

○ 国 鉄 正 会 員 青 木 桂 一
 国 鉄 正 会 員 石 橋 忠 良
 国 鉄 正 会 員 長 田 晴 道

1. まえがき

P C 桁における発生せん断力は主にコンクリート、P C 鋼材、スターラップ、斜引張鋼材によって受けもたれると考えている。現在、プレストレスが無い場合の矩形断面のコンクリートのせん断耐力は、限界状態設計法試案（解説）¹⁾による式（1）によってかなり正確に求められる。しかし実橋において多く見られる T 形断面では、図-1 のように矩形断面に比べてせん断耐力は向上すると言われている。実橋においてはさらにプレストレスの影響やケーブルの曲げ上げ角度、ケーブルの付着性状による影響も考慮する必要がある。本研究はこれらの影響をせん断耐力に関する設計に反映するために行った実験結果の一部を、特にプレストレスとケーブル曲げ上げとの関係に注目して報告したものである。

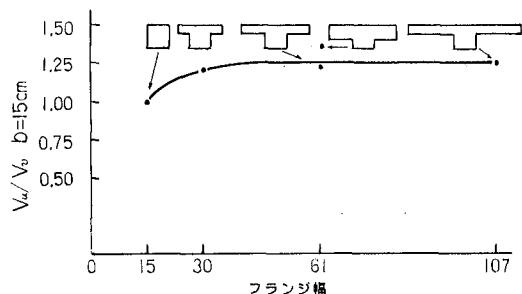


図-1 フランジ幅の効果²⁾

$$S_c = 0.94 \sigma_{ck}^{1/3} (0.75 + 1.4 \frac{d}{a}) (\sqrt{100 \rho_w} + \sqrt{\frac{100}{d}} - 1) b_w d \quad (1)$$

ここに S_c : コンクリートのせん断耐力 (kg)

σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (kg/cm²)

d : 断面の有効高さ (cm)

a : 載荷点から支点までの距離 (cm)

ρ_t : 軸方向鉄筋比

b_w : 部材ウェブ幅 (cm)

2. 実験概要

試験体は T 形断面（上フランジ幅/ウェブ幅 = 3）とし、コンクリートの設計基準強度を 400 (kg/cm²)、P C 鋼材は $\phi 32$ (S B P R 95/110) 1 本、軸方向鉄筋は S D 35 D 19 3 本、スターラップは S D 35 D 10 とした。試験体製作時のパラメータは ①プレストレス力 ②ケーブル形状 ③スターラップピッチであり、その内訳は表-1 の A ~ D のとおりである。試験体諸元は図-2 によっている。規定項目としては ①各スターラップの鉛直

方向ひずみ分布 ②コンクリート表面ひずみ ③軸方向鉄筋の軸方向ひずみ分布 ④P C ケーブルの軸方向ひずみ分布である。載荷方法は 2 点載荷とし、すべての桁はせん断破壊するように、せん断破壊荷重に対しては式（1）を用い、曲げ破壊荷重に対しては P C 鋼材と鉄筋との各々の応力度ひずみ分布をミルシートを基に仮定して計算し、せん断破壊荷重計算値が曲げ破壊荷重計算値を下まわるように試験体諸元を決めた。

3. 実験結果

実験の結果 No. 8 の試験体を除きおおむねせん断破壊の性状を示した破壊形式であった。図-3 にその一例を示す。表-1 E は破壊荷重実験値（2 点載荷の一方の荷重）、F は試験体中のいずれかのスターラップが最初にひずみが 2000 μ に達するときの荷重、G は破壊時の軸方向鉄筋ひずみの最大値と、それとほぼ同一位置の P C ケーブルのひずみの最大値との差を示す。いずれも鉄筋ひずみの方が大きい値を示している。表-1 J ~ N

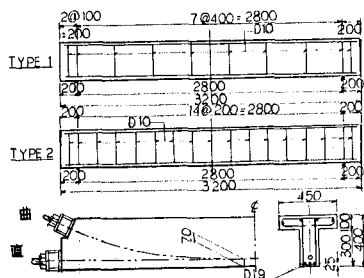


図-2 試験体諸元

表-1 試験体諸値

項目 試験体	試験体の条件				試験結果			材料		計算値				
	プレストレス力 (t)	ケーブル形状	②フープ② (cm)	a/d	破壊荷重 (t)	P s (t)	ひずみ差 (μ)	鉄筋・P C鋼材	σ_{sk} (kg/cm^2)	P 1 (t)	P 2 (t)	P 3 (t)	P 4 (t)	P 5 (t)
1	0	直	4.0	2.7	18.45	6.0	692	?	438	4.65	0	18.99	36.2	19.7
2	0	直	2.0	3.0	23.45	10.0	?	?	420	9.30	0	22.86	31.8	22.8
3	3.0	曲	4.0	2.7	30.05	13.0	11370	$(\frac{m}{m}/\frac{kg}{kg}) 1000 \times \frac{m}{m} = \frac{kg}{kg}$	442	4.65	8.22	27.26	36.3	28.8
4	3.0	曲	2.0	3.0	30.00	13.0	1080	$(\frac{m}{m}/\frac{kg}{kg}) 1000 \times \frac{m}{m} = \frac{kg}{kg}$	440	9.30	8.22	31.31	32.6	32.8
5	3.0	直	4.0	2.7	25.00	9.5	1014	$(\frac{m}{m}/\frac{kg}{kg}) 1000 \times \frac{m}{m} = \frac{kg}{kg}$	431	4.65	0	20.51	35.8	25.1
6	3.0	直	2.0	2.7	28.95	11.5	1080	$(\frac{m}{m}/\frac{kg}{kg}) 1000 \times \frac{m}{m} = \frac{kg}{kg}$	433	9.30	0	24.93	35.9	29.9
7	5.0	曲	4.0	2.7	32.90	15.5	1080	$(\frac{m}{m}/\frac{kg}{kg}) 1000 \times \frac{m}{m} = \frac{kg}{kg}$	444	4.65	8.22	27.32	36.4	32.1
8	5.0	曲	2.0	2.7	36.90	14.5	470	$(\frac{m}{m}/\frac{kg}{kg}) 1000 \times \frac{m}{m} = \frac{kg}{kg}$	448	9.30	8.22	32.00	36.6	36.0
9	5.0	直	4.0	2.7	24.00	9.5	1070	$(\frac{m}{m}/\frac{kg}{kg}) 1000 \times \frac{m}{m} = \frac{kg}{kg}$	445	4.65	0	21.85	36.5	24.5
10	5.0	直	2.0	3.0	27.50	11.0	1094	$(\frac{m}{m}/\frac{kg}{kg}) 1000 \times \frac{m}{m} = \frac{kg}{kg}$	410	9.30	0	25.04	31.4	28.1
記号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N

②: スターラップピッチ
P_s: スターラップ降伏荷重

P 1: スターラップ負担分
P 2: ケーブル負担分
P 3: コンクリート負担分
P 4: 曲げ破壊荷重
P 5: セン断破壊荷重

は計算値を示したものである。Jはスターラップによるせん断力負担量を、ひびわれ角度を45°として求めた量を示しており、鉄筋降伏時の（破壊時にはどりの試験体のスターラップも支点付近で降伏していた。）鉄筋応力を4000 (kg/cm²)として計算した。KはP Cケーブルのプレストレス力によるせん断力負担量であり、 $P_e \sin \theta$ だけ負担するとして計算した。Lは式(1)によるコン

クリートのせん断力負担量である。このときの軸方向鉄筋比 ρ としてはP Cケーブル断面積と軸方向鉄筋断面積との両方を考慮した。Mは曲げ破壊荷重の計算値であり、試験体No. 8についてはせん断破壊荷重計算値との差が小さかったため破壊形式は上フランジコンクリートの圧壊が先行して曲げ破壊した。このときの計算曲げ破壊荷重と実験による破壊荷重とは非常に良い精度で一致した。

以上の実験値と計算値との比較により次のことがわかる。①プレストレス力が大きくなれば（実験破壊荷重/計算せん断破壊荷重）の値は大きくなる。②P Cケーブルは直線配置の方が（実験破壊荷重/計算せん断破壊荷重）の値は大きくなる。③図-3に一例を示すようにひび割れ角度はP Cケーブル直線配置の方が曲線配置より鋭い。

4. 考 察

プレストレス力0, ケーブル配置が直線の場合, 断面形状によるコンクリートのせん断耐力割増率を1.4とすれば計算値と実験値とが良く合う。しかしこの場合, スターラップによるせん断力負担量を4000 (kg/cm²)と鉄筋応力として計算したが, 破壊時スターラップひずみを見ると降伏していることから鉄筋応力をそれ以上とすべきと考えられ, 断面形状による割増率は図-1程度でよいと思われる。今回は断面形状以外の影響を見るためにとりあえず1.4として実験結果の整理を行ってみた。その結果コンクリートのせん断耐力はプレストレス力の大きさが小さいうち ($M_o/M_d < 0.013$) はプレストレス力の増加に伴って増加するが, 一定値以上ではプレストレス力の大きさとは無関係になると考えて計算すると表-1 Nに示すように実験値と良い一致を見た。しかしP C桁のせん断耐力を計算する場合P Cケーブルの影響として S_y, S_e 又はその中間の値のいずれを考えるか, 曲げ上げケーブルによる影響等の問題の解決はできていない。

5. あとがき

今後さらに実験データの精査, 貯蔵を重ねて (1) 断面形状によるコンクリート負担せん断力の割増率 (2) ひび割れ角度の適切な評価によるスターラップの効果 (3) P C鋼材の太さ, 種類の違いによるプレストレス力の効果について検討を行ってゆきたい。

《 参考文献 》

1) コンクリート構造の限界状態設計法試案: コンクリートライブラリー第48号

2) The Shear Strength of Reinforced Concrete Members: Journal of Structural Division Vol 99, No. ST6, June 1973

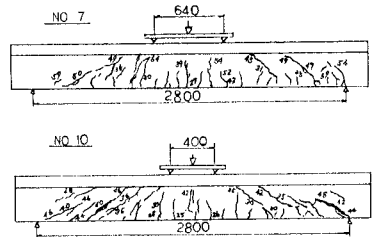


図-3 ひびわれ状態