

論文

[2151] 鋼板接着RCスラブのせん断耐力に関する基礎的実験

正会員○酒井研二 (関西電力)

打田靖夫 (関西電力)

正会員 駒田幹久 (新日本技術コンサルタント)

正会員 小林和夫 (大阪工業大学)

1. まえがき

既存RC構造物の耐荷力不足を補強する方法として種々のものが開発されているが、鋼板接着工法は施工が比較的容易であることから、RCスラブやRC桁などの曲げ耐力の補強に広く採用されており、RC桁のせん断補強法としても一部実用化している。

一方、RCスラブを対象とし、押抜き型とは異なった通常の斜引張型せん断に対する鋼板接着の補強効果に関しては、現状ではほとんど報告されていないようである。しかし、既存構造物、たとえばコンクリートアーチ橋におけるRC版状のアーチリブにせん断補強筋が配置されていない場合のように、RCスラブにおいても斜引張型のせん断耐力の不足する場合が存在すると考えられる。

そこで、本研究では側面あるいはそれに加えて底面に鋼板接着したRCスラブについて、接着鋼板のせん断耐力に対する補強効果を検討するための基礎的実験を実施した。

2. 実験計画

2-1 供試体の種類

合計19体の供試体の形状、補強鋼板厚等を表-1に示す。タイプ1は $b/h=5.0$ でスラブモデル、タイプ3は $b/h=1.0$ で梁モデルを代表するものである。また、タイプ2は $b/h=3.0$ で両者の中間モデルである。

表-1 供試体の種類

	供試体名	供試体形状 (cm)		補強鋼板厚 (cm)		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 ²)
		幅 b	高さ	側面	底面				
タイプ1	No.1-4.3	100	20	4.3	-	15	3.03	2.35	338
	No.1-3.2-i	100	20	3.2	-	15	3.03	2.35	357
	No.1-3.2-ii	100	20	3.2	-	27.5	3.03	2.35	403
	No.1-3.2-iii	100	20	3.2	-	40	3.03	2.35	291
	No.1-1.6	100	20	1.6	-	15	3.03	2.35	303
	No.1-0	100	20	-	-	-	3.03	2.35	336
	No.1-3.2-3.2	100	20	3.2	3.2	15	3.03	2.35	397
No.1-1.6-3.2	100	20	1.6	3.2	15	3.03	2.35	243	
タイプ2	No.2-4.3	60	20	4.3	-	15	3.03	2.35	355
	No.2-3.2	60	20	3.2	-	15	3.03	2.35	243
	No.2-1.6	60	20	1.6	-	15	3.03	2.35	383
	No.2-0	60	20	-	-	-	3.03	2.35	340
タイプ3	No.3-3.2-i	20	20	3.2	-	15	3.03	2.35	336
	No.3-3.2-ii	20	20	3.2	-	15	3.03	2.35	312
	No.3-1.6-i	20	20	1.6	-	15	3.03	2.35	291
	No.3-1.6-ii	20	20	1.6	-	15	3.03	2.35	344
	No.3-0-i	20	20	-	-	-	3.03	2.35	357
	No.3-0-ii	20	20	-	-	-	3.03	2.35	353
	No.3-1.6-3.2	20	20	1.6	3.2	15	3.03	2.35	312

いずれのタイプも供試体長×断面全高は 1.4m × 0.2m とし、純スパン1.0mで単純支持してせん断スパン・有効高さ比 (a/d) 3.03で載荷した。タイプ1で両側面のみ鋼板接着した供試体の断面図を代表して図-1に示す。

側面鋼板厚はタイプ1、タイプ2とも3種類またタイプ3は2種類とし、比較のため補強鋼板のない供試体も作製した。これらの供試体にはすべてせん断補強鉄筋を配置していない。

なお、タイプ1で側面鋼板厚が3.2mmの場合アンカーボルトピッチを3種類に変化させているのは、アンカー間隔の耐力への影響を調べるためである。

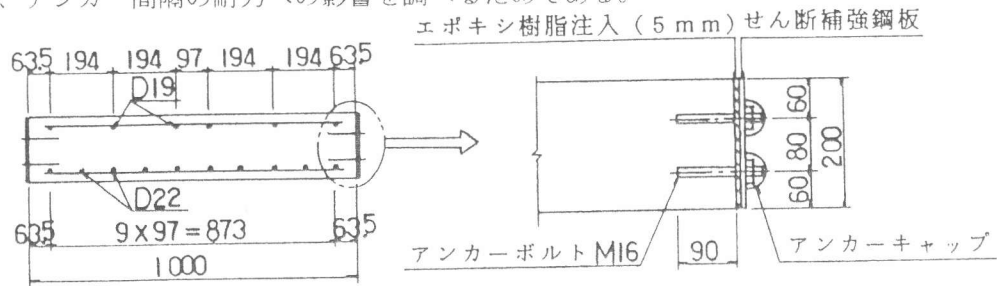


図-1 タイプ1の断面図

供試体に用いたコンクリートは最大骨材寸法が20mmで圧縮強度は表-1に示すとおりである。鋼板の降伏点強度と鉄筋の降伏点強度を併せ表-2に示す。

2-2 載荷方法および測定項目

図-2に示すように、スパン中央に線荷重を1点載荷して破壊まで単調増加させ、鉄筋ひずみ、圧縮側コンクリートひずみ、たわみおよびひびわれ幅の他、鋼板ひずみを荷重2t増加ごとに測定した。なお、線荷重の長さはコンクリートスラブの全幅とし、側面鋼板には載荷していない。次に、各々の測定位置は図-3に示す。

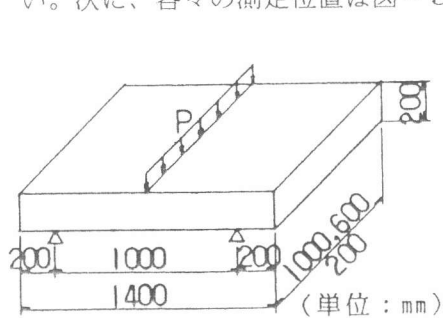


図-2 載荷方法

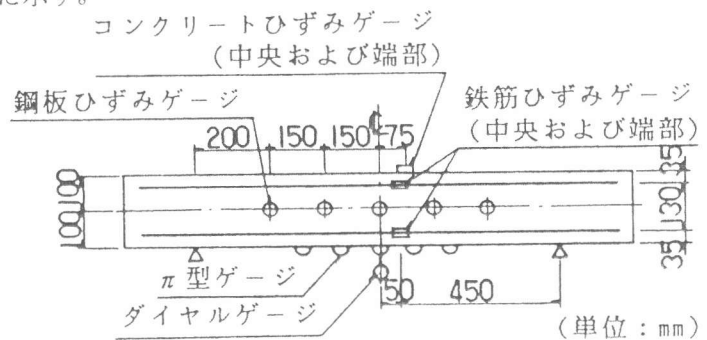


図-3 測定位置

3. 実験結果

3-1 破壊荷重および破壊性状

各供試体の実験結果および終局耐力の計算値を表-3に示す。表-3の破壊時の平均せん断応力度は補強鋼板を無視し、 $\tau_u = V_u/b \cdot d$ として算出した値である。またコンクリートの受け持つせん断耐力の計算値は岡村・桧貝式〔1〕によるものであり、鋼板の受け持つせん断耐力は補強鋼板をスターラップと考えて算出した値である。

破壊モードは、タイプ3の鋼板接着した供試体以外、すべて斜引張破壊であり終局状態までコンクリートと鋼板の剥離は見られなかった。

表-3 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 τ_u (kgf/cm ²)	$\tau_{u,300}$ *2 (kgf/cm ²)	破壊モード	曲げ耐力 (tf)	せん断耐力 (tf)			
						コンクリート	鋼板	合計	
タイプ1	No.1-4.3	86.7	26.27	25.25	斜引張破壊	100.80	55.04	73.26	128.30
	No.1-3.2-i	80.0	24.24	22.87	//	96.60	56.07	46.57	102.64
	No.1-3.2-ii	84.0	25.45	23.07	//	97.84	58.38	46.57	104.95
	No.1-3.2-iii	82.1	24.88	25.13	//	97.52	57.78	46.57	104.35
	No.1-1.6	66.4	20.12	20.05	//	90.48	53.10	21.25	74.35
	No.1-0	58.0	17.58	16.93	//	87.44	54.95	-	54.95
	No.1-3.2-3.2	96.0	29.09	26.50	//	140.32	58.08	46.57	104.65
	No.1-1.6-3.2	71.0	21.52	23.09	//	104.48	49.29	21.25	70.54
タイプ2	No.2-4.3	59.8	30.20	28.55	//	66.12	33.58	73.26	106.84
	No.2-3.2	52.0	26.26	28.17	//	59.08	29.56	46.57	76.13
	No.2-1.6	51.4	25.96	23.93	//	57.20	34.43	21.25	55.68
	No.2-0	27.4	13.84	13.27	//	52.56	33.10	-	33.10
タイプ3	No.3-3.2-i	31.0	(46.97)	(45.23)	曲げ破壊	26.04	10.99	46.57	57.56
	No.3-3.2-ii	30.0	(45.45)	(44.86)	//	25.88	10.72	46.57	57.29
	No.3-1.6-i	26.4	(40.00)	(40.41)	//	21.28	10.47	21.25	31.72
	No.3-1.6-ii	26.0	(39.39)	(37.63)	//	21.60	11.75	21.25	33.00
	No.3-0-i	12.0	18.18	17.16	斜引張破壊	17.64	11.21	-	11.21
	No.3-0-ii	11.7	17.73	16.79	//	17.60	11.17	-	11.17
No.3-1.6-3.2	31.9	(48.33)	(47.70)	曲げ破壊	27.84	10.72	21.25	31.97	

(注) *1 計算値は載荷重に換算した値

*2 $\tau_{u,300} = \tau_u \times (300/f_c)^{1/3}$ により供試体間での f_c の相違を補正した

斜引張破壊した供試体の底面ひびわれ状態から推測したせん断破壊面の例を図-4に示すが、各供試体とも破壊面は載荷位置からほぼ45°方向に生じていた。

なお、本実験の範囲内では、アンカーボルト間隔を変化させたNo.1-3.2の3体の破壊荷重に有意な差は認められなかった。



図-4 底面ひびわれ状態から推測したせん断破壊面

3-2 鉄筋ひずみ

タイプ1の荷重と鉄筋ひずみの関係の数例を図-5に示す。断面幅の中央部と端部の鉄筋ひずみはほぼ同様に挙動し、両部で荷重負担に差のないこと、また鋼板接着供試体では終局時に引張鉄筋がほぼ降伏状態に達していることを示している。

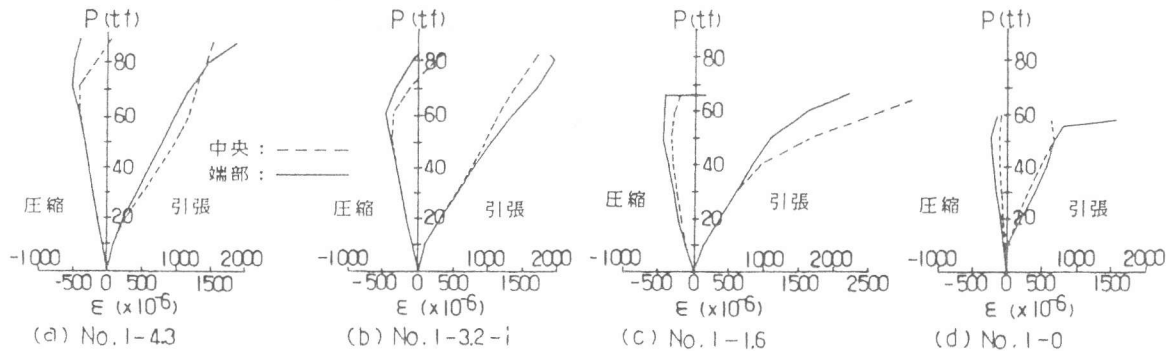


図-5 タイプ1の荷重と鉄筋ひずみの関係

3-3 鋼板の応力度および底面ひびわれ幅

No.1-3.2-iとNo.1-1.6の鋼板の破壊直前の主応力を図-6に示す。いずれも破壊面付近では破壊面にほぼ直交する方向に最大主応力（引張）が発生していた。

同じくNo.1-3.2-iおよびNo.1-1.6の荷重と鋼板の最大主応力度の関係を図-7に示す。いずれの供試体も、この図に示されるように最大主応力の増加が顕著となる変曲点が破壊荷重の60~80%で認められる。

せん断破壊供試体の鋼板主応力変曲点荷重と表-3のコンクリート負担せん断耐力の計算値を比較し図-8に示すが、両者はほぼ一致している。これは、コンクリートのせん断耐力到達後に鋼板応力の増加が顕著となり、鋼板がより有効に働くことを示唆している。

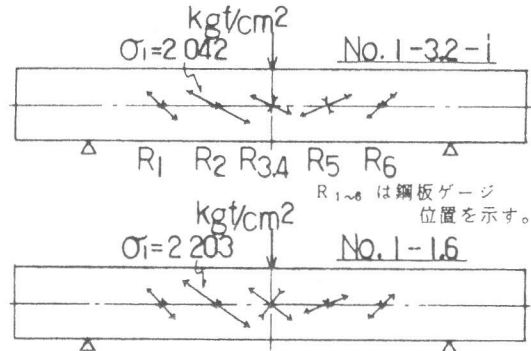


図-6 鋼板の主応力図

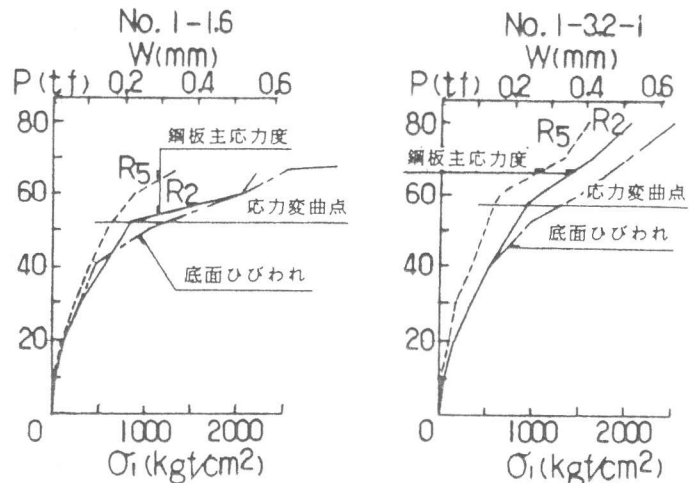
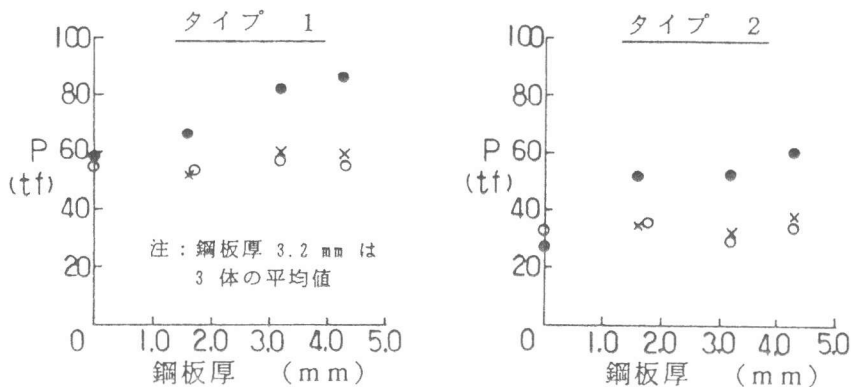


図-7 荷重と鋼板の最大主応力度 (σ_1) および底面ひびわれ幅 (w) の関係



● : 破壊荷重
 × : 供試体本体のせん断耐力の実験値 (鋼板最大主応力度の変曲点荷重)
 ○ : 供試体本体のせん断耐力の計算値 (岡村・楢貝式)

図-8 供試体本体のせん断耐力の試験値と計算値の比較

また、図-7には、載荷点から45°位置のせん断スパン内底面におけるπ型ゲージの伸び測定値の変化を示すが、鋼板応力変曲点荷重の70~80%程度から底面のひびわれ幅の拡大が顕著となることが認められる。

3-4 側面鋼板の効果

鋼板厚と表-3の平均せん断応力度の関係をタイプ別にまとめ、図-9に示す。いずれのタイプも鋼板厚が増加するほど平均せん断応力度が増加しており、側面鋼板の効果が認められる。

なお、タイプ3のうち側面鋼板を接着したものは表-3に示すようにすべて曲げ破壊しているため、この図での値は参考値である。

次に、破壊荷重から図-8に示すコンクリートの負担せん断耐力の実験値を差し引いた側面鋼板による増加耐力を図-10に示す。また、この増加耐力と側面鋼板をスターラップと考えた負担耐力の計算値の比を求め、これを効果率と呼ぶことにし、併せて図-10に示す。

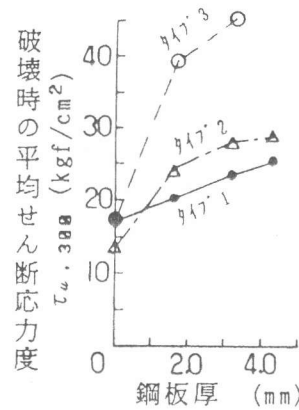


図-9 鋼板厚と破壊時の平均せん断応力度の関係

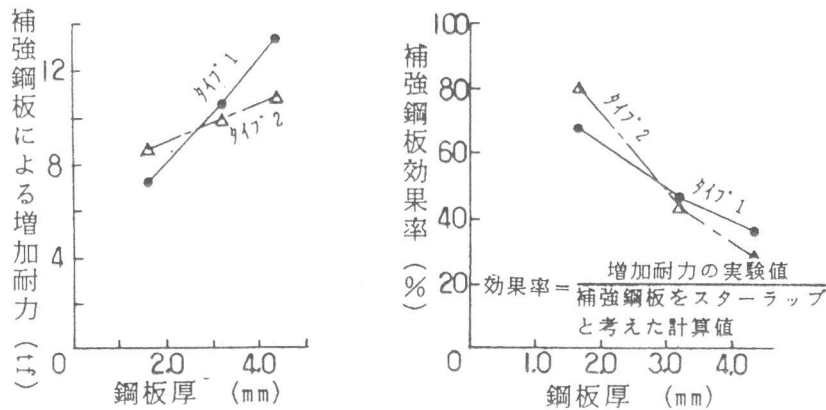


図-10 補強鋼板による増加耐力および補強鋼板の効果率

タイプ1、タイプ2とも鋼板厚を増加すれば、側面鋼板による増加耐力は増大するが、効果率は低下する。また、本実験の範囲ではタイプ1とタイプ2のb/hの間でせん断補強効果率に、特に顕著な差異は認められない。

3-5 底面鋼板の効果

側面に加え底面にも鋼板を接着したNo.1-3.2-3.2の荷重と鉄筋ひずみの関係を、側面鋼板のみのNo.1-3.2-iと比較し図-11に示す。底面鋼板も接着した場合、鉄筋ひずみはコンクリートのひびわれを考慮しない計算値に近い値を示しており、側面鋼板のみの場合に比べて破壊荷重付近までひびわれの進展が著しく制御されていたことが推測される。また、図-12はNo.1-3.2-3.2の荷重と側面鋼板の最大主応力度の関係をNo.1-3.2-iと比較して示すが、前者ではせん断スパン内におけるひびわれ進展の制御効果により最大主応力度は破壊荷重付近まではほぼ直線的な増加を示すと判断される。

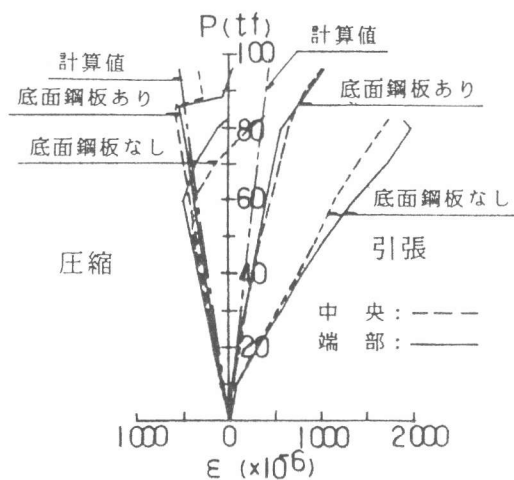


図-11 荷重と鉄筋ひずみの関係

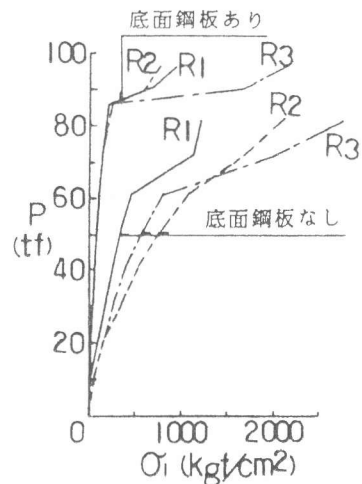


図-12 荷重と側面鋼板の最大主応力度の関係

次に、底面鋼板も接着した場合と側面鋼板のみの場合の破壊時の平均せん断応力度を比較した結果を図-13に示す。

図-13のように、側面鋼板に加え底面鋼板をも接着した供試体ではひびわれ進展の制御効果が期待でき、せん断補強効果が増加したと推測される。

4. まとめ

以上のことから、本実験の結果を要約すれば以下のとおりである。

- (1) 荷重がコンクリートの負担せん断耐力に到達後、断面中高での側面鋼板の引張主応力の増加が顕著となり、鋼板がせん断補強材としてより有効に働き始める。
- (2) 接着鋼板の負担せん断耐力は側面鋼板厚にほぼ比例して増大する。しかし、この場合の増加耐力の実験値と接着鋼板をスターラップとみなして算定した耐力計算値との比で表わしたせん断補強の効果率は、鋼板厚が増加すると低下する。
- (3) 本実験の範囲内では、断面の幅と高さの比 $b/h=5.0$ と $b/h=3.0$ の供試体間で側面鋼板によるせん断補強効果の差に顕著な傾向は認められなかった。
- (4) 側面鋼板に加えて底面鋼板をも接着した場合は、側面鋼板のみの場合と比較して、より大きなせん断補強効果が認められた。これは、底面鋼板がせん断スパン内でのひびわれ進展を制御する効果を有しているためと考えられる。

[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) 土木学会；コンクリート標準示方書改訂資料，コンクリートライブラリー第61号、1986年