

論文

[2152] 鋼板接着によるRCスラブのせん断補強効果についての一考察

正会員○駒田幹久 (新日本技術コンサルト)

打田靖夫 (関西電力)

藤原吉美 (関西電力)

正会員 小林和夫 (大阪工業大学)

1. まえがき

既存コンクリート構造物のせん断耐力に対する補強に鋼板接着を適用すれば、施工が比較的容易である。しかし、RCスラブを対象とした鋼板接着による斜引張型せん断に対するせん断補強に関しては、現状ではほとんど報告されていないようである。

そこで、別報 [1] においては、幅×高さ×全長 = (20 ~ 100) × 20 × 140cm のRC供試体の側面あるいは側面・底面に鋼板接着したものについてのせん断スパン・有効高さ比3.03での静的載荷による基礎的実験を実施し、側面鋼板厚を増加するとせん断耐力は増大するが、スターラップとみなして算定したほどの補強効果は得られないこと、底面鋼板接着を併用するとせん断補強の効果はより向上することなどを示した。

本研究においては、これらの基礎的実験に用いたRCスラブ供試体を対象として2次元弾塑性FEM解析を実施し、接着鋼板に発生する応力とその大きさ・分布を把握するとともに、併せて幅×高さ = 197×36cmと72×15.4cmの寸法比を同一としたRCスラブ供試体について静的せん断載荷試験を行って鋼板補強に関する寸法効果を検討した。ここでは、これらの試験結果と解析結果に基づいて、RCスラブの鋼板接着によるせん断補強の効果を考察した結果について述べる。

2. 基礎的実験の概要

基礎的実験供試体 [1] のうち本研究で検討対象としたのは、側面鋼板のみを接着したもので、せん断破壊した8体である。各供試体の種類を実験結果と併せ表-1に示す。

表-1 検討対象とした基礎的実験供試体の種類と実験結果

	供試体名	供試体形状 (cm)		側面鋼板厚 (mm)	a/d	引張鉄筋比 (%)	コンクリートの圧縮強度 $f'_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	実験結果			
		幅 b	高さ h					破壊荷重 P (tf)	平均せん断応力 度 $\tau_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\tau_{u,300}^{*1}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	破壊モード
タ	No. 1-4.3	100	20	4.3	3.03	2.35	338	86.7	26.27	25.25	斜引張破壊
イ	No. 1-3.2-i	100	20	3.2	3.03	2.35	357	80.0	24.24	22.87	〃
ブ	No. 1-3.2-ii	100	20	3.2	3.03	2.35	403	84.0	25.45	23.07	〃
1	No. 1-3.2-iii	100	20	3.2	3.03	2.35	291	82.1	24.88	25.13	〃
	No. 1-1.6	100	20	1.6	3.03	2.35	303	66.4	20.12	20.05	〃
タ	No. 2-4.3	60	20	4.3	3.03	2.35	355	59.8	30.20	28.55	〃
イ	No. 2-3.2	60	20	3.2	3.03	2.35	243	52.0	26.26	28.17	〃
72	No. 2-1.6	60	20	1.6	3.03	2.35	383	51.4	25.96	23.93	〃

(注) \*1  $\tau_{u,300} = \tau_u \times (300/f'_c)^{1/3}$  により供試体間での  $f'_c$  の相違を補正した

また、タイプ1の断面図を図-1に示すが、いずれも全長×高さは1.4m×0.2mで、スパンは1.0m、せん断スパン・有効高さ比 (a/d) は3.03である。

荷重はスパン中央に線荷重を1点載荷とし、破壊時まで2tごとに鉄筋、コンクリート、鋼板ひずみとたわみを測定した。それらの測定位置を図-2に示す。

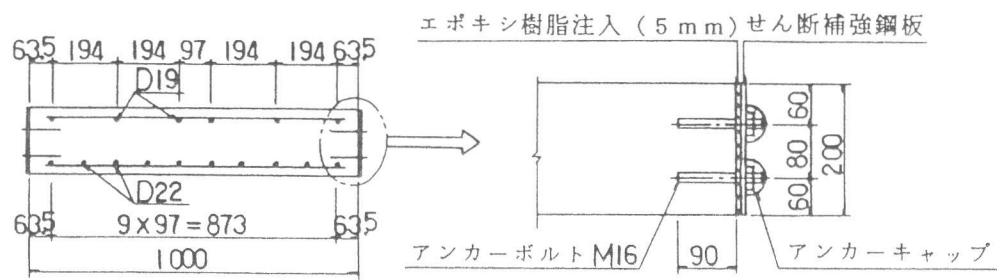


図-1 タイプ1の断面図

### 3. FEM解析

#### 3-1 解析方法

鋼板の応力に関し、基礎的実験で得られているのは断面の高さの中央位置での値のみであるため、鋼板全体の応力分布を調べるため2次元弾塑性FEM解析を行った。

本解析の対象とした供試体は表-1のNo.1-3.2-iであり、図-3に示す要素分割でモデル化し、コンクリート要素と鋼板要素の2層構造とし

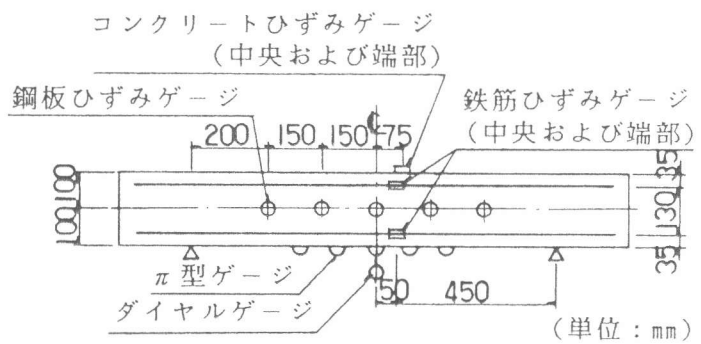


図-2 測定位置

た。両要素は全節点がバネ結合されていると考え、そのバネ定数は数ケースの試算により  $k = 3300 \cdot A \text{ kgf/cm}$  ( $A$ は単純分割した節点の影響面積) とした。なお、この  $k$  値はアンカーボルトの影響を無視し、次式より推定した接着用樹脂のせん断バネ定数  $k'$  の  $1/5$  程度の値である。鉄筋については、配置されている部分のコンクリートに鉄筋要素を節点で結合したモデルとした。

$$Q = A \cdot G \cdot \delta / t = k' \cdot \delta \text{ ここに、 } k' = A \cdot G / t \quad (1)$$

ただし、 $Q$  ; 鋼板に作用する鉛直ずれせん断力、 $A$  ; 接着樹脂の面積、 $G$  ; 接着樹脂のせん断弾性係数 ( $E = 2.0 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $\nu = 0.2$  とし  $G = 0.83 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ ),  $t$  ; 接着樹脂の厚さ (5mm)、 $\delta$  ;  $Q$ によるずれ変位を表わし、 $k' = 1.67 \times 10^4 \cdot A \text{ kgf/cm}$ となる。

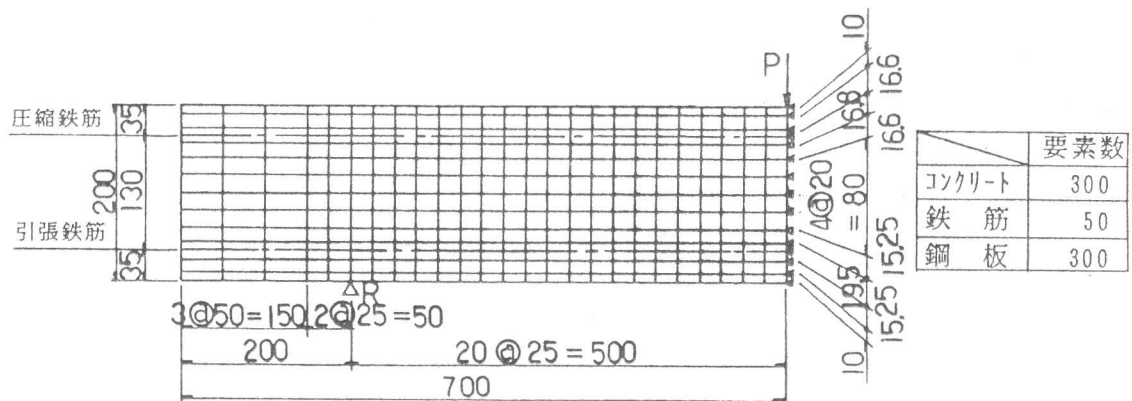


図-3 要素分割図

また、荷重については実験時と同様となるよう、鋼板要素には載荷せず、コンクリート要素のみに載荷した。

解析に用いた材料の特性とモデル化した材料特性を表-2、図-4 [2] に示す。

表-2 材料の力学的特性

	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	ヤング率 (kgf/cm <sup>2</sup> )
コンクリート	357	25.2	3.0 × 10 <sup>6</sup>
	降伏点強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	ヤング率 (kgf/cm <sup>2</sup> )
鉄筋	4 020	5 790	2.1 × 10 <sup>6</sup>
鋼板	2 520	3 870	2.1 × 10 <sup>6</sup>

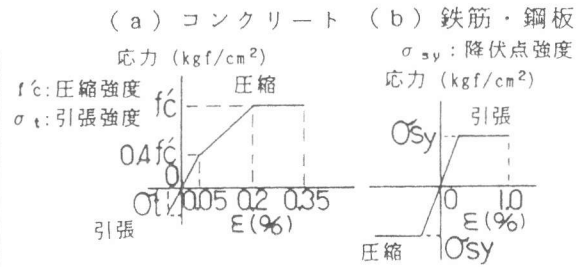


図-4 モデル化した材料特性

なお、ひびわれの影響を考慮するため、主応力がコンクリートの引張強度を越えた要素では、主応力方向の引張剛性を0とした直交異方性要素とみなして解析を行った。

### 3-2 解析結果

鋼板の主応力度、供試体たわみ、鉄筋ひずみおよび圧縮側コンクリートひずみの解析値を実験値と対比し図-5 (a)、(b)、(c)、(d) に示す。

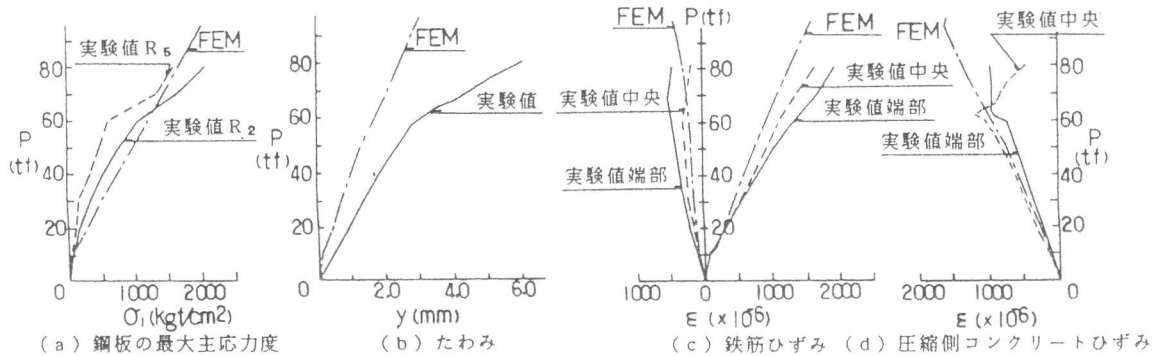


図-5 FEM解析結果

FEM解析の結果によると、本供試体では解析上はタイドアーチ的な耐荷機構に移行後、最終的には圧縮側コンクリートひずみが增大して実験値を若干上回った荷重で破壊が生じることが示された。図-5のように、たわみについては解析値と実験値に差はみられるが、全体としては鋼板接着供試体の耐荷挙動をよく表現していると考えられる。

FEM解析による破壊時の鋼板主応力分布を図-6に示す。また、断面高さの中央位置での最大主応力を実験値と対比して表-3に示すが、両者はかなりよく一致している。

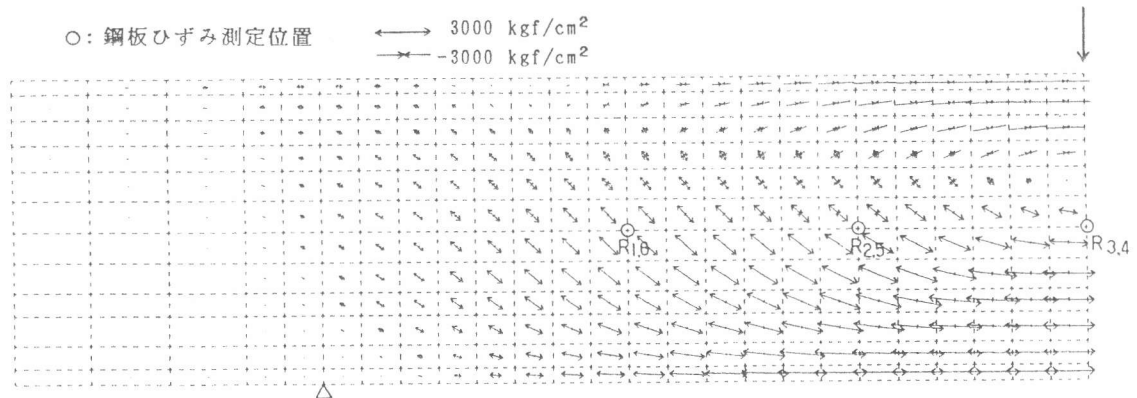


図-6 破壊時の鋼板主応力分布の解析結果

次に、鋼板のせん断応力度分布の解析結果を図-7、最大せん断応力度を表-4に示す。図-7のように、鋼板のせん断応力度の分布はほぼ放物線形状を示すことが判明した。

表-3 断面高の中央の最大主応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

	R <sub>1</sub> , R <sub>6</sub>	R <sub>2</sub> , R <sub>5</sub>	R <sub>3</sub> , R <sub>4</sub>	荷重(tf)
FEM	1 400	1 720	1 620	80.7
実験値	1 173, 1 073	2 042, 1 583	2 709, 1 273	80

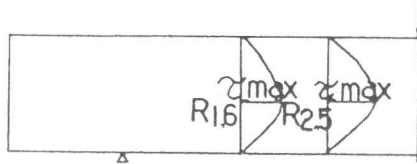


図-7 鋼板のせん断応力度分布の解析結果

表-4 最大せん断応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

	R <sub>1</sub> , R <sub>6</sub>	R <sub>2</sub> , R <sub>5</sub>
FEM	799	936
実験値	713, 635	906, 771

#### 4. 寸法効果実験

##### 4-1 実験計画

側面接着鋼板のせん断補強に関する寸法効果の影響を検討するため、また併せてFEM解析で放物線形状を示す鋼板のせん断応力度の分布を実験的に確認するため、寸法効果実験を行った。供試体は表-5に示す2体であり、No.4-5.9の鋼板ゲージ位置を除いて、載荷方法および測定項目は前述の基礎的実験と同様である。No.4-5.9の鋼板ゲージ配置を図-8に示す。なお、供試体の対角側面も同様な鋼板ゲージ配置とした。

また、基礎的実験と本実験の供試体幅と有効高の関係および供試体幅と鋼板厚の関係を図-9に示す。

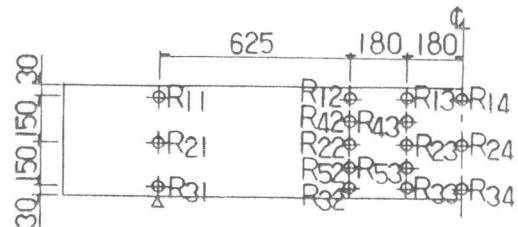


図-8 鋼板ゲージ配置

表-5 寸法効果実験供試体の種類

供試体名	供試体形状 (cm)		側面補強 鋼板厚 (mm)	アンカーボルト 間隔 (cm)	a/d	引張 鉄筋比 (%)	コンクリートの 圧縮強度 f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
	幅 b	高さ h					
No.4-5.9	197	36	5.9	27.5(3段)	3.03	2.37	309
No.5-2.1	72	15.4	2.1	27.5(2段)	3.03	2.34	309

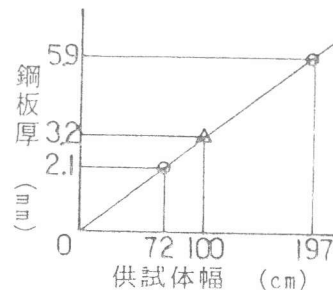
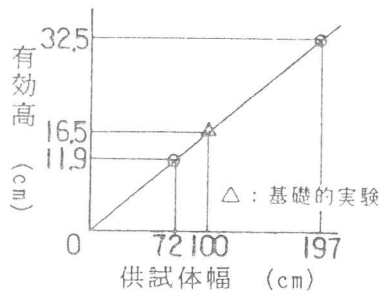


図-9 基礎的実験と本実験供試体の関係

これらの供試体に用いたコンクリートは最大骨材寸法が20mmで圧縮強度はf'c = 309 kgf/cm<sup>2</sup>である。鋼板の降伏点強度と鉄筋の降伏点強度を併せ表-6に示す。

表-6 鋼板および鉄筋の降伏点強度

種類	降伏点強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	備考	
鋼板	5.9mm	3 300	
	2.1mm	3 600	
鉄筋	D25	3 580	No.4-5.9用
	D19	3 640	No.5-2.1用

#### 4-2 実験結果

各供試体の実験結果および破壊耐力の計算値を表-7に示す。なお、表中の平均せん断応力度は補強鋼板を無視し、 $\tau_u = P/(2 \cdot b \cdot d)$ として算出した値である。

表-7 実験結果および耐力の計算値

供試体名	実験結果				計算値*1			
	破壊荷重 P (tf)	平均せん断応力 $\tau_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\tau_{u,300}$ *2 (kgf/cm <sup>2</sup> )	破壊モード	曲げ耐力 (tf)	せん断耐力(tf)		
						コンクリート*3	鋼板*4	合計
No.4-5.9	213	16.63	16.47	斜引張破壊	358	183	220	403
No.5-2.1	55.5	32.39	32.07	//	49.8	22.9	31.3	54.2

- (注) \*1 計算値は載荷重に換算した値。  
 \*2  $\tau_{u,300} = \tau_u \times (300/f_c)^{1/3}$   
 \*3 コンクリートの受け持つせん断耐力は岡村・楢貝式による。  
 \*4 鋼板の受け持つせん断耐力はスターラップと考え算出した値。

No.4-5.9供試体の側面鋼板のせん断応力度分布の測定値を図-10に示す。完全な放物線形状になっていない箇所も一部にはあるが、載荷初期から破壊に至るまで側面鋼板のせん断応力度の分布はほぼ放物線形状を示すことが確認された。

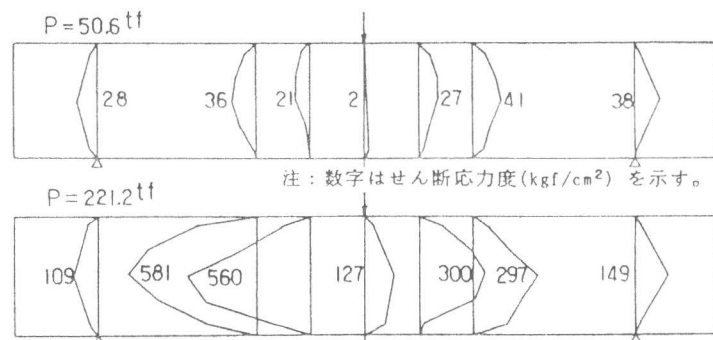


図-10 No.4-5.9の側面鋼板のせん断応力度の分布

#### 5. 側面鋼板補強効果の考察

FEM解析上も、また実験上も側面鋼板のせん断応力度の分布は放物線形状とみなせることが確認された。そこで、断面高さの中央位置での最大せん断応力度の測定値を用いて次式で求めた側面鋼板の受け持つせん断力を表-8に示す。

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \tau_{max} \cdot 2 \cdot t \cdot h \quad (2)$$

ここに、 $Q$  ; 側面鋼板の負担するせん断力 (kgf)  $t$  ; 側面鋼板の厚さ (cm)  
 $\tau_{max}$  ; 側面鋼板の最大せん断応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)  $h$  ; 断面高 (cm)

表-8 側面鋼板の受け持つせん断力の計算値

供試体名	No.1-4.3	No.1-3.2*1	No.1-1.6	No.2-4.3	No.2-3.2	No.2-1.6	No.4-5.9	No.5-2.1
部材高 (cm)	20	20	20	20	20	20	36	15.4
鋼板厚 (mm)	4.3	3.2	1.6	4.3	3.2	1.6	5.9	2.1
破壊時の最大せん断 応力度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	598	795	1 000	725	707	1 027	581	861
鋼板の受け持つせん 断力*2 (tf)	13.72	13.57	8.54	16.62	12.06	8.76	32.68	7.50

- (注) \*1 供試体3体の平均  
 \*2 載荷重に換算した値

この $Q$ 値にコンクリートの負担せん断耐力を加えた計算値を破壊荷重実験値と比較し図-11に示す。コンクリートの負担せん断耐力は断面中高の鋼板主応力が急増する変曲点荷重に対応する実験値とした[1]。

図-11に示すように、このような考え方にもとづいて求めた破壊荷重の計算値は実験値と比較すると全体的に安全側ではあるが、両者はかなりよく一致することがわかる。

基礎的実験供試体破壊時のタイプ別の側面鋼板の最大せん断応力度を図-12に示すが、供試体寸法を一定とした場合鋼板厚が増加するとこの応力の低下傾向が認められる。

また、図-12には寸法効果実験供試体の側面鋼板の最大せん断応力度と鋼板厚の関係を破線で示すが、供試体寸法を一定とした場合と同様、鋼板厚が増加すると最大せん断応力度が低下する傾向が認められる。ただし供試体寸法比が同一の相似形であっても、供試体幅が大きくなれば、鋼板厚増加に伴う最大せん断応力度の低下は緩和される傾向にあることが認められる。

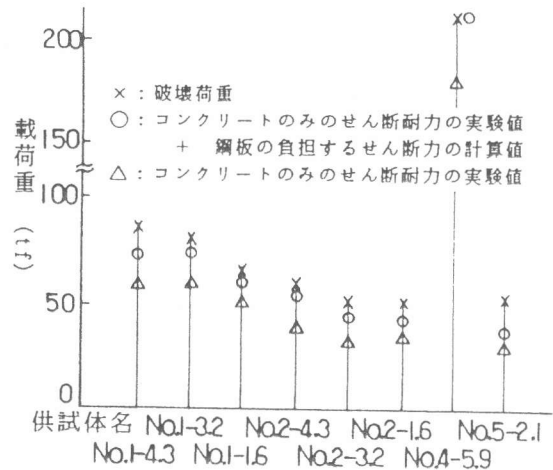


図-11 破壊荷重の計算値と実験値の比較

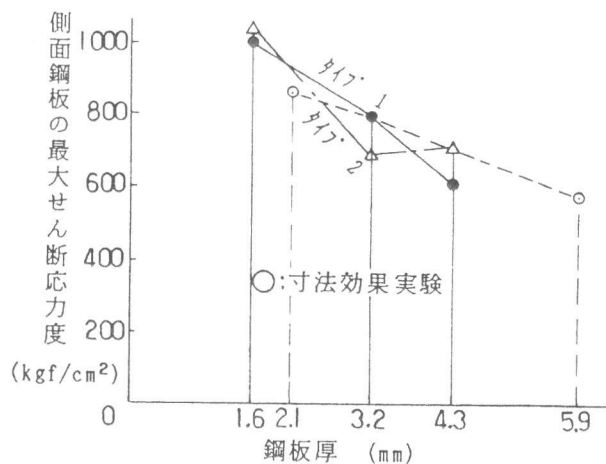


図-12 鋼板の最大せん断応力度に関する鋼板厚の影響

## 6. まとめ

本研究から得られた主な結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 2次元弾塑性FEM解析により側面に鋼板接着したRCスラブの耐荷挙動をかなりよく把握することができ、解析とひずみ測定結果の両者からせん断スパン内の側面鋼板には高さ方向に放物線分布形状のせん断応力が作用することが示された。
- (2) 側面鋼板接着したRCスラブのせん断耐力はコンクリートの負担せん断耐力とせん断応力分布を放物線とした鋼板の負担せん断耐力の和として表わすことができる。
- (3) 部材寸法が同一の場合、側面鋼板厚を増加すると部材のせん断破壊時における鋼板の最大せん断応力が減少し、鋼板の補強効率が低下する傾向が認められた。
- (4) 供試体寸法比が同一の相似形の場合、供試体幅が大きくなれば鋼板厚増加に伴う、側面鋼板の終局時の最大せん断応力度の低下は、緩和される傾向にあることが認められた。

[謝辞] 実験の実施および結果の整理において、御協力いただいた近畿コンクリート工業(株) 岡本潤二氏に厚くお礼申し上げます。

- [参考文献] 1) 酒井、打田、駒田、小林；鋼板接着RCスラブのせん断耐力に関する基礎的実験、第13回コンクリート工学年次講演会論文集、1991年(投稿中)  
2) 池田、南雲；RCおよびPC構造物への有限要素法の合理的適用に関する研究、土木学会論文集、第414号/V-12、1990年2月