

コンクリート水平打継ぎ面におけるせん断伝達 (その1)

—界面の荒さと結合鉄筋のおよぼす影響—

古屋 則之
竹本 靖

Shear Transfer along Horizontal Joint Surface in Composite Concrete Member (Part 1) —Influences of Surface Roughness and Tying Reinforcement—

Noriyuki Furuya
Yasushi Takemoto

Abstract

The object of this study is to investigate shear transfer behaviors along horizontal joint surfaces in composite concrete members. The factors for shear resistance are generally considered to be bond, dowel action of reinforcement extending through the joint surface, and interlocking of concrete surfaces. Fifteen specimens were tested to study the contributions of reinforcement and contact surface roughness to shear strengths of the joint surfaces in composite members subjected to cyclic load reversals. The test results show the influence of surface roughness on bond-shear stress and the quantitative effect of reinforcement on slipping-shear stress.

概 要 *

この研究の目的は、コンクリート合成ばりのような合成部材の水平打ち継ぎ境界面におけるせん断力の伝達性状を明らかにすることである。

せん断に抵抗する要素としては、境界面でのコンクリート間の付着や、境界面を貫通する結合鉄筋のなば作用、境界面におけるコンクリートのかみ合いが考えられている。ここでは、交番繰り返し荷重時のせん断強度に対する結合鉄筋や境界面の荒さの影響を調べるために、15体の供試体を用いて実験を行なった。

実験の結果、付着せん断応力度に対する境界面の荒さの影響や、すべて荷重が低下する時のせん断応力度に対する結合鉄筋の定量的な効果を把握することができた。

1. 序

コンクリートのはりの上端にスラブ用のコンクリートを打ち継いで、これを合成ばりとして設計する場合打継ぎ境界面においては、必要とするせん断力を伝達しうるかどうかを検討しなければならない。はりが鉄骨の場合には、フランジにシアコネクタとしてのスタッドジベルを取り付ける方法が簡便であり、豊富な実績もあるが、コンクリートの場合には、シアコネクタをあらかじめ埋設しておかなければならず、打ち継ぎ面の処理方法にも汎用性のあるものが少ないため

に合成方法が一般化されていない。また、打ち継ぎ境界面の挙動を調べる実験としては、境界面に平行に1方向荷重を与える push-off 形式のせん断実験が主として行なわれているが^{1),2),3)}、この形式では地震による交番荷重が作用する部材を対象とする時には不適當であろう。

ここでは、打継ぎ面としては、仕上げる時の作業が容易であり、軽い凹凸のある粗面を作り、しかも、仕上作業時には後打ちコンクリートとの付着を妨げるレイタンスをある程度ぬぐいさることができる「ハケ仕上げ」による打継ぎ面を主対象とし、交番せん断荷重

時の打継ぎ面の合成効果を，境界面を貫通する結合鉄筋の働きも含めて検討することにした。また，これまでの実験データでは，境界面がすべった後の挙動が不明であるため，この点も調査した。

2. 実験の概要

実験方法の概略を図-1に示す。

2.1. 供試体

供試体は，図-2に示す形状をした，先打ち部分と後打ち部分からなる打継ぎ面モデルである。打継ぎ面の大きさは，幅20cm，長さ50.8cmである。結合鉄筋は「コ」の字形に加工し，その端部を溝形鋼に溶接した。供試体は，打継ぎ面の仕上げ状態と結合鉄筋比（結合鉄筋断面積と打継ぎ面積との比）とを変えた15種類各1体ずつであり，供試体名称を，仕上げ状態を示すアルファベットと結合鉄筋比を示す数値（%表示）で表わした。供試体の種類を表-1に示す。

打継ぎ面の仕上げは次の6種類である。

- (1) Bタイプ (Brushing) —— 打込んだコンクリートをあらかじめ木ゴテで押さえ，表面に浮き出た水がひいてから左官バケで仕上げる。表面の凹凸高さは1~2mmである。写真-1参照。
- (2) BBタイプ (Brushing-Brushing) —— 硬化したハケ仕上げ面に残ったレイタンスや表面のモルタルの一部をワイヤブラシでかき落とす。
- (3) BVタイプ (Brushing-Vinyl sheet) —— ハケ仕上げ面に 6×10^{-3} mm厚のポリエチレンテレフタレートを1枚敷き，先打ちコンクリートと後打ちコンクリートとの付着を切る。
- (4) Tタイプ (Trowelling) —— 金ゴテで平滑に仕上げる。
- (5) Wタイプ (Waving) —— コンクリートがまだ軟かい間に，ベニヤ合板製の歯形（図-3参照）で高低差10mm程度のうねを幅方向につくる。
- (6) REタイプ (Retarder-Exposing) —— 表面を木ゴテ押さえし，水がひいてから15%濃度（重量比）の砂糖水をハケで1回塗りし，その後24時間経過してから，砂糖水のために硬化を阻害された表層のモルタルをワイヤブラシでかき落とし（1ヶ所で約200回動かす）て粗骨材を2mm程度の高さに露出させる。

- (5) Wタイプ (Waving) —— コンクリートがまだ軟かい間に，ベニヤ合板製の歯形（図-3参照）で高低差10mm程度のうねを幅方向につくる。
- (6) REタイプ (Retarder-Exposing) —— 表面を木ゴテ押さえし，水がひいてから15%濃度（重量比）の砂糖水をハケで1回塗りし，その後24時間経過してから，砂糖水のために硬化を阻害された表層のモルタルをワイヤブラシでかき落とし（1ヶ所で約200回動かす）て粗骨材を2mm程度の高さに露出させる。

2.2. 使用材料

使用したコンクリートは早強セメントを用いたレディミクストコンクリートであり，スランプをいずれも18cmとし，骨材粒径を25mm以下とした。実験時の材令は，先打ち部分で72日~193日，後打ち部分で58日~179日であり，その間のテストピース（150φ×

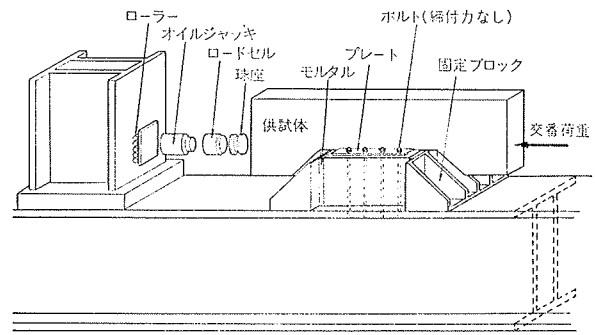


図-1 実験方法

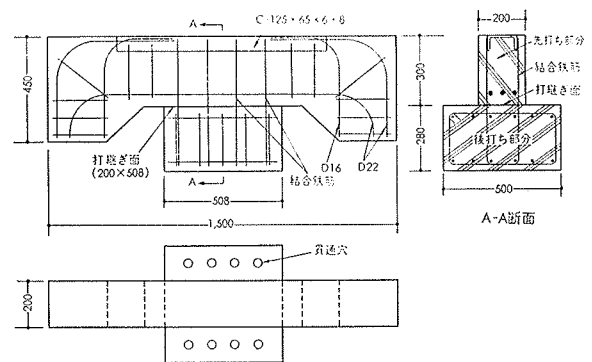


図-2 供試体の形状，寸法

仕上げ状態	結合鉄筋比 %						
	0.11 (4-6φ)	0.25 (4-9φ)	0.50 (8-9φ)	0.75 (12-9φ)	1.00 (16-9φ)	1.25 (20-9φ)	1.56 (12-13φ)
W(Waving)		W0.25					
RE(Retarder-Exposing)		RE0.25				RE1.25	
BB(Brushing-Brushing)		BB0.25				BB1.25	
B(Brushing)	B0.11	B0.25	B0.50	B0.75	B1.00	B1.25	B1.56
T(Trowelling)		T0.25					
BV(Brushing-Vinyl sheet)		BV0.25				BV1.25	

表-1 供試体の種類



写真-1 ハケ仕上げ面

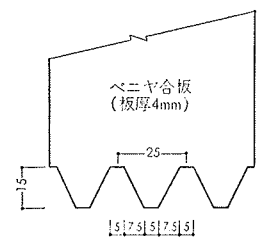


図-3 合板製の歯形

打込み部分	スランプ (cm)	水セメント比 (%)	水 (kg/m³)	早強セメント (kg/m³)	砂 (kg/m³)	砂利 (kg/m³)	混和剤 (原液g/m³)
先打ち部分	17.8	44.3	195	440	679	972 碎石25mm	132 (AE剤 ビソゾール)
後打ち部分	18.3	61.5	201	327	817	940 砂20~(50%) 45号砂(50%)	1308 (減水剤 アラストクリート)

表-2 コンクリートの調査

300) による圧縮強度は先打ち、後打ち部分ともに 320 kg/cm² 前後であった。コンクリートの調査を表一2に、圧縮試験結果を表一3に記す。

結合鉄筋には、市販のSR24の6φ、9φ、13φの3種類の丸鋼を用いた。引張試験結果を表一3に記す。

2.3. 供試体の製作と養生

コンクリートの打込みは、図一2の状態から半回転させて立てた状態で行ない、棒状バイブレーターによる振動打ちとした。

先打ち部分にコンクリートを打込む時には、打継ぎ面に突き出た結合鉄筋にビニール袋をかぶせてペーストの付着を防いだ。後打ち部分の打込みは、先打ち部分の打込みから2週間後に行なった。これらの打込みは、夏期に屋外において行なったために、いずれの部分もその後1週間は養生シートで覆って乾燥を防ぐとともに、1日2回散水して養生した。圧縮試験用のテストピースも同じである。

2.4. 載荷方法

供試体の固定は図一1に示すように、後打ち部分と鋼製の固定ブロックとのすき間にモルタルを充填して水平移動を拘束し、さらに載荷時の浮き上がりを防ぐために後打ち部分の上下方向をボルトで拘束した。

供試体の打継ぎ面にはせん断力のみが働くように、荷重芯を打継ぎ線に一致させ、加力を手動油圧ジャッキで行ない、荷重をロードセルで検出した。

打継ぎ面がすべって荷重低下をおこすまでは、2~3の荷重レベルで5回ずつ交番繰り返し荷重を与え、その後もすべり量を増大させながら数回繰り返した。

2.5. 変位およびひずみの測定

打継ぎ面のすべりとはだわかれを両側面6ヶ所に1/1000mm目盛のダイヤルゲージを取り付けて測定した。

ひずみとしては、打継ぎ面レベルにおいて結合鉄筋の軸方向に検長3mmの箔ストレーンゲージを、また、先打ちコンクリートの側面に打継ぎ面に沿って検長60mmのワイヤストレーンゲージを3方向に貼り付けて測定した。

3. 実験結果とその検討

3.1. 実験結果の概要

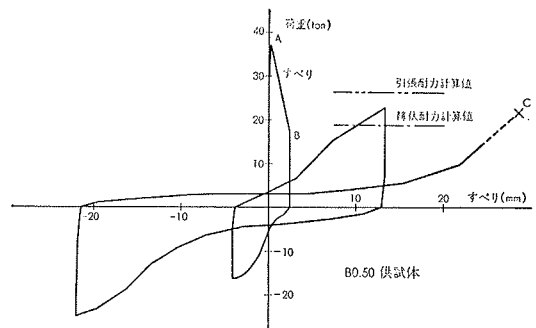
実験経過について、B0.50供試体の荷重一すべり曲線(図一4)を用いて説明する。

図のA点までは2~3の荷重レベルで正負5回ずつの繰り返し荷重を与えた。A点におけるすべり(ずれ)量は供試体によって異なるが、0.7mm以内であった。

A点に達すると、急激なすべりと荷重の低下がみら

供試体名	コンクリート						結合鉄筋					
	圧縮強度 Fc(kg/cm ²)		弾性係数 Ec(×10 ⁴ kg/cm ²)		比 重 γ		呼び径 (mm)	降伏係数 (×10 ⁴)	降伏点強度		引張強度 σ _{max} (kg/cm ²)	弾性係数 Es (×10 ⁴ kg/cm ²)
	先打ち	後打ち	先打ち	後打ち	先打ち	後打ち			σ _s (kg/cm ²)	γσ _s (kg/cm ²)		
B0.11	309	312	1.98	2.23	2.21	2.25	6φ	4680 (0.25σ _s)	0.2%σ _s =5280	5640	2.09	
RE0.25	312	312	1.99	2.22	2.22	2.25	9φ	1870	3730	3710	5170	2.12
W0.25												
BB0.25												
B0.25												
T0.25												
BV0.25												
B0.50	340	323	2.06	2.21	2.22	2.23	9φ	1870	3730	3710	5170	2.12
B0.75												
B1.00												
RE1.25												
BB1.25												
B1.25												
BV1.25												
B1.56	340	323	2.11	2.11	2.22	2.22	13φ	1180	2810	2770	4010	2.02
B1.56												

表一3 コンクリートと鉄筋の物理定数



図一4 荷重一すべり曲線

供試体名	打継ぎ面のすべりによって耐力が低下した荷重 (TON)	打継ぎ面がすべった直後に維持した荷重 (TON)	実験終了時の荷重 (TON)	実験終了時の状況
B0.11	29.0	4.0	6.0	結合鉄筋破断
W0.25	39.5 (初)	14.0	12.6	結合鉄筋周辺のかぶり部分にひびわれ
RE0.25	30.0	11.7	12.9	結合鉄筋周辺のかぶり部分にひびわれ、一部はく離
BB0.25	23.0 (初)	19.8	12.5	結合鉄筋周辺のかぶり部分にひびわれ
B0.25	28.0 (初)	11.7	12.0	結合鉄筋破断、結合鉄筋周辺のかぶり部分にひびわれ
T0.25	27.5 (初)	7.8	11.6	結合鉄筋破断、結合鉄筋周辺のかぶり部分がはく離
BV0.25	耐力低下なし	—	9.4	同上
B0.50	37.8 (初)	17.9	18.1	結合鉄筋破断、結合鉄筋周辺のかぶり部分がはく離
B0.75	38.0 (初)	27.2	33.8	同上
B1.00	53.3 (初)	33.8	47.4	同上
RE1.25	54.0	47.0	56.0	結合鉄筋周辺のかぶり部分がはく離、ひびわれ
BB1.25	44.5 (初)	38.2	50.8	同上
B1.25	54.0 (初)	42.0	51.0	同上
BV1.25	27.0 (初)	25.3	37.6	同上
B1.56	50.0	40.7	51.1	同上

表一4 実験結果の概要

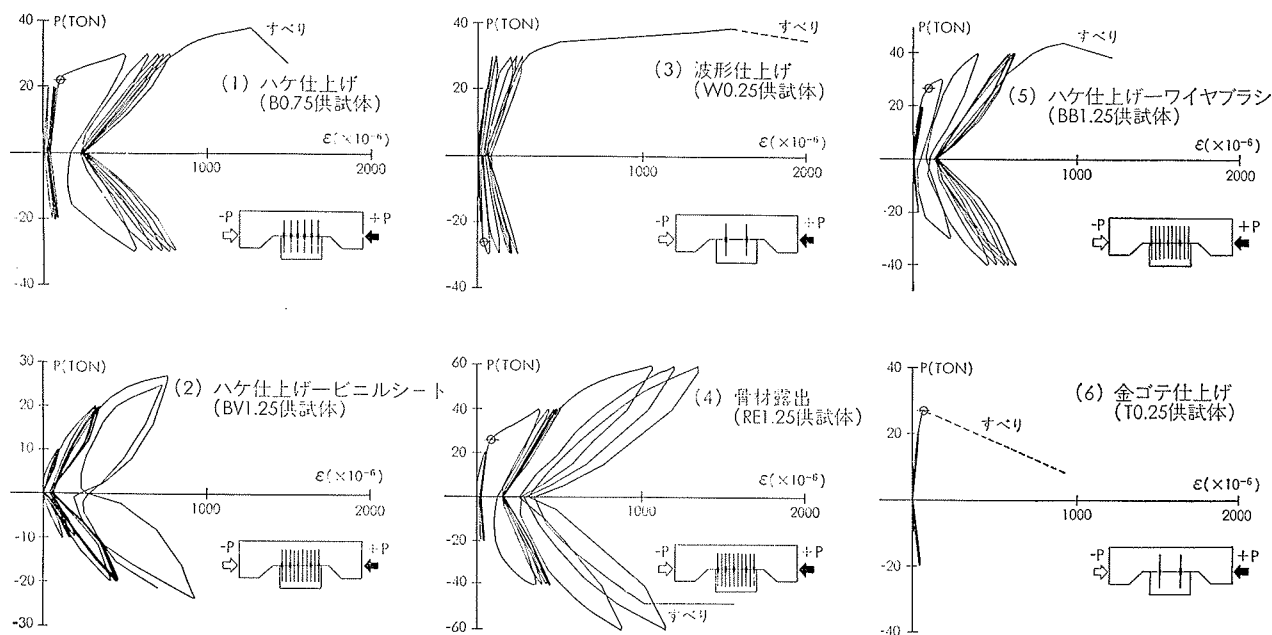
れ、B点で停止する。B点のすべり量は2mm前後であった。その後は、すべりを増大させながら数回繰り返し、結合鉄筋が破断するか、結合鉄筋周辺のコンクリートが鉄筋の支圧によって破壊するC点で実験を終了した。

表一4に実験結果の概要を示す。

3.2. 打継ぎ面での付着の切れ始め

図一5に各仕上げ面別の結合鉄筋の荷重一ひずみ曲線を示す。このひずみは打継ぎ面レベルで測定された軸方向ひずみ全てを平均したものである。

図の(1)はハケ仕上げをしたBタイプ供試体、(2)はハ



図一5 結合鉄筋の荷重-ひずみ曲線

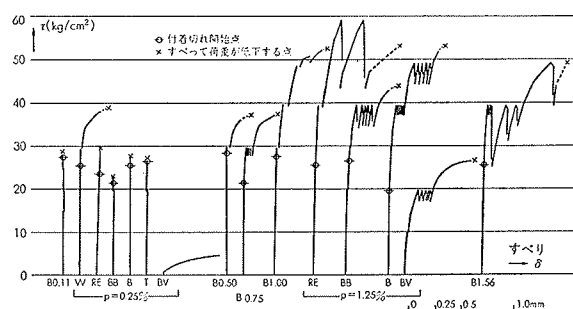
ケ仕上げ面の付着を切ったBVタイプ供試体のものである。両者を比較すると、BVタイプでは包絡線がなだらかな放物線状を描くのに対し、Bタイプでは図中の⊕印を境にして「く」の字形に折れ曲った包絡線を描き、鉄筋自身は弾性範囲内であっても、ひずみ曲線は弾性的に挙動する領域と塑性的な領域とに別れる。

打継ぎ面でのせん断伝達に関わる要素としては、(1)コンクリート間の付着、(2)コンクリート間のかみ合い、(3)結合鉄筋のなげ作用、(4)コンクリートの自重や、結合鉄筋を引張る力の反力として打継ぎ面に圧縮力が働き、それによって生ずる摩擦力等が挙げられるが、両供試体の違いは(1)の付着の有無だけであり、その他の要素はほとんど共通しているものである。荷重の増加に伴って打継ぎ面での付着が切れ始めると、結合鉄筋の負担せん断力は当然増えるであろうし、それがひずみ曲線の屈折点となって現われるものと推察される。

包絡線が屈折するのは、Bタイプだけに限らず、打継ぎ面での付着を切らなかつた他のタイプにもみられる。図中のT0.25供試体については、屈折点以後の塑性的な性状を維持する荷重範囲がほとんどなく、付着が切れ始めると同時にすべって荷重が低下したのであろう。

このような結合鉄筋のひずみ曲線が屈折し始める時の荷重を、すべり曲線上にプロットすると図一6のようになる。図のたて軸は、荷重を打継ぎ面積で割り、平均せん断応力度(τ)に換算したものである。

付着切れが始まる時の平均せん断応力度(τ_{bond})はハケ仕上げ面においては20~29 kg/cm²の範囲(平



図一6 荷重-すべり曲線 (打継ぎ面がすべるまで)

均 25 kg/cm²) に、その他の仕上げ面においては22~27 kg/cm² (平均 25 kg/cm²) の範囲にばらついており、結合鉄筋や打継ぎ面状態に関わらずほぼ一定値を示している。

なお、それまでの応力、ひずみ状態は、一体打ちされた場合とほとんど近似していることが、FEM弾性解析から確かめられている。

3.3. 打継ぎ面のすべり

3.3.1. 結合鉄筋との関連 ハケ仕上げ面について付着が切れ始める時とすべって荷重が低下する時とのせん断応力度の差(τ_{diff})と結合鉄筋との関連性を図示すると図一7のようになる。 τ_{diff} は結合鉄筋の降伏点と同じ(9φ)であれば、図一7(1)のように鉄筋比(p)との比例関係がみられるが、降伏点が変わる(6φ, 13φ)と同一には扱えない。一方 τ_{diff} と $p \cdot \sigma_y$ (鉄筋比と降伏点強度との積)の間には、図一7(2)のように良好な比例関係がみられ、この関係は(1)式の回帰直線式で近似させることができる。

$$\tau_{diff} = 0.73 (p \cdot \sigma_y - 5.48) \dots p \cdot \sigma_y \geq 5.48 \dots (1)式$$

τ_{diff} と、付着が切れ始める時のせん断応力度($\tau_{bo. d}$)を加えたものがすべて荷重が低下する時のせん断応力度(τ_{slip})である。したがって τ_{slip} は、(2)、(3)式で表わすことができる。

$$\tau_{slip} = \tau_{bo. d} = 25, \dots p \cdot \sigma_y < 5.48 \dots (2)式$$

$$\tau_{slip} = 25 + 0.73 (p \cdot \sigma_y - 5.48) \dots p \cdot \sigma_y \geq 5.48 \dots (3)式$$

3.3.2. 打継ぎ面の仕上げ方法との関連 図-8に各仕上げ面の τ_{diff} とハケ仕上げ面の τ_{diff} (1式)との差を示す。つまり、各仕上げ面の付着が切れ始めてからすべて荷重が低下するまでの間に伝達されるせん断応力度におよぼす仕上げ状態の影響を、ハケ仕上げ面を基準として図示したものである。打継ぎ面を波形にしたWタイプや、骨材を露出させたREタイプでは、ハケ仕上げの場合より伝達せん断力が大きく、ハケ仕上げ面のレイタンスを念入りに取り除いたBBタイプや金ゴテ仕上げのTタイプでは小さいことを示している。供試体の数が少なく、バラつきもあるが、一般的には粗面である程伝達せん断力が大きいことが認められる。

3.3.3. Shear Friction 仮説⁴⁾との対応 すべりのメカニズムを説明するものとして、Birkelandによって提案されたShear Friction 仮説がある。その概略は「すべりは結合鉄筋が降伏した時に生じ、その時の耐力(P_{slip})は、(4)式に示すように鉄筋の降伏耐力($A_s \cdot \sigma_y$)と摩擦係数(μ)との積で表わすことができる」というものである。 μ は通常の打継ぎ面に対して0.8~1.0を、人為的な粗面に対して1.4をとるとしている。

$$P_{slip} = \mu \cdot A_s \cdot \sigma_y \dots (4)式$$

図-9にすべての当時の結合鉄筋の打継ぎ面レベルにおける応力状態を示す。これは、すべる直前と直後に測定されたひずみ(全平均)を応力度に換算したものである。ほとんどの供試体において結合鉄筋は降伏以前であったことを示し、この現象は、すべての時のせん断応力度を表わす(3)式の中に鉄筋の降伏点強度 σ_y をとり入れたことと矛盾し、Shear Friction 仮説の概念とも異なる。すべりのメカニズムを説明することが今後の課題である。

なお、同図から、すべる瞬間の結合鉄筋応力は、打継ぎ面の凹凸が少なく、しかも鉄筋比が小さい場合には低レベルから急増することが認められる。

3.3.4. 荷重が低下する直前のすべり量 打継ぎ面がすべて急激に荷重が低下するまでには、すでにいくらかのすべりがみられる。図-10に荷重低下する直前に測定されたすべり量(δ_{diff})を示す。すべり量は

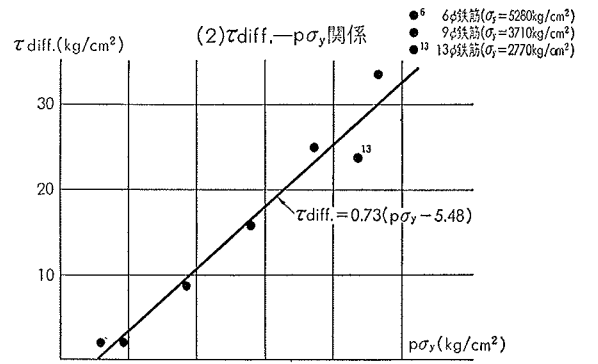
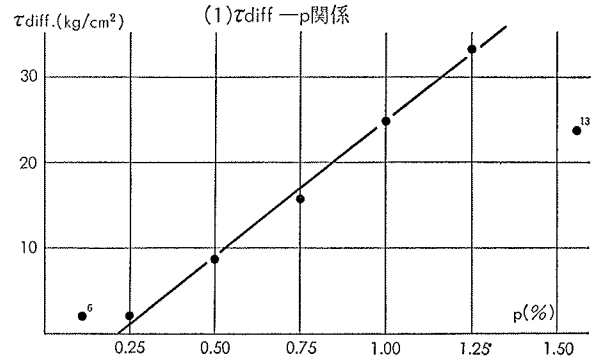


図-7 ハケ仕上げ面における付着切れ後の伝達せん断応力度

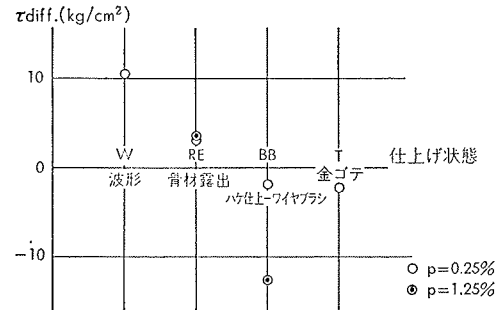


図-8 付着切れ後の伝達せん断力(ハケ仕上げ面との差)

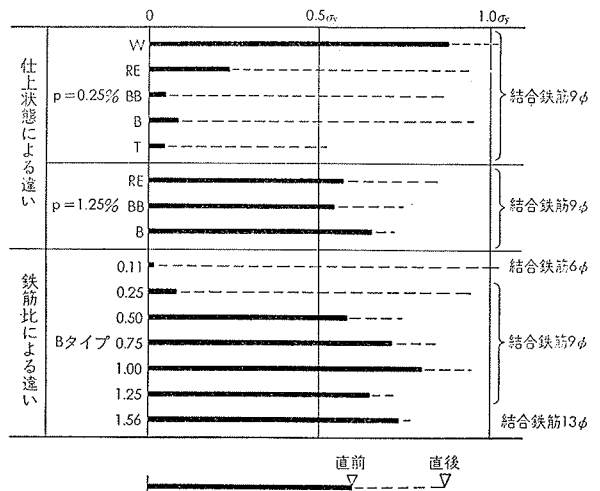


図-9 すべった当時の結合鉄筋応力

結合鉄筋比に比例し、ハケ仕上げ面の場合には(5)式の
 回帰直線で近似させることができる。

$$\delta_{slip} = 484(p - 0.138) \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots(5)式$$

δ_{slip} : 単位 mm p : 単位%

また、同図からは、同じ鉄筋比であっても仕上げ面
 が粗である場合には、大きなすべりに耐えることがわ
 かる。

3.4. 荷重—すべり履歴曲線の特徴

3.4.1. すべる前の履歴曲線 図-11にハケ仕上げ
 のBタイプの供試体5体のすべり履歴曲線を示す。こ
 れらは、打継ぎ面での付着が切れ始めてからすべて
 荷重が低下するまでの間の、ある荷重レベルにおける
 1サイクル目と5サイクル目のものである。サイクル
 数が増し、すべりが大きくなるとともに逆S字形のル
 ープに変化し、それも、鉄筋比が増え、より高い荷重
 とより大きなすべりに耐えるようになるほど、より顕
 著な逆S字形になることが特徴である。

3.4.2. すべった後の履歴曲線 打継ぎ面がすべ
 って荷重が低下した後の履歴曲線の性状は、いずれの供
 試体においても図-4とほとんど同様であり、その特
 徴は、荷重の符号が逆転した直後の低荷重領域におけ
 るスリップ現象が際立つことと、前回と同一変位に達
 する時の荷重が著しく低いことである。

なお、実験終了時の結合鉄筋は、破断しているもの
 もあり、破断しなかったものもひずみ硬化域に入っ
 ているものと考えられるが、ここでは一様に下降伏点
 にとどまっているとみなし、終了時の荷重 (P_{end}) から、
 6式を用いて Shear Friction 仮説と同様の摩擦係数
 (μ) の値を求めると、 μ は 0.96 から 1.37 の範囲 (平
 均1.19) にばらつき、打継ぎ面の仕上げ状態による差
 異は見出し得なかった。

$$\mu = P_{end} / A_s \cdot \sigma_y \quad \dots\dots\dots(6)式$$

A_s : 結合鉄筋の全断面積 σ_y : 下降伏点

3.5. 打継ぎ面に関する各種規準の考え方の違い

ここでは今回の実験結果を参考として、打継ぎ面に
 関する各種規準の考え方の違いを明らかにする。

日本建築学会のプレストレストコンクリート設計施
 工規準⁵⁾、ACI 規準⁶⁾、PCI デザインハンドブック⁷⁾
 の、打継ぎ面における許容せん断応力度のとり方を表
 一5に示す。

それぞれの特徴は、建築学会では、結合鉄筋比の影
 響範囲を 0.2~1.2% とし、鉄筋比によってのみ許容
 値を定め、ACI では、打継ぎ面に働くせん断応力度が
 24.6 kg/cm² 以内であれば、打継ぎ面の目荒しの有無
 と最小必要鉄筋量の有無とによって大小2つの許容値
 をとり、さらに、せん断応力度が 24.6 kg/cm² 以上

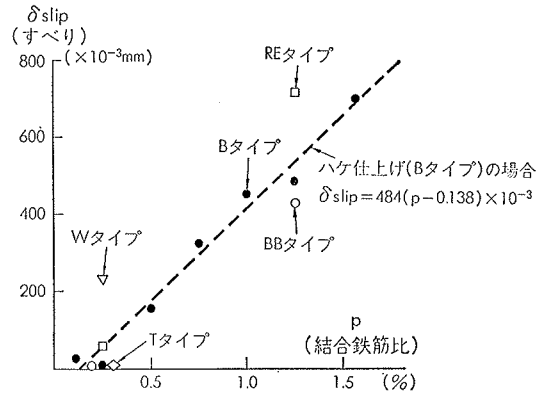


図-10 すべて荷重が低下する直前のすべり量

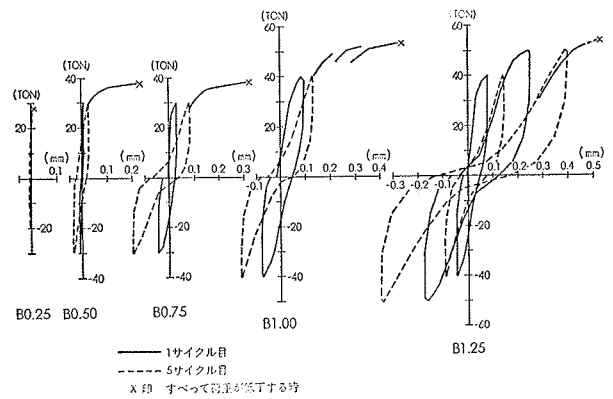


図-11 荷重—すべり履歴曲線

(1)日本建築学会プレストレストコンクリート設計施工規準

打継ぎ面の状態	許容せん断応力度 (kg/cm ²)
i) 打放しの場合	9.0+5×(p-0.2), かつ, 14以下
ii) 打放しのうえ、人為的に打継ぎ面を粗とした場合	12.0+5×(p-0.2), かつ, 17以下

ただし、打継ぎ面はレイタンスの除去などを行なって清浄にし、
 結合鉄筋比は1.2%以上とする。pは%単位の結合鉄筋比である。

(2)ACI規準

条 件	許容せん断応力度 (kg/cm ²)		
設計せん断力 結合鉄筋 目荒し(6.35mm高の凹凸)	5.62		
なし 有り(清浄であること)			
せん断補強とし なし			
24.6kg/cm ² 以下 有りの最低量あり	24.6		
24.6kg/cm ² 以上 0.2F _c , 又は 56.2kg/cm ² 以下 ¹⁾ F _c :コンクリート強度	有り	有り	$\mu \cdot p \cdot \sigma_y$ μ :摩擦係数1.0 p :結合鉄筋比 σ_y :降伏点

(3)PCIデザインハンドブック

- i) 許容せん断応力度 = $\mu p \sigma_y$ 下表の設計せん断力以下の範囲で適用する
- ii) 許容せん断応力度 = $\mu(21.1 + 0.5p\sigma_y)$ 下表の設計せん断力以上の範囲で適用する

打継ぎ面の状態	摩擦係数	設計せん断力
6.35mm高の凹凸に目荒しされた場合	1.0	42.2kg/cm ²
平滑な場合	0.7	29.6kg/cm ²

表一5 各種規準の打継ぎ面における許容せん断応力度

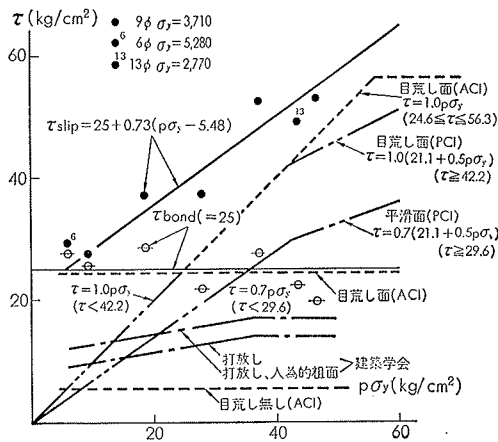


図-12 ハケ仕上げ面のせん断伝達強度と各種設計許容値

になると Shear Friction 仮説にしたがって許容値を定め、PCI では、Shear Friction 仮説の考え方が ACI と異なる点は、低い応力度に対してや平滑面に対してもこの考え方を適用していることと、摩擦係数を応力度の途中から低減させていることである。

ただし、3つの規準は、それぞれ外力の与え方が異なり、さらに、せん断応力度の算出式も異なっているために、また、今回の実験結果は直接せん断実験の結果であり、実際の合成ばりとの対応が不明であるために、これらを単純に比較することはできないが、実験値と3つの規準の許容値とをそのまま図示すると図-12になる。建築学会の許容値は、横軸の σ_y に今回の実験に用いた 9φ 鉄筋の降伏点をとって図示したものである。

今回の実験からは、打継ぎ面での付着は、仕上げ状態や結合鉄筋量に関わらず、ほぼ一定のせん断応力度(今回の場合は 25 kg cm^2)に達すると切れ始め、その後伝達されるせん断力の大きさは、ハケ仕上げの場合には結合鉄筋比と降伏点強度との積にほぼ比例することが判った。これらの結果と建築学会や ACI, PCI 等の規準との相違点としては、例えば、建築学会では結合鉄筋比に比例させて許容値を決めている点、ACI では目荒しがない場合には結合鉄筋の効果を無視している点、PCI では打継ぎ面での付着が効いている低い応力度に対しても Shear Friction 仮説を適用して結合鉄筋を効かせている点等が指摘されよう。

このように各規準によって許容応力度の定め方が異なっているのは、せん断応力度の算出方法が異なっていることも一因であるが、実験データが少なく、打継ぎ面におけるせん断伝達のメカニズムが不明であることが最も大きな原因であろう。

4. 結 び

コンクリートの打継ぎ境界面における交番繰り返し荷重下のせん断伝達に関して次のことが判明した。

(1) 打継ぎ面のコンクリート間の付着は、面の仕上げ状態や、結合鉄筋量に関わらず、ほぼ一定のせん断応力度で切れ始め、それまでの性状は一体打ちと変わらない。

(2) 付着が切れ始めると、結合鉄筋の荷重一軸ひずみ曲線は「く」の字形に屈折し始めて塑性的なひずみ性状を呈し、荷重一すべり履歴曲線は、一定荷重でのサイクル数を増すにしたがって逆S字形になる。

(3) ハケ仕上げ面がすべて荷重低下する時のせん断応力度は、結合鉄筋比と結合鉄筋の降伏点との積に比例近似し、直前のすべり量は結合鉄筋比に比例近似する。また、すべる時には結合鉄筋が必ずしも降伏するとは限らず、Shear Friction 仮説の概念と異なる。

(4) すべった後のすべり履歴曲線は、荷重符号が逆転した直後の低荷重領域におけるスリップ現象が際立ち、同一変位での繰り返しに対しては荷重低下が著しい。

参考文献

- 1) Hanson, N. W.: Precast-Prestressed Concrete Bridges. 2. Horizontal Shear Connections, Journal of the PCA Research and Development Labs., Vol. 2, No. 2, (May 1960), pp. 38~58
- 2) 乙藤, 笹戸, 浜本, 御子柴, 大西: コンクリート合成桁の接合面に関する研究, プレストレストコンクリート, Vol. 9, No. 2, (April 1967), pp. 8~18
- 3) 徳良, 松本, 根本: 人工軽量コンクリート床版を用いたコンクリート合成桁の設計と実験について, プレストレストコンクリート, Vol. 13, No. 2, (April 1971), pp. 20~28
- 4) Birkeland, P. W. and Birkeland, H. W.: Connections in Precast Concrete Construction, Journal of the ACI, Vol. 63, No. 3, (Mar. 1966), pp. 345~368
- 5) プレストレストコンクリート設計施工規準, 日本建築学会, (1975)
- 6) ACI Standard, Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-71)
- 7) PCI Design Handbook, Prestressed Concrete Institute, (1971)