

V-424

交番応力下の柱筋の拔出し履歴モデル

鹿島技術研究所 正会員○村山八洲雄 正会員 須田久美子

同 上 正会員 一宮 利通 正会員 新保 弘

1. はじめに

地震時を想定したRC橋脚の水平交番加力模型実験において、柱筋のフーチングからの拔出しに起因する基部の回転が柱頭部変位量に大きく影響することが多くの実験で認められている。そのため、柱頭部の荷重-変位履歴のシミュレーション解析を行う場合は、この拔出し挙動を精度良く解析に取込む必要がある。鉄筋応力度-拔出し量($\sigma_s - \delta_{sl}$)関係の既往の研究は、鉄筋応力度-ひずみ量($\sigma_s - \varepsilon_s$)関係と付着応力度-すべり量($\tau - s$)関係などの構成則を用いて推定する方法が一般的であるが、解析に多大の労力を要するのみならず、構成則の僅かな相違が $\sigma_s - \delta_{sl}$ 関係に大きな影響を及ぼすという難点があった。

軸力が10kgf/cm²程度の通常の橋脚を対象にした筆者らの実験によると、鉄筋の応力履歴の相違は $\sigma_s - \varepsilon_s$ 関係と $\tau - s$ 関係の包絡線に著しく大きな影響を及ぼすが、互いに相殺するように作用するため、 $\sigma_s - \delta_{sl}$ 包絡線に対してはほとんど影響を及ぼさないことが明らかになった[1]。そこで、この特性を利用して、 $\sigma_s - \delta_{sl}$ 関係を直接表現できる履歴モデルを考案した。

2. モデルの基本的な考え方

鉄筋応力度-拔出し量モデルの適用分野としては、RC構造を対象にしたファイバーモデルに基づく解析(またはFEM)プログラムを想定している。この種のプログラムには、鉄筋の $\sigma_s - \varepsilon_s$ モデルが組み込まれているので、これと同じ考え方でプログラムが作成でき、また使用することができるようにした。

すなわち、一般に、鉄筋応力度が同じときの拔出し量は鉄筋径 ϕ にはば比例するので、拔出し量を鉄筋径で除した δ_{sl}/ϕ を拔出しに関する見掛けのひずみ量 ε_{sl} として取り扱う。その場合、解析モデルとしては、図-1に示すような長さ1 ϕ の拔出しだけに関係する鉄筋要素を別途設ける。

3. 鉄筋応力度-拔出し量履歴モデル

モデルは、図-2に示すような $\sigma_s - \varepsilon_{sl}$ 包絡線と内部履歴曲線の組み合わせで表現する。

- ①包絡線 $0 \leq \varepsilon_{sl} \leq \varepsilon_{sl,y} : (\varepsilon_{sl,y}, \sigma_{sy})$ を通り $\varepsilon_{sl,y}$ の2/3乗に比例する曲線。 $\varepsilon_{sl,y} \leq \varepsilon_{sl} \leq \varepsilon_{sl,h} : (\varepsilon_{sl,y}, \sigma_{sy})$ と $(\varepsilon_{sl,h}, \sigma_{s,h})$ を通る直線。 $\varepsilon_{sl,h} \leq \varepsilon_{sl} \leq \varepsilon_{sl,0.5} : (\varepsilon_{sl,h}, \sigma_{s,h})$ と $(\varepsilon_{sl,0.5}, \sigma_{s,0.5})$ を通る双曲線。
- ②引張り側除荷 $0 \leq \varepsilon_{sl} \leq \varepsilon_{sl,y}$: 原点指向の直線。 $\varepsilon_{sl,y} \leq \varepsilon_{sl} \leq \varepsilon_{sl,0.5}$: 直線とし、その勾配は、降伏時の割線勾配またはこれを低減させた値とする。
- ③圧縮側除荷 ε_{sl} 軸上の圧縮側除荷開始点 $(\varepsilon_{sl,0}, 0)$ と σ_s 軸上の点 $(0, \sigma_{s,0})$ を結ぶ双曲線とする。初期勾配としては、引張り側除荷勾配かこれを低減させた値とする。ここで、 $\sigma_{s,0}$ は ε_{sl} が0.1以下では $\varepsilon_{sl,0}$ の3乗根に比例し、0.1以上では $\varepsilon_{sl,0}$ に1次比例するものとする。
- ④圧縮側除荷曲線 引張り側除荷直線と平行な直線とする。
- ⑤引張り側再載荷曲線 $\sigma_s - \varepsilon_{sl}$ 曲線上の過去最大拔出し点を指す双曲線とし、その初期勾配は、引張り側の除荷勾配かこれを低減させたものを用いる。また、引張り側再載荷曲線からの除荷は、スケルトンからの除荷直線と平行な直線とし、更に、圧縮側再載荷曲線は双曲線とする。
- ⑥食い込み側での曲線 通常の橋脚における軸力では鉄筋のフーチングへの食い込みは生じにくく、軸力が大きい場合でも鉄筋の食い込みが大きくなる前に柱コンクリートの劣化が生じるので食い込み量は小さいと考えられる。また、柱基部の回転に対しては食い込みよりも拔出しの影響が支配的であるので、鉄筋の食い込み側のモデルは便宜的に単純なモデルとする。

3. 解析例

図-3は、次のように条件設定したときの鉄筋引抜き力と拔出し量について、実験と解析を比較したものである。試験体には定着長が十分長い（ 100ϕ ）D10鉄筋（降伏強度 $3,690\text{kgf/cm}^2$ 、硬化点ひずみ3%）を5本用い、実験時のコンクリート強度は 375kgf/cm^2 であった。解析は実験を良く表現できている。

$\sigma_{sy} = 3,690\text{kgf/cm}^2$ 、 $\sigma_{s,h} = 4,100\text{kgf/cm}^2$ 、
 $\sigma_{s,0.5} = 4,900\text{kgf/cm}^2$ 、 $\varepsilon_{sl,y} = 0.021$ 、
 $\varepsilon_{sl,h} = 0.1$ 、 $\varepsilon_{sl,0.5} = 0.5$ 、圧縮側載荷と引張り側除荷の勾配は一定で、その比は0.55。

4. あとがき

本モデルは、鉄筋の中心間隔が鉄筋径の4倍程度以上のものを想定している。また、解析例で用いた定数は、特定のコンクリートと鉄筋を対象にした。そのため、鉄筋配置や材料物性が著しくこれと異なる場合には、過去の実験研究で得られた知見をもとに入力データを修正する必要がある。

参考文献 [1] 村山、須田、三村、RC橋脚の変形性能に及ぼす柱筋の拔出しの影響、JCIコンクリート構造物の靱性とその評価法に関するコロキウム、1988.3、pp. II 99-108

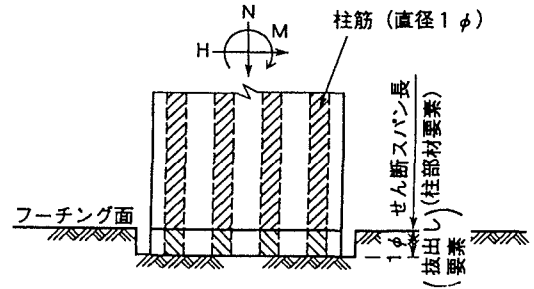


図-1 ファイバーモデルにおける拔出し要素

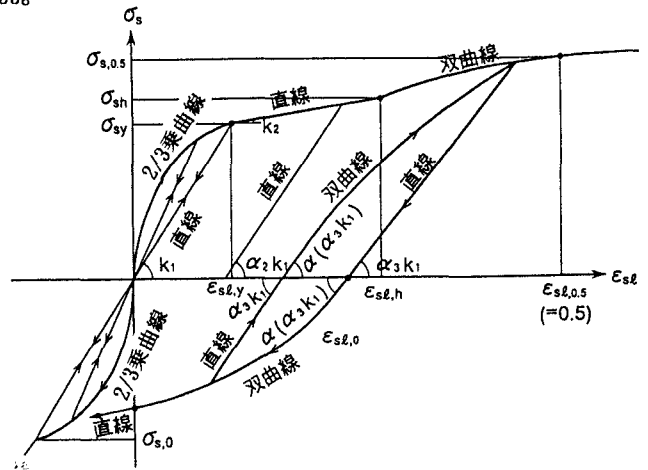


図-2 鉄筋応力度-拔出し量履歴モデル

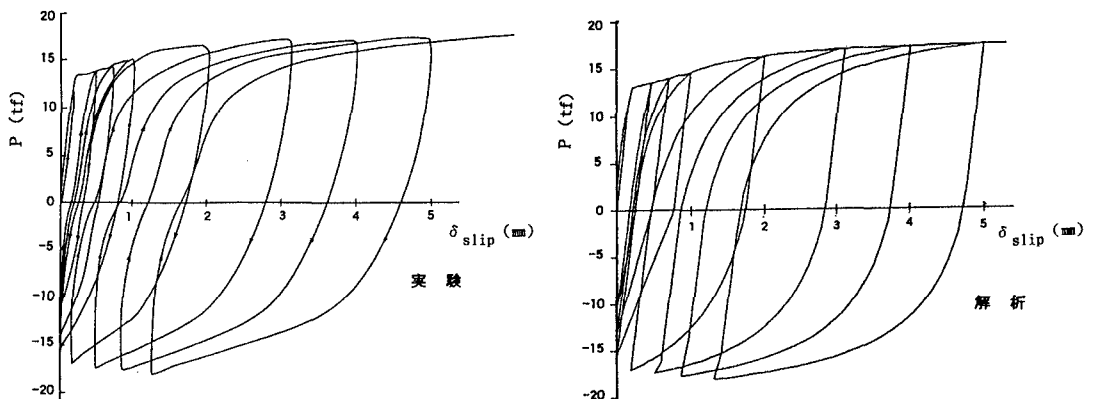


図-3 鉄筋の引抜き力と拔出し量の関係（D10鉄筋、5本分）