

V-12

フーチングよりの鉄筋の繰返し引抜性状について

鹿児島大学工学部 正会員 出口 秀 史

同 上 正会員 松 本 進

同 上 学生員 荒 岡 時 生

1. はじめに

地震時における鉄筋コンクリート橋脚の復元力特性には、降伏以後主鉄筋がフーチングから引抜けてくる現象が大きく影響することが、既往の研究から数多く報告されている。著者らも先に、簡単なフーチングモデル実験を行い、鉄筋の引抜量を歪エネルギーを用いて定量化する方法を提案し報告した。本研究は、この歪エネルギー法をさらに交番繰返しの押引きを受ける鉄筋に適用し、フーチングからの引抜量を定量化する方法を提案するものである。

2. 実験供試体および実験方法

実験に使用した供試体は、図-1に一例を示すように、断面40cm×60cm、高さ60cmのコンクリート矩体の断面の中心に異形鉄筋(D13, D16, D19)を垂直に埋込んだもので、交番繰返し押引試験を行った。測定に関しては、鉄筋の歪を塑性ゲージにて、また鉄筋の引抜量をコンクリート上面から4cmの位置で変位計を用いて行った。

供試体の諸元は、表-1に示すとおりである。

表-1 供試体諸元

供試体	鉄筋径	降伏応力 度(MPa)	コンクリート 強度(MPa)	断面寸法 (cm)	高さ (cm)
No. 1	D 13	3710	356	40×60	60
No. 2	D 16	3776	364	40×60	60
No. 3	D 16	3776	388	40×60	60
No. 4	D 19	3867	201	40×60	60
No. 5	D 19	3867	380	40×60	60
No. 6	D 19	3867	507	40×60	60

載荷方法は、面動オイルジャッキを用いて、鉄筋のNo.1ゲージの歪による歪制御とし、弾性域を4段階の歪に分割し、各々3回ずつ交番繰返し載荷を行った。鉄筋降伏後は、歪を漸増させながら各々3回ずつ交番繰返し載荷を行った。

3. 実験結果

図-2～図-7は実験結果の一部を示したもので、図-2、図-3は、コンクリート強度が同じで、鉄筋径が異なる場合の弾性域および塑性域の鉄筋歪分布図の一例を示したものである。同一コンクリート強度では鉄筋径が大きくなると弾性域の歪分布長は長くなっているが塑性域では歪分布長に明確な差は認められない。次に、図-4、図-5は鉄筋径が同じで、コンクリート強度が異なる場合の歪分布の一例を示したもので、同一鉄筋径では、コンクリート強度が大きくなると弾性域では歪分布長は逆に小さくなっているが、塑性域では歪分布長に明確な差は認められない。

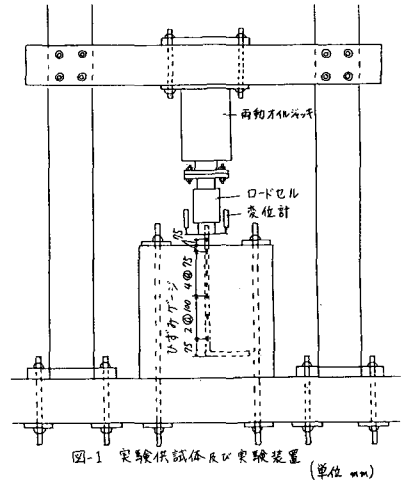


図-1 実験供試体及び実験装置 (単位 mm)

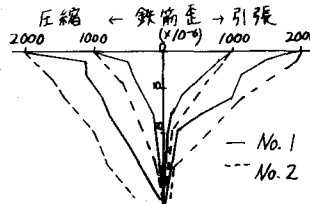


図-2 弾性域歪分布図

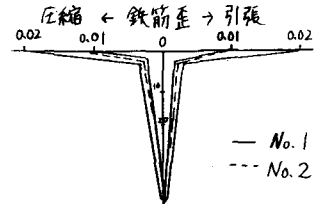


図-3 塑性域歪分布図

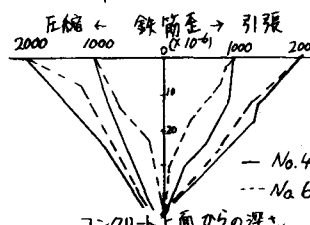


図-4 弾性域歪分布図

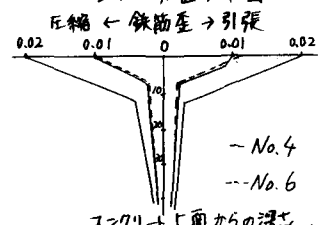


図-5 塑性域歪分布図

図-6、図-7は、鉄筋の単純引抜試験と
 交番繰返し試験の引張載荷時の歪分布を示し
 たものである。弾性域、塑性域ともに交番繰
 返し載荷の方が単純引抜と比較して歪分布長
 が長くなっており引抜け易くなることが認め
 られる。図-8は、交番繰返し載荷を受ける
 鉄筋の応力-歪曲線の一例を示したものであ
 る。弾性限度を越えた交番繰返し載荷を受け
 る鉄筋の応力-歪曲線は、弾性限度の低下の
 現象いわゆるバウシinger効果を呈する応力
 -歪履歴曲線となることを示している。

4. エネルギー法による交番繰返し引抜モデ ルの検討

著者らの先に発表したエネルギー法により、鉄筋の単位体積に吸収される歪エネルギー（ $\bar{E}$ ）とコンクリート
 強度（ σ_c ）、鉄筋径（ D ）、歪分布長（ l ）との間の関係を実験的に決定した。各要因の次元解析を行うと次式
 が導かれる。

$$\bar{E}/\sigma_c = \phi(l/D) \quad (1)$$

ここで、歪分布を図-9のようにモデル化し、この関数 ϕ と実験結果から弾性域、塑性域の $\bar{E}/\sigma_c - l/D$ 図を描
 いて決定する。弾性限度を越えた交番繰返しを受けた鉄筋の歪エネルギーの計算には、バウシinger効果を考慮
 した応力-歪履歴曲線のRamberg-Osgood 関係を用いた。塑性域の単位体積あたりの歪エネルギー（ $\bar{E}_p$ ）は、
 次式のようになる。

$$\bar{E}_p = \frac{1}{E_s^2 (\epsilon_s - \epsilon_{st})} \left[\frac{\sigma_s^3}{6} - \frac{\sigma_s^2 \sigma_{ch}}{2} + \frac{r}{2 \sigma_{ch}^{r-1}} \left(\frac{\sigma_s^r}{r+2} - \frac{\sigma_s^{r+1}}{r} \right) + \frac{r}{(r+1) \sigma_{ch}^{r-1}} \left(-\frac{\sigma_s^{r+2}}{r+2} - \sigma_s^{r+1} \sigma_{ch} \right) + \frac{r^2}{(r+1) \sigma_{ch}^{2(r-1)}} \right. \\ \left. \times \left(\frac{\sigma_s^{2r+1}}{2r+1} - \frac{\sigma_s^{r+1} \sigma_{ch}^r}{r} \right) + \frac{\sigma_s^3}{3} + \frac{(r+1) \sigma_s^{r+2}}{(r+2) \sigma_{ch}^{r-1}} + \frac{r \sigma_s^{2r+1}}{(2r+1) \sigma_{ch}^{2(r-1)}} \right] \quad (2)$$

σ_s : 鉄筋応力
 σ_{ch} : 鉄筋耐力
 ϵ_s : 鉄筋歪
 ϵ_{st} : 単純引抜降伏歪
 r : Ramberg-Osgood 関係
 の指数

図-10、11は、各歪域での実測の $\bar{E}/\sigma_c - l/D$
 関係図である。図から関数 ϕ は二次放物線と
 なり、その係数 a_e 、 a_p を鉄筋径で表わすと、

$$a_e = 7.48 \times 10^{-6} / D^{0.764}$$

$$a_p = 6.36 \times 10^{-2} / D^{0.86}$$

となる。したがって引抜量は、この分布長 l
 と歪から分布形を規定し、軸方向に積分して
 求めることができる。図-12は、鉄筋応力-
 引抜量の実測曲線と推定曲線の一例を示した
 もので、交番繰返し載荷を受ける鉄筋挙動を
 良く表現しており、エネルギー法により引抜
 性状を把握できることを示している。引抜量
 の推定の点では、現時点で実測値と幾分差があるが、より実際に近い応力-歪履歴曲線を用いることにより、引
 抜量推定の精度を上げるつもりである。

5. おわりに さらに実際に近い応力-歪履歴曲線を開発し、橋脚モデルへの適用も検討するつもりである。

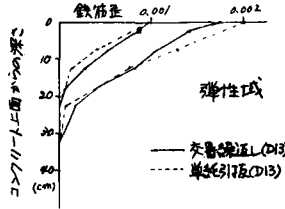


図-6 交番と単純引抜の歪分布形状

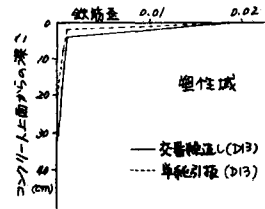


図-7 交番と単純引抜の歪分布形状

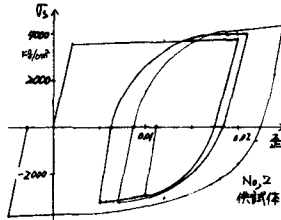


図-8 鉄筋の応力-歪履歴曲線(実測)

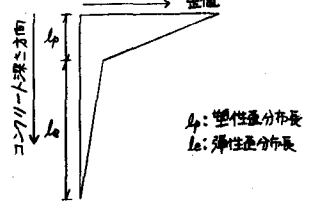


図-9 歪分布モデル

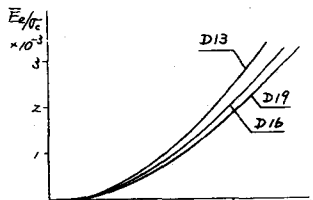


図-10 弾性域 $\bar{E}_e/\sigma_c - l/D$ 曲線

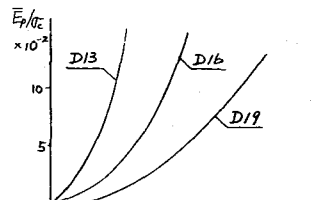


図-11 塑性域 $\bar{E}_p/\sigma_c - l/D$ 曲線

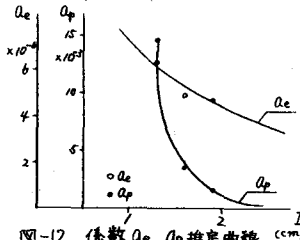


図-12 係数 a_e 、 a_p 推定曲線

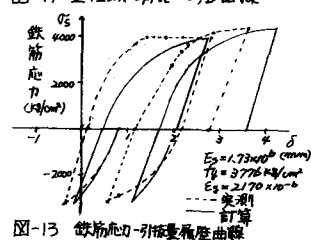


図-13 鉄筋応力-引抜量履歴曲線