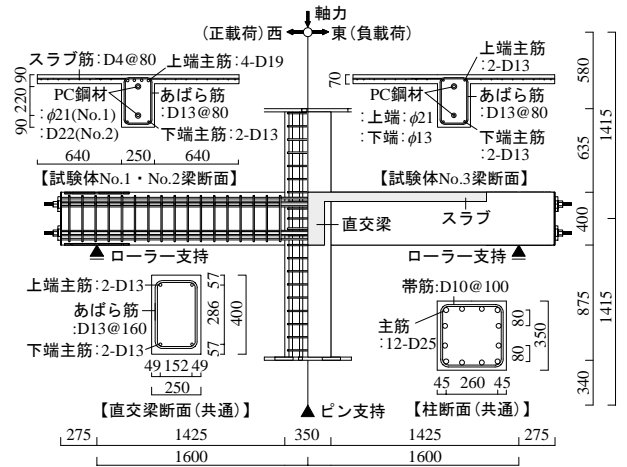


図1 試験体概要 (単位:mm)

表1 試験体諸元

試験体名	No.1	No.2	No.3	
コンクリート圧縮強度	67.7MPa	68.1MPa	67.9MPa	
グラウト強度	53.5MPa	53.5MPa	57.2MPa	
梁	断面 250mm × 400mm			
	PC 鋼材	上端	上下共 1- $\phi 21$	1- $\phi 21$ (B種1号)
		下端	(B種1号)	(B種1号)
	主筋	上端	4-D19 (SD345)	2-D13 (SD345)
		下端	2-D13 (SD345)	
	あばら筋 $\square D13@80$ (SD345)			
プレストレス率 λ	上端引張	0.40	0.43	
	下端引張	0.79	0.81	
柱	断面 350mm × 350mm			
	主筋	12-D25 (SD490)		
	帯筋	$\square D10@100$ (SD345)		
	軸力(軸力比)	760kN ($\eta:0.1$)		
スラブ	幅	1530mm		
	厚	70mm		
スラブ	スラブ筋(本数) D4@80 (SD295A) (総16本)			
	柱梁曲げ耐力比	2.3	2.2	3.8

* $\lambda = M_p / (M_p + M_r)$, ここで M_p : 終局曲げ強度の PC 鋼材負担分, M_r : 終局曲げ強度の普通鉄筋負担分

表2 使用鋼材の材料特性

	径	規格	降伏応力度	引張強さ	降伏ひずみ	弾性限界ひずみ ²⁾
鉄筋	D4 ¹⁾	SD295A	368MPa	444MPa	0.37%	-
	D10	SD345	367MPa	541MPa	0.21%	-
	D13	SD345	371MPa	571MPa	0.18%	-
	D19	SD345	357MPa	538MPa	0.19%	-
	D25	SD490	534MPa	713MPa	0.30%	-
PC 鋼材 ¹⁾	$\phi 13$	B種1号	1033MPa	1106MPa	0.73%	0.41%
	$\phi 21$		1001MPa	1126MPa	0.73%	0.43%
	D22		1007MPa	1137MPa	0.73%	0.42%

¹⁾ 鉄筋 D4 と PC 鋼材の降伏点は 0.2% オフセット法により定めた。

²⁾ 弾性限界ひずみは 0.01% オフセット法により定めた。

3, 4% を3回ずつ1方向正負交番繰り返し載荷し、試験体の損傷状況に応じて+5%まで押切載荷した。

3. 実験結果

3.1 荷重-変形関係

図3に層せん断力-層間変形角関係を、図4には試験体 No.1 と

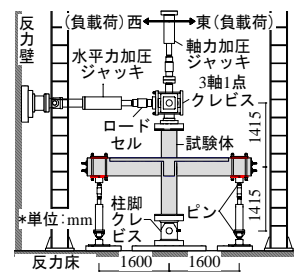


図2 加力装置

No.3 における $R=+4.0\%$ の 1 サイクルまでの東梁せん断力-梁部材角関係を示す。層せん断力は測定した梁端せん断力を用い力の釣り合いより求めた。両図には梁主筋降伏時、PC 鋼材弾性限界時、PC 鋼材降伏時及び目視で確認したかぶりコンクリート圧壊時を併せて示す。スラブ筋は梁主筋より僅かに早く若しくはほぼ同時に降伏し始め、柱主筋は全試験体で降伏しなかった。丸鋼 PC を使用した試験体 No.1 では梁主筋降伏後 PC 鋼材が弾性限界に達したのに対し、本稿（その 2）で述べるように付着の良い試験体 No.2 では先に PC 鋼材の弾性限界に至り、PC 鋼材

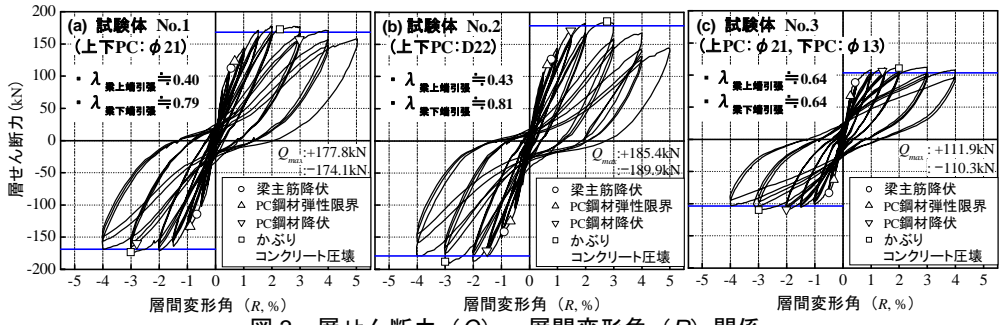


図 3 層せん断力 (Q) - 層間変形角 (R) 関係

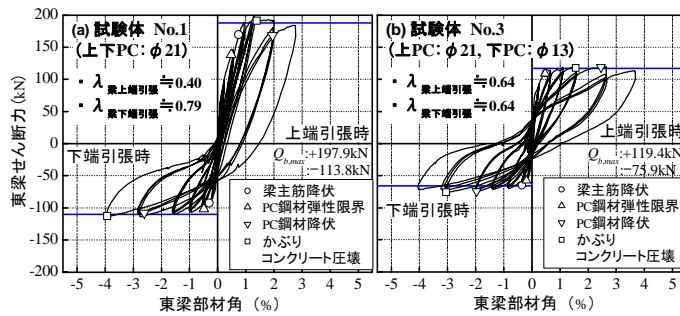


図 4 梁せん断力 (Q_b) - 梁部材角 (R_b) 関係 (東梁)

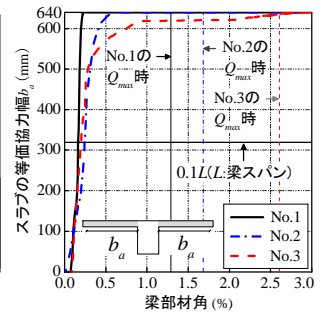


図 6 等価協力幅の推移

降伏が最も早かった。相対的に細い PC 鋼材を配した試験体 No.3 の下端引張時には PC 鋼材の弾性限界到達が梁主筋降伏より若干早かった。全試験体で梁危険断面近傍のコンクリートが剥落し耐力低下が生じ、特に PC 鋼材降伏が先行した試験体 No.2 ではコンクリートの損傷進展に伴い耐力低下が著しかった。図中の水平線は文献 1) による梁曲げ終局耐力と最大層せん断力計算値である。この際、上端引張時のスラブ筋は全幅有効とし、最大耐力の計算値は実験値とほぼ一致した。

図 4 より、T 形梁の上下端引張時の λ に差異が生じるほど上下引張時の履歴特性及び挙動が異なり、 λ が高い方の残留変形若しくは残留変形率が小さくなること (図 4(a))、またスラブが付く場合にも λ が等しいと梁変形及び残留変形が概ね同程度になること等が確認できる。

3.2 破壊性状

図 5 に実験終了時のひび割れ状況を示す。全試験体で変形の増大と共に梁曲げひび割れが生じ、その後梁危険断面近傍でコンクリートの圧壊と剥落が進行した。梁上下引張時の λ が異なる試験体 No.1 と No.2 では、 λ の小さい上端引張時の損傷が下端引張時より激しく、異形 PC を用いた試験体 No.2 のひび割れ発生が若干多かった。一方、梁上下引張時の λ を同値と

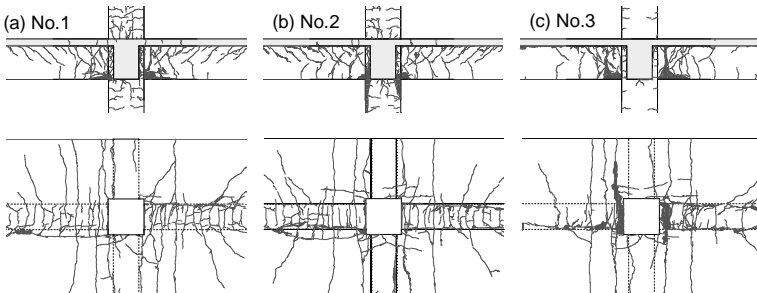


図 5 ひび割れ状況

した試験体 No.3 では梁上下のひび割れ状況がほぼ等しかった。スラブが付く場合、下端引張時の中立軸深さが相対的に小さくなるため、梁上端のコンクリート損傷が梁下端に比べ軽微となり、全試験体で梁下端筋の座屈と試験体 No.3 ではその破断もみられた。前述した鋼材の降伏状況及び破壊性状により、全試験体の破壊モードは梁曲げ破壊と判断した。

3.3 スラブの等価協力幅

図 6 にスラブの等価協力幅 (b_a) の算定結果を示す。ここでは引張側となるスラブを対象とし、全スラブ筋 (片側) が降伏した時に対し、梁危険断面位置のスラブ筋引張力の合計が占める割合として b_a を評価した (式(1)²⁾)。この際、スラブ筋の応力度-ひずみ関係はバイリニアとし、降伏ひずみを超えたスラブ筋の応力度を降伏応力度とした。その結果、全試験体で b_a は概ね同様に増加し、梁部材角 0.3% 以前に梁スパンの 0.1 倍を超え、最大層せん断力以前に梁スパンの 0.2 倍に達した。以上の結果は、文献 2) のスラブ付き立体十字形 PRC 試験体の b_a の算出結果とほぼ同様である。同文献では丸鋼 PC を用いており、梁上下端引張時の λ が本実験とは異なるが、これらのことから梁上下端引張時の λ 及び PC 鋼材の付着性状の違いはスラブの協力幅に殆ど影響しないと考えられる。

$$b_a \cdot t \cdot p_t = A_{ef} = \sum_{i=1}^n (\sigma_{ii} \cdot A_i) / \sigma_y \quad (1)$$

ここで、 t はスラブ厚、 p_t はスラブ筋比、 A_{ef} は有効スラブ筋量、 n 、 σ_{ii} 、 A_i 及び σ_y は引張側スラブ筋の本数、応力度、断面積及び降伏応力度である。

4. まとめ

本稿では本研究の実験概要と実験結果について報告した。そのまとめは本稿 (その 2) に併せて示す。

[謝辞]及び[参考文献] 本稿 (その 2) にまとめて示す。

*1 首都大学東京 都市環境科学研究科建築学域 教授 工博
*2 首都大学東京 都市環境科学研究科 特任助教 博士(工学)

*1 Professor, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.
*2 Research Assistant Professor, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.