

(81) 床版のせん断補強に関する研究

オリエンタル建設(株) 本社技術部 正会員 ○渡瀬 博
 オリエンタル建設(株) 技術研究所 正会員 二井谷教治

1. はじめに

コンクリート床版における押し抜きせん断力が無視し得ないとき、これに対する補強が必要となる場合がある。

一般的には、接合部の床版を増厚するといった手法が考えられるが、床版厚を一定にした方が型枠の施工性および経済性の点から観て理想的である。また、接合部にスターラップを配置した場合、2方向の軸方向鉄筋に対する配置となり、施工性が悪く、軸方向鉄筋の有効高さも小さくなるといった点で望ましくない。

一方、一部の欧米諸国では、右の図-1に示すようなスタッドを利用したせん断補強筋が、フラットスラブと柱との接合部における有効な補強方法として利用されている。

ここでは、そのせん断補強筋を配置した床版の供試体を製作し、押し抜きせん断試験により、その補強効果を確認したので報告する。

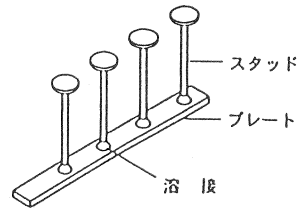


図-1 せん断補強筋

2. 実験概要

2.1 供試体

実験に用いた供試体は、コンクリート床版とこれに鉛直な鋼材との接合部を想定し、右の図-2に示す形状寸法とした。版厚は130、180、230mmの3種類とし、せん断補強筋の補強効果を調べるため、それぞれに対し補強筋を配置したものとししないものを製作した。供試体の種類は実験結果と併せて表-3に示す。コンクリートの示方配合は表-1に示す。

せん断補強筋の材質はDINの規格に適合するもので、その機械的性質を表-2に示す。スタッド部は、鉄筋コンクリート用異形棒鋼で、ほぼJIS G3112 SD490に相当し、プレート部分はほぼ溶接構造用圧延鋼材 JIS G3106 SM490Yに相当する材質である。せん断補強筋は4方向8列に配置し、1列あたりのスタッドの本数は4本でそのピッチは有効高さの約1/2とした。また、スタッドの直径はすべて10mmとした。軸方向鉄筋には、JIS G3112 SD295 D13を使用し、コンクリートの試験時における設計強度は、40 N/mm²を目標とした。

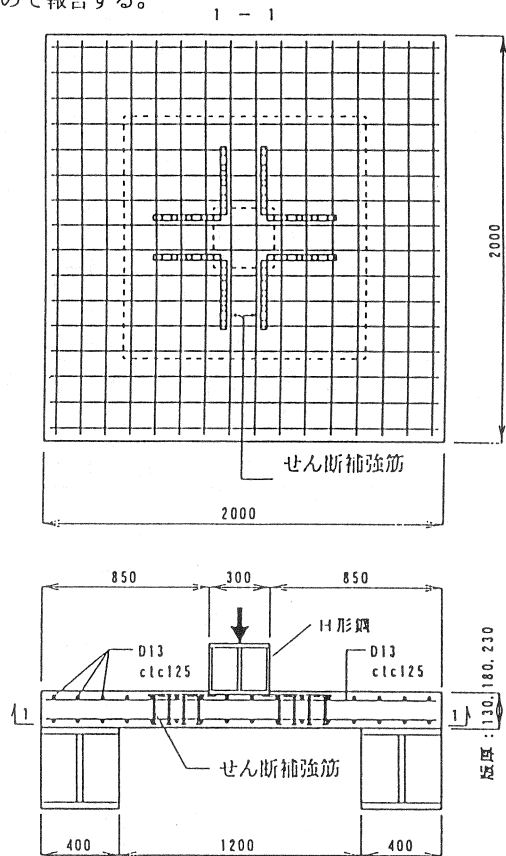


図-2 供試体の形状寸法

表-1 コンクリートの示方配合

水・セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
		水 W (kg)	セメント C (kg)	細骨材 S (kg)	粗骨材 G (kg)	混和剤	
						減水剤 NL4000 (kg)	AE剤 No.202 (kg)
55	46	165	300	843	1000	6.0	0.60

表-2 セン断補強筋の機械的性質

	材 質	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸 び (%)
スタッド	BSt500s	500	550	10
プレート	St52-3	355	490~630	—

2. 2 実験方法

載荷装置は図-3に示すようにH形鋼で構成したフレーム構造とし、反力はそのフレームにとり、載荷は2000kN油圧ジャッキにより行った。供試体の床版支間を1200mmとして、H形鋼の4辺支承上に置き、支承とコンクリート床版をPC鋼材で締め付け、正方形4辺固定支持とした。荷重は鉛直材を想定した平面寸法300×300mmのH形鋼に載荷し、コンクリート床版が破壊するまで単調増加させた。また、荷重の管理はロードセルによって行った。

測定項目はスタッドのひずみ、ひび割れ性状、破壊耐力および破壊形態を中心に行った。

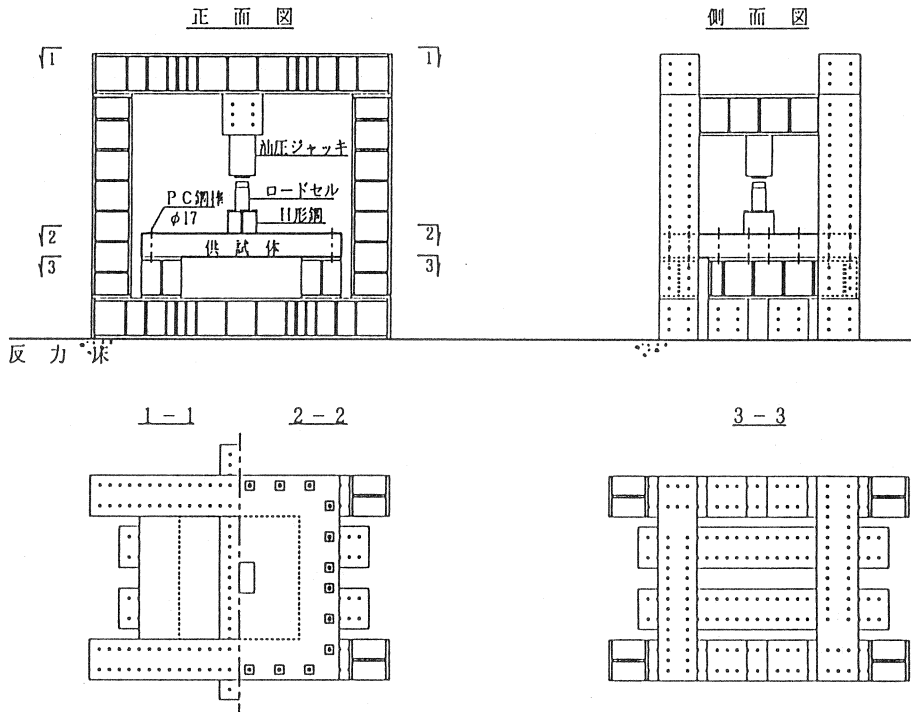


図-3 載荷装置

3. 実験結果および考察

載荷途中のひび割れ状況としては、曲げによるひび割れも多数発生したが、これは供試体への曲げ補強筋の配置によりひび割れが分散化されたためであると考えられる。最終的な破壊形態としては、全供試体とも押し抜きせん断で破壊した。そこで、各供試体の押し抜きせん断耐力の実験結果と計算値との比較を下の表-3に示す。

実験値と比較するための押し抜きせん断耐力の計算値として、土木学会標準示方書⁽⁵⁾およびVoctら⁽²⁾によるものを取り上げた。両算定式による、コンクリートの受け持つせん断耐力の計算方法および考え方は、載荷面の外縁から有効高さの1/2だけ離れた位置を検討断面と仮定するなど、基本的には等しいといえるが、2つの計算値にはかなりの開きがみられる。これはコンクリートのせん断強度の計算値を土木学会の式に対し、Voctらはその約2倍の評価をしていることが主な原因と考えられる。またVoctらは、本実験で用いた、せん断補強筋を配置した床版の、押し抜きせん断耐力の算定式を提案している。以下に、Voctらの提案した押し抜きせん断耐力の算定方法を示す。

まず最初に、せん断補強筋を配置したコンクリート床版に対し、図-4に示すような2種類の押し抜きせん断破壊形状を仮定する。CASE1の破壊形状は、せん断補強筋を配置していない場合と同様で、載荷面の外縁より45度方向のひび割れで押し抜き破壊するものである。このときの検討断面は、載荷面の外縁から0.5d(dは有効高さ)離れた断面となり、せん断耐力はコンクリートの受け持つせん断耐力に、破壊面を横切るスタッドの降伏耐力を加えたものとなる。これに対しCASE2は、せん断補強筋によりその補強領域の押し抜きせん断耐力の増加から、補強領域の外側、つまり最外縁のスタッドより45度方向のひび割れで押し抜き破壊する場合である。このときの検討断面は、配置された最外縁のスタッドから0.5d離れた断面となり、せん断耐力は検討断面でのコンクリートの受け持つせん断耐力に相当する。それぞれの検討断面を図-5に示す。以上から、スタッドで補強された床版の押し抜きせん断耐力 V_{cal} は、上記2ケースの内、小さい方となる。

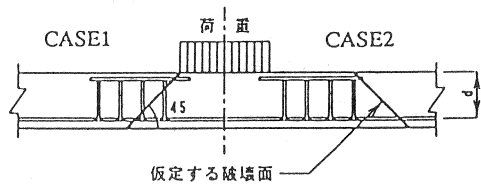


図-4 補強した床版の破壊ケース

表-3 実験結果と計算値の比較

供試体 名称	押し抜きせん断耐力							破壊形態
	計算値				実験値			
	V_{c1} (kN)	V_{c2} (kN)	$V_{c2'}$ (kN)	V_s (kN)	V_{cal} (kN)	V_{tes} (kN)		
N130	247	301	—	—	301	594	1.97	押し抜きせん断
S130			369	590	369	656	1.78	押し抜きせん断
N180	388	558	—	—	558	792	1.42	押し抜きせん断
S180			777	603	777	1003	1.29	押し抜きせん断
N230	545	866	—	—	866	1268	1.46	押し抜きせん断
S230			1310	609	1310	1579	1.21	押し抜きせん断

V_{c1} : コンクリートの受け持つせん断耐力(土木学会s)、載荷面外縁からd/2の位置を検討断面とする。

V_{c2} : " (Voctら2)、"

$V_{c2'}$: " ("), 最外縁のスタッドからd/2の位置を検討断面とする。

V_s : せん断補強筋の受け持つせん断耐力(")。

V_{cal} : せん断耐力計算値 ("), $V_{c2'}$ と $V_{c2} + V_s$ のうち小さい方

ここで、Voetらによるせん断耐力の計算式を以下に示す。

$$V_{\text{case1}} = V_{c2} + V_s$$

$$V_{\text{case2}} = V_{c2}'$$

ただし、

V_{case1} : 載荷面外縁から 0.5d 離れた検討断面での、コンクリートの受け持つせん断耐力。

V_{case2} : 最外縁のスタッドより、さらに外側に 0.5d 離れた検討断面でのコンクリートの受け持つせん断耐力。

V_s : スタッドの受け持つせん断耐力

また、コンクリートの受け持つせん断耐力 V_{c2} は、

$$V_{c2} = \nu_{c'} \cdot d \cdot b_o$$

ただし、

$\nu_{c'}$: 見かけのせん断強度(MPa)

d : 有効高さ(mm)

b_o : 検討断面の周長(mm)

そこで、見かけのせん断耐力 $\nu_{c'}$ は、

$$\nu_{c'} = 0.33 \times \{1 - (\alpha - 1) / 6\} (f_{c'})^{1/2}$$

ただし、

α : 載荷面外縁から検討断面までの距離を有効高さで除したもの。

($\alpha < 1$ なら 1、 $4 < \alpha$ なら 4 とする。)

$f_{c'}$: 圧縮強度(MPa)

また、検討断面の周長は、

$$b_{o1} = 4 \times C + 4 \times d$$

$$b_{o2} = 4 \times l_1 + 4 \times (l_2 - l_1) / 2^{0.5}$$

$$l_1 = C + 0.414 d$$

ただし、

b_{o1} : 載荷面の外縁より 0.5d 外側の周長(mm)

b_{o2} : 最外縁のスタッドより 0.5d 外側の周長(mm)

C : 載荷領域の辺長(mm)

l_1 : 載荷面中心から検討断面までの距離の 2 倍(mm)

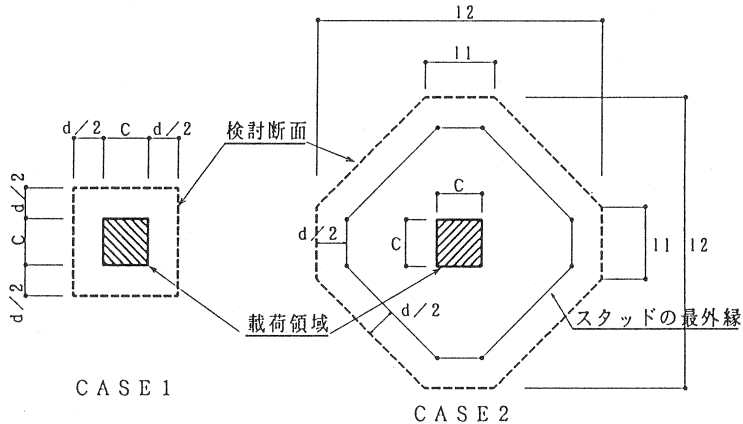


図-5 検討断面図

また、スタッドの受け持つせん断耐力は、

$$V_s = A_v \cdot f_y \cdot d / S$$

ただし、

A_v : 検討断面より± d/2 の範囲内におけるスタッドレールの断面積(mm²)

f_y : スタッドの降伏応力

S : 同一プレート上に並ぶスタッドの間隔(mm)

土木学会標準示方書⁽⁵⁾による計算式では、せん断補強筋に対する検討をしていないため、今後、実験値と比較検討する計算値としては、Voetらによるものを対象とする。

先に述べたとおり、すべての供試体が押し抜きせん断で破壊し、そのせん断耐力はいずれも計算値を上回る結果となった。図-6に破壊面のひび割れ状況を示す。せん断補強筋を配置していない供試体は、すべて載荷面の外縁から支承方向に向かって45度より小さい角度で発生している。実験での破壊面は、計算での仮定に比べてより外側に位置しており、これがコンクリートの受け持つせん断耐力の増加へと繋がった主な原因と考えられる。

せん断補強筋を配置した供試体は、S130 および S 180 が CASE 2 の破壊形態をとり、S 230 が CASE 1 の破壊形態となった。算定式からは、いずれの供試体とも CASE 2 の破壊形態をとるはずだが、S 230 の場合、最外縁のスタッドから支承までの距離が短かく、CASE 2 の検討断面が成立し得なかったために CASE 1 の破壊形状に至ったものと考えられる。従って、S 230 の押し抜きせん断耐力の計算値 V_{cal} は、実験での破壊形状に従うと、

$$V_{c2} + V_s = 1475 \text{ kN}$$

$$V_{tes} / V_{cal} = 1.07$$

となる。

図-7に S 180 および S 230 に配置したスタッドの2軸方向の平均ひずみを示す。スタッドの降伏ひずみ約 2500×10^6 に対し、CASE 2 の破壊形状をとる S 180 のスタッドは、破壊時においても降伏荷重に対して余力が残っていることが伺える。これに対して、CASE 1 の破壊形状をとる S 230 において、破壊面となるひび割れが横切るスタッドのいくつかは、降伏に達していることがわかる。

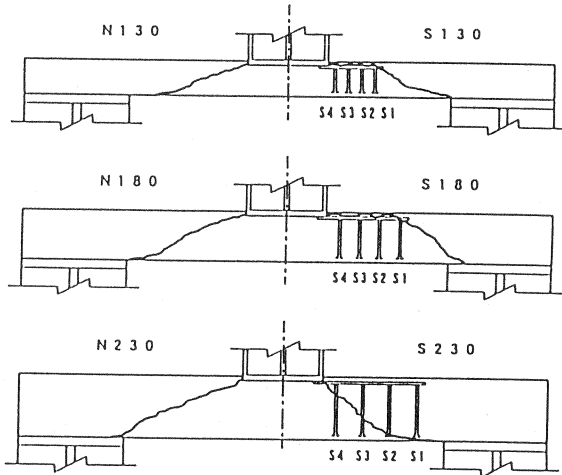


図-6 押し抜きせん断破壊のひび割れ図

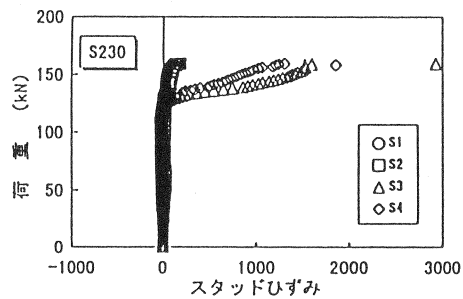
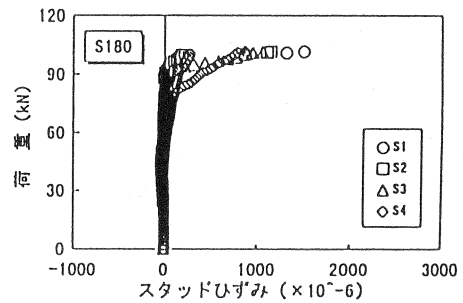


図-7 荷重-ひずみ関係

のいくつかは、降伏に達していることがわかる。

同じ版厚でスタッドを配置したものとししないものの押し抜きせん断耐力の差が補強効果といえるが、版厚が230 mmのものについてはせん断スパン比および最外縁のスタッドから支承までの距離が短かった為、計算値どおりの補強効果は得られなかったものの、版厚130 mmおよび180 mmにもものについては、計算値とほぼ等しい補強効果が得られた。

4. まとめ

今回の実験では、鉄筋コンクリート床版における押し抜きせん断耐力に対して、供試体にスタッドを利用したせん断補強筋を配置し、その載荷試験を行った。本実験によって得られた成果を要約すれば以下のとおりである。

- ①せん断補強筋の配置された床版の押し抜きせん断破壊の形態が、概ね確認された。
- ②せん断補強筋の補強効果は、ほぼ算定式通りの耐力増加が期待できることが実験により確認された。

今後、このせん断補強筋を実用化していくためには、配置形状による影響、また定着性能を含めた詳細な実験を行い、その補強効果をさらに検証する必要があると考えられる。

[参考文献]

- 1)F.Seible, A.Ghali, and W.H.Dilger, "Preassembled Shear Reinforcing Units for Flat Plates", ACI Journal, January-February, pp28-35, 1980.
- 2)A.F.Voet, W.H.Dilger, and A.Ghali, "Concrete flat plates with well-anchored shear reinforcement elements", Canadian Journal of Civil Engineering, vol.9, pp-107-114, 1982.
- 3)A.A.Elghabry and A.Ghali "Design of Stud-Shear Reinforcement for Slabs", ACI Journal, May-June, PP350-361, 1990.
- 4)Canadian Code CSA A23.3.94, CEB-FIP Model Code 1990, Eurocode 1991.
- 5)土木学会,「平成8年制定 コンクリート標準示方書[設計編]」、pp65-67, 1996