## 付着特性が RC 部材の繰返し挙動に及ぼす影響の解析的検討

名古屋大学大学院 学生会員 松岡由高

中村 光, 国枝 稔, 上田 尚史 名古屋大学大学院 正会員

### 1. はじめに

曲げ破壊する RC 部材が地震動などの繰返し荷重を受ける場合,変位の増大とともにかぶりの浮き,剥落が生じ, 復元力が低下して終局状態に至る.そのため,終局状態に至るまでにはコンクリートと鉄筋の付着はかなり劣化し, 軟化域を含めた付着特性が RC 構造物の耐震性能に及ぼす影響は非常に大きいと推測される. しかしながら、これ まで RC 構造物の力学性能を解析的に評価する際には,鉄筋とコンクリートは完全付着と仮定される場合がほとん どであり、付着の影響については必ずしも明確にされていない、そこで本研究では、繰返し荷重を受ける曲げ破壊 型 RC 部材に対し付着特性を考慮した非線形有限要素解析を行い、その繰返し挙動への影響を解析的に評価した.

#### 2. 解析対象供試体

本解析では石橋らによって行われた、実物ラーメン高架橋柱の 1/2 スケ ールを想定した試験体のうち試験体 A1 を対象とした<sup>1)</sup>. 供試体概要ならび に試験体の材料特性を図-1,表-1に示す.載荷は一定軸力 1.0MPa下に おいて行われ、降伏変位の整数倍の変位毎に正負1サイクルずつ漸増交番 載荷された. 実験では,最大荷重となる 58vまでは紡錘型を示し,その後 徐々に逆 S 字型の卓越する挙動を示すようになる. 最終的にはかぶりの剥 落,鉄筋の座屈により 9δ,で荷重が低下している. 終局状態においてはか ぶりコンクリートが剥落し、軸方向鉄筋がはらみだし、損傷の集中する1 D 区間で圧縮を受けるコアコンクリートが徐々に粉体化もしくは細粒化し、 耐力が低下したと報告されている. なお本解析では, 鉄筋が座屈する前の 8δ<sub>v</sub>までを対象とした.

#### 3. 解析概要

本研究では、4節点アイソパラメトリック要素を用いた非線形 2次元有 限要素解析を行った.構成則には格子等価連続体モデルを用いた<sup>2)</sup>.軸方 向鉄筋はトラス要素で離散鉄筋としてモデル化し、付着特性は、コンクリ ートと鉄筋要素間のリンク要素に図-2 に示す付着応力-すべり関係を導 入することで考慮した. また図-2 に示すように最大付着応力後は、付着 応力があるすべり量 S 点まで線形的に低下するとし, S を解析パラメータ とした. さらに、その後一定となる付着応力を最大付着応力のα倍として 解析パラメータとした.要素分割は柱の要素寸法を40×40(mm),フーチン グ部を 200×200(mm)とし、フーチング内も離散鉄筋要素を用いて付着を考 慮することで,鉄筋の伸び出しを自動的に考慮した.また完全付着のモデ ルとも比較するため、軸方向鉄筋を離散鉄筋要素として完全付着と仮定し た解析も併せて行った.なお帯鉄筋は分散鉄筋モデルによりモデル化した.





表-1 材料特性 コンクリート

2.04

鉄筋

378.4

358.3

360

700

1150

供試体概要

'<sub>y</sub> (MPa)

 $f_{\rm t}$  (MPa) |  $E_{\rm c}$  (GPa)

[unit : mm]

↓ <sup>0</sup> <sup>+</sup>

16@70=1120

570

最大付着強度までの式

 $\tau = 0.55 \times 0.90 (f'_c)^{\frac{2}{3}}$ 

Ē

100=400

134

26.2

 $E_{\rm s}$ (GPa)

200200

 $f'_{\rm c}$ (MPa)

26.4

軸方向鉄筋

帯鉄筋

D19

仁

700

400

400

図-1

完全付着を仮定したモデルと、付着を考慮したモデル(S=0.6mm,α=0.2

キーワード 付着応力-すべり関係,離散鉄筋,有限要素法,RC柱,内部履歴

連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 工学部 9 号館 526 号室 TEL 052-789-4484 を仮定)の比較により、付着挙動が荷重-変位関係に及ぼす影響を検討した. 解析結果ならびに実験結果の荷重-変位関係を図-4に示す.完全付着の場合、 荷重-変位関係は実験結果に対し包絡線は妥当に評価できているが、内部履歴 は終局域まで紡錘型の挙動を示し、構造物の吸収エネルギーを過大に評価する 結果が得られた.付着を考慮したモデルでは、付着応力の低下により荷重-変 位関係の履歴が紡錘型から逆S字型に移行している挙動が妥当に評価できてい る.これらのことより完全付着を仮定した解析は履歴吸収エネルギーを過大に 評価する可能性が高いため必ずしも適切でなく、付着特性を考慮した解析手法 を積極的に採用するのが望ましいと考えられる.

### 5. 付着軟化勾配が荷重-変位関係に及ぼす影響

図-2 に示した付着応カーすべり関係の軟化後の一定付着応力に到達する時 のすべり量Sを変化させ、付着軟化勾配の相違が荷重-変位関係に及ぼす影響 を検討した.なお a はいずれのケースも 0.2 とした.荷重-変位関係を図-5 に、またループごとのエネルギー吸収量の推移を図-6 に示す.軟化勾配が最 も急なS=0.4mmの場合は 6δy時に、S=0.6mmの場合は 7δy時に荷重-変位関係 が紡錘型から逆S字型に移行し、エネルギー吸収量が小さくなる挙動が得られ た.また勾配が最も緩いS=0.8mmの場合には 8δy時にもエネルギー吸収量の増 分が変わらず、内部履歴も紡錘型の挙動を示す結果が得られた.このことから 今回対象とした供試体においては、付着軟化勾配は逆S字型への移行時点、な らびに最大荷重以降の吸収エネルギーに密接に関係していることが分かる.

# 6. 付着軟化後一定付着応力が荷重-変位関係に及ぼす影響

図-2に示す一定付着応力  $\tau_{min}$ の値を  $0.1\tau_{max}$ ,  $0.2\tau_{max}$ ,  $0.4\tau_{max}$  と変化させ, 付着 軟化後一定付着応力の相違が荷重一変位関係に及ぼす影響を検討した. なお S はいずれのケースも 0.6mm とした. 荷重一変位関係を図-7に示す. またルー プごとの変位が 0 となる荷重の幅がどのように推移したかを図-8に示す. 5 $\delta_y$ までは,ほぼ同様の挙動を示すものの,  $\tau_{min}$ が 0.1 $\tau_{max}$  および 0.2 $\tau_{max}$  場合には 6 $\delta_y$ 時に,逆 S 字型の挙動を示し,幅が小さくなる挙動が得られた. また 8 $\delta_y$ 時の 幅は軟化後一定付着応力の値にほぼ比例する結果となった. これらのことから 逆 S 字型の内部履歴には付着軟化後一定付着応力が大きく影響していることが 分かる. このことは,変位が 0 となる付近では,エネルギー吸収は主に付着に より行われていることを示唆する結果と言える.

## 7. まとめ

繰返し荷重を受け、曲げ破壊する RC 部材の挙動は、従来一般に用いられる 完全付着を仮定した解析ではその挙動を適切に再現することができず、付着特 性を考慮したモデルが必要であることが示された.また付着応カーすべり関係 を明確に定義することで繰返し荷重を受ける構造物の力学特性を正確に評価で きることにつながると考えられる.

参考文献 1) 石橋ら:大変形正負交番載荷を受ける RC 柱の損傷状況及び補修 効果に関する実験的研究,土木学会論文集,No.648/V-47,pp.55-69,2000.2) Kongeo PHAMAVANH ら:RC 構造の繰返し及び動的解析における格子等価連続 体化法の適応性,土木学会論文集,No.767/V-64,pp.161-176,2004

