

[199] 正負交番ねじりを受ける鉄筋コンクリートT形はりの 終局強度に関する一実験

正会員 児島 孝之（立命館大学理工学部）

正会員 高木 宣章（立命館大学理工学部）

正会員○田中 玲光（立命館大学大学院）

1. はじめに

當時にはねじりモーメントの発生をみない構造物でも地震時には相当大きな正負に交番するねじりモーメントが発生し破壊にまで至る場合も少なくはない。現在土木学会では、限界状態設計法に基づき「コンクリート標準示方書」の改訂作業が行なわれておりその中でねじりに対する条項が新しく設けられ終局限界状態に対する安全性の検討を行なうことになっている。この「コンクリート標準示方書」（案）におけるフランジを有する断面の終局ねじりモーメントの算定法は、従来の弾性解析に基づいてフランジ部分、ウェブ部分に終局ねじりモーメントを分担させる算定法ではなく、実際の鉄筋の配置を考慮し、各スター・ラップで囲まれる部分に分割し、終局ねじりモーメントを各分割部分の総和として算定する方法である。

本研究は、T形断面はりについて静的載荷実験および、正負に交番するねじり載荷実験を実施し、上記の算定法の適合性の検討および変形性状等の復元力特性の検討を行うものである。

2. 実験概要

T形断面を有する鉄筋コンクリートはりの終局ねじり強度に影響をおよぼす実験要因として、フランジ3種類、ウェブ2種類の横方向鉄筋比の組合せを考え、その中から5つの組合せを選んだ。実験計画を表-1に示す。この表におけるT形断面を有する供試体をT1～5シリーズとした。さらに、Tシリーズの終局強度算定法の適合性を検討するために、フランジ部分、ウェブ部分と同一のスター・ラップ間隔を有する長方形断面はりをそれぞれFシリーズ、Wシリーズとしそれぞれのスター・ラップ間隔でF10、F5、W15、W10を設定した。各シリーズとも一方向載荷と正負交番各1体づつ、計18体を製作してねじり載荷実験を行なった。

供試体寸法は、Tシリーズは300×300×2000、Fシリーズは100×300×2000、Wシリーズは150×300×2000である。軸方向鉄筋にD10、D13(SD35) 横方向鉄筋にD6(SD30)、D10(SD35)を使用した。配筋図の一例を図-1に示す。載荷実験時のコンクリートの諸強度およびヤング係数を表-2に示す。図-2に載荷装置、図-3に載荷方法の概略図を示す。正負ともねじり載荷は、はりの両支点部に取り付けた偏心載荷用アームで直接載荷することによって行なった。この載荷装置は試験機とビームの間にテフロンシートを用いておりビームは容易に横方向に回転できるものである。偏心距離はTシリーズ、Wシリーズにおいては15cm、Fシリーズにおいては10cmである。正負の交代の

表-1 実験計画

	ウェブ鉄筋(PI=1.24%)	
	W-15 (Pv=0.78%)	W-10 (Pv=1.17%)
フランジ 鉄筋 PI=1.0%	Pv=0	T 1 シリーズ
	F-10 (Pv=0.71%)	T 3 シリーズ
	F-5 (Pv=1.42%)	—
		T 5 シリーズ

$$\begin{array}{l} \text{T} = \square + \square \\ \text{Tシリーズ} = \text{Wシリーズ} + \text{Fシリーズ} \end{array}$$

表-2 コンクリートの諸強度

圧縮強度 曲げ強度 ヤング係数	362 30 54	3.06 × 10 ⁵
(kg/cm ²)		

際、二又式センターホール型油圧

ジャッキにより予めキャリブレーションを行なったPC鋼棒を緊張させ(約20kg)ビームによるものと逆方向のねじりモーメントを与えることによりはりが転倒することを避けた。変形が各部で拘束されないように支点および載荷点に

球座を、PC鋼棒とジャッキ、アームの間にボールベアリングを使用した。正負交番ねじり載荷は、回転角による変位制御によって行なった。変位制御方法は、処女載荷時可視ひびわれ発生あるいは、回転角が 2.5×10^{-5} rad/cmで制御しその後徐々に除荷し負のねじり載荷と交代する。ひびわれ発生後は、回転角が 2.5×10^{-5} 、 5×10^{-5} 、 10×10^{-5} 、 20×10^{-5} 、 30×10^{-5} 以後 10×10^{-5} rad/cm毎に変位制御をし各1回づつループさせはりを破壊させる。各シリーズとも正負交番ねじり載荷に先立って一方向ねじり載荷を行なった。一方向ねじり載荷は、処女載荷時可視ひびわれ発生まで加力し、その後除荷に移り、数回のループを描いた後破壊させた。

3. 実験結果および考察

3-1 終局ねじり強度

表-3に実験結果を示す。正負交番載荷(PN)は一方向載荷(P)に対して9%~21%の耐力低下が生じた。ただし、T1シリーズのみ耐力低下は認められず逆にPN/Pが1を上回った。計算値と比較するとW10-PNを除いて全て安全側の値を示している本実験において、「コンクリート標準示方書」(案)による終局強度算定式は、実験値とよく一致した。

ACIの算定式によると、F5シリーズを除く全てのはりで安全側の値を示している。Fシリーズの終局強度は、算定式中の $\alpha = 0.66 + 0.33(x_1/y_1)$ が、制限値の1.5を超えており、これを無視して求めているため断面の寸法比を考慮した値よりも算定値が、大きな値を示していると考えられる。

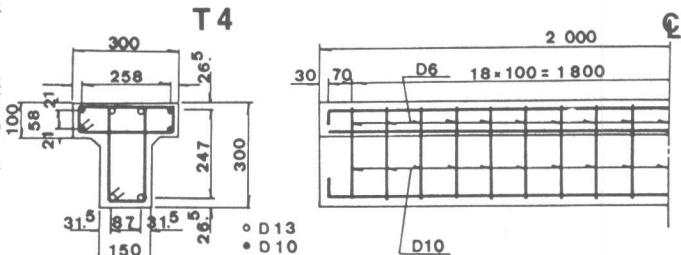


図-1 配筋図

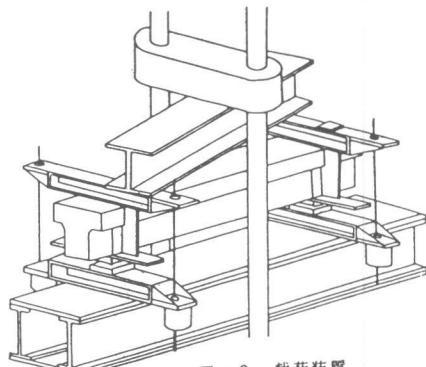


図-2 載荷装置

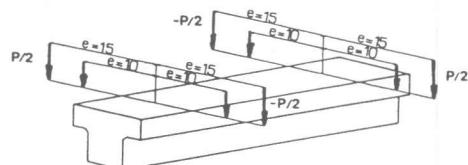


図-3 載荷方法の概略図 [cm]

表-3 実験結果

供試体名	M _{tu}	P _{N/P}	M _{tu'}	M _{tu} /M _{tu'}	ACI	M _{tu} /ACI
F 1 O - P	52.50	0.79	35.60	1.47	36.26	1.45
F 1 O - P N	41.25			1.16		1.14
F 5 - P	60.00	1.00	50.30	1.19	63.00	0.95
F 5 - P N	60.00			1.19		0.95
W 1 5 - P	100.50	0.93	87.90	1.14	75.18	1.34
W 1 5 - P N	93.75			1.07		1.25
W 1 0 - P	118.50	0.89	107.60	1.10	102.08	1.16
W 1 0 - P N	105.00			0.98		1.03
T 1 - P	101.25	1.09	93.20	1.09	79.30	1.28
T 1 - P N	110.63			1.19		1.40
T 2 - P	123.75	0.91	112.90	1.10	106.20	1.16
T 2 - P N	112.50			1.00		1.06
T 3 - P	151.88	0.91	123.50	1.23	87.86	1.73
T 3 - P N	138.75			1.12		1.58
T 4 - P	173.25	0.91	143.20	1.21	114.76	1.51
T 4 - P N	157.50			1.10		1.37
T 5 - P	195.75	0.88	157.90	1.24	123.26	1.59
T 5 - P N	172.50			1.09		1.40

M_{tu} : 終局ねじりモーメントの実験値(tcm)

P_{N/P} : 一向向に対する正負交番ねじり載荷の終局ねじりモーメントの比

M_{tu'} : 「コンクリート標準示方書」(案)による終局ねじりモーメント計算値(tcm)

ACI : ACIによる終局ねじりモーメント計算値(tcm)

図-4に実験値と「コンクリート標準示方書」（案）によって求めた終局ねじりモーメントの比較を示す。一方向載荷では $M_{tu}/M_{tu}' = 1.09 \sim 1.47$ とかなり安全側であるが正負交番載荷では $M_{tu}/M_{tu}' = 0.98 \sim 1.19$ となり計算値に近くなる。「コンクリート標準示方書」（案）による算定式と ACI を比較すると、 $M_{tu}' / ACI = 1.05 \sim 1.41$ と「コンクリート標準示方書」（案）の方が大きな値を与えており（F5を除く）、実験値に近似していることをあわせて考えると ACI は、安全側にシフトし過ぎておりこの傾向は、Tシリーズにおいて顕著に表われている。

3-2 回転角

図-5にねじりモーメント比と回転角比の関係の一例を示す。ここでねじりモーメント比および回転角比は、それぞれ終局ねじりモーメントおよび終局時の回転角で無次元化したものである。各ループの最大点を順に連ねると一方向ねじり載荷の時に得られるスケルトンカーブに近似している。またひびわれ発生前およびひびわれ本数の少ない載荷初期の段階で線形あるいは紡錘形であったものが、載荷回数の増加に伴って逆S字形に移行するという傾向がみられる。これは、ねじりモーメントが正負交代する前後の低ねじりモーメント域においてねじりモーメントの変化量に比べ回転角の変化量が大きいというスリップ現象が生じるためであり、この現象は全てのはりで観察された。逆S字形に移行する変曲点は正および負の加力中に存在し、スリップするねじりモーメント域は、本実験において終局ねじりモーメントに対する割合で約30%程度を限度としており横方向鉄筋比の影響はあまり受けずにはば一定の範囲で生じた。これに対し、スリップ現象が生じる回転角の範囲は、載荷回数および横方向鉄筋比の影響を受け、載荷回数が増加するにつれて増加し、横方向鉄筋比が増加する程スリップする回転角の範囲も増加した。

3-3 剛性低下

図-6に本実験におけるねじり剛性の定義を示す。ここで、剛性比をねじりモーメントと回転角の関係から、ひびわれ前のねじり剛性（初期ねじり剛性：GK_r）に対する各ループの減力する際のねじり剛性（減力剛性：GK_r）および加力する際のねじり剛性（加力剛性：GK_i）の比と定義する。ねじり剛性は、ループの2点の傾きを角度で表わしたものとした。載荷回数は、正負を交代する回数で処女載荷時は0である。

各シリーズともGK_rとGK_iはほぼ同様の傾向を示した。復元力特性は、減力する際の特性が重要と考えられるので

GK_rに注目すると、長方形断面のF・Wシリーズでは横方向

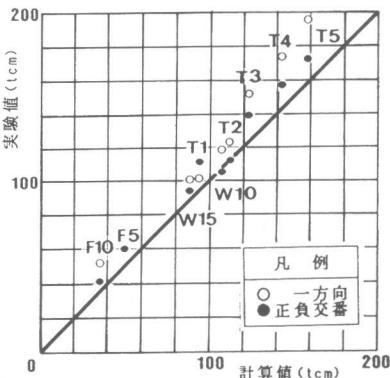


図-4 実験値と計算値の比較

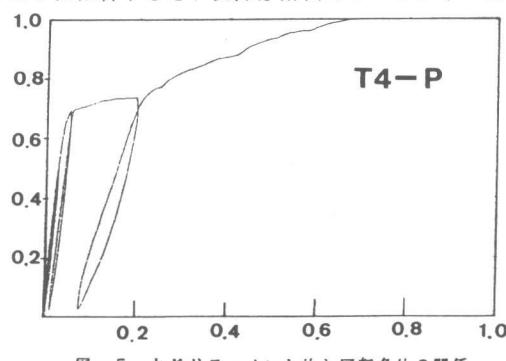
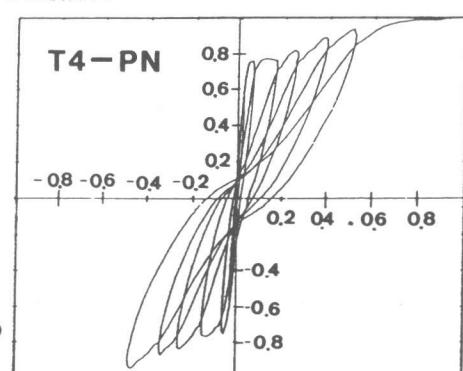


図-5 ねじりモーメント比と回転角比の関係



鉄筋比の大きい方が若干下まわる傾向がみられた。図-7にTシリーズの正負交番載荷時の剛性比と載荷回数の関係を示す。フランジ部分にスターラップを有しないT1・T2は、フランジのひびわれが、即破壊につながるため剛性比の低下状況は類似しており、横方向鉄筋比の差の影響は見られなかった。ウェブの横方向鉄筋比の等しいT4・T5を比較すると最終ループではT5の方が若干下まわるが両者の低下状況に明瞭な差異はない。これに対し、ウェブの横方向鉄筋比が異なりフランジの横方向鉄筋比の等しいT3・T4を比較すると、剛性比の低下状況は一致せず、T4が下まわった。剛性の低下は横方向鉄筋比の影響を受け横方向鉄筋比が大きいほど剛性低下は大きい。低下状況はT・W・Fシリーズとも載荷回数の増大に伴うひびわれ本数の増加にしたがいほぼ同様の傾向で低下した図-8にひびわれ状況図の一例を示す。本実験におけるT形断面の剛性の低下は、ウェブの横方向鉄筋比の影響の方がフランジのそれよりも大きいと考えられる。

4. 結論

本研究は、T形断面を有する鉄筋コンクリートはりに関して一方向および正負交番ねじり載荷実験により終局強度の算定法および復元力特性の検討を行なったものである。限られた実験であるが本実験により得られた結果を以下に示す。

- (1) 「コンクリート標準示方書」(案)によって求めた終局強度は実験値とよく一致した。
- (2) ねじりモーメントと回転角の関係より得られた履歴曲線の折返し点を順に結んだ曲線は、一方向載荷の時に得られるスケルトンカーブに類似したものとなる。
- (3) ねじりモーメントと回転角の関係を表わす履歴曲線はスリップ現象を生じる。
- (4) 正負交番載荷時のGK_rおよびGK_iと載荷回数の関係を表わす曲線はほとんど同じ傾向を示す。
- (5) 剛性低下は、横方向鉄筋比が大きい程大きい。

本研究に対して昭和60年度文部省科学研究費の交付を受けました。ここに謝意を表わします。

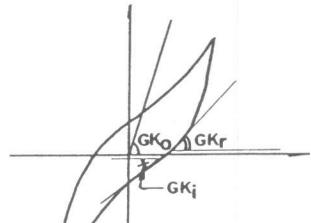


図-6 ねじり剛性の定義

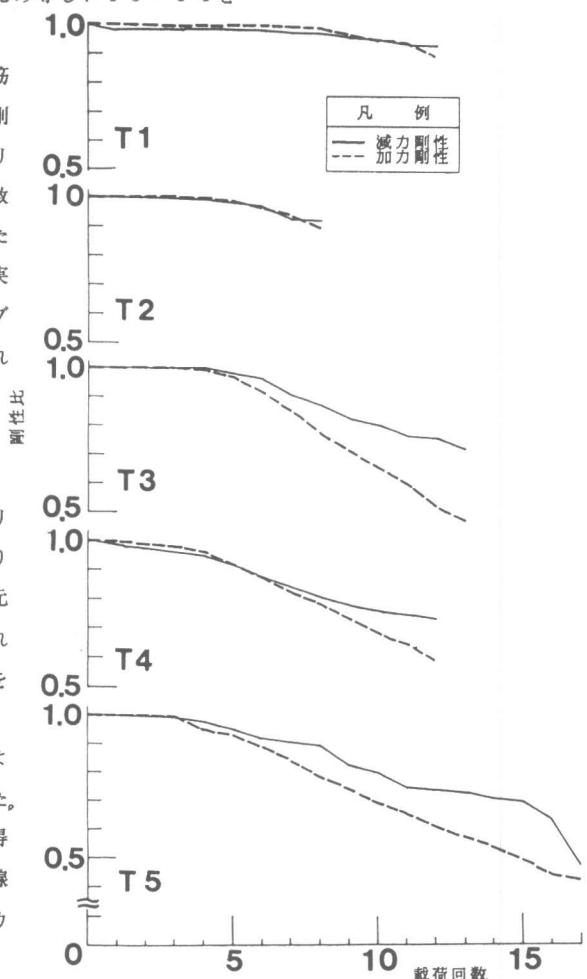


図-7 剛性比と載荷回数の関係

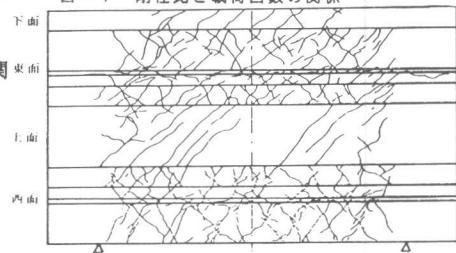


図-8 ひびわれ状況図