

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の設計方法が次第に合理化されてきているなかで、せん断破壊に関しては破壊機構の解明が遅れており、いまだ Ritter-Mörsch のトラス理論を抜けだせないのが現状である。しかし、近年 M.P. Nielsen 等によって進められている塑性理論も応用したせん断破壊機構の研究は、せん断力に対する設計方法の新しいページを開きつつあるものとして注目される。本文では、Nielsen 等々のせん断破壊理論と実験結果とを比較し、その適用性・向題点の考察を試みた。

2. せん断破壊理論の概要

コンクリート・鉄筋は剛塑性体とし、コンクリートは引張に抵抗しない、鉄筋は横方向力に抵抗しない、などを仮定している。また、コンクリートの降伏条件は図1に、はりの破壊機構は図2にそれぞれ示すようである。

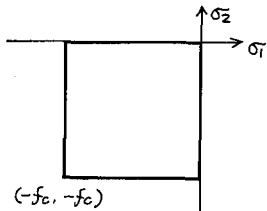


図1 コンクリートの降伏条件

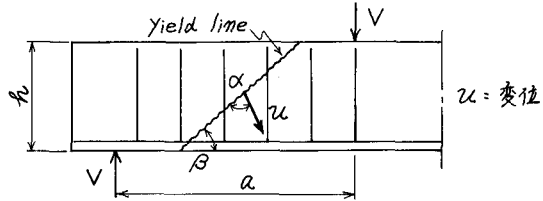


図2 破壊メカニズム（変位場）

これらの仮定に基づいて、以下の解 (Upper bound solution) が求められている。

$$\tau_u/f_c = 2\sqrt{p f_y/f_c (1 - p f_y/f_c) \cdot r f_{vy}/f_c (1 - r f_{vy}/f_c)} \quad \text{----- (1)}$$

$$\tau_u/f_c = \frac{1}{2} \left[\sqrt{4 \frac{p f_y}{f_c} \left(1 - \frac{p f_y}{f_c}\right) + \left(\frac{a}{h}\right)^2} - \frac{a}{h} \right] + \frac{r f_{vy}}{f_c} \cdot \frac{a}{h} \quad \text{----- (2)}$$

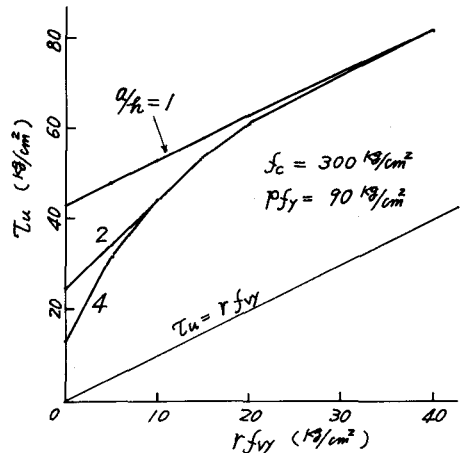
(1) 式を与える $\tan \beta$ の値が h/a 以下である場合には (2) 式を用いる。 $p f_y/f_c$, $r f_{vy}/f_c$ は 0.5 以下とする。 p は引張鉄筋比 (A_s/bh)、 r は腹鉄筋比 (A_v/bd) である。実際には、コンクリートの圧縮強度 f_c 代わりに $1.6 f_c$ ($\lambda = 0.6$) を使い、 h 代わりにモーメントアーム長 ($\bar{x}$) を用いることになる。

3. 理論式から推定される傾向

鉄筋コンクリートはりのせん断耐力に影響を及ぼす主要因すなわち、せん断スパン比 a/h 、せん断筋降量 $r f_{vy}$ 、引張鉄筋量 $p f_y$ の値と種々に変え、上式を用いて試算したせん断強度 τ_u には以下の傾向が認められる。

- (1) f_c , $r f_{vy}$, $p f_y$ を一定とすれば、 a/h が小さい場合に τ_u は大である。
- (2) 同じく、 $p f_y$ が大きい場合に τ_u は大である。
- (3) τ_u と $r f_{vy}$ は直線関係にはなく、 $r f_{vy}$ が大きくなるほど、 $r f_{vy}$ の増加に伴う τ_u の増加は少ない。
- (4) $r f_{vy}$ が比較的小さい範囲では、 a/h が大きいほど $r f_{vy}$ の増加に伴う τ_u の増加は大である (図3参照)。

これらの傾向はいずれも、少なくとも定性的には、実験事実

図3 a/h , $r f_{vy}$ の影響 (計算値)

と一致するものがある。また、これらはトラス理論によって説明しがついたものである事を考えると、Nielsen 等の理論は今後さらに検討すべき点と残しているものではあっても、なお大変魅力的なものであると思われる。

4. 実験結果との比較

Nielsen 等は発表論文の中で理論値と実験値との比較を行っており、スレンダーなはり ($q/h \geq 2.5$) においては両者が良く一致する事も示している。ここでは、主として q/h が小さい範囲について実施した実験結果と理論値を比較する。供試体は図4に示す断面のT形はりで、単純支持し2変(又は1変)対称載荷を行なった。実験結果は表に示したとおりである。式(1)又は(2)で求めた Tu_{cal} もあわせて表に示した。ただし、 h として、フランジ中央から引張鉄筋四本までの距離を採用した。また Tu は V_u/bh (b : ウェブ巾) である。

$q/h = 3.43$ のはりでは、せん断補強が無い場合を除き、計算値と実験値はほぼ一致しており、Nielsen 等の結果と同様であった。一方、 $q/h = 2.29$ のはりでは $r_{fy} > 20 \text{ kg/cm}^2$ においては計算値は実験値とほぼ一致したが、 r_{fy} が小さい場合に計算値は過小である。この傾向は $q/h = 1.14$ ではさらに顕著であって、計算値は実験値の約 $1/2$ に留まっている。

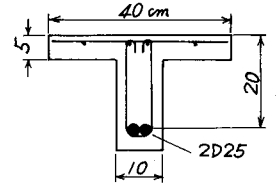


図4 試験はりの断面寸法

これらの結果は図5にも示したが、本実験の範囲では(1)、(2)式はせん断ス

パンが短かく、せん断補強量が少ない場合に過小な値を与える傾向が明らかである。そのため、 q/h が大きい場合にスターラップの補強効果が大きい、

r_{fy} が小さい場合には補強効率が良い、 q/h が小さいほど Tu が大きいなどの傾向は実験結果と良く一致しているにも拘らず、 q/h が小さく r_{fy} が小さい範囲では定量的な一致を見るに至っていない。

この原因は明らかでないが、上記の範囲は(2)式が適用される範囲であり、この式が仮定又は誘導過程に問題があるものと推察されるが、本実験の範囲はきわめて限られており、引き続き検討が必要である。なお、(2)式は、最小の Tu/f_c と与える β の値が幾何学的条件 ($\tan \beta \leq h/a$) を満たさない場合に $\tan \beta = h/a$ として得られる解であり、従って降伏線は載荷変と変位を結ぶ直線である。

5. おわりに

Nielsen 等の塑性理論にはまだ検討を要する点が残っているとと思われるが、せん断破壊機構の解明に対する塑性的のアプローチの妥当性を示唆しており、この方面からの研究を進める事は有効であると考えられる。

(引用文献)

M.P. Nielsen, 他 "Concrete plasticity — Shear in beam", CEB Bulletin D'Information No. 126, June, 1978.

NO.	q/h	f_c^*	r_{fy}^*	p_{fy}^*	Tu^*	Tu_{cal}^*	Tu/Tu_{cal}
1B	1.14	320	0	180	123	42.2	2.91
10B		317	30.8		143	76.7	1.86
2B	2.29	327	0	180	57.4	23.9	2.49
5B		343	12.4		70.3	53.1	1.32
8B		319	20.8		72.9	64.9	1.12
11B		325	30.8		77.4	77.8	1.02
3B	3.43	345	0	180	24.9	17.2	1.45
6B		307	10.3		42.3	45.9	0.92
9B		340	20.5		57.1	66.8	0.85
12B		333	29.4		>72.3**	77.4	>0.93

* 単位は kg/cm^2

** 曲げ破壊 (BF)

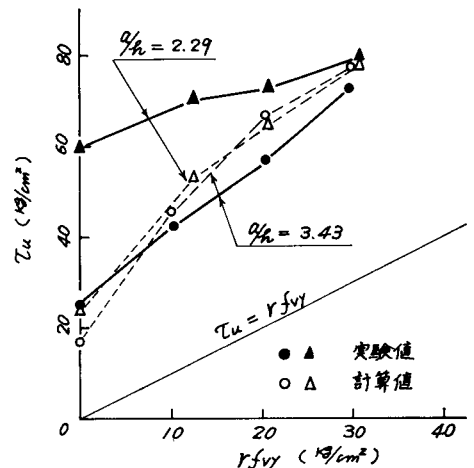


図5 試験はりのせん断破壊強度