

鋼材係数を変数としたアンボンド PCaPC 圧着接合骨組の耐震性能評価
(その2 実験結果の考察)

アンボンド PC 鋼材 十字形柱梁骨組
PCaPC 圧着工法 スラブ
鋼材係数 耐震性能評価

正会員 同 同 同
○苗 思雨*1
今村 俊介*2
晉 沂雄*3
北山 和宏*4

1. はじめに

本稿では(その1)に続き、実験結果の考察を行う。

2. 実験結果の考察

2.1 スラブの等価協力幅

図1に立体試験体 PCJ15 におけるスラブの等価協力幅 (b_a) の算定結果と梁部材角 (R_b) との関係を示す。本研究では正載荷時に引張側となる東側スラブを対象とし、式(1)¹⁾を用いて b_a を評価した。同式は実験から得られた梁危険断面位置でのスラブ筋の引張力と全スラブ筋の引張降伏力の割合により b_a を評価するものである。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見なした。スラブの協力幅 b_a は、 $R_b=0.15\%$ 時に梁スパンの 0.1 倍を超え、最大層せん断力以前に全幅に達した。

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

ここで、 t はスラブ厚、 A_{ef} は有効スラブ筋量、 p_t はスラブ筋比、 n 、 σ_{ti} 、 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。

2.2 梁部材の残留変形率

図2に梁部材の残留変形率 (r_b) - 梁部材角 (R_b) 関係を示す。平面試験体 PCJ13 と PCJ14 では、正負ピーク時梁部材角の和に対する正負梁残留部材角の和の比を、立体試験体 PCJ15 では上端と下端引張時それぞれの残留梁部材角をピーク時梁部材角で除した値を r_b とした。鋼材係数が相対的に高い試験体 PCJ14 及び PCJ15 (鋼材係数 0.17) の下端引張時には、PC 鋼材の塑性化が遅れ r_b の値が小さくなり、ばらつきが大きい小変形時を除き両者はほぼ同様に推移した。一方、試験体 PCJ13 (鋼材係数 0.09) では鋼材係数が小さいため PC 鋼材が早期に弾性限界 ($R_b=0.87\%$) に至り、最大梁せん断力後に PC 鋼材が降伏したことから、試験体 PCJ14 及び PCJ15 の下端引張時より r_b が大きくなる傾向を示した。また、試験体 PCJ15 の上端引張時にはばらつきが見られた小変形時を除き、

スラブ筋の全降伏 ($R_b=1.6\%$) と共に r_b が増大し、下端引張時の r_b より大きい結果となった。最大層せん断力時の r_b は試験体 PCJ13 で 0.11、試験体 PCJ14 で 0.05 となり、試験体 PCJ15 の下端と上端引張時にはそれぞれ 0.05 と 0.22 であった。

図2の破線は既往研究の提案式(2)²⁾による梁部材の残留変形角 (r) を残留変形率 ($r_b=r/R_p$) に直した値である。同図より、鋼材係数が 0.17 の試験体 PCJ14 及び PCJ15 の下端引張時の小変形時においては推定値と実験値が対応しないが、梁変形の増加に伴い推定値が実験結果を概ね評価できたと考えられる。一方、試験体 PCJ15 の上端引張時及び試験体 PCJ13 については、 r_b の推定値と実験値は殆ど対応せず、実験結果を過小評価した。

$$r = 0.3(1.1 - \lambda) \cdot (R_p \times 100)^{(3+\lambda)/2} / 100 \quad (2)$$

ここで、 R_p は経験最大部材角、 λ はプレストレス率²⁾ (終局曲げ強度の PC 鋼材負担分/終局曲げ強度の鋼材負担分) とし、平面試験体及び立体試験体 PCJ15 の下端引張時の λ は 1、スラブ付きの立体試験体 PCJ15 の上端引張時には 0.93 である。

2.3 梁部材の最大残留目開き幅

図3に梁部材の最大残留目開き幅 (w_{max}) - 梁部材角関係を示す。本研究では図3に示す梁危険断面近傍 (柱面及び梁面からそれぞれ 50mm, 40mm) に設置した変位計の出力を用い、両変位計測定値を直線補間した時の引張縁変位を w_{max} とした。鋼材係数の変化による w_{max} への影響は梁部材の残留変形率への影響 (図2参照) とほぼ同様な傾向を示し、スラブを有する立体試験体 PCJ15 の上端引張時の w_{max} が最も大きかった。最大層せん断力時の w_{max} は試験体 PCJ13 で 1mm、試験体 PCJ14 で 0.15mm であり、試験体 PCJ15 の下端と上端引張時にはそれぞれ 0.5mm と 2mm 程度となった。

図3の破線は、既往研究の提案式(3)²⁾による梁部材の最大残留ひび割れ幅 ($w_{r,f}$) の評価式であり、本研究ではこの式を準用してアンボンド PCaPC 梁部材の最大残留目開き幅 (w_{max}) の推定を試みた。小変形時においては実験結果と良く対応し推定値から実験値がほぼ評価できたが、梁部材角の増大と共に推定値が実験値を過小評価する傾向を示した。これについて、アンボンド PCaPC 部材では式(3)の n_f が 1 に近い値になるため、 w_{max} の推定値が実験結果を過小評価する結果になった可能性が考えられる。

$$w_{r,f} = \alpha \cdot (D - x_n) \cdot r / n_f \quad (3)$$

ここで、 n_f は最大曲げひび割れ幅に対する曲げ

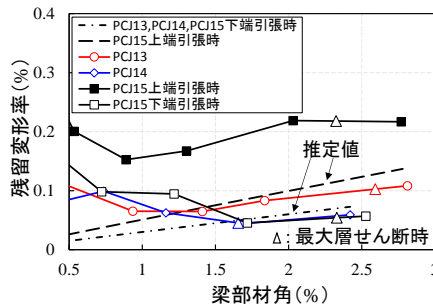
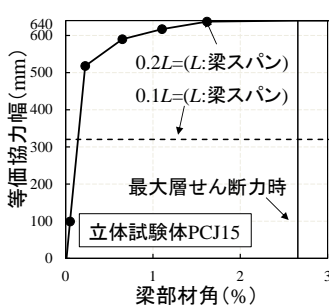


図1 スラブの等価協力幅 図2 梁部材の残留変形率-梁部材角関係

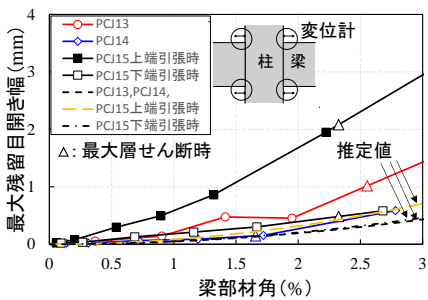


図3 梁部材の最大残留目開き幅

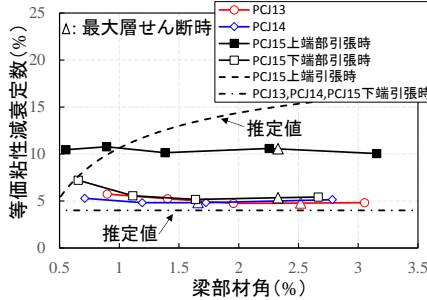


図4 梁部材の等価粘性減衰定数

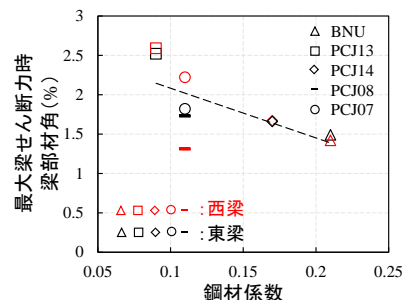


図5 最大梁せん断力時梁部材角-鋼材係数関係

ひび割れ幅総和の比 (2 と設定²⁾), α は全変形に対する曲げ変形の割合 (1 と設定²⁾), D は梁せい, x_n は中立軸深さ (PCJ13・PCJ14・PCJ15の上端引張時: $0.2D$, PCJ15の下端引張時: $0.1D$ と仮定), r は式(2)によるものである。

2.4 梁部材の等価粘性減衰定数

図4に梁部材の等価粘性減衰定数 (h_{eq}) - 梁部材角関係を示す。ここでは、梁せん断力 (Q_b) - 梁部材角 (R_b) 関係における同一変形の繰返し載荷の2回目加力サイクル時の h_{eq} を求めた。なお、立体試験体PCJ15では上端と下端引張時で $Q_b - R_b$ 関係の形状が異なるため、1サイクルを上端と下端引張時に分け、それぞれ半サイクルでの h_{eq} を計算した。平面試験体PCJ13及びPCJ14の h_{eq} は約5%とほぼ一定の値に留まり、鋼材係数の違いによる影響は見られなかった。一方、立体試験体PCJ15における下端引張時の h_{eq} は平面試験体PCJ14とほぼ同程度であったが、その上端引張時には10%程度と他の試験体より高い結果となり、これはスラブ筋の塑性化により梁の残留変形が大きくなったためと考えられる。

図4の破線は鋼材の付着性状とプレストレス率 (λ) を主要変数とした田島・北山による h_{eq} の推定値²⁾である。同図の立体試験体PCJ15の上端引張時において、推定値の左端が梁の塑性率が1となる時点であり、これは梁の復元力特性における接線剛性が初期弾性剛性の6%以下になったときとした²⁾。なお、同推定法ではアンボンドPCaPC梁部材で λ が1の場合、 h_{eq} の値が一定の値を保つとされている。図4より、 λ が1の平面試験体PCJ13, PCJ14及び立体試験体PCJ15の下端引張時では推定値が実験値をほぼ評価できた。しかし、立体試験体PCJ15の上端引張時には h_{eq} の推定値が実験結果を過大評価する傾向であった。

2.5 最大梁せん断力時の梁部材角

本実験における平面試験体の最大梁せん断力時の梁部材角 ($R_{b,max}$) と、筆者らの既往研究^{3),4)}による十字形骨組のアンボンドPCaPC梁部材の $R_{b,max}$ を併せ図5に、既往研究における試験体の主要諸元を表1に示す。同図の各試験体 (初期緊張力はPC鋼材降伏力の約0.7~0.8倍) ではコンクリート強度及びPC鋼材種類の違いにより鋼材係数が異なり、その縦軸は $R_{b,max}$ を、横軸は梁部材の鋼材係数を表す。図5より鋼材

表1 試験体の諸元

試験体名	梁幅	梁せい	梁長さ ^{*)}	PC鋼材	鋼材係数	コンクリート強度
BNU ³⁾	250mm	400mm	1,425mm	2-D32	0.21	76.6MPa
PCJ07 ⁴⁾				2- ϕ 23(B種1号)	0.11	79.2MPa
PCJ08 ⁴⁾						78.2MPa

^{*)} 梁圧着接合面から梁反曲点までの距離

係数が大きいほど $R_{b,max}$ は小さくなる傾向であり、未だ実験データ数は少なくばらつきがあるが、試験体PCJ08⁴⁾の西梁を除き、鋼材係数と $R_{b,max}$ には強い相関関係が見られた。

3. まとめ

本研究では鋼材係数及び試験体の形状を実験変数とした十字形アンボンドPCaPC部分骨組の静的載荷実験を行い、以下の知見を得た。

- (1) スラブの等価協力幅は、梁部材角 0.15%時に梁スパンの0.1倍を超え、最大層せん断力以前にスラブの全幅 (梁スパンの0.2倍) に達した。
- (2) 鋼材係数が0.09と小さい試験体では、早期にPC鋼材が弾性限界に到達したのに対し、鋼材係数を0.17とした試験体では梁のかぶりコンクリート圧壊後にPC鋼材が弾性限界に至った。また、鋼材係数が大きい方の梁のコンクリート損傷がより激しい傾向であった。
- (3) 鋼材係数を0.09と0.17とした場合 (立体試験体では下端引張時のみ)、各梁部材の最大残留変形率は約0.1と0.05となり、2倍程度の差が生じた。また、立体試験体の上端引張時にはスラブ筋の塑性化の影響により最大残留変形率が0.2程度と大きくなり、梁部材の最大残留目開き幅の推移からも概ね同様の傾向が見られた。
- (4) 鋼材係数の違いによる等価粘性減衰定数への影響は見られなかったが、スラブ付き立体試験体の上端引張時の等価粘性減衰定数は他の試験体に比べ2倍程度増大した。

[謝辞] 本研究は日本学術振興会科学研究費補助金・基盤研究C (課題番号: 15K06302, 課題名: アンボンドPC鋼材で圧着接合したプレストレスコンクリート架構の復元力特性評価法, 研究代表者: 北山和宏) により実施した。ここに記して御礼申し上げる。

[参考文献] 1) 島哲也, 北山和宏, 遠藤俊貴: 梁曲げ破壊型のスラブ付きプレストレス鉄筋コンクリート骨組の耐震性能と各種限界状態の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.2, pp.727-732, 2014.7. 2) 日本建築学会: プレストレストコンクリート造建築物の性能評価型設計施工指針 (案)・同解説, 2015. 3) 森山健作, 岸田慎司, 北山和宏の他: 圧着接合されたプレストレス・コンクリート柱・梁接合部の力学性状に関する研究 (その1 実験概要と破壊状況), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.613-614, 2002.8. 4) 鈴木大貴, 宋性勲, 北山和宏, 晉沂雄, 金本清臣: 柱梁曲げ強度比を実験変数としたアンボンドPCaPC圧着接合骨組の耐震性能に関する研究 (その1 実験概要および実験結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.711-712, 2015.9.

*1 首都大学東京大学院 博士前期課程
 *2 大成建設株式会社 (元首都大学東京 学生)
 *3 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 特任助教 博士(工学)
 *4 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科建築学域 教授 工学

*1 Graduate Student, Tokyo Metropolitan Univ.
 *2 Taisei Corporation
 *3 Research Assistant Professor, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.
 *4 Professor, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.