

高変動軸力下で接合部降伏が生じる RC 造架構の崩壊挙動と構造性能評価

その2 崩壊挙動の分析及び評価

ト形柱梁接合部 変動軸力 接合部降伏
RC 造架構実験 層崩壊

正会員 ○西田 智康*1 同 加川 大樹*2
同 鈴木 裕介*3 同 前田 匡樹*4
同 藤原 薫*5 同 迫田 丈志*6

1 はじめに

その1では研究の目的、実験概要、及び実験結果について述べた。その2では架構の崩壊挙動に関する詳細な分析及び構造性能の評価を行う。

2 崩壊挙動に関する考察

2.1. 層の変形集中割合

図-1に全体変形角に対する各層の層間変形角の推移を示す。両試験体とも最終破壊前まで特定層へ変形が集中することはなく、全体崩壊形の様相を呈した。F12-20TC5試験体は荷重面外方向への損傷により接合部の曲げ耐力が低下後、上層の変形が大きくなった。

2.2. 梁の軸方向伸びによる応力状態の変化

図-2に示すように、荷重サイクルが進むに従って梁に圧縮軸力が観測された。これはひび割れの発生や主筋の降伏に伴う梁の軸伸びが周囲の柱に拘束されていることに起因する。図-3には実験結果から得られた+1.5%サイクルピーク時の応力状態と鉄筋の降伏状況を示す。梁に圧縮軸力が生じることで柱に付加曲げモーメントが発生し、2層柱の反曲点位置が上下に移動した。その結果、中間層柱脚部の負担応力が増加したため柱脚部の引張主筋でも鉄筋の降伏が見られ、接合部降伏と柱降伏が混在した。また、本報その1で前述したように、部分架構実験と比較して架構の最大耐力が増加したことは、梁に圧縮軸力が生じ、曲げ強度が増加したことが起因していると考えられる。

2.3. 圧縮柱と引張柱の負担せん断力の比較

図-4に各柱の負担せん断力と全体変形角の関係を示す。比較を行うに当たり、前述した軸伸びにより生じた梁軸力の影響があまり含まれないと考えられる2層に設置されているロードセルのせん断力を用いた。圧縮側では部分架構実験時を上回り、引張側では負加力時に下回る結果となり、1スパン架構の場合には部分架構実験で想定されるよりも圧縮柱側に応力が集中していた。

4. 接合部降伏を表す解析手法を応用した実験結果の評価

4.1. 引張軸力による柱部材の剛性低下

本試験体は1スパン架構であるため、引張軸力による柱部材の剛性低下の影響が大きい。降伏点の剛性低下率は菅野式³⁾によって算出されるが、引張軸力を受ける部材は適用範囲外である。そこで引張軸力の影響を曲げ剛性に

直接評価することのできる平面保持を仮定した断面解析を併用することで、引張軸力下での柱部材の剛性低下率 α_y^- を式-1のように略算的に求める。

$$\alpha_y^- = \frac{K^-}{K_0} \cdot \alpha_{y0} \quad \text{(式-1)}$$

ただし、 α_{y0} ：軸力=0kN時の剛性低下率（菅野式により算出）

K^- ：引張軸力時の断面解析による降伏点剛性

K_0 ：軸力=0kN時の断面解析による降伏点剛性

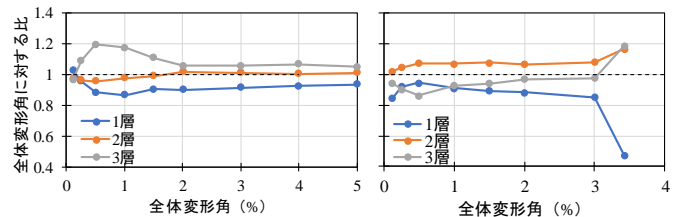


図-1 各層の変形集中（左：F12-20TC2、右：F12-20TC5）

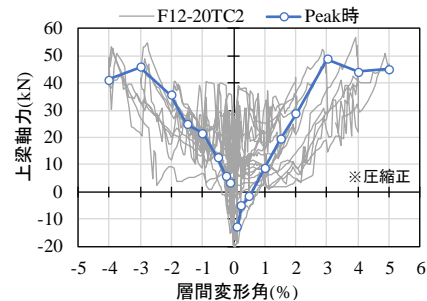


図-2 梁に生じた軸力（F12-20TC2、上梁）

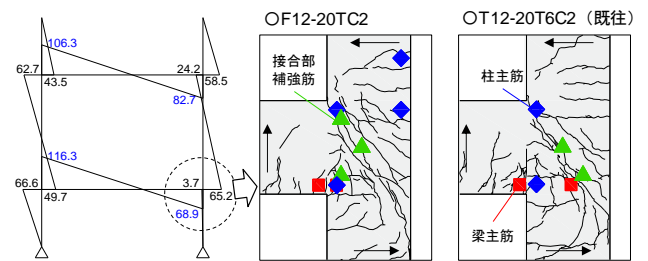


図-3 応力状態と破壊過程の変化（1.5%時）

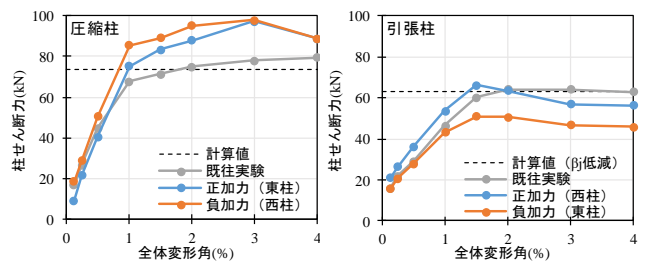


図-4 各柱の負担せん断力と全体変形角の関係（F12-20TC2）

4.2. 梁の軸変形及び軸力の評価

文野ら⁴⁾は図-5に示すような剛体回転モデルによって圧縮ストラットの縮みも考慮した上で前述したような梁の軸変形 δ_{ax} と回転角 θ の関係を解析的に評価し、断面内のコンクリートの応力が圧縮強度以下である場合、式-2を得た。

$$\delta_{ax} = (1 + 2\alpha - 2\sqrt{\alpha^2 + \alpha})D\theta, \quad \alpha = \frac{2kKL_c}{E_c bD} \quad (\text{式-2})$$

ただし、 k ：材端の圧縮歪の集中度を表す係数で1/4とする
 K ：軸拘束剛性
 K_0 ：軸力=0kN時の断面解析による降伏点剛性
 E_c ：コンクリートのヤング係数

軸拘束剛性 K は梁の両端に取り付く柱の水平剛性から求め、本試験体の梁では式-3のように算出される。柱の水平剛性は弾性理論による初期剛性に、菅野式や式-1で求まる剛性低下率を乗じたものとした。

$$K = \frac{N}{\delta_{ax}} = \frac{k_T \cdot k_C}{k_T + k_C} \quad (\text{式-3})$$

ただし、 k_T, k_C ：引張、圧縮柱の水平剛性

上記に従って実験時の梁の軸変形を評価すると、図-6のように $\pm 20\%$ の精度で概ね推定することが可能であった。

4.3. 変動軸力下で接合部降伏が生じる架構の数値解析

本実験における試験体では、接合部降伏によって架構にスリップ性状や接合部降伏が生じる柱の負担せん断力の低下が見られた。これらの現象を試験体パラメータのみにより簡易的に再現するために高山ら⁵⁾が提案する直列ばねモデルを用いた解析手法を応用する。

図-7, 8に解析モデルを示す。部材端ばねには Takedaモデルを用い、剛域は柱梁フェイス位置とした。骨格曲線は文献⁵⁾を基に算出し、前述した柱部材の剛性低下や梁

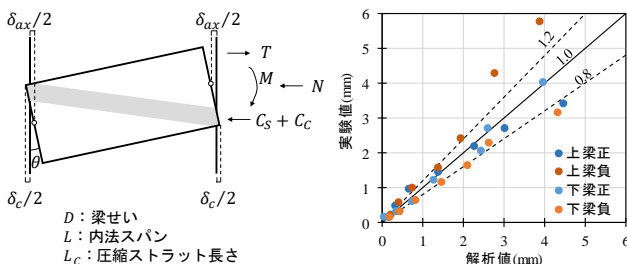


図-5 剛体回転モデル

図-6 梁軸変形の解析結果

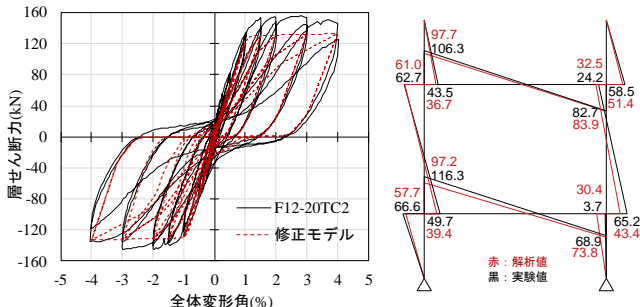


図-9 解析結果 (応力図は+1.5%時)

軸力による曲げ強度の増大を考慮した。さらに、引張軸力により接合部の剛性も低下することが考えられるが、今回は簡単のため引張側接合部ばねの初期剛性を一律 1/2 とした。

図-9, 10に解析結果を実験値と比較して示す。応力図には梁の軸伸びにより生じた応力を付加している。最大耐力は負側で実験値と同程度となり、引張軸力による剛性低下も考慮出来た。また接合部ばねに変形が集中することでスリップ性状を示し、接合部降伏による減衰性能の低下を表現することが出来た。圧縮柱と引張柱の負担応力の差や反曲点位置の変化も解析結果に表れ、応力図は全てのサイクルで実験値と概ね一致した。

5 まとめ

部分架構実験で接合部降伏や軸崩壊が生じたパラメータで3層1スパン架構に対して静的載荷試験を行い、以下の知見を得た。

- 1) 軸力レベルに関わらず、降伏後に特定層へ変形が集中するといった柱降伏による層崩壊形のような挙動は示さなかった。
- 2) 架構の破壊過程や応力状態は、梁に生じる圧縮軸力により部分架構実験時から変化が見られたが、全体としての構造性能に大きな影響は及ぼさなかった。
- 3) 引張軸力による剛性低下や梁の軸方向伸びにより生じる付加応力を適切に考慮し、接合部降伏を表現する既往の解析手法を応用することで、実験結果を評価することが可能であった。

【謝辞】及び【参考文献】

本稿その1にまとめて示す。

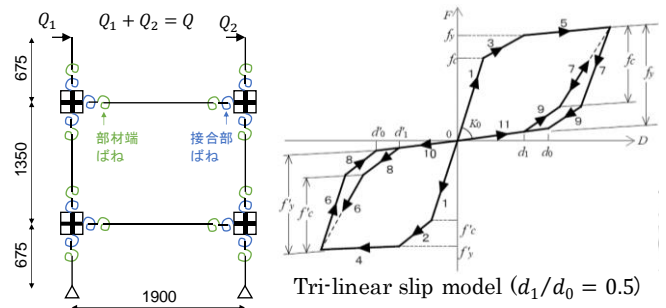


図-7 解析モデル

図-8 接合部ばねの復元力特性

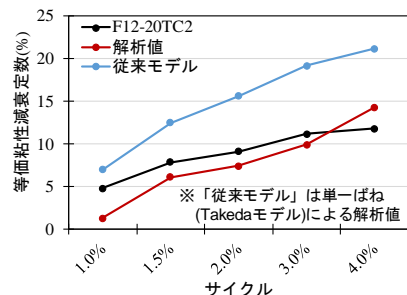


図-10 等価粘性減衰定数の解析値と実験値の比較

*1 大成建設(株)
 *2 前田建設工業(株)
 *3 大阪市立大学大学院工学研究科 准教授・博士 (工学)
 *4 東北大学大学院工学研究科 教授・博士 (工学)
 *5 (株)鈴木建築設計事務所
 *6 (株)堀江建築工学研究所

*1 Taisei Co., Ltd.
 *2 Maeda Co., Ltd.
 *3 Assoc. Prof., Graduate School of Eng., Osaka City University, Dr. Eng.
 *4 Professor, Graduate School of Eng., Tohoku University, Dr. Eng.
 *5 Suzuki Architectural Design Office Co., Ltd.
 *6 Horie Engineering and Architectural Research Institute Co., Ltd.