

V-14 曲げを受ける鉄筋コンクリート部材の変形挙動

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

鉄筋コンクリート部材が曲げを受ける場合、その挙動は種々の要因によって支配される。圧縮部コンクリートについては、圧縮鉄筋および腹鉄筋の拘束効果のため靱性が増すことが知られている。また、引張部においては鉄筋とコンクリートの付着応力が剛性を高め、変形および耐力に影響を及ぼす場合があり（剛性効果）、明らかにする必要のある現象と考えられる。

本報告は単純桁の載荷試験より剛性効果について検討し、その基礎的資料を得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早強ポルトランドセメントを用いたAEコンクリートとし、試験材令を14日、目標圧縮強度を 300kgf/cm^2 とした。鉄筋は異形棒鋼とし、圧縮鉄筋としてD6を、スターラップとしてD10を用い、引張主鉄筋としてはD10、D13およびD16を用いた。

試験桁は図-1(a)および表-1に示すように矩形断面とし、有効高さ $d=17\text{cm}$ 、桁高は $h=20, 22$ および 25cm と変化させた。配筋については、圧縮鉄筋比 $p'=0.0037$ とし、引張鉄筋比 $p=0.0042, 0.0075$ および 0.0117 とした。スターラップ間隔は 8cm と一定にした。実験方法は、図-1(b)に示すように、対称2点載荷とし、載荷点下のコンクリート下縁に切欠きを設け引張鉄筋を露出させ、そのひずみをストレインゲージによって測定し、桁の全引張力を求めた（切欠き上部のコンクリートの引張力は無視した）。また、等モーメント区間の上部と下部の軸方向ひずみをコンタクトゲージおよび変位計によって測定し、平均ひずみおよび曲率を測定した。載荷点には変位計を設け、たわみを測定した。

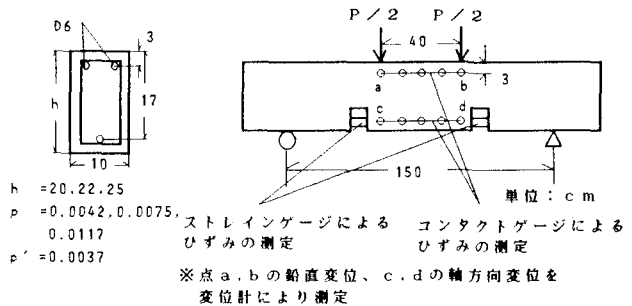


図-1 試験桁の断面・実験方法

表-1 試験桁の断面諸元

試験桁	引張鉄筋	鉄筋比 p	桁高 h cm	h-d cm	かぶり cm
D10-3	D10	0.0042	20	3	2.5
D10-5			22	5	4.5
D10-8			25	8	7.5
D13-3	D13	0.0075	20	3	2.35
D13-5			22	5	4.35
D13-8			25	8	7.35
D16-3	D16	0.0117	20	3	2.2
D16-8			22	5	7.2

※スパン $l=150\text{cm}$, 圧縮鉄筋比 $p'=0.0037$

3. 実験結果および考察

(1) 剛性効果を考慮した鉄筋の応力-ひずみ関係

桁の載荷実験において、切欠き部では全引張力を鉄筋が負担し、ひずみ ϵ_s を生じる。一方、等モーメント区間の引張鉄筋位置では、鉄筋とコンクリートの付着応力のために引張力の一部をコンクリートが負担し、 ϵ_s より小さな平均ひずみ $\bar{\epsilon}_s$ を生じる。そこで、鉄筋単体の引張試験より得られる応力-ひずみ関係を用い、付着力により鉄筋の剛性が増大したと考え、コンクリート中の鉄筋の応力-平均ひずみ関係として表わしたものが図-2の $\sigma_s-\bar{\epsilon}_s$ 曲線である。これを用いて解析を行なうことにより、剛性効果を考慮することができると考えられる。

図-3に実験より求めた引張鉄筋の降伏までの応力-平均ひずみ関係を示した。これによれば、鉄筋比の小さいD10およびD13桁は剛性効果の影響が顕著であり、鉄筋単体の応力-ひずみ関係に比べ高い剛性を示すが、鉄筋比が大きいD16桁は鉄筋単体のものとほぼ一致した。これは、付着に寄与するコンクリートの有効断面積を一定と考えれば、鉄筋比が小さい場合、コンクリートが負担する力と鉄筋が負担する力の比は大きい、鉄筋比が大きくなればその比は小さくなり、また、鉄筋の周長と断面積の比は鉄筋径が大きいほど小さくなるため、付着の影響が相対的に小さくなるからと考えられる。

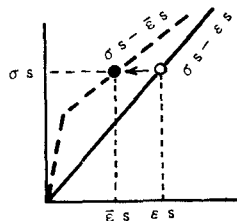


図-2 鉄筋の応力-ひずみ関係に及ぼす剛性効果の影響

図-4に鉄筋の降伏後についてまとめたものを示したが、図-3と同様に鉄筋比によって相違し、鉄筋比の小さいD10およびD13桁は降伏跳り場が短くなり早期にひずみ硬化が生じるのに対し、鉄筋比の大きいD16桁は鉄筋単体のものとほぼ一致した。

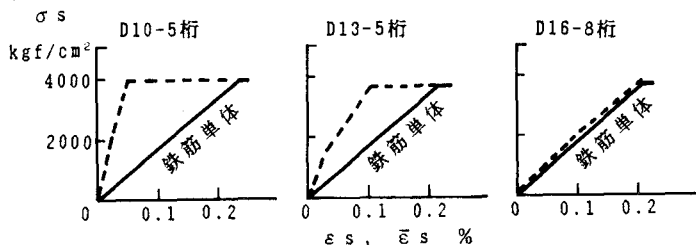


図-3 鉄筋の応力-平均ひずみ関係（降伏前）

図-5にかぶりを相違させた場合のD10桁の引張鉄筋の応力-平均ひずみ関係を示した。これによれば、かぶり $c = 2.5\text{cm}$ のD10-3桁に比べ、 $c = 5.5$ および 7.5cm のD10-5、D10-8桁は剛性が高くなり、かぶりが剛性硬化に影響を与えることが示された。また、D10-5桁とD10-8桁の間には大きな相違は認められなかった。これは、かぶりがある程度以上大きくとっても剛性効果は変わらないことを示しており、従来用いられている、付着に寄与するコンクリートの有効断面積 $2b \cdot (h-d)$ の値は $(h-d)$ を大きくしても限界値のあることを示唆している。

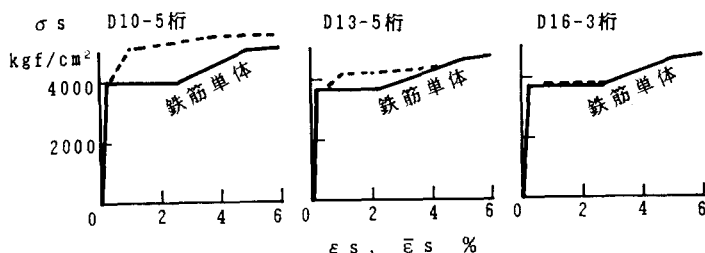


図-4 鉄筋の応力-平均ひずみ関係（降伏後）

(2) 変形挙動

(i) コンクリートの応力-ひずみ関係

コンクリートの応力-ひずみ関係としては図-6に示す形状のものを用了。¹⁾ descending-branchの終点としてCorleyの終局ひずみ²⁾を用い、次式で表わされる。

$$\varepsilon_{cu} = 0.003 + 0.02 \cdot b/z + (p_s \cdot f_y / 1406)^2$$

p_s ; 拘束鉄筋とそれに囲まれるコア・コンクリートの体積比

f_y ; スターラップの降伏点 (kgf/cm^2)

b ; 断面幅 (cm)

z ; せん断スパン (cm)

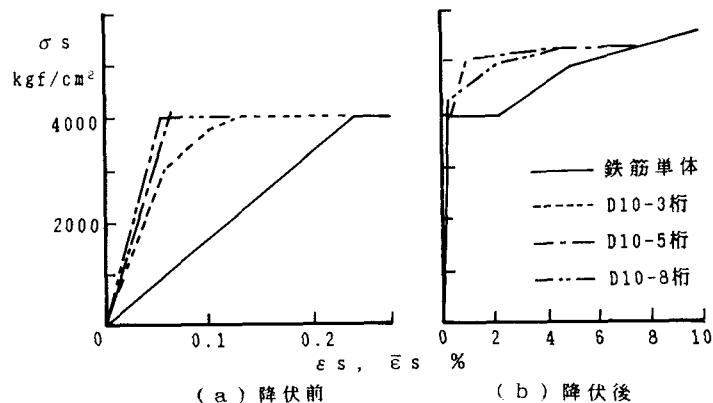


図-5 鉄筋の応力-平均ひずみ関係にかぶりの影響

(ii) 解析方法

解析方法としては図-3および図-4に示した鉄筋の応力-平均ひずみ関係と図-6に示したコンクリートの応力-ひずみ関係から、繰返し計算により曲げモーメント-曲率関係を求め、これを梁要素に分割した部材に適用してたわみを求めた¹⁾。

(iii) 曲げモーメント-曲率関係、荷重-たわみ関係

曲げモーメント-曲率関係および荷重-たわみ関係について実験値(○印)、剛性効果を考慮しない計算値(実線)および剛性効果を考慮した計算値(破線)を整理したものを図-7および図-8に示す。図-7によれば、曲げモーメント-曲率関係はD10およびD13桁については剛性効果を考慮しない場合、載荷初期から引

張鉄筋がひずみ硬化域に入るまでの領域はいずれも実験値を下回っている。また、ひずみ硬化域では次第に実験値に近づくが、この領域では鉄筋の応力レベルが高く、鉄筋も細くなっているため付着応力がほぼ無くなっているためと考えられる。一方、剛性効果を考慮した場合は実験値と良く一致し、鉄筋の応力-ひずみ関係として応力-平均ひずみ関係を用いることの有用性が示された。また、D16桁については先に述べたように、剛性効果の影響は小さいためこれを考慮しない計算値で十分変形を追跡することができる。

図-8によれば荷重-たわみ関係についても曲げモーメント-曲率の場合と同様の傾向を示し、剛性効果を考慮した応力-平均ひずみ曲線を用いることによってたわみを把握できることが示された。

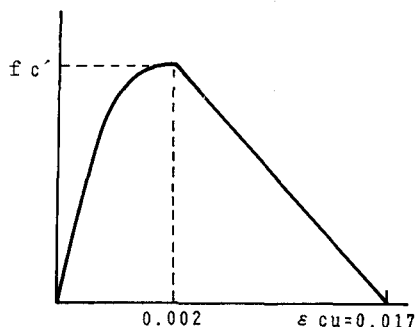


図-6 コンクリートの応力-ひずみ関係

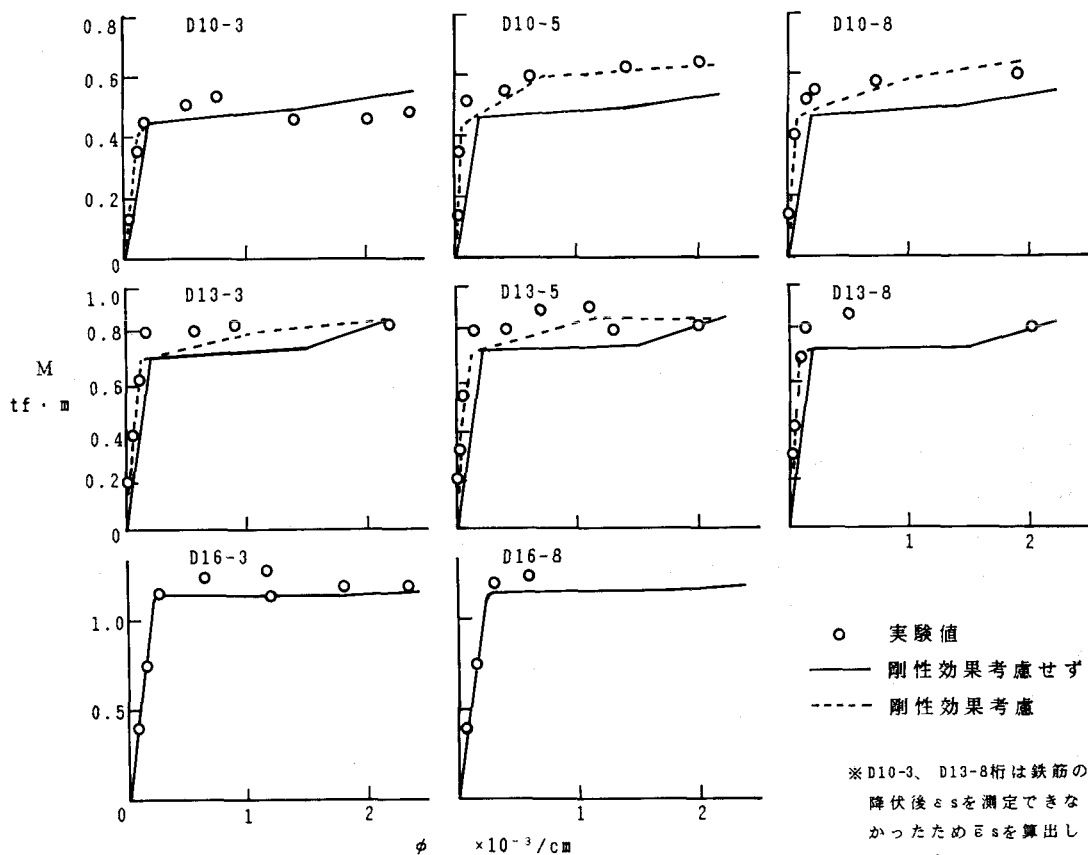


図-7 曲げモーメントと曲率の関係

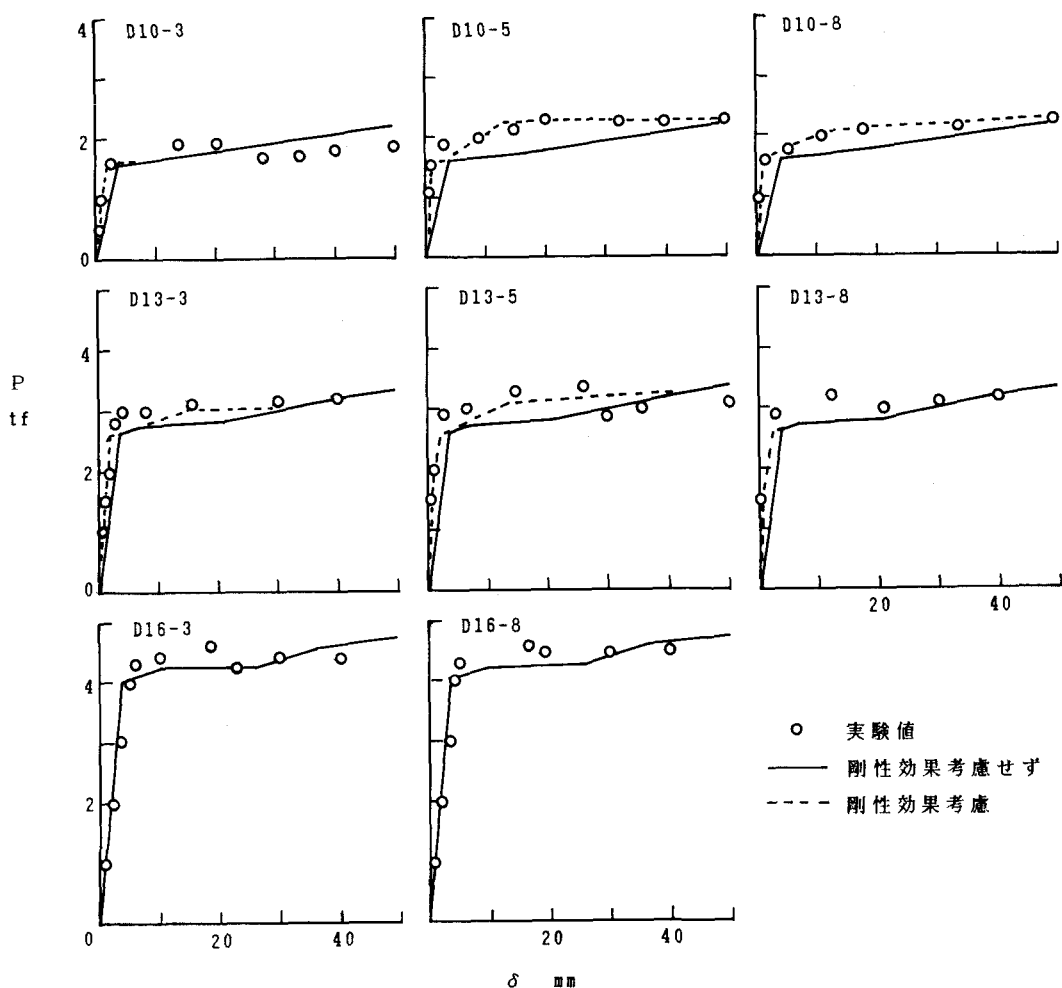


図-8 荷重とたわみの関係

5. まとめ

曲げを受ける鉄筋コンクリート部材の変形挙動の解析には鉄筋の応力-ひずみ関係としてコンクリート中の鉄筋の応力-平均ひずみ関係を用いることが有効であることが示されたが、実用的な方法とするためには平均ひずみについての定量的評価が必要である。多くのデータの蓄積が必要と考えられるが、本実験から得られた性質を次に挙げる。

- (1) 引張鉄筋の鉄筋比および鉄筋径は小さいほど大きな剛性効果を示す。
- (2) あるかぶり以下では、かぶりが大きいほど大きな剛性効果を示す。

参考文献

- 1) 志村, 佐伯, 藤田, “鉄筋コンクリート部材の非線形解析のためのモデル化について”, 土木学会北海道支部論文報告集, 第43号
- 2) Corley, W.G., “ROTATIONAL CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE BEAMS”, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 92, No. ST5, October, 1966