



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	鉄筋コンクリートT型梁の振り抵抗に関する一実験
Author(s)	大野, 和男; Ohno, Kazuo; 柴田, 拓二 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 51, 47-56
Issue Date	1968-12-25
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/40920">https://hdl.handle.net/2115/40920</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	51_47-56.pdf



# 鉄筋コンクリートT型梁の捩り抵抗 に関する一実験

大野和男\*

柴田拓二\*

谷吉雄\*

(昭和43年9月10日受理)

## An Experimental Approach to the Torsional Resistance of Reinforced Concrete Beams with a T-shaped Cross Section

Kazuo OHNO

Takuji SHIBATA

Yoshio TANI

(Received September 10, 1968)

### Abstract

Pure torsion tests on 6 reinforced concrete beam-specimens with a T-shaped cross section were carried out, where 3 beams were provided with shear reinforcement of  $p_s = 0.4\%$  in the webs and others had no transversal reinforcement in the webs and the slabs. In the former 3 beams the stirrups were extended well into the outstanding portions of slabs. The same longitudinal reinforcement was used in all specimens.

The test results may be summarized as follows;

1) The initial cracking load can be estimated with the Bach's formula on torsional stress for T-beams substituting tensile strength of concrete regardless of whether webs are reinforced or not.

2) Ultimate torsional strength of plain concrete beams with T-shaped cross sections may be assessed with the fully plastic stress equation for the rectangular sections only neglecting the outstanding portions of the flanges. This result disagrees with the report by H. Nylander in 1945. Further researches will be carried out with regard to the effects of proportion of the cross sections, size of the specimens and strength of concrete, etc.

3) When the stirrups are extended well into the outstanding portions of the flanges, it may be expected that the beams will acquire remarkable ductility and higher torsional strength.

---

\* 建築構造学第二講座

### 1. 概 説

鉄筋コンクリート部材の捩り応力に対する内外の設計規定<sup>1)</sup>の多くは、捩り剪断応力度の算定には St. Venant の弾性理論に準拠し、剪断補強については Rausch 又は Cowan の提案式を採用しているが、従来の実験的研究によれば無補強の部材の破壊応力については前記の弾性理論よりも Nadai の塑性理論が良く適合するとされ、剪断補強を施した梁の終局耐力については Rausch, Cowan とともに評価が一定していない。著者が行なった長方形断面部材についての既往の研究<sup>2)~7)</sup>によれば、初亀裂荷重は弾性理論と塑性理論の夫々にコンクリートの引張強度を代入した値の中間にあり、剪断補強のない部材の終局耐力は塑性理論に近い。又剪断補強の効果については Rausch, Cowan とともに適合せず、特に断面形(長方形断面の場合には  $D/b$ )の影響が大きいことが明らかになっている。

T 型断面部材の純捩りに対する耐力性状については H. Nylander (1945)<sup>8),9)</sup> P. Zia (1961)<sup>10)</sup> (P.C 桁) などの実験的研究があるが、未だ資料が少なく不明の点が多い。

本報の実験は捩り抵抗に及ぼす断面形状の影響に関する一連の実験の一部をなすものであるが、T 型断面部材についての予備実験として行なったものである。

### 2. 実験の概要

#### 2.1 試験体の詳細

##### (1) 試験体種別

試験体は断面の形状、寸法、捩りスパン、コンクリート強度、軸鉄筋を一定とし、剪断補強の有無の2種とした。各種3本計6本よりなる。

##### (2) 形状及び寸法

試験体は図-1に示す様な T 型梁で大凡実大の 1/3 程度の模型である。断面形は梁ウェブ幅  $b=9.5$  cm, 梁成  $D=15.5$  cm, スラブ幅  $B=33.5$  cm, スラブ厚  $t=4$  cm で形状比は  $D/b=1.63$ ,  $B=6t+b$ ,  $t/D=0.26$  である。試験体の両端に近い部分に試験体と一体打の鉄筋コンクリートの加力梁を設け、この二つの加力梁の間の内法寸法を捩りスパンとする。既往の長方形断面梁の捩り実験において、捩りスパンと断面の周長の比が1より大きい場合には捩り耐力

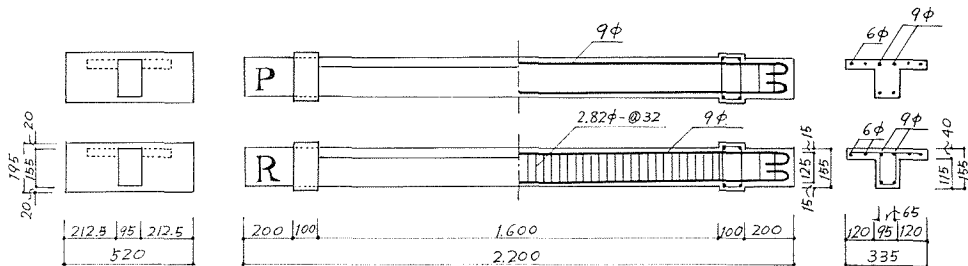


図-1 試験体

は振りスパン長に拘りなく大凡に一定しているが、1より小さい場合には振りスパン周長比が小さい程振り耐力が増大することを明らかにしたが、本実験では振りスパンを160 cm としてあるので振りスパンと断面周長の比は全断面について1.63、長方形梁のみの周長をとればその比は3.2となり、いずれも振りスパン長の影響を受けない範囲にある。

### (3) 配筋

軸鉄筋として梁部断面内に4-9 $\phi$  (全鉄筋比  $p_l = \frac{\sum a_l}{bD} \doteq 1.74\%$ ) を配し、スラブ断面内には梁主軸と平行に4-6 $\phi$  を配してスラブの配筋とした。梁の剪断補強は肋筋なしのものと、2.82 $\phi$ -3.2 cm マを配したものの2種で、後者の剪断補強筋比は  $p_s = 2a_0/bx = 0.41\%$  となっている。剪断補強筋の cage 寸法は  $b' = 6.5$  cm,  $D' = 12.5$  cm で、剪断補強筋比を容積比で表現すれば  $p_{sv} = 2a_0(b'+D')/b \cdot D \cdot x \doteq 0.5\%$  となり、 $p_l \gg p_{sv}$  であるので軸鉄筋の降伏が肋筋のそれより先行することはないものと考えられる。梁と直角方向のスラブ筋(スラブ主筋に相当)は梁の肋筋を延長して配筋したもので、肋筋の末端を梁上面で交叉させてスラブ内に延長して定着する形となっている。従って梁部に剪断補強のない試験体ではスラブ主筋もなく、梁、スラブともに軸方向筋のみである。

### (4) 材料

(a) コンクリート セメントはアサノベロセメント ( $K_{28} = 392$  kg/cm<sup>2</sup>) を使用、粗骨材10 mm 以下、細骨材5 mm 以下、いずれも北海道広島産。コンクリートの調合は  $W/C = 0.55$ ,  $sl = 19$  cm, 重量調合比1:2:2.3である。コンクリートは木製型枠中に打込み、材令6日まで密閉養生し、材令7~9日で試験を行なった。15 $\phi \times 30$  cm の標準シリンダーによる試験時の圧縮強度は265~336 kg/cm<sup>2</sup>, 平均292 kg/cm<sup>2</sup>, 割裂試験による引張強さ係数は19.4~25.5 kg/cm<sup>2</sup>, 平均22.7 kg/cm<sup>2</sup>であった。平均ヤング係数は  $E_{1/3} = 2.29 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>,  $E_{2/3} = 2.04 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup> である。

(b) 鉄筋 鉄筋は全て普通丸鋼で、各寸法の鉄筋の力学的性状を表-1に示す。

## 2.2 加力及び計測法

加力は図-2に示す様に、試験体両端の加力用鉄筋コンクリート梁の下端中央を夫々球座で支持し、一方の加力梁に鋼製レバーを取付け、ジャーナル・ジャッキにより試験体材軸に対する偏心力を上から加え、他

方の加力梁の上面で試験体材軸に対し、加力点と反対方向の偏心距離20 cm の位置に支点を設け、之にプルービング・リングを挿入して反力を読み取り、これによって試験体に加えられた振りモーメントを算出する。

変形は、試験体両端面に取付けたスケール・ミラーによって両端面間の相対的回転角を計測

表-1

	実測径 mm	$\sigma_y$ kg/mm <sup>2</sup>	$\sigma_B$ kg/mm <sup>2</sup>	伸率 %
9 $\phi$	8.75	29.6	44.3	34.2
6 $\phi$	5.57	28.1	35.7	26.6
3 $\phi$	2.82	28.0	38.2	41.8

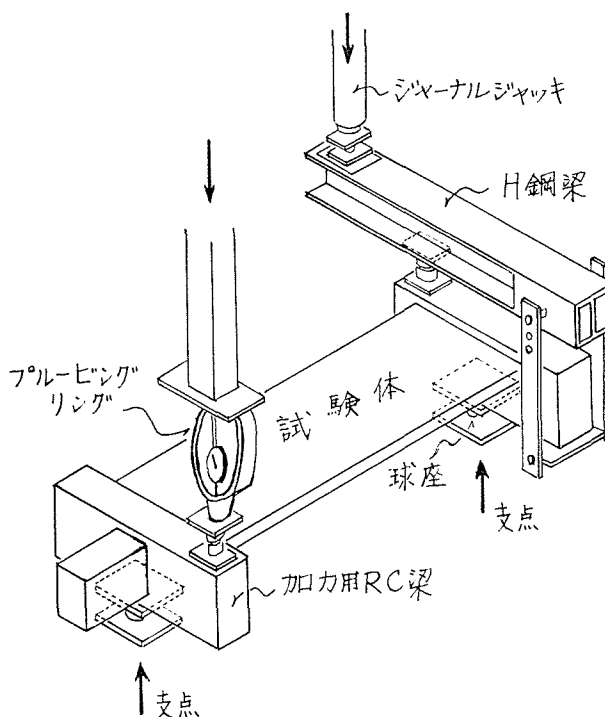


図-2 加力装置

し、余長部の変形を無視してこの値を振りスパンにおける全変形角と見做した。

加力は変形を基準にして行ない、与えた変形に対応する反力を読み取る方式によった。

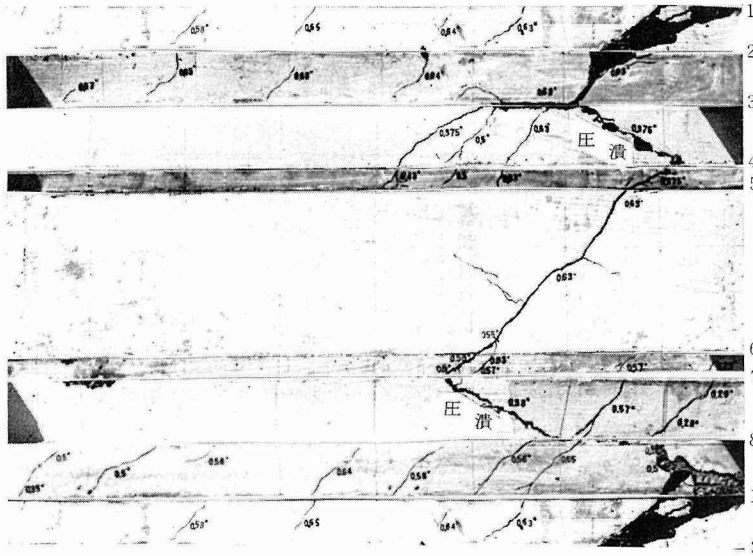
### 3. 実験結果

#### 3.1 亀裂状況

写真1,2に夫々剪断補強のない梁及び剪断補強を施した梁の亀裂状況を例示した。

初亀裂はいずれも長方形断面材と同様に、梁側面中軸付近に材軸にほぼ45°方向に発生する。

剪断補強のない梁では初亀裂発生後間もなく最大荷重に達するが、その間に変形がやや急速に進み、亀裂はスラブ付根及び梁底に達する。最大荷重時における最大亀裂幅は0.12~0.25 mmであった。最大荷重を越えて更に変形が進むと試験体上面の中軸付近にも亀裂を生ずるが、この亀裂はあたかもスラブのない長方形梁の様に梁部分のみを螺旋状に廻る形で梁側面と連なる位置に発生し、間もなくスラブ両端まで伸びる。又、同時にスラブ下面にも梁側面から連続した亀裂が伸び、スラブ付根に沿った亀裂も進行する。更に変形が進むと上面の亀裂の開口が拡大し、試験体は折れた様にこの部分に変形が集中し、スラブ下面及び梁側面に圧潰を生じて、スラブと梁側面の付根に沿った亀裂が大きく開口する。上記の全過程を通じて梁側面及び底面には数本の亀裂を生ずるが、スラブ上面には亀裂が1本しか発生しない。



### 3.2 耐 力

各試験体の耐力及び変形の概要を表-2 に示す。

表-2

	剪断補強	初 亀 裂 時		最 大 荷 重 時		$M_u/M_c$	$\theta_u/\theta_c$
		$M_c$ t·cm	$\theta_c$ $10^{-4}$ rad/cm	$M_u$ t·cm	$\theta_u$ $10^{-4}$ rad/cm		
P-1	$p_s=0$	14.0	0.99	14.5	1.28	1.04	1.29
P-2		12.8	0.64	12.9	0.75	1.01	1.17
P-3		12.5	0.53	13.5	0.73	1.08	1.38
平 均		13.1	0.72	13.6	0.92	1.04	1.28
R-1	$p_s=0.41\%$	10.9	0.40	26.5	12.9	2.43	32.0
R-2		13.2	0.94	25.2	17.9	1.91	14.0
R-3		13.2	0.55	25.8	12.7	1.95	23.0
平 均		12.4	0.63	25.8	14.5	2.08	23.0
R 平均/P 平均		0.95	0.88	1.90	1.58		

(1) 初亀裂荷重 初亀裂荷重は剪断補強を施した梁の方が剪断補強のないものより平均値で約5%低い結果となったが、個々の値のバラツキを見ればほぼ同等と見なしてよい。

弾性体としての T 型梁の最大振り剪断応力度の算定には T 型断面を成分長方形に分割し同一の振り変形角を与えた時の抵抗モーメントの和が、全モーメントに等しいと仮定する Bach の近似式が実用解として広く用いられている。

即ち

$$\tau_{c-\max} = \frac{3x_{\max}}{\sum x^3 y} \quad M_r = \frac{3bM_r}{b^3 D + (B-b)t^3} \quad (1)$$

$x, y$ : 分割長方形の短辺及び長辺の長さ

一方、完全塑性体としての T 型梁の振り剪断応力度は次式で与えられる<sup>11)</sup>。

$$\tau_p = \frac{2M_r}{t^2(B-t/3) + b^2 \left( D - t - b/3 + 0.86 \frac{b^2 t}{b^2 + t^2} \right)} \quad (2)$$

(1), (2) 式により算出した応力度を表-3 に示す。これによれば弾性式 (1) により算出した初亀裂時の振り剪断応力度の値は、コンクリートの引張強さ係数平均値よりやや高めではあるが大凡一致している。(1) 式は  $y \gg x$  である場合を前提として導かれたもので  $y/x$  が大きい程精解に近づくものであるが、鉄筋コンクリート梁では本例の様に  $D/b=1.6$  程度の断面形のものにも良く適合することが判る。

(2) 最大荷重 剪断補強のない梁の最大耐力については従来塑性式 (2) により算出した

表-3

 $F_t = 22.7$  (19.4-25.5) kg/cm<sup>2</sup>

	初亀裂時振り剪断応力度		最大荷重時応力度 (T 型全断面)		最大荷重時 (長方形断面)
	$\tau_{c-max}$	$\tau_p$	$\tau_{c-max}$	$\tau_p$	$\tau_p$
	(kg/cm <sup>2</sup> )		(kg/cm <sup>2</sup> )		(kg/cm <sup>2</sup> )
P-1	26.9 (1.18)	18.5 (0.81)	27.9 (1.27)	19.1 (0.84)	26.1 (1.15)
P-2	24.6 (1.08)	16.9 (0.74)	24.8 (1.09)	17.0 (0.75)	23.2 (1.02)
P-3	24.0 (1.06)	16.5 (0.73)	26.0 (1.14)	17.8 (0.78)	24.3 (1.07)
平均	25.2 (1.11)	17.3 (0.76)	26.2 (1.15)	17.9 (0.79)	24.4 (1.08)
R-1	21.0 (0.92)	14.4 (0.63)			
R-2	25.4 (1.12)	17.4 (0.77)			
R-3	25.4 (1.12)	17.4 (0.77)			
平均	23.8 (1.05)	16.9 (0.72)			

( ) 内は平均引張強さ係数に対する比

剪断応力度がコンクリートの引張強度と良く一致するとされており、長方形断面梁については著者の実験でも確かめられている。Nylander<sup>8)</sup>によれば T 型断面梁において特に塑性式の適合性が良いとされているが、本実験の結果では表-3に併記した様に (2) 式で算出した応力度は引張強度より約 20% 低い値となっており、むしろスラブを無視し梁の長方形断面のみを有効として

$$\tau_{p-rect.} = \frac{2M}{b^2(D-b/3)} \quad (3)$$

により求めた値がコンクリートの引張強度と良い一致を示している。Nylander の実験の詳細が不明なのでこの相違の原因は現在明らかではないが、断面のプロポーション、寸度及びコンクリート強度などとの関連についての検討が必要であろう。

剪断補強を施した梁の最大耐力は、剪断補強のない梁に比べ平均 12.2 t·cm の増となっている。著者の長方形断面梁についての実験結果<sup>9)</sup> から、本試験体のスラブ部分を無視し  $b \times D$  の梁部分のみを有効とした場合にこの剪断補強に対して予想される補強効果は約 8 t·cm であるので、上記はその約 1.5 倍の補強効果を示したことになるが、前述の様に本実験の試験体では筋筋を梁上面で交叉させてスラブ内に定着している点が通常の筋筋と著しく異なっているので、この値を直ちに T 型梁と長方形梁の剪断補強効果の差異と断定することはできない。

### 3.3 荷重—変形曲線

図-3 は各試験体の振りモーメント・変形角曲線である。

剪断補強のない梁では初亀裂荷重後間もなく変形角  $\theta = 0.7 \sim 1.3 \times 10^{-4}$  rad/cm で最大耐力を示し、その後の変形の進行と共に振り抵抗モーメントは急速に低下する。

これに対し、剪断補強を施した梁では初亀裂後最大耐力までの変形の伸びが大きく、最大耐力時の変形は平均  $14.5 \times 10^{-4}$  rad/cm に達し、初亀裂時の変形角の 19~32 倍になっている。

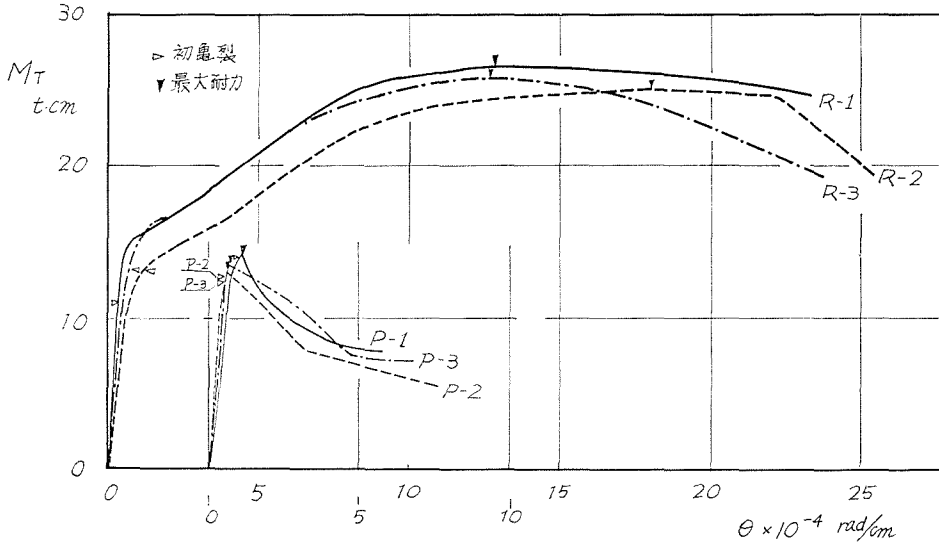


図-3 振りモーメント・変形角曲線

最大耐力後の抵抗モーメントの低下も極めて緩かで著しい靱性を示している。

T 型梁の弾性剛性は Bach の近似式によれば

$$\begin{aligned} M_c/\theta &= G_c \cdot \sum (1/3) x^3 y \\ &= \frac{G_c \cdot \{b^3 D + t^3 (B-b)\}}{3} \end{aligned} \quad (4)$$

で与えられる。  $G_0 = 0.42 E_{1/3} = 9.6 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$  に対する塑性係数

$$\beta = \frac{3M_c}{\theta \cdot G_0 \{b^3 D + t^3 (\beta - b)\}} \quad (5)$$

を  $M_c = 10 \text{ t} \cdot \text{cm}$  (初亀裂荷重の約 80%)、初亀裂荷重時、最大荷重時について求めれば表-4 の様になる。同表中にスラブ部分を無視して長方形断面のみを有効とした場合の塑性係数

$$\beta' = \frac{M}{\theta \cdot G_0 \cdot k_2 \cdot b^3 D} \quad (6)$$

$k_2$ :  $D/b$  で定まる St. Venant の定数  $D/b = 1.63$  に対し  $k_2 = 0.206$

を併記した。

初亀裂発生荷重の約 80% における振り剛性は剪断補強の有無に拘りなく全く一致しており、全断面の弾性剛性の 50%、梁断面のみの弾性剛性の 90% となっている。

初亀裂発生時 (直後) の塑性係数は剪断補強のない梁よりも剪断補強のある梁の方がやや大きい。

$D/b = 1.6$  程度の長方形断面梁の初亀裂時の塑性係数は既往の実験では大凡 0.6 であるが、本実験では T 型全断面についての塑性係数は 0.4~0.45 とやや小さく、長方形断面のみを採れば 0.7~0.8 となっている。

表-4 塑性係数  $\beta$ 

	T型全断面有効			スラブ無視, 長方形断面のみ有効		
	$\beta_{M=10t \cdot cm}$	$\beta_c$	$\beta_u$	$\beta'_{M=10t \cdot cm}$	$\beta'_c$	$\beta'_u$
P-1	0.39	0.29	0.23	0.70	0.52	0.42
P-2	0.57	0.41	0.35	1.04	0.74	0.63
P-3	0.51	0.46	0.36	0.94	0.83	0.65
平均	0.41	0.39	0.31	0.89	0.70	0.57
R-1	0.56	0.54	0.041	1.02	0.97	0.074
R-2	0.40	0.32	0.032	0.70	0.56	0.056
R-3	0.53	0.48	0.041	0.97	0.87	0.075
平均	0.50	0.45	0.038	0.90	0.80	0.068

剪断補強を施した梁の最大耐力時の塑性係数は、長方形断面梁の実験では  $D/b$  に拘りなく大凡 0.1~0.2 の範囲にあるが、T型梁では全断面有効とすれば 0.03~0.04、梁断面のみを有効としても 0.07 前後である。これは前述の著しい靱性によるものであるが、この様に大きな靱性を発揮していることは剪断補強筋がコンクリートの圧潰以前に降伏し、十分に塑性域に入っていることを示すもので、筋筋の末端がスラブ内に十分に定着されていることによるものと解してよからう。振りに対する剪断補強の効果は軸筋比、コンクリート強度との関連で定まるものであるが、補強筋比がある限度を越えると剪断補強筋比の増分に対する補強効果の増分が急速に低減することは曲げ剪断の場合と同様である。本実験の結果は筋筋の定着を確保することにより、その様な有効な補強筋比の限界を引き上げ得ることを示唆しているものと解される。

#### 4. 結 語

鉄筋コンクリートT型梁の純振り抵抗性状に関して、剪断補強のない場合と補強筋比  $\rho_s = 0.4\%$  の場合について実験を行ない大要次の様な結果を得た。

i) 初亀裂荷重は、剪断補強の有無に拘りなくT型断面梁の振り剪断応力度についてのBachの弾性近似式にコンクリートの引張強度を代入して得られる。

ii) 剪断補強のない梁の最大耐力についてはスラブを無視し、梁部分の長方形断面のみについて塑性式を適用すればコンクリートの引張強度と良い一致を見る。この点に関しては断面のプロポーション、寸度及びコンクリート強度などとの関連についての検討を必要とする。

iii) 筋筋をスラブ内に定着せしめる補強方式は梁に著しい靱性を与え、終局耐力も長方形断面梁に比べて著しく向上する。

## 参 考 文 献

- 1) Fisher, G. P., Zia, P.: "Review of Code Requirements for Torsion Design," ACI Journal, Jan. 1964.
- 2) 大野和男・柴田拓二・谷 吉雄 他: "新載荷法による鉄筋コンクリート梁の捩り抵抗について", 第17回セメント技術大会, May. 1963.
- 3) 大野和男・谷 吉雄: "鉄筋コンクリート部材の捩り抵抗について (その2 断面辺長比の影響 [I])", 日本建築学会論文報告集, No. 103 Oct. 1964.
- 4) 谷 吉雄・阿部 勉: "鉄筋コンクリート部材の捩り抵抗について (その3 軸鉄筋の影響)", 日本建築学会北海道支部第23回研究発表会, Feb. 1965.
- 5) 谷 吉雄: "鉄筋コンクリート有孔梁の捩り抵抗について", 日本建築学会論文報告集号外, Sept. 1965.
- 6) 大野和男・谷 吉雄: "鉄筋コンクリート部材の捩り抵抗について (その5 剪断補強の効果)", 日本建築学会北海道支部第25回研究発表会, Sept. 1965.
- 7) 大野和男・谷 吉雄: "鉄筋コンクリート部材の捩り抵抗について (その6 断面辺長比の影響 [II])", 日本建築学会北海道支部第26回研究発表会, Mar. 1966.
- 8) Nylander, H.: "Torsion and Torsional Restraint by Concrete Structures," Meddelanden, No.3, Staten Kommitte for Byggnadsforskning, (Stockholm), 1945...introduced by H. J. Cowan in his paper<sup>9)</sup>
- 9) Cowan, H. J.: "Design of Beams Subjected to Torsion Related to the New Australian Code" ACI Journal, Jan. 1960.
- 10) Zia, P.: "Torsion Strength of Prestressed Concrete Members," ACI Journal, April. 1961.
- 11) Nadai, A.: "Theory of Flow and Fracture of Solids," McGraw Hill Co., New York, 1950.