

高変動軸力を受ける RC 造ト形柱梁接合部の曲げ降伏後の軸崩壊に影響する因子の検討

ト形柱梁接合部	接合部降伏	軸崩壊	正会員	○萩原 大樹 ^{*1}	同	鈴木 裕介 ^{*3}
接合部横補強筋	変動軸力		同	前田 匡樹 ^{*1}	同	小池 拓矢 ^{*4}
			同	Shegay Alex ^{*2}		

1 はじめに

高層 RC 造建物における下層部のト形柱梁接合部では、地震時に高変動軸力が作用し、引張軸力下で接合部降伏し、その損傷が大きくなると高圧縮軸力下で軸崩壊が発生する可能性を実験的に確認している¹⁾。軸崩壊は建物の倒壊を招く可能性もある危険な破壊形式であるため、この軸崩壊のメカニズムを明らかにすることが重要である。

そこで本研究では、軸崩壊が発生するメカニズムを力学的に明らかにすることを目的とし、鉛直方向の力の釣り合いによる力学モデルを提案して、既往の実験データ¹⁾と比較分析する。

2 分析対象の実験概要

分析対象の実験は高層 RC 造建物の下層部を想定した、梁主筋が機械式定着されたト形柱梁接合部部分架構の静的載荷実験で、近年、東北大学で行われたものである¹⁾。試験体の主な設計変数は、柱梁強度比、接合部補強比(梁主筋と接合部横補強筋の降伏応力の比)、及び、変動軸力における軸力比であり、これらが接合部架構の破壊モードに及ぼす影響を検討している。その結果、各試験体の破壊モードは、梁曲げ降伏型(○)、接合部降伏型(△)及び接合部降伏が生じた後の軸崩壊型(×)の大きく3つに分類された。

図1に実験変数と破壊モードの関係を示す。図中の試験体は引張軸力作用時の柱梁強度比を1.2程度と共通で、変動軸力中の圧縮軸力大きさ及び接合部補強比が異なるものをプロットしたものである。図1より、柱梁強度比が小さい場合(≒1.2)であっても、接合部補強比を0.4以上確保することで梁曲げ降伏型となることがわかる。また、接合部降伏する試験体は、圧縮軸力比が大きい場合に軸崩壊することを示している。並びに、接合部補強比が小さくなると、軸崩壊に至る圧縮軸力比も小さくなることを示している。

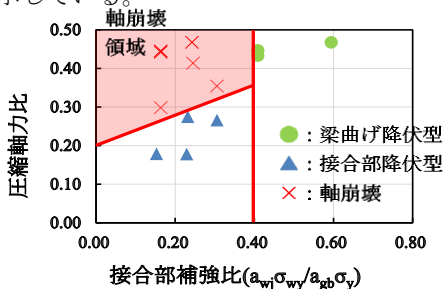


図1 圧縮軸力比—接合部補強比

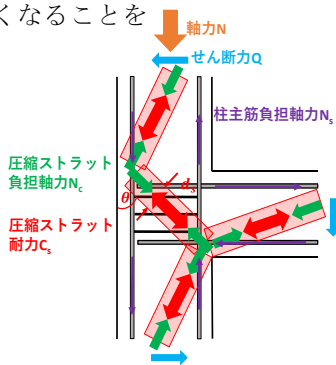


図2 軸崩壊メカニズムのイメージ

以上のように、上記の設計変数によって軸崩壊が発生する条件を仮定することはできたが、力学モデルを用いたメカニズムの検討には至っていない。

3 軸崩壊のメカニズム

そこで、本研究では軸崩壊のメカニズムを提案し、過去の実験データからそのメカニズムの検討を行った。

図2に軸崩壊メカニズムのイメージを示す。柱から接合部に作用する軸力を柱主筋とコンクリートで負担すると考え、柱主筋が負担できない分の軸力を図2のように試験体内部の斜め圧縮ストラットが負担していると仮定する。圧縮ストラットで負担する軸力 N_c とストラットの強度 C_s にストラットの角度 $\cos \theta$ をかけたものを比べ、 $N_c > C_s \cos \theta$ となるとき軸崩壊が発生すると仮定する。式(1)に N_c 、式(2)に C_s を示す。

$$N_c = N - N_s \tag{1}$$

$$C_s = \sigma_B \cdot b \cdot d_s \cdot a_1 \cdot a_2 \tag{2}$$

ここで、 N は最大耐力時圧縮軸力、 N_s は柱主筋が負担する圧縮軸力、 σ_B はコンクリート強度、 b はストラット幅、 d_s はストラットせい、 a_1 、 a_2 はコンクリートの拘束係数と損傷係数である。

d_s は柱断面の曲げ解析で求めた終局時の中立軸までの距離 x_0 をストラット角度補正して用いる。 a_1 はコンクリートの拘束による強度の上昇を考慮した係数であり、修正 Kent&Park 式²⁾から求める。式(3)に a_1 を示す。

$$a_1 = 1 + \frac{\rho_w \sigma_{wy}}{\sigma_B} \tag{3}$$

ここで、 ρ_w は接合部せん断補強筋比、 σ_{wy} は接合部補強筋の降伏強度である。

さらに、軸崩壊までの過程を3段階に分けて考える。図3に軸崩壊までの過程のイメージを示す。

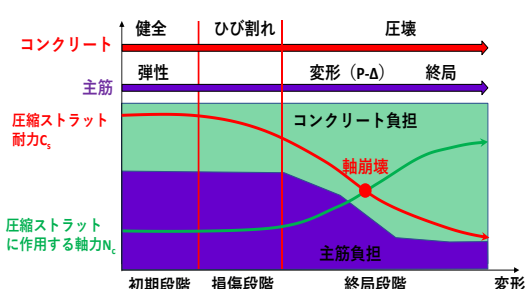


図3 各段階のイメージ

まず、初期段階ではコンクリートも主筋も健全であり、 a_1 は1.0で、主筋の負担軸力は $a_g \sigma_y$ である。ここで、 a_g は柱主筋の断面積、 σ_y は柱主筋の降伏強度である。次に、損傷段階ではコンクリートが損傷し、 a_2 が接合部の変形が進むにつれ減少する係数と仮定する。式(4)に a_2 を示す。

$$a_2 = 1 - 30|\gamma| \quad \text{式(4)}$$

ここで、 γ は接合部の変形角である。最後に、終局段階ではElwoodら³⁾が柱の軸崩壊モデルで提案する低減係数 α を用いて、これを柱主筋の強度 $a_g \sigma_y$ に乗じることで、柱主筋の負担軸力を低減した。式(5)に α を示す。

$$\alpha = \frac{d/L}{\frac{3}{4}\pi|\gamma| + \frac{d}{L}} \quad \text{式(5)}$$

ここで、 d は柱主筋径、 L は梁せいとする。図4に低減係数と接合部変形角の関係を表したグラフを示す。図4から低減係数 a_2 と α は接合部の変形角が大きくなるにつれて減少し、 α は柱主筋径によっても変化することがわかる。

過去の実験データ¹⁾⁴⁾を使用してメカニズムの検討を行った。図5、図6、図7に各段階の $N_c/C_s \cos \theta$ を縦軸、 β_j を横軸としたグラフを示す。 β_j は接合部降伏時の接合部強度低下率である⁵⁾。 β_j が0.95以上の試験体は1体だけを除いて梁曲げ降伏している。図5より、初期段階では軸崩壊が発生する試験体は存在しない。図6より、損傷段階では2体だけ $N_c/C_s \cos \theta > 1$ となっている試験体が存在する。この2体は最終破壊形式が軸崩壊であり、2体とも他の試験体よりも小さい層間変形角で軸崩壊が発生している。早いものはこの段階で軸崩壊が発生すると考えられる。最後に図7より、終局段階では軸崩壊した多くの試験体が $N_c/C_s \cos \theta > 1$ もしくは $N_c/C_s \cos \theta > 0.95$ の範囲に入っており、逆に接合部降伏や梁曲げ降伏した試験体は $N_c/C_s \cos \theta < 1$ の範囲に入っている。以上の検討から、破壊が進むにつれ、おおよそ軸崩壊と他の破壊モードを区別できるため、当モデルは軸崩壊の発生を力学的に評価し得ると考えられる。

4 まとめ

柱から接合部に作用する軸力を柱主筋とコンクリートに分けて、接合部の変形角を考慮した係数を用いた接合部の軸崩壊のメカニズムを提案し、検討を行った。その結果、軸崩壊発生の有無を力学的に評価できる可能性を示した。

謝辞

本研究は、(一社)ニューテック研究会の「機械式定着工法研究委員会」の研究の一部として実施したものである。ここに記して、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 晉 沂雄, 村上 久志, 西田 智康, 小池 拓矢, 他: RC 造ト形柱梁接合部の構造性能に接合部補強筋及び変動軸力が及

ぼす影響, その1~6, 日本建築学会大会学術講演梗概集, その1~2, pp.519-520, 2017, その3~4, pp.653-654, 2018, その5~6, pp.99-100, 2019

- 2) Park R, Priestley MJN, and Gill DW (1982): Ductility of square-confined concrete columns. Journal of Structural Division ASCE, 108(No. ST4): 929-590
- 3) Elwood KJ, and Moehle JP (2005): Axial capacity model for shear-damaged columns. ACI Structural Journal, 102(4): 578-587
- 4) 田才 晃, 他: 機械式定着工法を用いた RC 造ト形柱梁接合部の構造性能に集中補強筋および直交梁が及ぼす効果に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol39, No2, p193-198, 2017
- 5) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準(案)・同解説, 2016

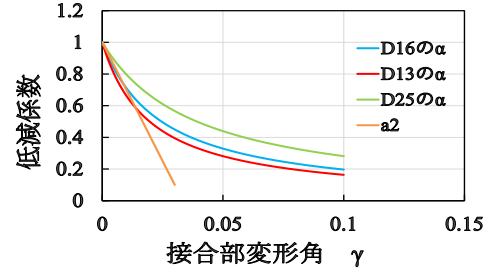


図4 低減係数と接合部変形角の関係

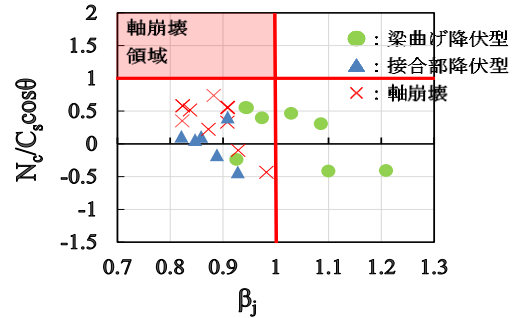


図5 初期段階の $N_c/C_s \cos \theta$ と β_j の関係

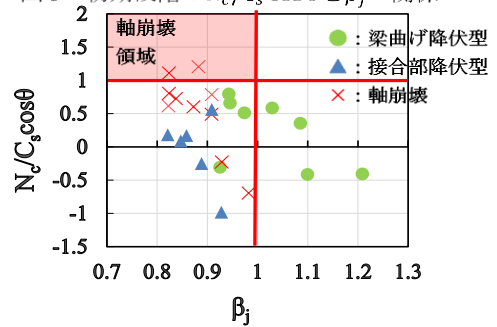


図6 損傷段階の $N_c/C_s \cos \theta$ と β_j の関係

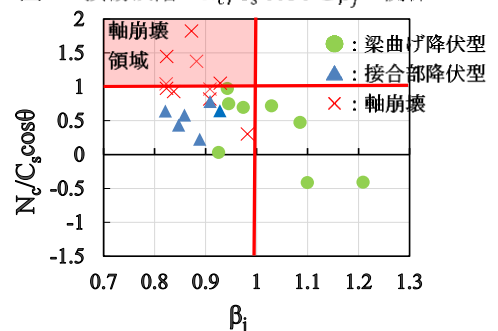


図7 終局段階の $N_c/C_s \cos \theta$ と β_j の関係

^{1*}東北大学 ^{2*}東京工業大学

^{3*}大阪市立大学 ^{4*}(株)鈴木建築設計事務所

^{1*}Tohoku University ^{2*}Tokyo Institute of Technology,

^{3*}Osaka City University ^{4*}Suzuki Architectural Design Office Co, Ltd