

V-8

鉄筋コンクリート桁の横拘束を受けるコンクリートの応力-ひずみ関係

北海道大学工学部 正員 志村 和紀
北海道大学工学部 正員 佐伯 昇
北海道大学工学部 正員 藤田 嘉夫

1. まえがき

曲げを受ける鉄筋コンクリート部材中のコンクリートの応力-ひずみ関係は、曲げ耐力の算定、靱性あるいは変形の検討を行う際に必要である。しかし、現在提案されているモデルの多くは柱試験体の中心軸圧縮試験から導かれており、曲げ試験体によるものも、軸力を作用させコンクリートに引張応力が生じない条件下の試験から得られたものが多い。純曲げのように断面内に中立軸があり、引張領域を持つ場合は横方向鉄筋の拘束効果も異なると考えられる。昨年、鉄筋コンクリート単純桁の曲げ試験で得られたひずみデータから解析的に圧縮部コンクリートの応力-ひずみ関係を求めることが可能であることを報告したが¹⁾、得られた応力-ひずみ関係は最大応力を過大に評価する傾向があると考えられた。これは引張鉄筋に用いた異形鉄筋とコンクリートの付着作用による引張剛性の増大(剛性効果²⁾)を圧縮部コンクリートの耐力の増大として評価した可能性があり、また、引張鉄筋降伏型の断面設計であったため、鉄筋の降伏によるひずみの飛躍的増大および中立軸が断面上部まで上昇したことによる測定精度の低下などの原因が考えられた。

本研究では、引張鉄筋とコンクリートの付着を絶ち、降伏躍り場の無い鉄筋を引張鉄筋として用い、中立軸を低い位置に抑えることによって、コンクリートの応力-ひずみ関係を精度良く求めることを目的とした。

2. 実験方法

実験に使用したコンクリートは目標強度を 300kgf/cm^2 とした。引張鉄筋としてはSBPR 95/110 P C 鋼棒(17mm)を用いた。その応力-ひずみ関係は図-1に示すとおり軟鋼とは異なり、降伏躍り場を有さないものであり、実験では弾性範囲内を越えないよう断面設計を行った。圧縮鉄筋はSR30丸鋼(6mm)を用いた。その応力-ひずみ関係を図-1に示す。断面は図-2に示すように矩形断面とし、有効高さは17cmとした。スタ

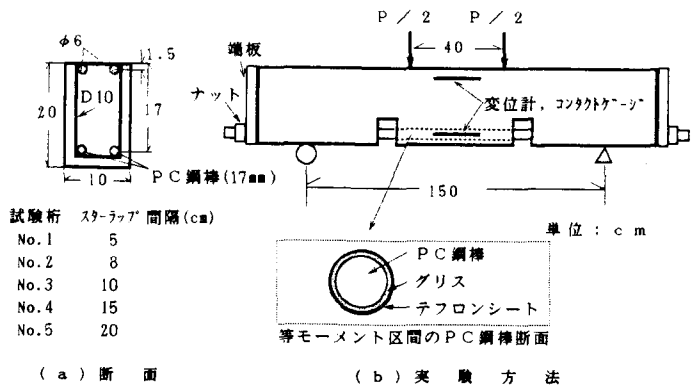
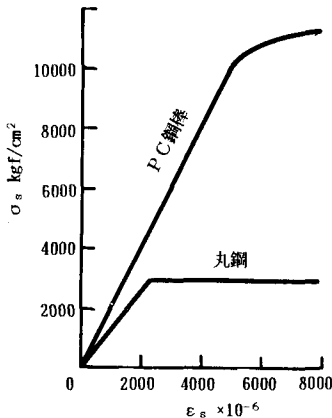


図-1 主筋の応力-ひずみ関係

図-2 断面・実験方法

Stress-Strain Relationship of Concrete in Reinforced Concrete Beam Subject to Influence of Lateral Confinement, by Kazunori SHIMURA, Noboru SAEKI and Yoshio FUJITA

ーラップはSD30, D10異形棒鋼を閉合型としたものを用い、圧縮部かぶりコンクリートの影響を除くために、圧縮部のスターラップからのかぶりを0とした。スターラップ間隔は5cm(No.1)、8cm(No.2)、10cm(No.3)、15cm(No.4)および20cm(No.5)の5種に変化させた。

載荷方法は、図-2に示すように2点載荷とした。PC鋼棒は両端をねじ切りし、試験桁との間に端板を挟み、ナットによって定着を図った。等モーメント区間のPC鋼棒はコンクリートとの付着を絶つために、グリスを塗り、テフロンシートを巻き付けた。載荷点下ではPC鋼棒を露出させ、ひずみゲージをその上下縁に貼付し、引張力を測定した。等モーメント区間の鉄筋位置のコンクリート表面の平均ひずみを変位計およびコンタクトゲージによって測定した。

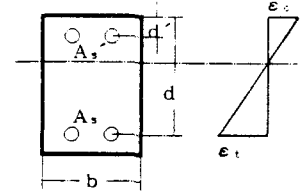


図-3 計算に用いる断面

3. 解析方法

図-3に示す断面の力およびモーメントの釣合を基に、次式のようにコンクリートの応力をモーメントおよびひずみの関数として表すことができる¹⁾。

$$\begin{aligned} \sigma_c = & \frac{1}{b d} \left[-A_s \sigma_s \frac{d \varepsilon_t}{d \varepsilon_c} - A_s' \sigma_s' \left\{ \left(\frac{d \varepsilon_t}{d \varepsilon_c} + 1 \right) \left(\frac{\varepsilon_t - \varepsilon_c}{\varepsilon_t + \varepsilon_c} + \frac{2 d'}{d} \right) - 1 \right\} \right. \\ & \left. - A_s' \frac{d \sigma_s'}{d \varepsilon_c} \left\{ (\varepsilon_t - \varepsilon_c) + \frac{d'}{d} (\varepsilon_t + \varepsilon_c) \right\} \right. \\ & \left. + \frac{1}{d} \left\{ 2 M \left(\frac{d \varepsilon_t}{d \varepsilon_c} + 1 \right) + \frac{d M}{d \varepsilon_c} (\varepsilon_t + \varepsilon_c) \right\} \right] \quad \dots \dots (1) \end{aligned}$$

(σ_c : 断面上縁のコンクリートの応力、 σ_s' : 圧縮鉄筋応力、 σ_s : 引張鉄筋応力、 M : 曲げモーメント)

(1)式に実験値をそのまま代入すると測定誤差のために乱れが生じるため、以下のようにデータの预处理を行う。計算結果に大きく影響すると思われるのは数値微分を行う項である。従って、 $M - \varepsilon_c$ および $\varepsilon_t - \varepsilon_c$ 関係を実験データを基に平均的な連続曲線で表す。また、PC鋼棒とコンクリートの間には滑りが生じているため、 σ_s (実験データはひずみ ε_{pc} で表されている) は ε_t とは独立して取り扱わなければならない、同様の処理を必要とする。その例を図-4に示す。 $\sigma_s' - \varepsilon_c$ については σ_s' が ε_c から求められるため処理を行わなかった。

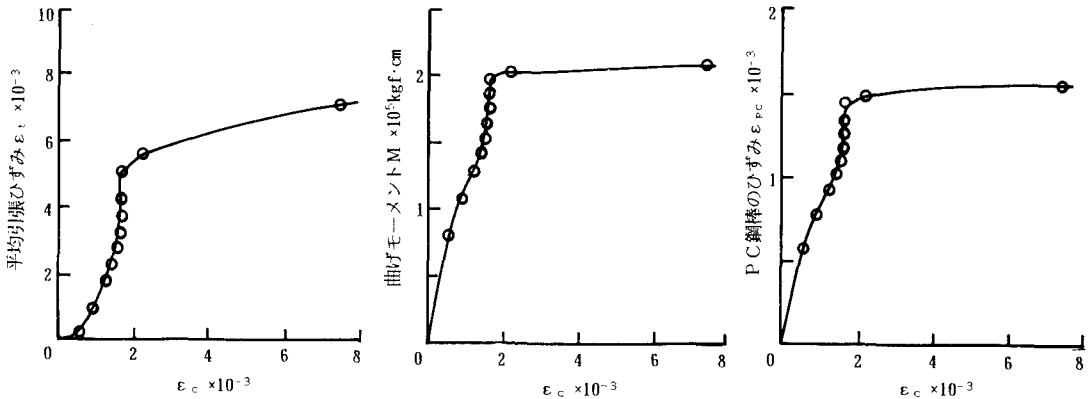


図-4 $\varepsilon_t - \varepsilon_c$ 、 $M - \varepsilon_c$ 、 $\varepsilon_{pc} - \varepsilon_c$ 関係

次にコンクリートのひずみ ε_c のきざみを 200×10^{-6} として図-4より得られた値を(1)式に代入し、コンクリートの応力-ひずみ関係を得る。なお、数値微分は前後の2点を結ぶ割線の勾配とした(図-5)。

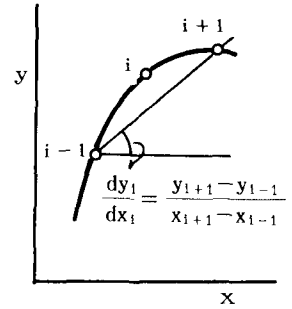


図-5 数値微分

4. 実験結果および考察

No.1~No.5の桁について載荷実験を行った。実験値を3.の方法により処理し、得られたコンクリートの応力-ひずみ関係を図-6に示す。応力はコンクリート円柱供試体による圧縮強度 f_c' に対する比で表した。

これによれば、コンクリートの応力-ひずみ関係における最大応力時のひずみ ε_{c0} は $0.0019 \sim 0.0025$ であり、応力の大きさ σ_{cmax} / f_c' は $0.79 \sim 1.11$ の範囲にあった。ここで、No.1, No.2およびNo.3桁は圧縮縁コンクリートが最大応力に達した以降も荷重は増大したのに対し、No.4およびNo.5は最大応力付近で最大荷重となり、急激な破壊を生じた。このことから、No.4およびNo.5桁の最大荷重付近のデータにある程度の誤差が含まれていることが考えられるため、最大応力の検討から除けば、 $\varepsilon_{c0} = 0.0019 \sim 0.0022$ 、 $\sigma_{cmax} / f_c' = 0.92 \sim 0.93$ となり、 $\varepsilon_{c0} \approx 0.002$ として良く、 σ_{cmax} の値も f_c' を上回らないことが分かる。多くの研究では、コンクリートに対する横方向鉄筋の拘束効果によりコンクリートの最大応力およびその時点のひずみが、拘束を受けない場合に比べ大きくなるという結論を得ているが、本実験のような曲げ部材のスターラップの場合は、ひずみ勾配があることおよび引張領域の存在により均一な拘束力が生じず、最大応力時に有効に作用しないものと考えられる。

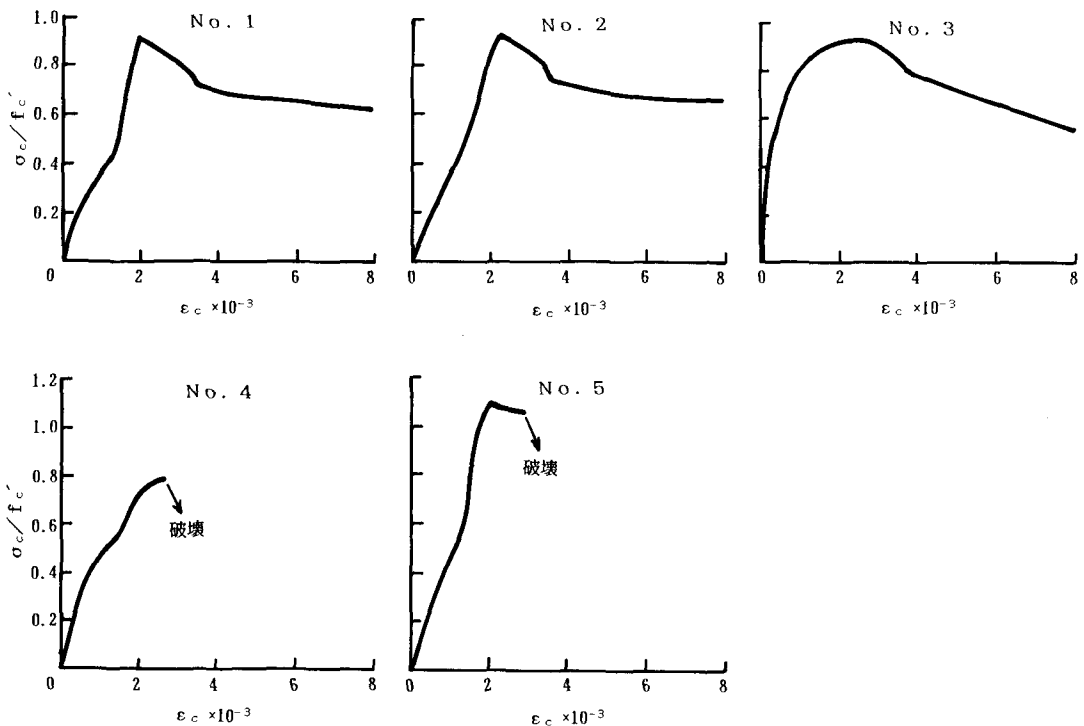


図-6 実験によるコンクリートの応力-ひずみ関係

図-7にひずみデータから求めた中立軸深さと荷重の関係を示す。圧縮縁コンクリートが最大応力に到達した点を○印で示す。スターラップ間隔が5cm~10cmであるNo.1~No.3桁は最大応力以降に拘束力が生じ、中立軸を下げながら荷重を増すのに対し、スターラップ間隔がそれぞれ15cm, 20cmであるNo.4, No.5桁は最大応力以降の拘束力が小さいため急激に破壊したものと考えられる。

スターラップのひずみと荷重の関係の一例を図-8に示す。測定部はせん断力の生じない等モーメント区間内であるが、有効な拘束力を生じていないと思われる段階からスターラップの鉛直部にも引張ひずみが生じており、最終的には降伏ひずみの15%程度に達する。従って、せん断補強鉄筋として配置されたスターラップが、コンクリートへの拘束効果のために計算外の引張力を受ける可能性があり、せん断設計に際して考慮する必要がある場合もあると考えられる。

5. まとめ

P C鋼棒を用いた鉄筋コンクリート桁の曲げ試験からコンクリートの応力-ひずみ関係を導くことを試みた。データ数も少なく、測定方法についても検討する必要があると考えられるが、次のことが考察できた。

- (1) P C鋼棒を用いることにより鉄筋とコンクリートの付着応力の影響を取り除くことができ、より高い精度でコンクリートの応力-ひずみ関係を求めることができた。
- (2) コンクリートに対するスターラップの拘束効果は最大応力点までは期待することができず、その時のひずみは0.002として良く、応力もコンクリートの圧縮強度とほぼ同等である。
- (3) コンクリートの最大応力到達以降は、スターラップによる拘束効果が生じ、部材の靱性の向上に寄与する。

参考文献

- 1) 志村、佐伯、藤田、"鉄筋コンクリート部材の曲げ圧縮部コンクリートの応力-ひずみ関係"、土木学会北海道支部論文報告集、第46号、pp.705~708、1990
- 2) 志村、佐伯、藤田、"曲げを受ける鉄筋コンクリート部材の剛性効果の評価方法について"、土木学会第43回年次講演会講演概要集、第5部、pp.640~641、1988

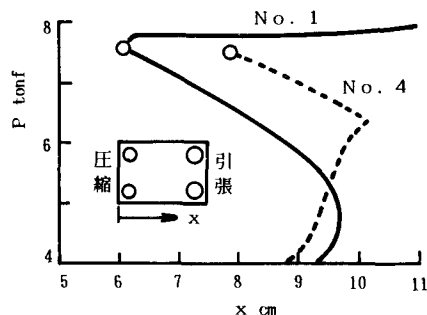


図-7 荷重と中立軸位置xの関係

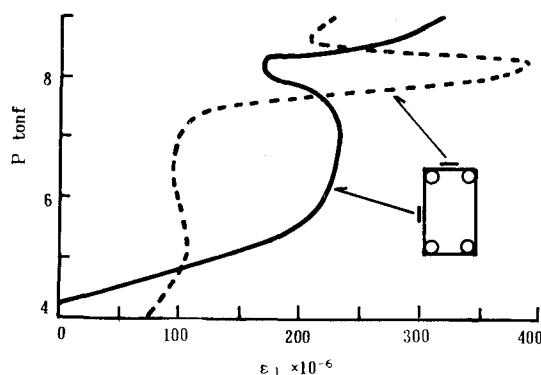


図-8 荷重とスターラップのひずみの関係