

エネルギー法による引抜きモデルについて

鹿児島大学工学部 正会員 松本 進
 同 上 〇学生 出口 秀史
 同 上 学生 佐伯 和人

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、降伏以後において主鉄筋のフーチングからの引抜きが大きく影響していることが、これまで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、鉄筋の引抜き量をエネルギー法を適用することによって推定することが可能であることを報告した。本研究は、フーチングをモデル化した供試体を作製し、鉄筋の引抜き試験を行い、鉄筋の種々の歪域(弾性域、降伏域、歪硬化域)における引抜き量をエネルギー法により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

実験に使用した供試体は図-1に一例を示すようであり、断面 $20\text{cm} \times 40\text{cm}$ および $25\text{cm} \times 45\text{cm}$ の2種、長さ 90cm および 120cm の2種類である。断面の中心に異形鉄筋(D13, D19, D22)を垂直に埋込み、引抜き試験を行った。測定に関しては、鉄筋の歪を塑性ゲージにて、また鉄筋の引抜き量をコンクリート上面から 1cm の位置で自作の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。

載荷方法は、鉄筋のNo.1歪ゲージの歪による歪制御方法とし、弾性域を4段階の歪に分割し、各々3回ずつ繰返し載荷した。鉄筋降伏以後は、降伏域で2〜3点の歪値で載荷、除荷を行い、歪硬化域では、歪を0.01ずつ増加させ、載荷、除荷を繰返し行、た。

3. 引抜き試験結果

図-2〜図-5は引抜き試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。弾性域、塑性域ともに、同一コンクリート強度では鉄筋径が大きい程歪分布長が長くなる、ということが認められる。

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弾性域、塑性域の歪分布の一例を示したもので、同図より鉄筋径が同じである場合には、弾性域、塑性域ともにコンクリート強度が大きくなると、コンクリート強度の場合とは逆に同一鉄筋歪時における歪分布長が短くなる、ている。

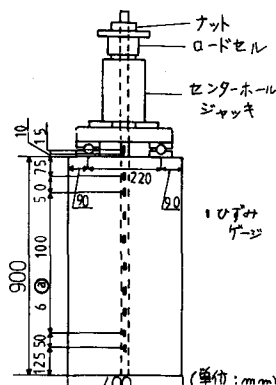


表-1 供試体諸元

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	3552	189	20x40	90
No. 2	D 13	3552	410	20x40	90
No. 3	D 13	3552	505	20x40	90
No. 4	D 19	3560	195	20x40	120
No. 5	D 19	3560	330	20x40	120
No. 6	D 19	3560	505	20x40	120
No. 7	D 22	3772	216	25x45	120
No. 8	D 22	3772	330	25x45	120
No. 9	D 22	3772	505	25x45	120

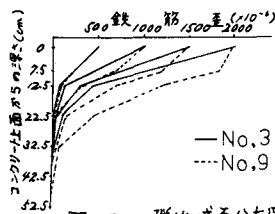


図-2 弾性域歪分布図

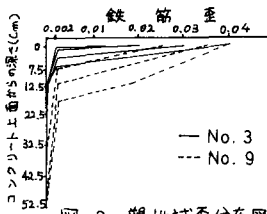


図-3 塑性域歪分布図

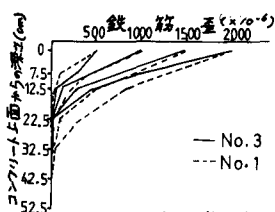


図-4 弾性域歪分布図

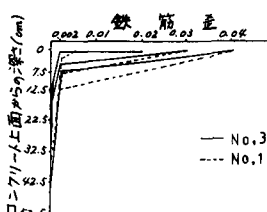


図-5 塑性域歪分布図

4. エネルギー法による引抜モデルの検討

鉄筋の引抜量は、コンクリート中の鉄筋歪をその軸方向に積分することによって求めることができる。この歪分布を前述した鉄筋径、コンクリート強度の相違による要因等から一義的に決定できれば引抜量を推定することが可能となる。そこで、著者らはエネルギーの釣合いに着目して、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)との関係を実験的に求めた。考慮すべき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、各歪域での歪分布長は図-6に示すとおりであり、この関数 ϕ を実験結果から各歪域の $\bar{E}/\sigma_c - l/D$ 図を描いて決定する。各歪域の関数 ϕ は次のとおりである。

$$\phi_e = \frac{E_s E_s^2}{2 \sigma_c} = a_e \left(\frac{l_e}{D} \right)^2 \quad (2)$$

$$\phi_{p1} = \frac{\sigma_{sy} (E_s - E_{sy})}{6 \sigma_c} = a_{p1} \left(\frac{l_{p1}}{D} \right) \quad (3)$$

$$\phi_{p2} = \frac{\{3\sigma_{sy} + E' (E_s - E_1)\} (E_s - E_1)}{6 \sigma_c} = a_{p2} \left(\frac{l_{p2}}{D} \right) \quad (4)$$

図-7~9は各歪域での実測の $\bar{E}/\sigma_c - l/D$ 関係図である。これらの図から、それぞれの関数 ϕ の係数は鉄筋径に依存していることが認められ、それぞれの係数 a_e, a_{p1}, a_{p2} と鉄筋径との関係を最小二乗法で推定すると、

$$a_e = 3.4 \times 10^{-5} / D \quad (5)$$

$$a_{p1} = a_{p2} = 4.59 \times 10^{-2} / D^{0.285} \quad (6)$$

となった。したがって、各歪域での鉄筋の引抜量は次式で表わされる。

$$\delta_e = \frac{E_s l_e}{2} = \frac{E_s}{2} \sqrt{\frac{E_s E_s^2 D^2}{2 a_e \sigma_c}} \quad (7)$$

$$\delta_{p1} = \frac{(E_s + E_{sy}) l_{p1}}{2} = \frac{E_s + E_{sy}}{2} \cdot \frac{\sigma_{sy} (E_s - E_{sy}) D}{6 a_{p1} \sigma_c} \quad (8)$$

$$\delta_{p2} = \frac{(E_s + E_1) l_{p2}}{2} = \frac{E_s + E_1}{2} \cdot \frac{\{3\sigma_{sy} + E' (E_s - E_1)\} (E_s - E_1)}{6 a_{p2} \sigma_c} \quad (9)$$

図-11および図-12は、鉄筋歪-引抜量の実測曲線と推定曲線の一例を示したもので、両者の間には良い一致がみられる。引抜性状は、弾性歪域と塑性歪域との間で不連続点を生じ、鉄筋降伏後、歪硬化歪までは歪の増加に対して引抜量は緩慢に増加し、歪硬化後は、歪の増加に対して引抜量はさらに増大することが認められる。本研究によって、エネルギー法から引抜量を合理的に推定することが可能になった。

5. おわりに

今後は実際の橋脚に近いモデルへのシュミレーションを行い、その適用性を確かめるつもりである。

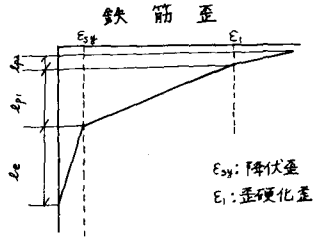


図-6 各歪域の分布長さ

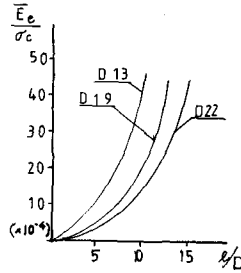


図-7 弾性域関数 ϕ_e

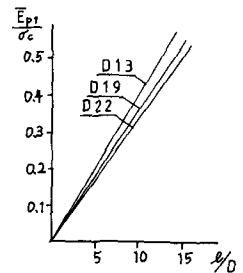


図-8 降伏域関数 ϕ_{p1}

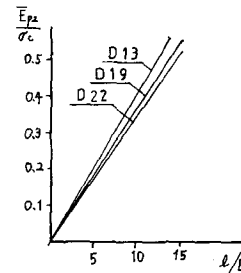


図-9 歪硬化域関数 ϕ_{p2}

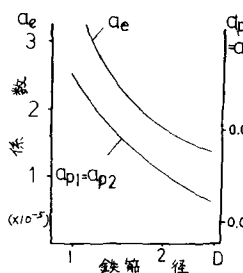


図-10 関数φの係数

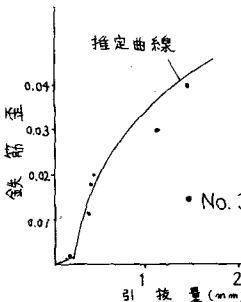


図-11 鉄筋歪-引抜量曲線

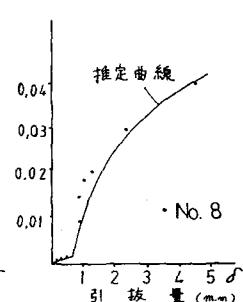


図-12 鉄筋歪-引抜量曲線