

V-8

せん断補強鉄筋を有する鉄筋コンクリートディープビームの耐力について

北海道大学 学生員 斉藤 文彦
 北海道大学 正 員 角田与史雄
 北海道大学 正 員 林川 俊郎
 北海道大学 正 員 古内 仁

1. まえがき

せん断スパンと有効高さの比 a/d が2.5程度以下の、いわゆるディープビームにおけるせん断耐力の算定式は、せん断補強鉄筋を用いない場合では、既に二羽の研究¹⁾で精度よい算定式が与えられているのに対して、せん断補強鉄筋を用いた場合は、未だよく解明されていないように思われる。一方通常の梁でのスターラップの効果は、斜めひびわれの仰角を 45° と仮定したトラス理論から予想することができる。しかし、ディープビームにおいては、Paiva²⁾やKong³⁾らの実験結果を見ても同じような手法でトラス理論を適用することは難しいと考えられる。そこで本研究では、せん断補強鉄筋として垂直スターラップをディープビームに配筋し、その効果とせん断耐力に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要

9個の供試体はすべて有効高さ26.5cm、幅15cmの長方形断面であり、せん断スパン比 a/d は0.5から2.0までの間である(図-1、ならびに表-1)。主鉄筋はすべて2D25を用い、平均断面積・平均降伏強度はそれぞれ $A_s=9.766\text{cm}^2$ 、 $f_y=3815\text{kgf/cm}^2$ である。同様に圧縮鉄筋として2D10($A_s'=1.366\text{cm}^2$ 、 $f_y'=4076\text{kgf/cm}^2$)、垂直スターラップには2D6($A_{wv}=0.573\text{cm}^2$ 、 $f_{wy}=3437\text{kgf/cm}^2$)、2D10($A_{wv}=1.366\text{cm}^2$ 、 $f_{wy}=4076\text{kgf/cm}^2$)の2種類を使用した。コンクリートは、普通ポルトランドセメント・海砂・川砂利を用い、目標強度は7日間の湿潤養生で $f_c'=200\text{kgf/cm}^2$ とした。水セメント比は55%とし、A E剤をセメント比で0.044%混和させた。各供試体のコンクリート強度 f_c' を表-1に示す。

載荷は2点集中荷重とし、載荷点と支点は幅5cmの鋼板プレートを通じて円柱形のローラーで支持している。また垂直スターラップにひずみゲージを貼り、ひずみを測定した。ひずみゲージの位置は、支点と載荷点を結んだ直線とスターラップの交点付近とした。

3. 実験結果と考察

供試体はすべてせん断スパン内中央付近で斜めひびわれが発生し、その後載荷点と支点方向に発達してや

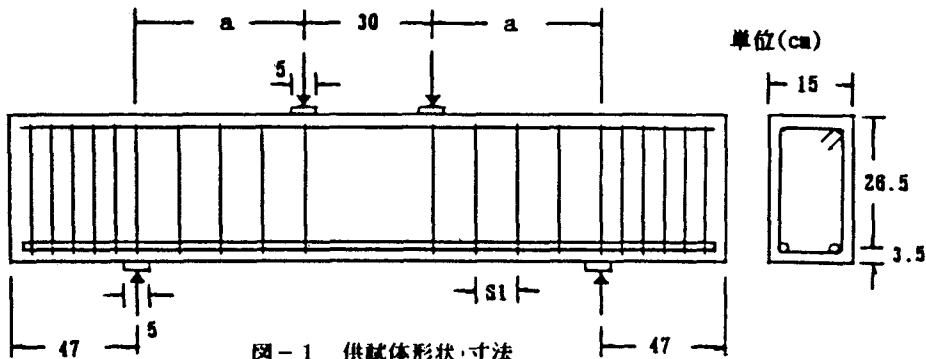


図-1 供試体形状・寸法

表-1 供試体諸元

供試体名	a (cm)	a/d	f c' (kgf/cm ²)	垂直スターラップ			
				種類	間隔S1(cm)	計算に用いるS(cm)	鉄筋比(X)
SV53-1	53.0	2.00	212.0	2D6	8.8	8.8	0.43
SV53-2	53.0	2.00	256.0	2D10	13.3	13.3	0.69
SV44-1	44.0	1.67	194.0	2D6	8.8	8.8	0.43
SV40-2	40.0	1.50	209.0	2D10	13.3	13.3	0.69
SV44-3	44.0	1.67	191.0	2D10	8.8	8.8	1.04
SV26.5-1	26.5	1.00	253.0	2D6	8.8	13.3	0.29
SV26.5-2	26.5	1.00	216.0	2D10	13.3	26.5	0.34
SV26.5-3	26.5	1.00	210.0	2D10	8.8	13.3	0.69
SV13.3-2	13.3	0.50	238.0	2D6	8.8	13.3	0.29

が破壊する、せん断圧縮破壊であった。そのせん断耐力 V_{TEST} を表-2 に示す。

せん断補強鉄筋のないディープビームのせん断耐力を算定する方法として、二羽は次式を提案している。

$$V_{N1WA} = 0.53 (f c')^{2/3} (1 + \sqrt{pW}) (1 + 3.33 r/d) bwd / \{1 + (a/d)^2\} \quad \dots \dots (1)$$

せん断補強鉄筋によるせん断耐力の増加量として、トラス理論による式を示す。

$$V_s = A_{wv} f_{wv} (\sin \alpha + \cos \alpha) Z/S \quad \dots \dots (2)$$

以上において、

f c' : コンクリート強度(kgf/cm ²)	a : せん断スパン(cm)
b w : 断面幅(cm)	d : 有効高さ(cm)
A s : 主鉄筋量(cm ²)	p W : 鉄筋比(100A s / b w d)
r : 載荷板幅(cm)	A w v : せん断補強鉄筋量(cm ²)
s : せん断補強鉄筋間隔(cm)	α : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角
f w v : せん断補強鉄筋降伏強度(kgf/cm ²)	Z : d / 1.15

今回の実験ではせん断補強鉄筋はスターラップのみであるから、(2) 式中で常に $\alpha = 90^\circ$ である。よって、次のように書き直すことができる。

$$V_s = A_{wv} f_{wv} Z/S \quad \dots \dots (3)$$

ここで Z/S は、斜めひびわれを跨ぐスターラップの本数を現わすことから、本研究では S はスターラップ間隔 $S1$ であるよりも寧ろスターラップ1本が受け持つ有効幅である意味合いが強い。従って(3)式に用いる S を表-1 に示す。

(1) 式と(3) 式の結果を表-2 に示す。すべての供試体において、実験値 V_{TEST} は二羽式の値 V_{N1WA} を上回っており垂直スターラップの効果があることがわかる。スターラップがトラス理論に比べてどの程度有効であるかを調べるために $\Delta V = (V_{TEST} - V_{N1WA}) / V_s$ を求めてみるとトラス理論を下回るものが3個あった。ここで ΔV と a/d の関係を図-2 に示すと、 a/d が一定であればせん断補強鉄筋比 P_{wv} が大きくなるとスターラップの効果が減少しているように見える。図-3 はトラス理論よりもスターラップの効果が下回っている供試体SV44-3, SV26.5-3 のスターラップのひずみの測定結果を示したものである。ほとんどの鉄筋は降伏しているか或は降伏点近くまで達している。

表-2 実験結果と計算値

供試体	V_{TEST} (tonf)	V_{N1WA} (tonf)	V_s (tonf)	ΔV
SV53-1	12.30	6.26	5.14	1.16
SV53-2	17.60	7.10	9.68	1.06
SV44-1	14.40	7.86	5.16	1.27
SV40-2	17.95	9.46	9.68	0.86
SV44-3	18.40	7.78	14.58	0.73
SV26.5-1	21.75	17.62	3.43	1.21
SV26.5-2	21.80	15.85	4.84	1.23
SV26.5-3	23.40	15.56	9.68	0.81
SV13.3-2	31.45	27.02	1.97	2.25

次に、せん断スパン内のスターラップはすべてひびわれを跨いでいると仮定し、スターラップのひずみから応力を計算し、コンクリートが分担していると考えられるせん断力を求めて荷重との関係を図-4に示す。実線は梁の左側、破線は右側のコンクリートが分担するせん断力を示し、重ねて V_{NIWA} の値を付記した。図-4では徐々に荷重していくと最初スターラップの効果は現われず、せん断力が V_{NIWA} に達する前に鉄筋のひずみが発生し、それ以後コンクリートの受け持つせん断力はほぼ横ばいとなりやがて破壊している。特にSV44-3は、破壊直前に急激な鉄筋のひずみ増加が発生しているように思われる。

しかし、図-4は破壊時のひびわれを観察して斜めひびわれがすべてのスターラップを跨いでいると仮定したが、実際に跨いでいるか否かの判断は非常に難しい。更に、(3)式は斜めひびわれの仰角を 45° と仮定していることを考えると、 $a/d \leq 1.0$ では必然的に斜めひびわれの位置が決ってしまうが、 $a/d > 1.0$ の時は斜めひびわれの位置を決めて検討しなければならない。そこで、破壊時のスターラップのひずみから降伏した鉄筋として換算すると何本になるか計算した結果 N_{EFF} と実際の本数 N 、 Z/S 、並びに 45° の斜めひびわれを色々仮定した時に跨ぐ

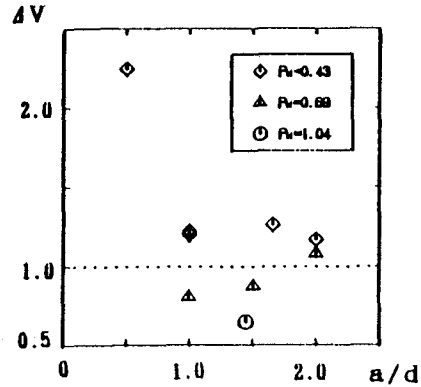


図-2 垂直スターラップの効果と a/d の関係

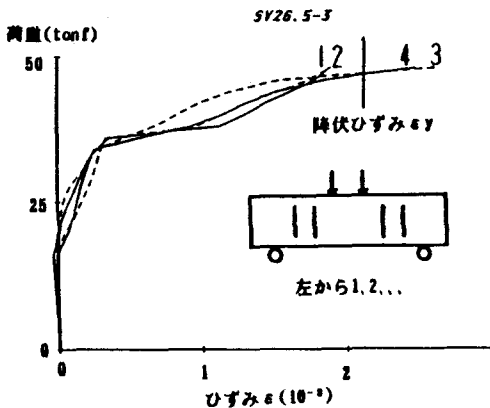
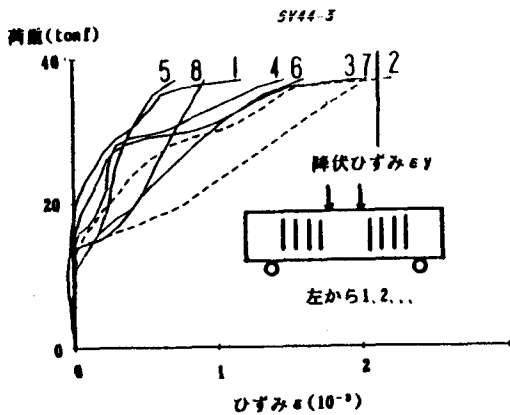


図-3 垂直スターラップのひずみ

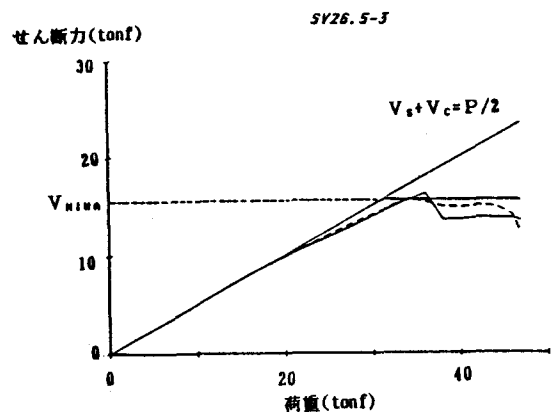
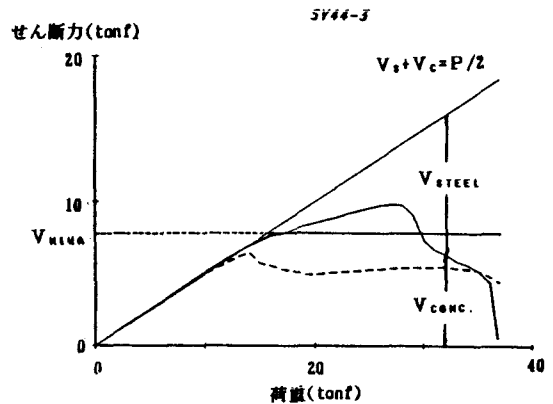


図-4 せん断力の分担過程

スターラップの本数 N_{45} を表-3に示す。 $a/d > 1.0$ の供試体では Z/S や N_{45} よりも比較的大きな値を示しているが、前述したようにすべての鉄筋が、破壊の原因となる斜めひびわれを跨いでいるとは断定できず、いわば N_{EFF} は斜め引張破壊時に抵抗し得るスターラップの最大換算本数であると考えられる。

せん断耐力に及ぼす影響を解り易くするために、棒グラフで現わすと図-5のようになる。SV53-2で通常のトラス理論を用いた計算値は実験値が上回っているが、 N_{EFF} を用いて考えると過大評価になる。SV44-3はひびわれを跨ぐスターラップが2本と仮定して計算すると実験値に近くなる。一方、SV26.5-3においてはスターラップが受け持つせん断力を変えても全体に及ぼす効果は少なく、あたかも二羽式とスターラップの効果をそのまま加算することができないような結果を示している。

更に、SV13.3-2は図-2で ΔV が大きい値を示しているが、スターラップの効果がせん断耐力に及ぼす影響が小さいために誤差も大きいと思われるので詳しい議論を省略した。

4. まとめ

本研究ではディープビームにおけるスターラップがせん断補強鉄筋として働いたが、通常用いられているトラス理論の値よりも下回ることがあった。二羽式の値をそのまま適用できると仮定すれば、破壊の原因となる斜めひびわれを跨ぐスターラップの効果を正しく評価することが必要であると考えられる。

5. 参考文献

- 1) 二羽淳一郎; FEM解析に基づくディープビームのせん断耐力算定式、第2回RC構造のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集p.119-126, 1983・10
- 2) de Paiva, H.A. Rowdon, and Siess, Chester P., "Strength and behavior of Deep Beams in shear" Proceedings, ASCE, V.91, ST5, Oct. 1965, pp.19-41
- 3) Kong, Fung-Kew; Robins, Peter J.; and Cole, David F., "Web Reinforcement Effects on Deep Beams," ACI Journal, Proceedings V.67, No.12, Dec. 1970, pp.1010-1017

表-3 破壊時に影響するスターラップ本数の評価

供試体	N	Neff	Z/S	N45
SV53-1	5	4.12	2.62	2 or 3
SV53-2	3	2.52	1.74	1 or 2
SV44-1	4	3.30	2.62	2 or 3
SV40-2	2	1.80	1.74	1 or 2
SV44-3	4	2.87	2.62	2 or 3
SV26.5-1	2	2.00	1.74	2
SV26.5-2	1	0.98	0.87	1
SV26.5-3	2	1.89	1.74	2
SV13.3-2	1	0.89	1.00	1

(単位: 本)

N: せん断スパン内にあるスターラップ本数

Neff: 測定した歪から計算した換算本数

N45: 45'の斜めひびわれを仮定したときにひびわれを跨ぐ本数

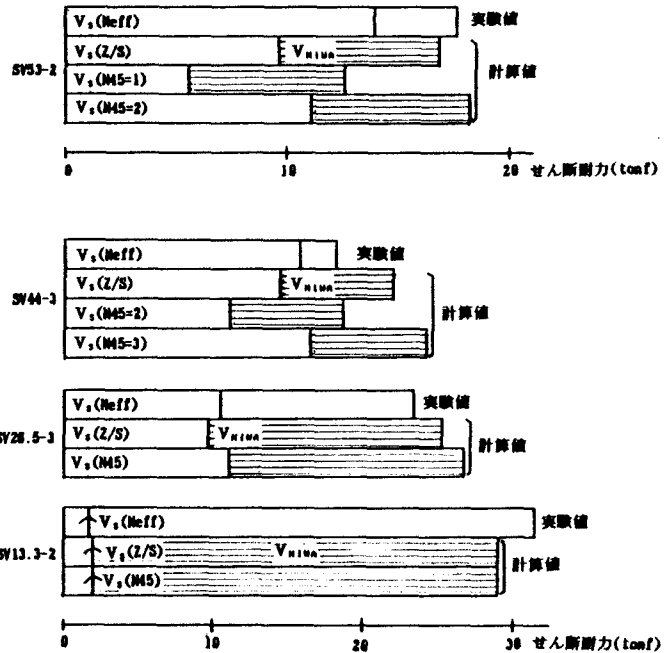


図-5 せん断耐力の比較