

鹿児島大学工学部 正会員 出口 秀 史
鹿児島大学工学部 正会員 松 本 進

1. はじめに

筆者らは、地震時の鉄筋コンクリート橋脚の復元力特性に大きく影響する主鉄筋のフーチングからの引抜け現象に対して、歪エネルギーを用いて定量化する方法を既に提案してきた。本研究は、この歪エネルギー法の適用を拡張し、交番載荷を受ける鉄筋の引抜け量をも推定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

実験に用いた供試体は、図-1に一例を示すように、断面40cm×60cm高さ60cmのコンクリート躯体の断面中心部に異形鉄筋(D13、D16、D19)を垂直に埋込んだもので、面動オイルジャッキを用いて交番載荷試験を行った。鉄筋の歪を塑性ゲージを用いて、また鉄筋引抜け量を電気抵抗変位計を用いて測定した。供試体の諸元は、表-1に示すとおりで、図-1 実験供試体及び実験装置

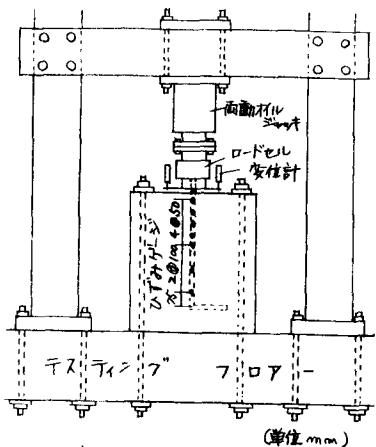


表-1 供試体諸元

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 (mm)	高さ (mm)
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、供試体コンクリート表面上の鉄筋歪値で歪制御とし、弾性域を4段階に分け、それぞれ回ずつ交番繰返し載荷を行った。鉄筋降伏後は、歪を増加させながらそれぞれ回ずつ交番載荷を行った。

3. 実験結果

図-2～図-5は実験結果の一例を示したものであり、図-2、図-3は、鉄筋径が同じで、コンクリート強度が異なる場合の、弾性域および塑性域の鉄筋歪分布を示したものである。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の歪分布長は小さくなっているが、塑性域では分布長に明確な差は認められない。この傾向は、コンクリート強度が同じで、鉄筋径が異なる場合にも認められ、鉄筋径が小さくなると弾性域では歪分布長が小さくなるが、塑性域ではその傾向は認められない。図-4、図-5は、単純引抜試験と交番載荷試験の引張載荷時の歪分布を示したものである。単純引抜と比較して交番載荷では弾性域、塑性域ともに歪分布長が長くなり、引抜け易くなることが認められる。図-6は、交番載荷を受ける鉄筋の応力-歪曲線の一例を示したもので、弾性限度の低下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。

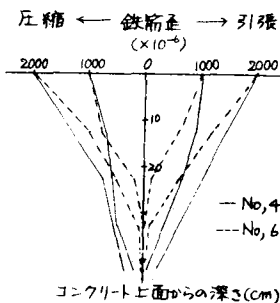


図-2 弾性域歪分布図

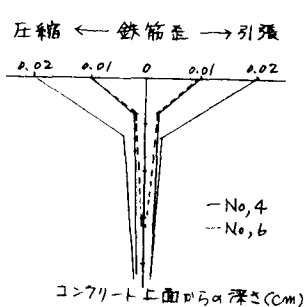


図-3 塑性域歪分布図

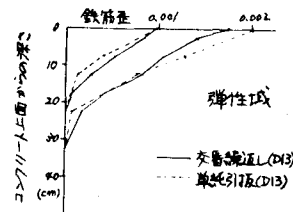


図-4 交番と単純引抜の歪分布形状

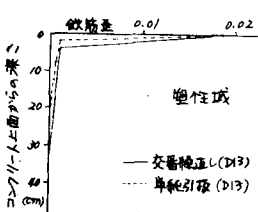


図-5 交番と単純引抜の歪分布形状

ことを示している。

4. エネルギー法による交番載荷引抜モデルの検討

筆者らの先に発表したエネルギー法により、鉄筋単位体積に吸収される歪エネルギー ($\bar{E}$)、コンクリート強度 (σ_c)、鉄筋径 (D)、歪分布長 (l) の間の関係は次元解析より次のようになる。

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

弾性限度を越えた交番載荷を受けた鉄筋の応力-歪曲線を実験から図-7に示すようにモデル化した。係数 a は、鉄筋降伏後の繰返し回数 (n) と前回に受けた塑性歪 (ϵ_p) によって図-8、9に示すように変化するので、回帰分析を行うと次のようになる。ただし、係数 a と n の間の関係は、 n が10回程度の実験の範囲に於いてはほとんどないので省略した。

$$a = 4.16 \times 10^{-7} - 4.53 \times 10^{-6} \epsilon_p \quad (2)$$

$$b = 8.93 \times 10^{-5} - 2.05 \times 10^{-6} n + 1.97 \times 10^{-3} \epsilon_p \quad (3)$$

ここで開発した応力-歪履歴曲線を用いて、鉄筋降伏後の塑性域の単位体積当りの歪エネルギー ($\bar{E}_p$) は、

$$\bar{E}_p = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{b} - \sigma_0 \right) (\epsilon_s - \epsilon_0 - \epsilon_y) - \frac{a \{ a + b(\epsilon_0 + \epsilon_y) \}}{b^3 (\epsilon_s - \epsilon_0 - \epsilon_y)} \left[\frac{a + b \epsilon_s}{a + b(\epsilon_0 + \epsilon_y)} \left\{ \log \frac{a + b \epsilon_s}{a + b(\epsilon_0 + \epsilon_y)} - 1 \right\} + 1 \right] \quad (4)$$

a, b : 応力-歪曲線の係数 σ_0 : 最大応力度 ϵ_0 : $\epsilon_0 = \frac{\sigma_0}{E_s}$ ϵ_y : 鉄筋降伏歪 ϵ_s : 鉄筋歪

図-10は、実験結果から得られた応力-歪履歴曲線と推定曲線とを比較した一例を示すものであるが、非常によく近似していることが認められる。鉄筋歪分布を弾性域、塑性域の二直線にモデル化し、実験から弾性域、塑性域の関数 ϕ を決定する。図-11、12は、各歪域での $\bar{E}/\sigma_c - l/D$ 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 は鉄筋径 D を用いて、

$$a_e = 7.48 \times 10^{-6} / D^{0.764} \quad (5)$$

$$a_p = 6.36 \times 10^{-2} / D^{0.86} \quad (6)$$

となる。したがって、ある歪を受ける鉄筋の引抜量は、歪エネルギーの計算値、コンクリート強度、鉄筋径から求める歪分布長 l と鉄筋歪 ϵ_s を用いて、軸方向に積分することによって推定される。図-13は、鉄筋応力-引抜量の実験曲線と推定曲線の一例を示したもので、交番載荷を受ける鉄筋の挙動をよく表現しておりエネルギー法で推定が可能であることを示している。

5. おわりに

今後は、フシの形状の異なる異形鉄筋、丸鋼へのエネルギー法の適用性ならびにフックの影響等についても検討を行うつもりである。

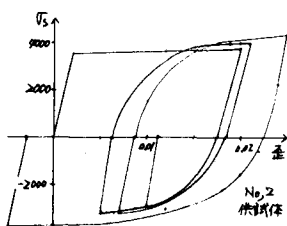


図-6 鉄筋の応力-歪履歴曲線(実験)

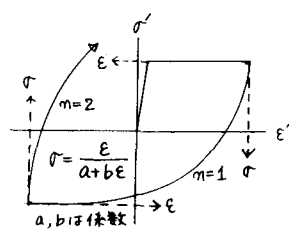


図-7 鉄筋応力-歪履歴モデル

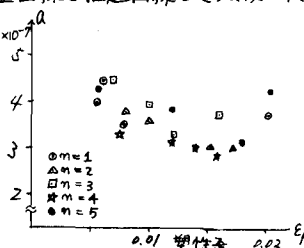


図-8 係数 a と ϵ_p

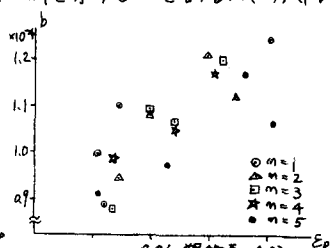


図-9 係数 b と ϵ_p

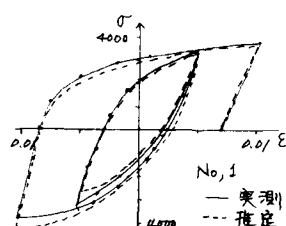


図-10 応力-歪履歴曲線

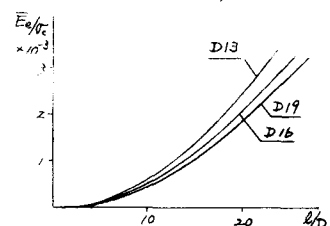


図-11 弾性域 $\bar{E}_e/\sigma_c - l/D$ 曲線

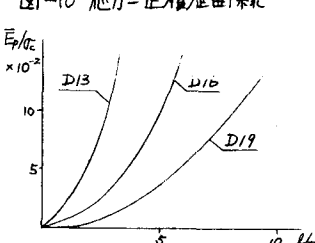


図-12 塑性域 $\bar{E}_p/\sigma_c - l/D$ 曲線

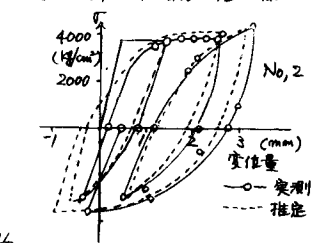


図-13 鉄筋応力-変位量曲線