

V-14

RCスラブの局部せん断破壊におけるせん断補強鉄筋効果に関する実験的研究

北海道大学工学部 正 員 高橋 義裕
北海道大学工学部 フェロー 角田 史雄

1. はじめに

RC部材のせん断挙動は、鉄筋コンクリートの基本をなす複合機構の破壊に結びつき、かつひびわれや破壊状態が鉄筋コンクリートとしての独特の挙動を示す。従って現在まで多くの内外の研究者により様々な角度からの研究が進められその研究成果は示方書、設計規準等に反映されている。しかし、これらのせん断挙動は、部材の形状と寸法、鉄筋量、コンクリート強度等の多くの因子に影響され複雑なものとなり不明な点も多い。この様なことより、橋床板やフーチングなどの設計においては、曲げ破壊及びせん断破壊の両者にたいして安全性を確保する必要がある。後者は、さらに一般に部材幅全長にわたって破壊が生ずるはり型せん断を想定した安全性の検討と、荷重点直下のコンクリートが局部的に破壊する押抜きせん断破壊（パンチング破壊）に対する安全性の検討が行われている。また、集中荷重がスラブの自由縁附近に作用する場合は、さらに複雑な破壊となり耐力が減少することが知られている。しかし、この様なスラブのせん断補強鉄筋の効果については、実験データが少ないことや破壊メカニズムが明かでないことから設計基準等の規定にまでには至っていない様である。本論文では、これらの問題についての基礎的情報を得るため、鉛直方向の補強鉄筋（以下、“せん断補強鉄筋”と呼ぶ）配置をした相対する二辺が単純支持され他の二辺が自由の長方形RCスラブ実験供試体を用いて、静的載荷実験を行い実験的に検討したものである。

2. 実験概要

載荷試験をした供試体は表-1に示す12体である。実験供試体は、図-1に示す相対する二辺が単純支持、他の二辺が自由の長方形RCスラブでスパン $l = 60\text{cm}$ 、スラブ幅 $B = 100\text{cm}$ とスラブ厚 $h = 15\text{cm}$ で一定とした。荷重は、 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ の正方形鋼板（厚さ 32mm ）を介し、スラブスパン中心線上の表面としたが、スラブ自由縁から荷重中心までの距離 e は変数とした。主鉄筋、配力鉄筋とも $D10$ （SD30A）を 5cm ピッチ配置した。かぶり $c = 10\text{mm}$ である。せん断補強鉄筋としては、主鉄筋4本取り囲むようにした一組の $D6$ □型スターラップを使用した（図-2参照）。

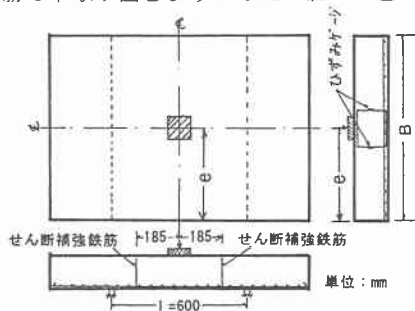


図-1 実験供試体と載荷状況

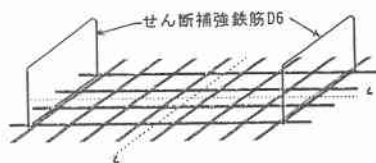


図-2 せん断補強鉄筋配置状況

Experimental Study on the Local Shear Failure of RC Slabs with Shear Reinforcement

by Yoshihiro TAKAHASHI and Yoshio KAKUTA

コンクリートは、水セメント比50%、単位水量150kg/m³、細骨材率45%で早強ポルトランドセメント、海砂及び川砂利を使用した。実験は材令7日で行いその時のコンクリートの平均圧縮強度は33.9Mpaであった。

以上のことより、各スラブの破壊荷重 P_{test} 、ひずみゲージによる補強鉄筋のひずみ、一部の実験供試体での載荷点直下主鉄筋のひずみ及び載荷点のたわみ測定を行った。

3. 実験結果及び考察

各供試体の破壊荷重 P_{test} を表-1に示す。ただし、 P_{test} はコンクリートの圧縮強度 f'_c のばらつき (23.4~47.6Mpa、平均33.9Mpa) の影響をある程度取り除くため、実際の実験で得られた破壊荷重に $\sqrt{33.9/f'_c}$ を乗じ、それぞれ平均コンクリートの圧縮強度に換算した値である。

図-3に破壊荷重 P_{test} と載荷位置パラメータ e/a ($a=l/2=30\text{cm}$) との関係を示す。同図には、下記に示すコンクリート標準示方書の面部材の押抜きせん断耐力式¹⁾及び自由縁の影響考慮する低減係数 α を用いた式²⁾ も記入してある。

面部材：

$$V = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot f_{pcd} \cdot u_p \cdot d / \gamma_b \quad (1)$$

ここに

$$f_{pcd} = 0.2 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{l/d} \quad (d:\text{m})$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p}$$

$$\beta_r = 1 + 1 / (1 + 0.25u/d)$$

f'_c : コンクリートの設計圧縮強度

u : 載荷周長

u_p : 設計断面の周長 ($=4r + \pi d$)

γ_b : 部材係数 ($=1.0$)

$$\text{破壊荷重} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot f_p \cdot u_p \cdot d \quad (2)$$

ここに

$$f_p = \alpha \cdot 0.20 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (\text{N/mm}^2)$$

f'_c : 実測コンクリート圧縮強度 (MPa)

α : せん断強度の低減係数

$$\alpha = 0.64 + 0.46e' / a \quad (e' / a \leq 0.78)$$

$$\alpha = 1.0 \quad (e' / a > 0.78)$$

e' : 載荷面端辺から自由縁までの距離

u_p : case1 または case2 のうち短い方をとる

表-1 試験結果一覧

Nn	c(cm)	$f_c(\text{MPa})$	$P_{test}(\text{kN})$	備考
1	50	47.6	282	補強鉄筋無し
2	40	31.6	290	補強鉄筋無し
3	30	30.5	325	補強鉄筋無し
4	20	30.8	257	補強鉄筋無し
5	10	34.0	147	補強鉄筋無し
6	5	23.4	118	補強鉄筋無し
7	50	44.7	328	補強鉄筋有り
8	40	36.2	317	補強鉄筋有り
9	30	35.6	326	補強鉄筋有り
10	20	34.8	266	補強鉄筋有り
11	10	34.0	183	補強鉄筋有り
12	5	23.4	126	補強鉄筋有り

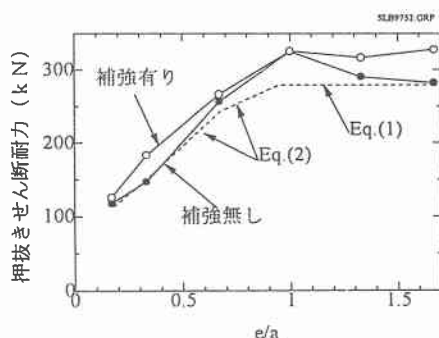
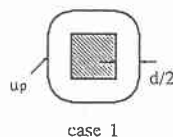
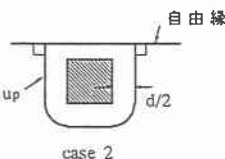


図-3 押抜きせん断耐力に与える自由縁の影響

(自由縁から離れている場合)



(自由縁に近い場合)



同図よりせん断補強鉄筋による耐力増加は自由縁近傍及び自由縁から離れている場合においても認められる。自由縁近傍において、耐力はだいたい自由縁から離れている場合に比べて両者とも1/3くらいになっている。また、そのせん断補強効果については、自由縁から離れている場合の方が自由縁近傍の場合より若干大きいようである。

図-4 (a)、(b)は、せん断補強鉄筋及び荷重直下主鉄筋ひずみとと載荷荷重との関係を示したものである。同図より載荷荷重の初期の段階においては、それほど大きなひずみの増加は見られないが、ある荷重段階よりその増加率が大きくなる変化点がある。また、自由縁の影響がほとんど見られないNo.7供試体では、補強鉄筋のひずみ発生は徐々に推移しているが自由縁の影響を直接受ける No.11供試体の場合ある荷重段階で急激ひずみは増加し、 1600μ 程度にまで達している。これは、コンクリートの受け持っていた荷重がひびわれ発生を境にせん断補強鉄筋に移行したものであると考えられる。

図-5 (a)、(b)は荷重と載荷点直下の主鉄筋ひずみの関係を示したものである。せん断補強鉄筋のある／なしによる明確な傾向は見られない。破壊近傍でのひずみは降伏近傍のものもみられた。

図-6 (a)、(b)は載荷点直下のたわみと荷重との関係を示したものである。同図はせん断補強鉄筋のある／なしによるたわみ挙動への影響を見たものである。せん断補強鉄筋を入れることによりたわみ量が増加し靱性が増したことが分かる。図-6 (a)では、荷重 $P=100\text{kN}$ 付近までは、両者とも殆ど同様の挙動を示すが、この荷重点を過ぎると補強鉄筋を有する供試体 (No.7)の方がたわみが大きくでている。このことは、せん断補強鉄筋を入れたことによる部材の剛性低下等が生じた可能性を示している。

図-7 (a)、(b)は、実験終了後の底面のひびわれ状況のスケッチである。図-7 (a)は、せん断補強の無いNo.4供試体、図-7 (b)は、せん断補強を有するNo.10供試体である。両供試

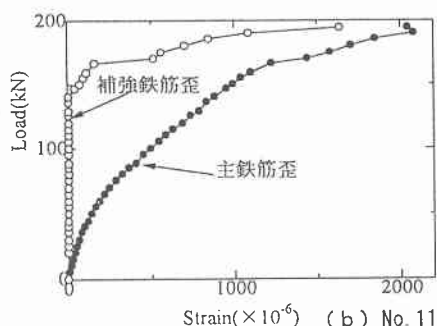
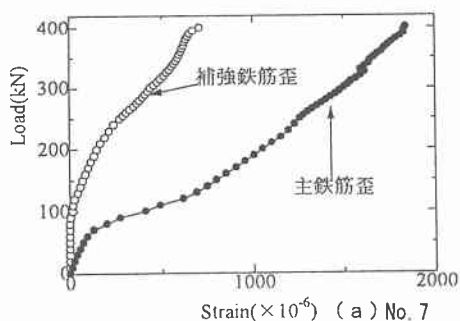


図-4 載荷荷重と補強鉄筋・主鉄筋ひずみの関係

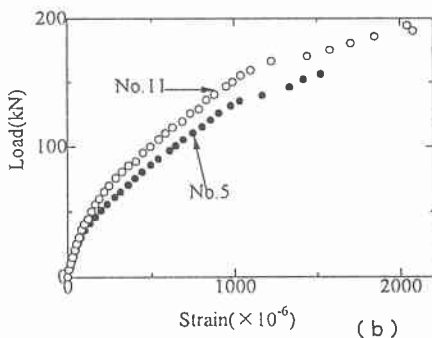
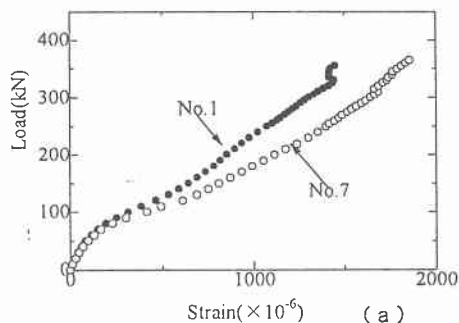


図-5 主鉄筋ひずみと荷重との関係

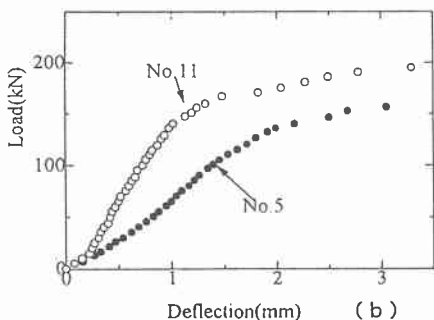
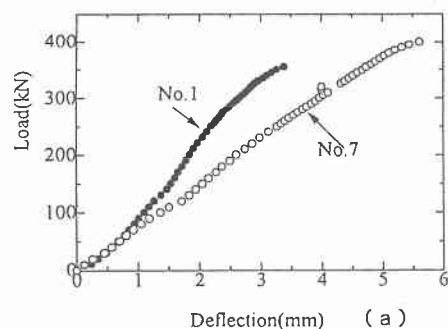


図-6 載荷点直下のたわみと荷重との関係

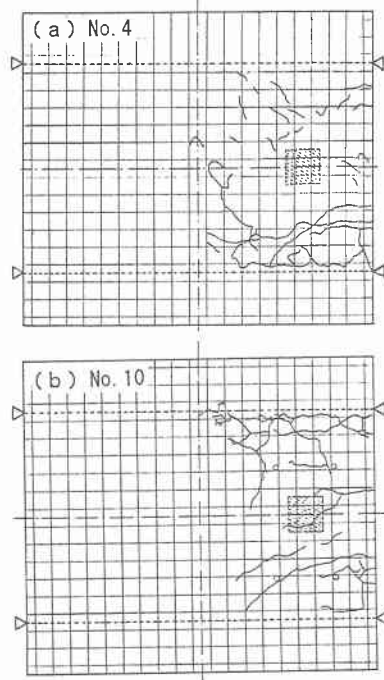


図-7 供試体底面のひびわれ状況

体のひびわれ状況から補強鉄筋を入れたことによりひびわれ進展の分散生が確認された。

以上より本実験の範囲においては、一組のD6□一型スターラップを支点方向の両サイドに挿入しただけでも、そのせん断補強効果は自由縁を有するRCスラブにおいてもある程度期待できる。また、自由縁の影響による耐力低下はせん断補強鉄筋を有するRCスラブにおいてもせん断補強鉄筋を有しないRCスラブ同様に見られた。

4. まとめ

本研究は、RC部材のせん断破壊について（相対する二辺が単純支持、他の二辺が自由の長方形RCスラブ、載荷位置を自由縁方向に変化させ）そのせん断挙動についてせん断補強鉄筋の破壊荷重への影響について実験的に検討を行った。今後さらに解明すべき点が多く残されているが、本研究で得られた結果を列記すれば次の通りである。

- 1) 今回のせん断補強鉄筋配置において、そのせん断補強効果は期待できる。
- 2) 破壊までのたわみ量はせん断補強鉄筋を入れることにより増加し、靱性が増加したことが分かる。
- 3) せん断補強鉄筋が降伏までに至らないうちに供試体は破壊している。

謝辞：本研究を行うに当たり北海学園大学工学部土木工学科学生 小針 信吾君・渡辺 直樹君の多大な協力を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1] コンクリート標準示方書【平成8年 制定】設計編, 1996
- [2] 古内・高橋・角田：RCスラブの自由縁附近載荷に対する実用せん断設計法の研究、土木学会論文集 No. 532/V-30, 141-149, 1996、2