

交番載荷を受ける鉄筋の相対すべりについて

川内 龍雄 大正 員 出口 孝史
 鹿児島大学 正 員 松本 進
 鹿児島大学 前村 政博
 鹿児島大学 学生員 田中 千秋

1. ま え が き

鉄筋コンクリート構造物の変形性能には、主鉄筋降伏後の鉄筋とコンクリートの相対すべりが大きく影響することがこれまでの研究から明らかにされている。相対すべりは、任意の荷重時における鉄筋の歪分布形を決定できれば、歪を鉄筋軸方向に積分することによって基本的に求めることができるが、鉄筋降伏後に交番載荷を受けた場合の歪分布性状や歪挙動についてはほとんど明らかにされていないのが現状である。本研究は、フーチングモデル実験から鉄筋降伏後の正負交番載荷によって生じる歪分布性状、歪挙動を明らかにするとともに、鉄筋とコンクリートの相対すべりについて推定方法を提案するものである。

2. 実 験 概 要

図-1は、実験供試体および実験装置について示したもので、供試体は断面40cm×60cm、高さ60cmと90cmのコンクリート躯体の断面中心部に異形鉄筋を鉛直に埋込んだものである。なお、鉄筋の頭部には交番荷重負荷のためにねじ部を溶接してある。また、歪分布測定のため鉄筋表面には歪ゲージを、コンクリート表面から上2cm位置、表面下5cmピッチで2枚、以下10cmピッチで3枚貼付している。相対すべり量の測定は、コンクリート表面から1cmの位置に取付けたアングルを介して変位計を用いて行った。交番載荷装置は、鉄筋頭部にロードセルを介して面動オイルジャッキを取付け、正負の交番載荷を鉄筋に加えるものである。

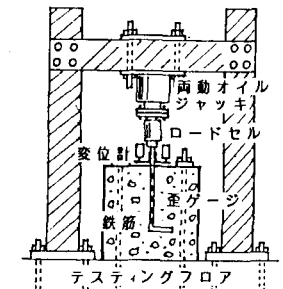


図-1 実験供試体及び実験装置

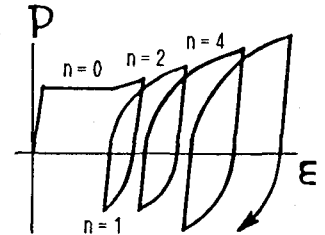


図-2 載荷方法

表-1 実験要因

鉄筋径	コンクリート強度 (kgf/cm^2)
D16	200
D19	300
D22	400

図-2は、載荷方法を示したもので、鉄筋降伏前の弾性域を3段階に分けて $\pm 500\mu$ 、 $\pm 1000\mu$ 、 $\pm 1500\mu$ の歪値で制御を行った。鉄筋の降伏は引張載荷時に生じさせ、降伏後歪硬化域まで載荷した後に反転交番載荷を加えた。なお交番載荷は、引張載荷時に歪を載荷回数に伴って漸増させる歪制御とした。

表-1に実験の要因を示す。実験に用いた鉄筋は、SD30クラスのD16、D19、D22の3種であり、供試体コンクリートの強度は目標 200kgf/cm^2 、 300kgf/cm^2 、 400kgf/cm^2 の3種とした。なお、用いた鉄筋の機械的性質を表-2に示す。

3. 実 験 結 果

1) 鉄筋の応力-歪履歴曲線

図-3は、交番載荷を受ける鉄筋の応力-歪履歴曲線の実測の一例を示したものである。鉄筋の降伏後、交番載荷を受けると鉄筋の応力-歪関係は同図に示されるようにラウンドした曲線となる。各載荷時の応力-歪関係を鉄筋応力 $\sigma = E / (a + bE)$ のモデルで表現し、係数 a 、 b を実験結果より前回の載荷によって生じた塑性歪 ϵ_p 、交番載荷回数 n を用いて重回帰分析により線形結合で表現すると、引張載荷時、圧縮載荷時のそれぞれに対して次式で表現される係数が求められた。

表-2 鉄筋の機械的性質

鉄筋の種類	降伏応力度 (kgf/cm^2)	終断応力度 (kgf/cm^2)
D 16	3474	5237
D 19	3246	5410
D 22	3565	5141

引張載荷時) $Q = 3.2 \times 10^{-6} + 3.50 \times 10^{-9} n + 1.75 \times 10^{-5} \varepsilon_{ip}$
 $b = 1.80 \times 10^{-4} - 1.80 \times 10^{-7} n + 2.14 \times 10^{-4} \varepsilon_{ip}$
 圧縮載荷時) $Q = 7.51 \times 10^{-7} + 2.93 \times 10^{-9} n - 2.87 \times 10^{-6} \varepsilon_{ip}$
 $b = 2.81 \times 10^{-4} - 2.88 \times 10^{-6} n - 1.26 \times 10^{-3} \varepsilon_{ip}$

2) 歪分布性状および歪挙動

① 引張降伏時 ($n=0$) の歪分布形状

図-4は、鉄筋降伏時の歪分布形状の一例を実験結果よりモデル化して示したものである。載荷荷重が降伏荷重を越えて歪硬化域に入ると、コンクリート中の鉄筋歪分布は上部の塑性域(分布長 l_p)と下部の弾性域(分布長 l_e)の二つの領域を生じる。弾性域の歪分布形はほぼ直線的分布とみなせ、また弾性域と塑性域との境界においては鉄筋の降伏に伴い歪が歪硬化歪までスライドするために不連続の段差を生じている。

② 引張降伏後の除荷および圧縮載荷時 ($n=1$) の歪分布形状

図-5は、降伏後の除荷から $n=1$ の圧縮載荷までの歪分布形状ならびに歪挙動の一例を示したものである。 $n=0$ の除荷から $n=1$ の載荷に到るまでの歪分布形状は、前回の引張載荷で生じた分布長 l_p 、 l_e はそのまま維持され、最大歪の増大に伴い両領域内での歪分布に変化が生じている。また、弾性域では除荷により歪はほぼゼロにもどるとともに圧縮載荷により圧縮の歪分布が生じている。この時、弾性域の l_e に変化はない。また塑性域では、除荷により残留歪分布を生じた後、圧縮載荷による歪分布の変化が起るが、塑性分布長 l_p は変化していないと考えられる。

③ 圧縮載荷 ($n=1$) の除荷および引張載荷時 ($n=2$) の歪分布形状

図-6は、圧縮載荷 ($n=1$) の除荷から引張載荷 ($n=2$) に到るまでの歪分布挙動の一例を示したものである。圧縮載荷 ($n=1$) によって塑性分布長 l_p が変化していないので、前回 ($n=0$) の引張載荷時の歪分布に到達するまで l_p に変化を生じない。前回の歪分布に到達後さらに載荷を続行すると初めて塑性歪分布長 l_p が新たな l_p へと増加する。しかしながら、この場合においても弾性域の歪分布長 l_e は変化なく、ただ下方に移動するのみである。

4. あ と が き

交番載荷を受ける鉄筋の歪分布は、弾性域と塑性域の二つの領域が生じる。本実験のような圧縮載荷によって塑性域の歪分布長 l_p が拡大しないような場合では、前回の載荷時によって生じた歪分布長 l_e 、 l_p がそのまま維持され、 l_e 、 l_p が固定された中で歪分布の変化が生じてくる。このことは逆に、載荷時における歪挙動は前回の載荷時に生じた l_e 、 l_p に規定され、新たな塑性歪分布長 l_p を生じた段階で歪挙動が変化することを示している。

なお、交番載荷を受けた鉄筋の相対すべり量の推定方法については講演当日に報告する。

参考文献) 松本、出口「鉄筋とコンクリートの相対引抜き量の算定方法について」コンクリート工学論文 No.86 8-1

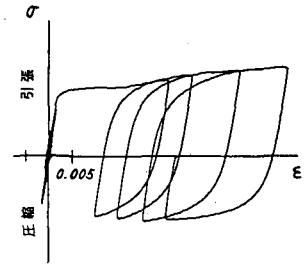


図-3 鉄筋の応力-歪履歴曲線

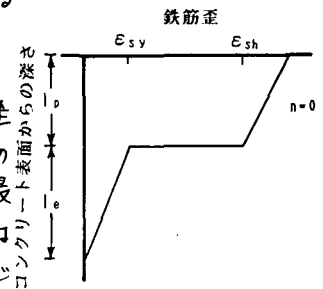


図-4 歪分布形状 ($n=0$)

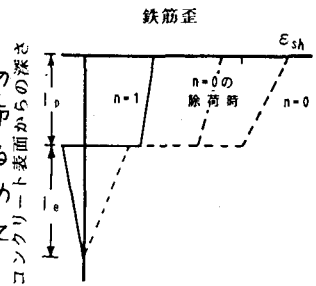


図-5 歪分布形状 ($n=1$)

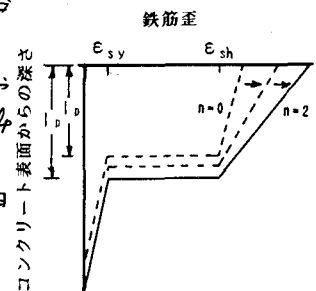


図-6 歪分布形状 ($n=2$)