

# 逆リブ型合成スラブの開発 (その 2)

古 屋 則 之  
竹 本 靖

## Development of Concrete Slabs Using Upward-Ribbed Precast Concrete Panels (Part 2)

Noriyuki Furuya  
Yasushi Takemoto

### Abstract

This report presents bending test results of composite concrete T-beams. The slabs on the beams consist of precast concrete panels upon which concrete is cast in place.

The ratio of extended stirrups used to transfer horizontal shear and intentionally provided roughness of contact surfaces are employed as test parameters.

The test results show that horizontal shear forces are fully transferred provided the extended stirrups are sufficient for the vertical shear requirement and that intentional roughness is effective when the stirrup ratio is comparatively low.

### 概 要

逆リブ型合成スラブの開発の一環として、コンクリートのはりと同様に逆リブ型合成スラブとの合成ばり実験を行い、その合成ばり効果を検討した。後打ちコンクリートを打継ぐ面には、はりのせん断補強用のあばら筋の上部を突き出させ、それらを結合鉄筋として用い、又、一部のはりでは、打継ぎ面を目荒しすることによって、はりと同様に後打ちコンクリートとの一体性を期待したものである。

その結果、負モーメント時にスラブに入るひびわれの状態には、逆リブ型スラブを用いた特徴が現われたが、その後の耐力や変形は一般のT型ばりと変らなかつた。又、はりのせん断破壊を防止するに足るあばら筋があり、それがそのまま結合鉄筋として用いられていれば、目荒しを行わなくても、打継ぎ面のすべりは有効に抑えることができた。

## 1. 序

前報告<sup>5)</sup>では、(1)逆リブ型合成スラブの概要、(2)逆リブ型 PC 版および合成スラブの強度実験結果、(3)逆リブ型合成スラブと鉄骨はりとの合成ばり実験結果、等について述べた。今回は、逆リブ型合成スラブとコンクリートばりとの合成ばり効果に関する実験報告である。

## 2. 供試体

### 2.1. 供試体の形状と種類

ここでは、はりと同様にスラブとの施工方法を、(1)あばら筋の一部が上に現われているはりをプレキャスト、あるいは現場施工によって製作し、(2)それらのはりの上

に逆リブ型 PC 版 (以下 PC 版と呼ぶ) の端部を乗せ、(3)溶接金網をスラブの上端筋として配筋したのち、スラブとはりの後打ちコンクリートを打設する。という順序で考えている (図-1参照)。

したがって、合成ばりとしてせん断力に効かせるためには、はりの中間にできた打継ぎ面でのすべりを抑えなければならないが、この点に関して、我国では JASS5.7 節<sup>6)</sup>の中で打継ぎ方法の規定をしているものの、ACI 規準17章<sup>4)</sup>のような打継ぎ面の状態に対する許容水平せん断応力度を定めたものはまだないのが現状である。

実験を行うにあたっては、はりの打継ぎ面は水平とし、特別な凹凸を設けず、(a)突き出たあばら筋 (結合鉄筋) の量的変化……あばら筋ははりの中に充分定着され、

突出部は閉鎖型とし、結合鉄筋比は0.18%~1.15%の範囲、(b)打継面の目荒しの有無の2種類の要素を組み合わせ、表一に示す8体の供試体を設計した。

供試体の各部寸法は共通であり、断面は、はり幅28cm、はりせい56cm、PC版のかかり幅を除く打継ぎ面の幅を23cm、スラブ厚7.5cm、スラブ幅83cmのT形ばりを形成している。これはある実施設計のはりの約 $\frac{3}{5}$ の大きさである。スラブ幅については、その増大に対して、正の降伏曲げモーメントがそれ以上増えない範囲とした。前報告<sup>5)</sup>に示したように、PC版のリブ方向の違いによる合成効果の差はほとんどないので、今回は供試体のリブ方向を全てはりに直交方向に統一した。

2.2. 供試体の製作および使用材料

はりおよびPC版の製作は1体分ずつ行い、8体の後打ちコンクリート部分の打設は同時に行った。

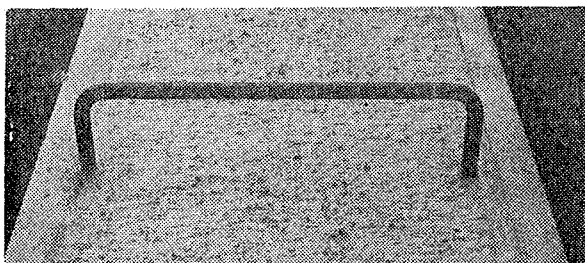
はり：あばら筋の突出部分にペーストが付着しないように保護してコンクリートを打設し、まる1日蒸気養生をしたあと、脱型して屋内放置養生を行った。打継ぎ面は平面に均したあと、刷毛引き仕上げを行い、目荒しは、7~10日後にワイヤブラシで数十回こすって表面のレイタンスを除去した。刷毛引き仕上げ面を写真一に示す。

PC版：型枠の中に溶接金網(4φ、たて横@100)を配筋し、はりと同じコンクリートを打設し、同じ条件の養生を行った。

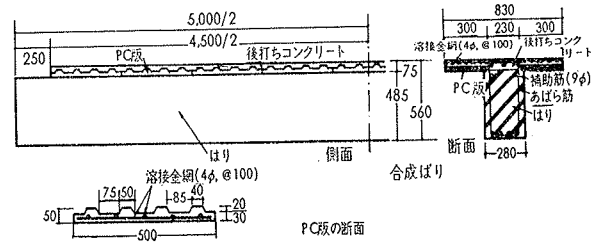
後打ちコンクリート部分：はりの上端筋をそう入し、スラブ全面に溶接金網(同上)を配筋してコンクリートを打設し、屋外散水養生とした。

コンクリートは、粗骨材には人工軽量骨材メサライトを、細骨材には川砂を、セメントには早強ポルトランドセメント(はりおよびPC版用)または普通ポルトランドセメント(後打ち部分用)を用いたものである。主筋には異形棒鋼(SD35)を、あばら筋には丸鋼(SR24)を使用した。コンクリートの配合を表二に、材料試験結果を表三に示す。

コンクリートのテストピースは供試体と同時に製作



写真一 打継面の状態



図一 供試体概要

供試体名称	主筋		あばら筋 径 φ	打継面での結合鉄筋比(%)	目荒し	シアスパン M/Q (m)	有効せい d (cm)	M/Qd
	上端	下端						
LF0.4	2-D16	5-D16	15φ (0.30)	0.37	無	2.25	52.3	4.30
LM0.2	3-D16	4-D25	9φ	300 (0.15)	有			
LM0.2R			15φ (0.30)	0.37	無	1.60   1.30	51.9	4.34
LM0.4	10φ (0.45)	0.55	無					
LM0.6	4-D25	13φ	12φ (0.79)	0.96	有	1.10	51.9	3.11   2.52
SM1.0	4-D25	13φ	10φ (0.95)	1.15	無			
SM1.0R			10φ (0.95)	1.15	無	2.14		

表一 供試体仕様

使用部分	スラブ厚 (cm)	W/C ( <sup>0</sup> /wt)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
			水	セメント	細骨材	粗骨材	減水剤
はり、PC版	8±1.5	54.7	164	300	889	570	0.75
後打ち部分	19.8	46.4	171	368	815	468	1.91

表二 コンクリートの配合

コンクリート

供試体名	はり、PC版(150φ×300)				後打ち部分(100φ×200)			
	F <sub>c</sub> kg/cm <sup>2</sup>	E <sub>1/4</sub> F <sub>c</sub> 10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup>	σ <sub>t</sub> kg/cm <sup>2</sup>	比重	F <sub>c</sub> kg/cm <sup>2</sup>	E <sub>1/4</sub> F <sub>c</sub> 10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup>	σ <sub>t</sub> kg/cm <sup>2</sup>	比重
LF0.4	380	1.89	25.9	1.91	320	1.58	17.8	1.86
LM0.2	347	1.80	23.4	1.91				
LM0.2R	356	1.78	22.6	1.91				
LM0.4	390	1.84	27.3	1.91				
LM0.6	381	1.84	31.8	1.90	368	1.55	20.3	1.85
SM1.0	337	1.78	25.8	1.87				
SM1.0R	368	1.79	28.3	1.88				
SM1.2	411	1.86	30.7	1.89				

鉄筋

種類	σ <sub>y</sub> kg/cm <sup>2</sup>	σ <sub>max</sub> kg/cm <sup>2</sup>	ひずみ硬化域でのσ-ε関係 <sup>*3</sup> E <sub>s</sub> =2.10×10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup>
			σ = σ <sub>y</sub> + (ε - 0.0092) × 0.021E <sub>s</sub>
D16	3,860 <sup>*1</sup>	6,240 <sup>*1</sup>	σ = σ <sub>y</sub> + (ε - 0.0092) × 0.021E <sub>s</sub>
D25	3,770 <sup>*1</sup>	6,240 <sup>*1</sup>	σ = σ <sub>y</sub> + (ε - 0.0095) × 0.023E <sub>s</sub>
9φ	3,680	5,260	
13φ	3,400	4,830	
4φ	4,760 <sup>*2</sup>	5,410	

\*1 公称断面積を採用

\*2 残留ひずみ0.2%時の応力度

\*3 ひずみ度が0.03までの測定結果にもとづく

表三 材料試験結果

し、養生や材齡は供試体と同じである。後打ちコンクリート部分の材料試験結果は、実験実施期間を前後に分け、それぞれの期間内で得られた平均値である。異形棒鋼の引張試験片は横リブを削り落して製作し、応力度は公称断面積を用いて求めた値である。

### 3. 実験方法

実験は、ローラー支持となる反力装置の上に供試体を載せ、単純ばり形式で、中央集中片振り载荷、または2点集中両振り载荷によって行い、スラブが圧縮側となる荷重を正とした。载荷点は幅が10cm、長さがあり幅と同じ28cmである。

測定は、(1)全体のたわみ量を摺動抵抗式変位計により、(2)打継ぎ面の水平移動を1/1000mm目盛、または1/100mm目盛のダイヤルゲージにより、(3)結合鉄筋の打継ぎ面でのひずみや上端筋、下端筋、コンクリート表面における各点のひずみをワイアストレインゲージによって行った。

## 4. 実験結果

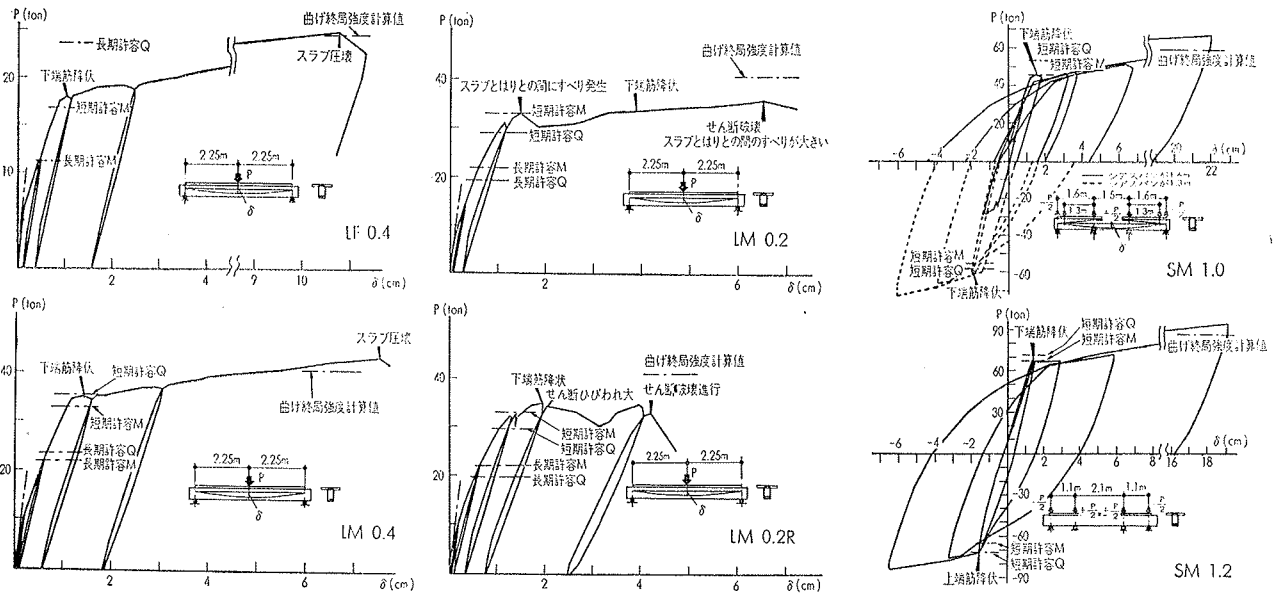
図一2に荷重—たわみ曲線を、表一4に実験結果の一覧を示す。LM0.4とLM0.6の荷重—たわみ曲線は互いによく似ているため、またSM1.0RとSM1.2についても同様であるため、一方だけを掲げた。

### 4.1. 実験経過

LF0.4, LM0.4, LM0.6の3体は、いずれもせん断補強が充分であり、下端筋が降伏したのち、スラブが圧壊しても打継ぎ面は健全であった。

LM0.2はあばら筋比が0.2%以下と少なく、曲げ降伏に先行して大きなせん断ひびわれが発生し、それがスラブ下に達するとともに打継ぎ面上下のコンクリートがすべり始めた。その後は、はり部分のせん断破壊のみが進行し、すべったスラブには損傷がなかった。

LM0.2と同じあばら筋比であり、打継ぎ面に目荒しを行ったLM0.2Rについては、大きなせん断ひびわれが発生するまでの経過はLM0.2とよく似ている



図一2 荷重—たわみ曲線

供試体名	初期剛性			降伏荷重時				最大または最終荷重時				備 考		
	実験値 (t/cm)	計算値 (t/cm)	実/計	実験値 (t)	短期許容 M計算値 (t)	実/計	すべり (mm)	短期許容 Q計算値 (t)	実験値 (t)	終局強度 計算値 (t)	実/計		すべり (mm)	
LF0.4	61.5	71.7	0.86	18.0	16.8	1.07	0.00	35.3	24.8	24.4	1.02	0.02	コンクリートの圧壊	
LM0.2	74.5	78.2	0.95	33.4	32.9	1.02	0.02	29.0	35.5	40.5	0.88	30		せん断破壊と打継ぎ面のすべり
LM0.2R	66.7	77.5	0.86	34.2	32.9	1.04	-0.01	29.5	34.5	40.5	0.85	-0.02		せん断破壊
LM0.4	77.6	79.4	0.98	35.0	32.9	1.06	0.02	35.3	43.0	40.5	1.06	0.01		コンクリートの圧壊
LM0.6	77.5	79.4	0.98	35.5	32.9	1.08	0.01	42.4	44.4	40.5	1.10	0.01		"
SM1.0	+	74.1	86.8	0.85	45.6	45.9(1.6m)	0.99	-	53.7(1.6m)	67.0	59.1	1.13		-
	-			61.0	54.9(1.3m)	1.11	-	57.4(1.3m)						
SM1.0R	+	127.4	132.2	0.96	66.0	66.8	0.99	0.01	86.0	86.0	1.00	-0.03	"	
	-			70.0	64.9	1.08	-0.06	62.7				-0.09	"	
SM1.2	+	113.6	140.0	0.81	67.4	66.8	1.01	-0.01	92.8	86.0	1.08	-0.03	"	
	-			70.0	64.9	1.08	-0.10	71.3				-0.11	"	

表一4 実験結果の一覧

が、打継ぎ面のすべりはなく、はりに入ったせん断ひびわれはスラブ内にも延び、あばら筋の内側の後打ちコンクリートを残し、その外側のスラブがはりからはね上った。LM0.2 と LM0.2R のスラブ端の破壊の相異を写真一2 と 3 に示す。

両振り荷重を行った SM1.0 については、最初、負の荷重点をスラブの外側のはり上においていたが、荷重点付近のせん断耐力を上回る荷重のために、荷重点から大きなせん断ひびわれが発生し、荷重が上らなくなった。このため、その後は、荷重点をスラブ上に移動させて実験を継続した。SM1.0R と SM1.2 については、最初からスラブ上に荷重点をおいた。これらの3体は反力点の水平移動が反力装置の限界に達した時点で荷重を終了し、その時の中央のたわみはスパンの  $1/30$  以上であった。

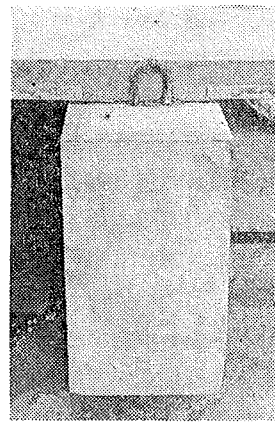
#### 4.2. 実験結果の検討

4.2.1. スラブのひびわれ 両振り荷重実験の結果、負荷重時にスラブに発生する曲げひびわれは、まず PC 版同志の継ぎ目上の外側から入り始め、それが次第に開き、はり直上では枝分れしながら分散してゆき、また PC 版の継ぎ目以外のところでは、リブの谷がある部分から主に入り始める。PC 版同志の継ぎ目上は、スラブ厚が後打ちコンクリートの厚みだけとなり、負モーメント時には、スラブ内でもこの位置が最も引張りに弱く、またスラブ厚が PC 版と後打ちコンクリートの両者の厚みとなるところでは、後者のコンクリートの剛性が前者に比べて小さければ、PC 版のリブの谷間がくる部分は、その見かけの剛性がリブの山がくる部分より小さいために、ひびわれの発生が早まるのであろう。このように、スラブに発生するひびわれやその発展の仕方には PC 版を用いた特徴が現われたが、その後の耐力や変形に対しては PC 版の影響はなかった。

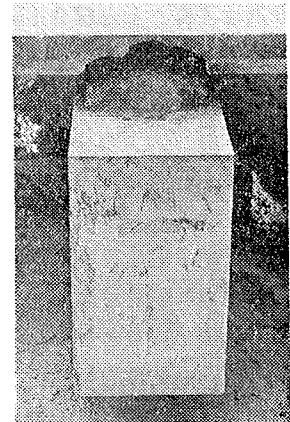
4.2.2. 初期剛性, 降伏荷重, 最大荷重 表一4に記した初期剛性計算値は、コンクリート全断面と鉄筋とを考慮した弾性曲げ剛性の値である。

許容荷重については、M(モーメント)、Q(せん断力)いずれも鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説<sup>9)</sup>の14条1,2項と16条2項に従って算出した値である。ただし、コンクリートの場合には、材質を1種軽量コンクリートとし、はりおよび PC 版のコンクリートの材料試験結果をそのまま用い、鉄筋の場合には、材料試験結果による  $\sigma_y$  を短期許容引張応力度として用いた。

曲げ終局強度については、(1)平面保持を仮定し、(2)主筋のひずみ硬化域での応力、ひずみ関係を表一3の式で表わし、(3)コンクリート圧壊時の圧縮縁ひずみ度



写真一2 LM0.2 のすべり



写真一3 LM0.2R の破壊状況

を  $\varepsilon_B = 2.2F_c^{0.39} \times 10^{-4}$  (浜田博士提案式) とし、(4)その時の中立軸からの圧縮側応力度を  $0.85F_c$  の矩形分布とし、(5)圧縮側鉄筋と引張り側コンクリートの応力を無視して求めた値である。

ひびわれの確認は、肉眼での観察とはり下端のコンクリート表面ひずみの動きとによって行った。表一4の初期剛性実験値は、上記のように確認して得たひびわれ荷重の直前での値であり、実験値と計算値とは、ほぼ一致しており、打継ぎ面ですべりが生じた LM0.2 も、ひびわれ発生前には全断面が一体として有効に働いていたことがわかる。また降伏荷重と最大荷重についても、せん断破壊した2体を除く6体は、いずれも実験値と計算値とは良く一致し、打継ぎ面上下のコンクリートは一体となって働いていたことがよくわかる。

4.2.3. 打継ぎ面の動き 打継ぎ面のすべりとして、はり側面と PC 版下面との間の水平移動量をダイヤルゲージで測定したが、特に負荷重時には、曲げやせん断によるひびわれが測定点を貫通することが多く、測定値が乱れやすかった。図一3は降伏荷重までの打継ぎ面の動きが測定された例であり、荷重点とスラブ端との中間のある位置で大きな動きがみられ、スラブ端に近づくにつれて動きは小さくなってゆく。この傾向は他の供試体についても大体同じであった。これらの動きは、あばら筋の打継ぎ面境界で測定されたひずみの動きからも裏付けられる(同図)。ただ、荷重点近傍のあばら筋のひずみが圧縮側に出ているのは、荷重点力による局所的な現象であろう。負荷重時のあばら筋のひずみの動きは、正荷重時のそれと大差なかった。

はり側面とは別に、スラブ両端では、直接後打ち部分のすべり量をダイヤルゲージで測定し、両端でのいずれか大きい方の値を表一4に記した。打継ぎ面が健全であった供試体の、最大荷重時のスラブ両端のすべ

り量は、ほとんどが 0.1mm 以下の値であった。

4.2.4. 目荒しの効果 LM0.2 と LM0.2R とは、いずれもあばら筋比が少ないためにせん断破壊したが、実験経過の項で明らかなように、目荒しによる差は顕著に現われた。一方、あばら筋が充分確保され、曲げ降伏した SM1.0 と SM1.0R については、いずれの打継ぎ面も健全であり、降伏、最大荷重とも実験値と、計算値とはよく一致し、目荒しによる差はみられなかった。以上のことから結合鉄筋が少ない場合に行う目荒しは、一体性を増す効果をよく発揮するが、結合鉄筋が多い場合には、それだけでかなりな一体性を確保することができ、目荒しの効果が現われにくいのではないかと考えられる。

4.2.5. 打継ぎ面の水平せん断応力度 図-4 は、目荒しを行わなかった供試体の、正の降伏荷重時における打継ぎ面の水平せん断応力度をプロットし、打継ぎ面が最後まで健全であったものについての最大値を結んだものである。ただし、ここでいう水平せん断応力度は、実際の応力度の計算が複雑となるため、便宜上、ひびわれ発生前のコンクリート断面にもとづいて、図中の式から求めた見かけの値であるが、結合鉄筋比との関係にある程度示唆しているであろう。負荷重時には、載荷点ですべりが拘束されている恐れがあるために、ここでは正荷重時のみを取り扱った。同図に併記した ACI 値は、ACI 規準によって求められた許容せん断耐力時の値である。実験値と ACI 値との値に隔たりがある原因としては、(1) ACI 規準では規定量を上回る結合鉄筋の効果を考慮していない、(2) 実験値は、目荒しを行っていないというものの、刷毛引き仕上げによる凹凸の付着効果が含まれる、等が考えられる。

## 5. 結 び

逆リブ型合成スラブとコンクリートばりとの合成 T 形ばりについて、今回の実験から次のことがいえる。

(1) 負モーメント時には、スラブの PC 版継ぎ目上は曲げひびわれが発生しやすく、又、その発展の仕方も特徴的で、PC 版の影響がみられたが、ひびわれ後の耐力や変形は一般の T 形ばりと変らない。

(2) せん断破壊を防止するに足るあばら筋が、そのまま結合鉄筋として用いられていれば、打継ぎ面のすべりは有効に抑えられ、その降伏および最大強度は、打継ぎ面上下のコンクリートが一体として動くとして

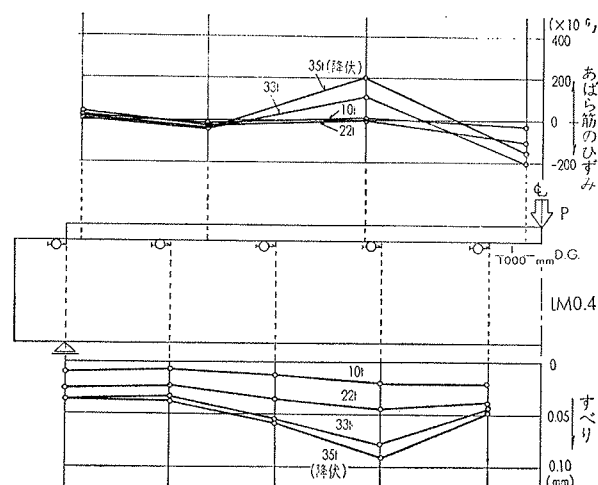


図-3 打継ぎ面の動きとあばら筋のひずみ

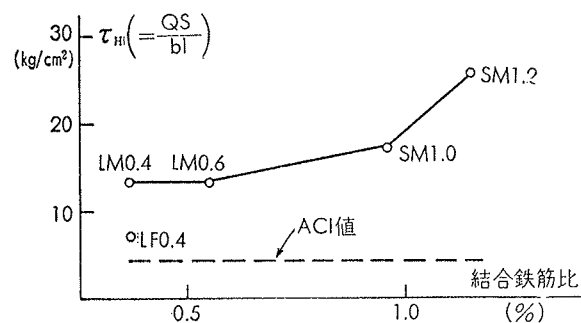


図-4 水平せん断応力度と結合鉄筋比

して求めた計算値によく一致する。

(3) 打継ぎ面の目荒しについては、結合鉄筋が少ない場合には、すべりを抑える効果が顕著に現われるが、結合鉄筋が多い場合には、結合鉄筋の同じ働きのために、その効果は目立たなくなる。

## 参考文献

- 1) Hanson, N. W., "Horizontal Shear Connections," Journal of the Research and Development Laboratories, P. C. A., Vol 2, No. 2, May 1960
- 2) Saemann, J. C. and Washa, G. W., "Horizontal Shear Connections Between Precast Beams and Cast-in-Place Slabs", ACI Journal, Vol. 61, No. 11, Nov. 1964
- 3) 建築学会「鉄筋コンクリート計算規準・同解説」
- 4) ACI 318-71
- 5) 古屋・竹本「同題(その1)」大林組技術研究所報 No. 8, 1974
- 6) 建築学会「建築工事標準仕様書・同解説」