

## [76] 接合部からの鉄筋の抜け出しを考慮した鉄筋コンクリート骨組の変形解析

正会員 ○角 敬三（豊橋技術科学大学建設工学系）

稲田祐二（山下設計構造設計部）

喜連川昭夫（豊橋技術科学大学大学院）

中田信治（豊橋技術科学大学大学院）

### 1. 緒論

強震時の鉄筋コンクリート骨組の変形解析において、柱・はり接合部あるいは柱脚からの主筋の抜け出しによる付加変形が無視し得ないことは最近多くの研究者によって指摘されており、これを考慮した解析手法もいくつか提示されている。例えば、多田等は接合部内の局部付着応力—滑り特性の考え方を解析パラメータとして逐次積分により接合部端の鉄筋の抜け出し量を求め、これを含む部材端ヒンジ域のモーメント—回転角関係を導びいている。<sup>1)</sup>一方、野口等は接合部を含む十字型部材を対象とした非線型有限要素法解析を行い接合部パネルのせん断変形と主筋の付着劣化との関連について有意義な知見を提供している。<sup>2)</sup>

これ等の論文が接合部およびその近傍の変形性状の把握に重点をおいているのに対して、本研究では、接合部内の主筋ひずみ分布を直線に仮定するなど大胆なモデル化を行い接合部に接続する部材端のモーメントMと抜け出しによる付加回転 $\theta_s$ との関係を主筋の降伏以後も含めて bi-Linear に定式化しており、骨組全体の変形解析に容易に組み込めることを主眼においている。

### 2. 鉄筋の抜け出しによる付加回転の定式化

#### 2.1 単調載荷時の M— $\theta_s$ 関係

接合部内の主筋方向のコンクリートひずみを無視すれば主筋の抜け出し量 $\Delta s$ は、  

$$\Delta s = \int_0^{L_s} \epsilon_{st}(x) dx \quad (1)$$

と考えてよい。 $L_s$ は接合部端面から主筋が引張ひずみを生じはじめる点（コンクリートを剛と考えているから主筋の滑りが生じはじめる点とも考えてよい）までの距離を表す。主筋の降伏前 ( $\epsilon_{st} \leq \epsilon_{sy}$ ) では接合部内の付着応力は一定値でありその大きさは接合部端面の主筋ひずみ度 $\epsilon_{st}$ に比例すると仮定する。すなわち、

$$\tau_{av} = \alpha \cdot \epsilon_{st} \quad \text{但し } \alpha = 27.3 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2 \quad (2)$$

$\alpha$ の値は筆者が内部接合部について行った既往の実験から求めた定数で、その後行った図-6に示す主筋のひずみ分布測定に重点をおいた内部接合部の実験結果から得られた接合部内の $\tau_{av}-\epsilon_{st}$ 関係を式(2)と併記して図-1に示す。

接合部端の主筋応力 $\sigma_{st}$ 、 $\tau_{av}$ 、 $L_s$ の間には、

$$L_s = (\sigma_{st} \cdot A_{st}) / (\Sigma \sigma \cdot \tau_{av}) = (E_s \cdot D) / (4\alpha) \quad (3)$$

が成立し、 $L_s$ は主筋径のみによって決まるところとなる。

$$\text{従って、 } \Delta s = (L_s \cdot \epsilon_{st}) / 2 \quad (\epsilon_{st} \leq \epsilon_{sy}) \quad (4)$$

として抜け出し量が定まる。主筋降伏後 ( $\epsilon_{st} > \epsilon_{sy}$ ) は

図-2に示すように鉄筋はただちにひずみ硬化域に進展するとして降伏前で定義した $L_s$ と接合部内への降伏進展長さ $L_y$ を加えた点から滑りが生じはじめるとする。

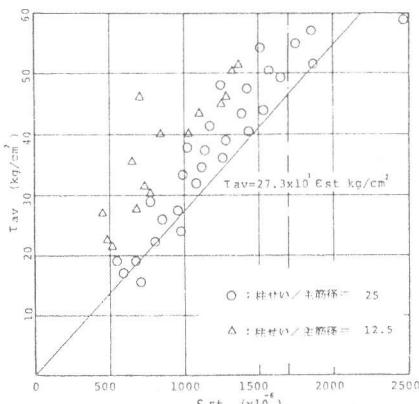


図-1 接合部内主筋の平均付着応力

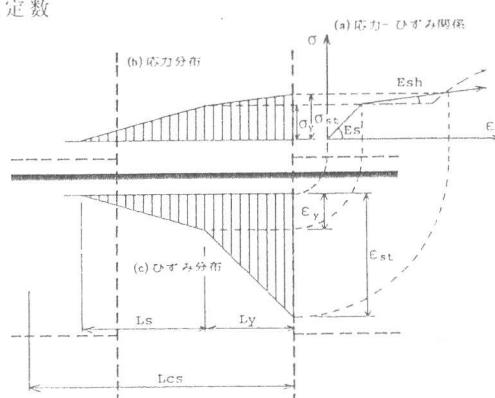


図-2 降伏後の接合部内ひずみ分布



を用いて接合部からの主筋の抜け出し量を直接測定し  $M - \theta_s$  関係を求めたものが図-7 の実験曲線である。

“柱成/鉄筋径”が小さくなるほど付着劣化がはげしくハーデスプリング型の履歴性状を示している。

繰返し荷重下の付着劣化の影響を履歴特性に取入れ

るために図-8 に示すような履歴モデルを考える。すなわち過去の最大変形点指向型モデルに対応する変形経路  $\theta_{3-8}$  に対し単調載加時の第2分枝の勾配  $K_{S2}$  に平行な経路として  $\rho_s \cdot \theta_{3-8}$  なる経路をたどるものとする。

係数  $\rho_s$  は“付着劣化係数”とでも呼ぶべき定数であり、定着長さに最も依存することはもちろん接合部パネルの補強程度、直交方向はりの有無、かぶり厚さ、繰返し回数、繰返し回数あるいは滑り振巾のレベル等にも影響される量である。

ここでは定着長のみに影響されるとして次のように定義する。柱成を C として、

$$\rho_s = 0 \quad (L_s \leq C) \quad (16)$$

$$\rho_s = 0.5 \quad (L_s - C) / (L_{cs} - C) \quad (17)$$

$$(C < L_s < L_{cs})$$

$$\rho_s = 0.5 \quad (L_s \geq L_{cs}) \quad (18)$$

上記で定義された  $M - \theta_s$  関係の計算結果を図-7 に実験結果とあわせて併記している。いづれにしろより合理的な  $\rho_s$  の決定は今後の課題である。

### 3. 骨組についての解析例およびその考察

鉄筋コンクリート骨組についての正負繰返し水平加力を行った既往の実験は、内部接合部を含むためには最少限 2 層 2 スパン規模になることからほとんど例がなく、外部接合部のみに限られる。ここでは詳細な実験データの整っているものとして小倉・田中等が実施した 2 層 1 スパンの水平加力試験を対象に取り上げ、前述した  $M - \theta_s$  関係を考慮した弾塑性解析を行い実験結果と比較検討した。試験体の寸法・配筋詳細は図-9 (C) および表-1 に示されている。

解析にあたっては、柱およびはり部材については滝沢の提案した擬似柔軟モデル（材料の構成関係からでなく部材レベルの実験結果から出発した解法）を用い荷重増分法で荷重-水平変位関係を求めた。すなわち任意部材についての基本式は次式で与えられる。

$$\begin{Bmatrix} d\theta_A \\ d\theta_B \end{Bmatrix} = [F] \begin{Bmatrix} dM_A \\ dM_B \end{Bmatrix} \quad (19) \quad , \quad [F] = \begin{bmatrix} f_{11} + 1/K_{SA} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} + 1/K_{SB} \end{bmatrix} \quad (20)$$

$[F]$  の主対角項のみに接合部からの主筋の抜け出しによる付加回転剛性が組み込まれることになる。

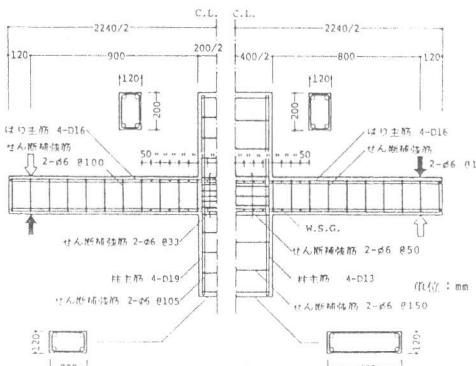


図-6 内部接合部試験体

の実験概要

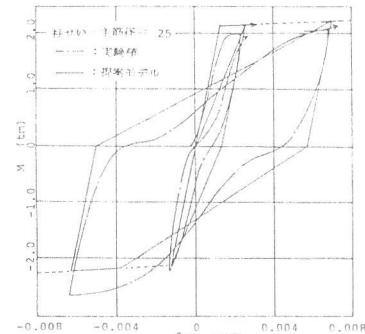


図-7  $M - \theta_s$  関係

(実験結果と計算値の比較)

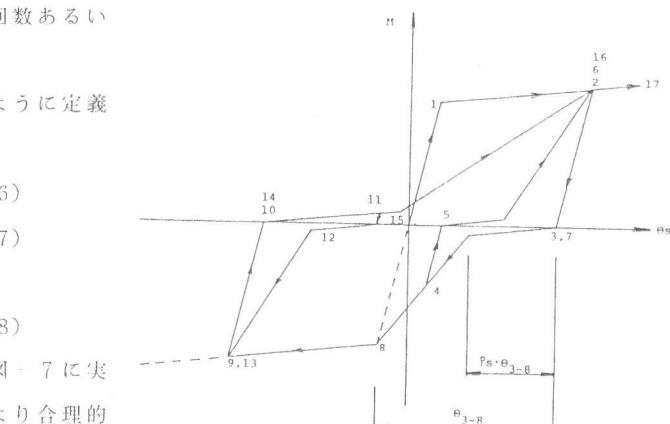


図-8 付着劣化を考慮した履歴モデル

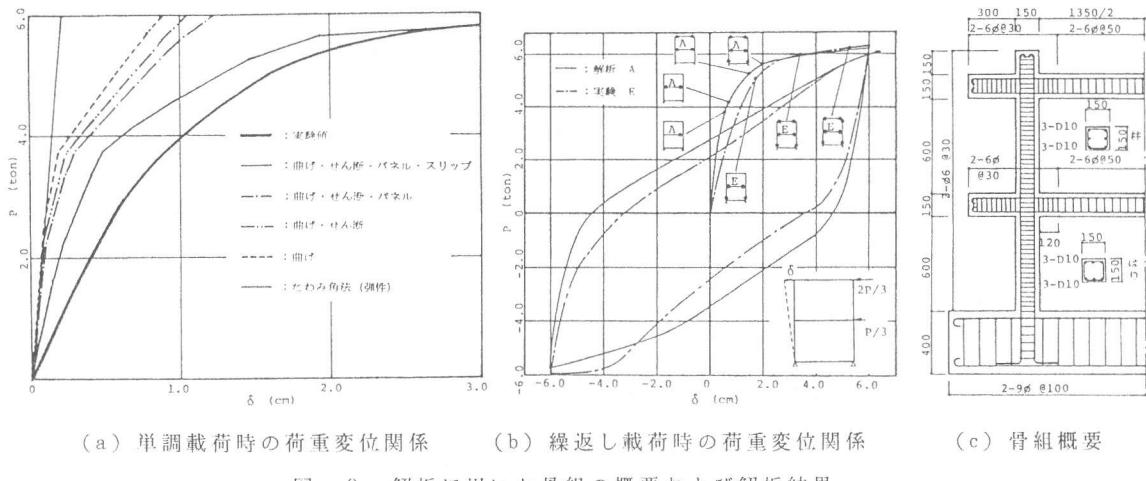


図-9 解析に用いた骨組の概要および解析結果

柱およびはり材の繰返し下の復元力特性は

Degrading Trilinear型とした。接合部パネルの荷重-せん断変形関係は遠藤が提案し青山等が定式化したものを用い復元力特性は部材と同様のタイプとした。“付着劣化係

表-1 解析に用いた骨組の材料定数

コンクリート Fc (kg/cm <sup>2</sup> )	鉄筋			柱軸方向 応力度 $\frac{F_c}{8}$
	$\sigma_y$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_y$ (%)	$E_s$ ( $\times 10^6$ kg/cm <sup>2</sup> )	
227	3630	0.191	1.90	

数”  $\rho_s$  の値は対象骨組が外部接合部のみからなり繰返し回数もわずかであることから  $\rho_s=0$  とした。

図-9 (a) に単調載荷時の  $P-\delta$  関係を、同図 (b) に変位  $\delta = \pm 6$  cmでの繰返し載荷時の  $P-\delta$  関係を示す。同図 (a) から明らかなように、平面保持に依拠した弾塑性解析のみでは骨組の剛性を正しく評価し得ず部材および接合部パネルのせん断変形を付加しても不十分で、抜け出しによる付加回転を考慮することによってはじめて解析結果は実験結果に大巾に歩み寄ることが判る。

#### 4. 結論

接合部内主筋ひずみを直線分布とし、実験から求めた降伏進展長さを用いることにより、 $M-\theta_s$  関係を Bi-linear に定式化することが出来た。繰返し荷重下の  $M-\theta_s$  関係は“付着劣化係数”  $\rho_s$  を導入することによりハーデスプリング型の復元力特性を表わし得ることを示した。定式化された  $M-\theta_s$  関係を用いて RC 骨組の弾塑性解析を行い実験結果に比較的よくあう  $P-\delta$  関係が得られた。 $\rho_s$  の具体的な決定が今後の課題である。

なお、本研究は昭和 57 年度文部省科学研究費「一般 (C)」の研究助成を受けて行われたことを付記する。

#### [参考文献]

- 1) 多田利正・武田寿一「RC 部材における材端塑性ヒンジの変形特性と隣接定着域の付着劣化過程に関する解析的研究」(その 1・その 2)、日本建築学会関東支部研究報告集、S 55、PP.125~132
- 2) 野口博・長沼一洋「RC 柱・はり接合部の非線型有限要素解析」日本建築学会大会学術講演梗概集、S 56.9 PP.1455~1458
- 3) 角徹三・下龍浩・稻田祐二「剛域からの鉄筋の抜け出しを考慮した RC 骨組の弾塑性解析」日本建築学会大会学術講演論文梗概集、S 56.9、PP.1407~1408
- 4) 森田司郎・角徹三「RC 柱・はり接合部におけるはり軸筋の接合部からの抜け出しについて」日本建築学会大会学術講演論文梗概集、S 47.10、PP.1099~1100
- 5) 角徹三・稻田祐二・喜連川昭夫・中田信治「はり柱接合部の付着劣化およびせん断性状に関する実験的研究」日本建築学会東海支部、S 58.2 (発表予定)
- 6) 森田司郎・角徹三・木口修二「RC 柱・はり接合部域におけるはり主筋の付着性状」日本建築学会大会学術講演梗概集、S 52.10、PP.1777~1778
- 7) 小倉弘一郎・田中礼治他「SD 5.0 を用いた RC 構造の耐震性能に関する研究・その 4-2 層骨組の水平加力実験」日本建築学会大会学術講演梗概集、S 55.9、PP.1653~1654
- 8) 滝沢春男“Notes on Some Basic Problem in Inelastic Analysis of Planar R/C Structures” 第 240 号 S 51.2、PP.51~61、第 241 号 S 51.3、PP.65~76
- 9) H.Umemura, H.Aoyama “Evaluation of Inelastic Seismic Deflection of R.C Frames Based on the Test of Members” Proc. of 4th W.C.E.E., Chile, 1961.1