

交番載荷を受ける鉄筋の引抜性状について

鹿児島大学工学部の正会員・出口 秀 史

同 上 正会員 松 本 進

同 上 田 中 正 一

1. はじめに

筆者らは、これまで地震時における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現象について、簡単な交番載荷モデル実験を行ない、引抜量を歪エネルギーを用いて定量的に把握する方法を提案した。本研究は、波節異形鉄筋を用いた交番載荷実験の結果を報告するものである。

2. 実験供試体および実験方法

実験供試体は、図-1に示すような断面40cm×60cm、高さ60cmのコンクリート躯体で、断面の中心に波節異形鉄筋(D13、D16、D19)を垂直に埋込んだものである。鉄筋頭部にねじ部を溶接し、両端オイルジャッキを用いて交番繰返し載荷を行った。鉄筋の歪を測定する目的で、鉄筋表面に塑性ゲージをおよそ10cm間隔に貼り、また引抜量を電気抵抗式変位計を用いて測定した。供試体の諸元については、表-1に示すとおりである。載荷方法は、コンクリート表面上の鉄筋歪による歪制御とし、弾性歪域を4段階に分け、それぞれ3回ずつ交番繰返し載荷を行った。

鉄筋降伏後は、歪を適度増進させながら交番載荷を行った。

3. 実験結果

① 鉄筋歪挙動

① 弾性歪挙動

図-2は、弾性歪域の実験の一例を示したもので、①は引張歪分布、②は圧縮歪分布を表わしている。弾性歪分布は、引張、圧縮ともに、ほぼ直線に近い分布形となっており、また、歪の増大に伴って歪分布の傾きが次第に増加していく傾向が認められる。

② 鉄筋降伏後の歪挙動

図-3は、鉄筋降伏後の交番繰返し載荷を受けた鉄筋の歪挙動を示したものである。図に示されるように引張降伏後に圧縮載荷を受けるような場合には、鉄筋塑性領域では、上部の方では前回に受けた引張載荷時の残留歪が残っていて、下部の方では圧縮歪を生じているといった具合に、見かけ上、圧縮載荷時であるにもかかわらず、引張歪と圧縮歪が混在したような歪分

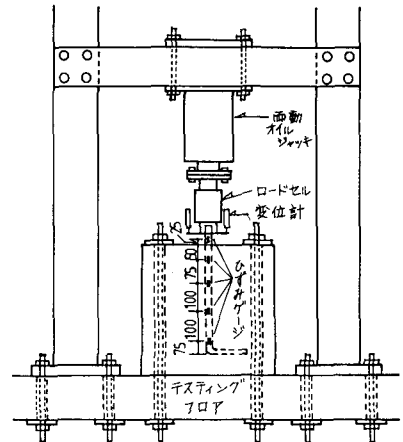


図-1 実験供試体および実験装置

表-1 供試体諸元

供試体	鉄筋径	降伏応力度 (kg/cm ²)	コンクリート 強度 (kg/cm ²)	断面寸法 (cm)	高さ (cm)
NO. 1	D 13	4017	3 6 2	40×60	6 0
NO. 2	D 16	3776	3 6 2	40×60	6 0
NO. 3	D 16	3776	3 7 1	40×60	6 0
NO. 4	D 19	4014	2 9 2	40×60	6 0
NO. 5	D 19	4014	3 7 1	40×60	6 0
NO. 6	D 19	4014	4 4 8	40×60	6 0

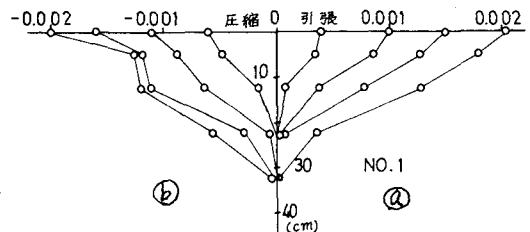


図-2 弾性域歪分布

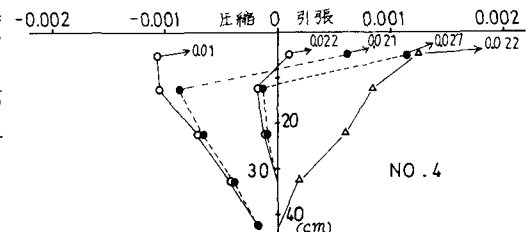


図-3 塑性域歪分布

布挙動を示す。このような歪挙動は、圧縮載荷後の逆向き載荷つまり引張載荷時にも現われる。

ii) 鉄筋の応力-歪履歴曲線

図-4は、鉄筋の応力-歪履歴曲線の一例を示したものである。鉄筋降伏後、交番載荷を受けると図のようには明確な降伏点が消失し、いわゆるバウシinger効果呈して、ラウンディングした履歴曲線となる。

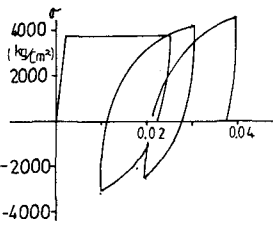


図-4 鉄筋の応力-歪曲線

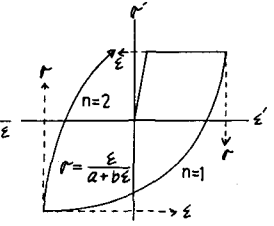


図-5 応力-歪履歴モデル

4. 歪エネルギー法による交番載荷引抜モデルの検討

筆者らが先に発表したとおり、鉄筋の単位体積あたりに吸収される歪エネルギー($\bar{E}$)とコンクリートの強度(σ_c)、歪分布長(l)、鉄筋径(D)の関係は、次元解析により、次式のようになる。

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

ここで、 ϕ は関数を表わす。

また、塑性領域の歪エネルギー計算のために、図-5に示すように応力-歪履歴曲線をモデル化した。

$$\sigma = \varepsilon / (a + b\varepsilon) \quad (2)$$

係数 a 、 b は繰返し回数(n)、前回の載荷時に受けた塑性歪(ε_{ip})の関数と考えて、実験結果から最小二乗法で求めると次式のようになる。

$$a = 1.88 \times 10^{-7} + 1.29 \times 10^{-8}n + 2.82 \times 10^{-6}\varepsilon_{ip} \quad (3)$$

$$b = 1.20 \times 10^{-4} - 2.45 \times 10^{-6}n - 5.47 \times 10^{-7}\varepsilon_{ip} \quad (4)$$

i) 弾性領域

弾性領域は、まだ過去に一度も降伏を経験していない鉄筋の領域で、図-6は、この弾性領域の関係を実験結果より示したものである。図より、弾性領域は4次関数で近似することができ、最小二乗法により次式で表わされる。

$$\bar{E}_e/\sigma_c = 1.94 \times 10^{-8} (l/D)^4 \quad (5)$$

ii) 塑性領域

図-3に示したとおり、塑性領域は複雑な歪挙動を示す。塑性領域の上部では引張歪を生じているが、下部の方では圧縮歪となっている場合もある。また、前回の載荷で生じた最大の塑性領域長さは、載荷荷重が小さい間はそのまま維持され、さらに大きな載荷を受けて初めて、塑性領域長さが増加し、塑性領域が下方へと拡大していく。そこで、ここでは塑性領域のこのような挙動を考慮して、塑性領域を新たに増加させるのに必要な鉄筋の歪エネルギーと塑性領域の増加長さとの間の関係を実験から求めた。図-7は、その一例を示すものであり、この図から、塑性領域を新たに増加させるのに必要な歪エネルギーは、各繰返し回数ごとに鉄筋の応力-歪履歴曲線が異なるにもかかわらず、ほぼ直線となっている。

したがって、弾性領域、塑性領域の各領域の歪エネルギーを計算することによって、それぞれの領域の長さを規定することができ、歪分布形状、鉄筋引抜量を $\bar{E}/\sigma_c$ 決定することができる。

5. おわりに

本報告では、塑性領域については増加歪エネルギーという点から検討を行ったが、塑性領域の歪挙動に関しては、弾性領域との関連から、さらに詳しく検討を行うつもりである。

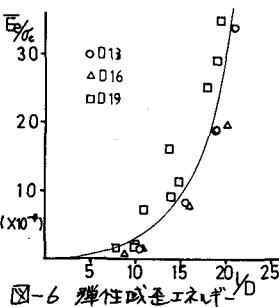


図-6 弾性域歪エネルギー

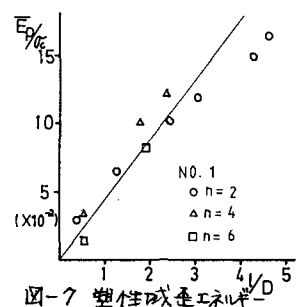


図-7 塑性域歪エネルギー