

打ち継ぎを有する鉄筋コンクリート造T型合成はり部材のせん断耐力に関する実験研究

中澤 春生
(技術研究所)
斉藤 豊
(設計本部)

高田 博尾
(技術研究所)
羽切 道雄
(技術本部)

§ 1. はじめに

建設工事の工期短縮や省力化といった施工の合理化や、さらには部材精度の確保といった品質の向上に対応する方法として、各所で部材のプレキャスト化が進められているが、とくに断面の約半分をプレキャストコンクリート(PC)とする床スラブ(ハーフPC合成床板)の開発はめざましいところである。このようなハーフPC部材は打ち込みコンクリートにより部材相互の接合が可能であることから、在来工法との適応性がよいという利点を有し、最近ではスラブのみならず柱やはりといった耐震要素部材のハーフPC化が進められている。このように、ハーフPC部材は部分的なPC化という特徴により施工上の有利性を得るものであるが、半面、断面内に必ず存在することになる新旧コンクリートの打ち継ぎ面が構造上の弱点となることが懸念される。そのため、打ち継ぎ面を介したせん断伝達に関する研究は内外で多く報告されてきているが(例えば4)5)6)10)14)、その変形特性や部材内に打ち継ぎを有する場合の部材特性への影響等については実験資料も少なく、いまだ不明快であるという現状である。

従来、このようなハーフPC部材の設計に当たっては打ち継ぎ面でずれることなく、一体打ちの部材として挙動することとしているのが主たる設計方針であるが、具体的にはその都度実験により安全性を確認するという方法に頼らざるを得ないという現状である。さらに、ハーフPC合成床板により構成されるT形はり部材については、その実験例が乏しい等の理由から、せん断耐力をどう捉えらるかについても検討すべき問題点として残されている。

そこで、本研究ではT形合成はりを構成する構法に着目し、せん断破壊先行型の曲げせん断実験を行ない、一体打ちのはりとの比較による、ハーフPC合成床板を有するT形はりのせん断耐力を検討するための資料を得ること、および平滑な打ち継ぎ面でのずれを実験により確

認し、打ち継ぎの位置およびせん断補強量がそのずれ発生耐力に及ぼす影響を考察することを目的とした。

§ 2. 実験概要

2.1 試験体および使用材料

試験体一覧を表一に示す。想定した破壊モードは、すべてせん断破壊先行型で、せん断スパン比を $a/D=2.0$ とすることとした。試験体に与えた要因は、部材を構成

No	試験体名	構法*1	ρ_w (%)	w_{σ_y} (kgf/cm ²)	Concrete*2		荷重 履歴	
					PC部	RC部		
1	TN-29-M	TN	0.29	3090	-	2)	1方向 繰返し	
2	TN-29-C							
3	TN-58-M		0.58					
4	TN-79-M		0.79		4)			
5	TI-29-M	TI	0.29	3090	1)	2)	1方向	
6	TI-58-M		0.58					
7	TH-29-M	TH	0.29		3680	3)	4)	1方向 繰返し
8	TH-29-C		0.58					
9	TH-58-M		0.79					
10	TH-58-C		0.79					
11	TH-79-M	TU	0.29	3090	1)	2)	1方向 繰返し	
12	TU-29-M		0.58					
13	TU-29-C	0.29						
14	TU-58-M	0.58						
15	TC-29-M	TC	0.29	3680	3)	4)	1方向	
16	TC-58-M		0.58					
17	TH-29-M-S1	TH	0.29		3680	3)	4)	1方向
18	TH-29-M-S2							
19	TH-29-M-S3							
20	TH-29-M-C1							
21	TH-29-M-C2							

(注) *1: 図-2参照, *2: 表-2参照

表一 試験体一覧

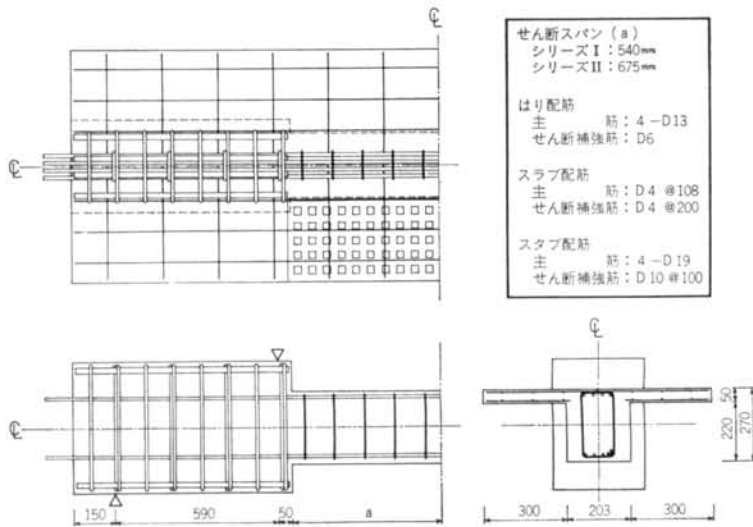


図-1 配筋図 ($pw=0.29\%$)

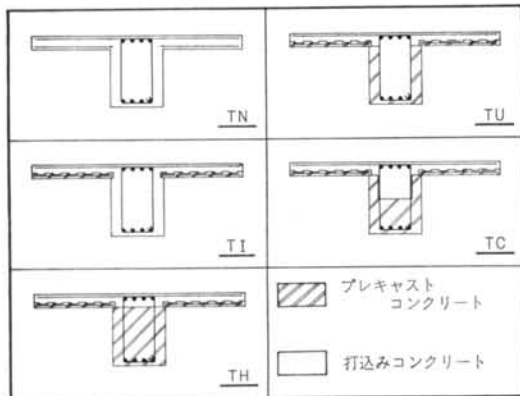


図-2 断面形状一覧

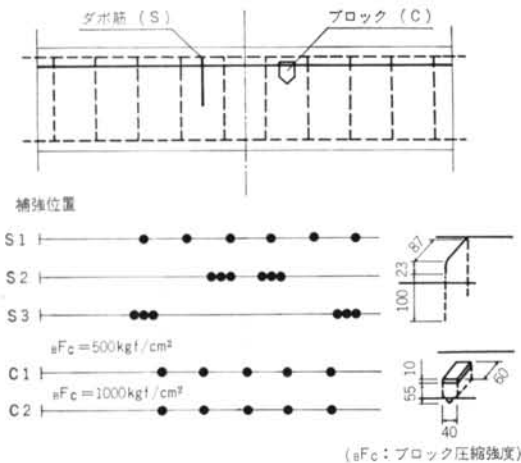


図-3 打ち継ぎ面補強方法

記号	使用位置	$c\sigma_b$ (kgf/cm ²)	$c\sigma_t$ (kgf/cm ²)	$cE_{1/3}$ $\times 10^6$ (kgf/cm ²)
1)	PC部	246	25.0	3.09
2)	RC部	354	28.1	2.83
3)	PC部	247	21.8	2.35
4)	RC部	354	21.7	2.17

表-2 コンクリート材料試験結果

種類	使用位置	$s\sigma_y$ (kgf/cm ²)	$s\sigma_u$ (kgf/cm ²)	sE $\times 10^6$ (kgf/cm ²)
D13	はり主筋	10240	12750	1.76
D6	せん断補強筋	3090	4270	1.61
D6	せん断補強筋	3680	5290	1.77
D4	スラブ筋	4070	6360	2.18

表-3 鋼材材料試験結果

する構法, せん断補強筋量および荷重履歴とした. 試験体の配筋を図-1に, 構法ごとの断面形状を図-2に示す. 試験体は実大の1/3スケールとし, 断面は $b \times D = 20.3 \times 27.0$ cmで, せん断補強筋はD6 (SD30), 主筋はD13 (SD35)とした. なお, せん断破壊を先行させるため主筋には焼き入れ処理を施し, 降伏点を高めたものを使用することとした. 要因として与えた構法は, 全断面一体打ちのTN, スラブのみをハーフPCとしたTIと, はりのPC化の度合いに応じたTH, TU, TCの5種類とし, ハーフPC合成床板は筆者らが開発した²³⁾薄型シャーコッターでせん断伝達を図る形状のものを使用した. また, はりおよびスラブともPC部と場所打ち部の打ち継ぎ面は金ごて仕上げを施し平滑とした. なお, 試験体 No17~21は, THタイプの打ち継ぎ面にダボ筋(S)またはブロック(C)でずれ補強を施したもので, その方法を図-3に示す. また, 使用したコンクリートのシリンダー供試体の強度を表-2に, 鉄筋の力学的性質を表-3に示す.

2.2 加力および測定方法

加力方法を図-4に示す. 加力は, 加力ビームを介した逆対称モーメント荷重形式とし, 加力ビームおよび球座の重量を左右のカウンターにより相殺した. 荷重履歴は, 1方向単調荷重および正負交番繰返し荷重の2種類とし, 繰返し荷重では要因が同一の1方向荷重における最大耐力の80%の荷重で正負とも5回繰返した後, 正方向で破壊に至らした.

また, 測定は荷重をロードセルで, 支点間相対変位および打ち継ぎ面位置の水平ずれを電気式変位計で, 主筋

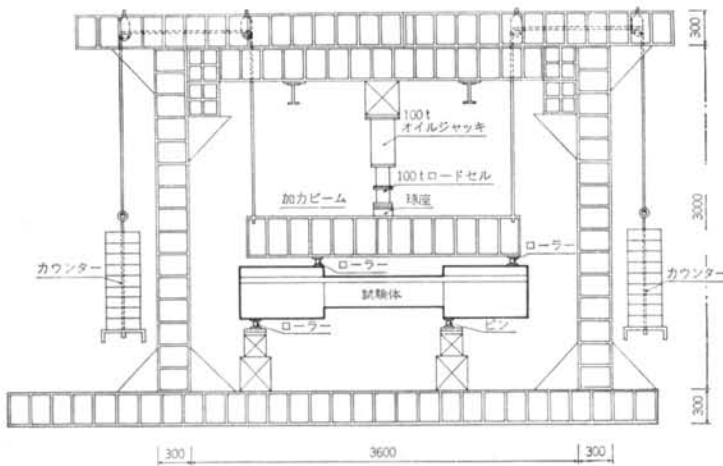


図-4 加力方法

およびせん断補強筋のひずみをひずみゲージでそれぞれ測定した。

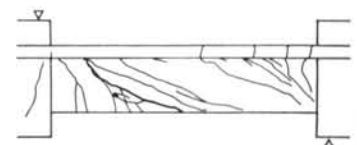


図-5 最終破壊状況(TN-29-M)

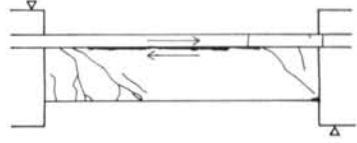


図-6 最終破壊状況(TH-29-M)

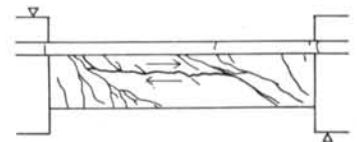


図-7 最終破壊状況(TC-29-M)

§ 3. 実験結果および検討

3.1 破壊性状

実験結果一覧を表-4に示す。全試験体とも主筋の降伏は認められず、せん断破壊した。また、繰返し試験

No	試験体名	曲げひびわれ $\cdot Q_{bc}$ (tf)	せん断ひびわれ $\cdot Q_{sc}$ (tf)	打継面ずれ $\cdot Q_{st}$ (tf)	せん断最終耐力		最終破壊性状
					$\cdot Q_{sc}$ (tf)	$\cdot \tau_{sc}$ ^{*1)} (kgf/cm ²)	
1	TN-29-M	2.3	6.4	—	13.0	30.1	せん断引張
2	TN-29-C	3.0/-1.3	6.3/-5.7	—	11.3	26.1	せん断引張
3	TN-58-M	2.7	5.7	—	16.0	37.0	せん断引張
4	TN-79-M	3.4	5.7	—	20.3	46.9	せん断引張
5	TI-29-M	3.0	5.3	—	13.3	30.8	せん断引張
6	TI-58-M	2.7	5.0	—	16.8	38.9	せん断引張
7	TH-29-M	2.4	5.4	10.0	10.3	23.8	打継面ずれ
8	TH-29-C	2.0/-1.7	6.0/-4.3	-8.0	8.3	19.2	打継面ずれ
9	TH-58-M	2.0	5.0	14.0	15.4	35.6	打継面ずれ
10	TH-58-C	2.3/-1.0	7.3/-5.0	—	17.1	39.5	せん断引張
11	TH-79-M	2.3	7.0	—	18.5	42.9	せん断引張
12	TU-29-M	3.2	6.0	—	13.2	30.5	せん断引張
13	TU-29-C	2.7/-3.0	6.3/-6.0	—	11.3	26.1	せん断引張
14	TU-58-M	2.3	5.0	—	16.9	39.1	せん断引張
15	TC-29-M	2.3	5.7	10.3	10.3	23.8	打継面ずれ
16	TC-58-M	3.3	7.7	—	18.3	42.3	せん断引張
17	TH-29-M-S1	3.4	6.4	10.0	12.0	27.8	打継面ずれ
18	TH-29-M-S2	3.7	4.3	—	13.3	30.8	せん断引張
19	TH-29-M-S3	3.0	5.7	11.7	11.7	27.1	打継面ずれ
20	TH-29-M-C1	2.3	5.0	—	11.7	27.1	せん断引張
21	TH-29-M-C2	2.7	6.0	—	12.7	29.4	せん断引張

(注) *1) 矩形断面で評価

表-4 実験結果一覧

体である TH-29-C は5サイクル負荷において目標荷重に達する前に耐力が低下したため、以後の荷重プログラムを行わず除荷した。

各試験体とも、曲げひびわれ、せん断ひびわれの順にひびわれが発生し、その後荷重の増加に伴いせん断ひびわれが増加、伸展、あるいは打ち継ぎ面にずれが発生して破壊に至った。曲げおよびせん断ひびわれの発生荷重について、要因による差異は認められなかった。最終破壊時のひびわれ状況を図-5～図-7に示す。本実験における最終破壊性状は図-5および図-6, 7のいずれかに分類でき、はり断面の有効はりせい内で打ち継いだ TH, TC タイプの pw が比較的小さい試験体では、打ち継ぎ面にずれが生じることにより破壊に至った(図-6, 7)のに対し、その他の試験体では pw の大きいもので加力点近傍の圧壊が見られたが、主に加力点から伸びる斜めひびわれを横切るせん断補強筋が降伏し、ひびわれが大きく口開くことによって破壊に至った。

3.2 せん断性状に対する構法の影響

構法を要因とする、せん断力 (Q)—一点間相対変位 (δ) 関係の比較を図-8, 図-9に示す。これらは、それぞれ pw を共通要因とした1方向荷重の試験体の比較であり、前者が $pw=0.29\%$ 、後者が $pw=0.58\%$ のものである。いずれの補強量においても、初期剛性に構法による差は見られなかった。その後の加力に伴う試験体の挙動は、 $pw=0.29\%$ では有効はりせい内に打ち継ぎを有する TH および TC タイプは、打ち継ぎ面がずれ

ることによって剛性が低下し破壊に至った。これらのうち、TC タイプは打ち継ぎ面のずれ発生時に最大耐力を示しているのに対し、TH タイプは打ち継ぎ面にずれが発生するとともに一時的に耐力が低下するが、その後変形を増加しつつ再び耐力を回復し、最終的には加力点からほぼ 45° 方向に伸びるせん断ひびわれが口開き最大耐力を示した。しかし、このずれ発生以後の耐力上昇は大きいものではなく、最大耐力はずれ発生耐力をわずかに上回った程度であった。また、このTH タイプのずれの発生は $pw=0.58\%$ においても見られたが、それによる耐力低下はほとんどなく、それ以後においても若干の耐力上昇が見られた。しかし、この耐力上昇はずれが発生することによって著しく剛性低下し、変形を増大した後の現象として捉えられるものと考えられる。また、TC タイプの $pw=0.58\%$ および TH タイプの $pw=0.79\%$ の試験体ではずれが発生せず破壊しており、ずれを抑えるのに対しせん断補強量の増加が有効であることが認められた。以上より、断面内に平滑な打ち継ぎ面を有するはり部材では、せん断補強筋量が比較的少ない場合において打ち継ぎ面にずれが発生し、それによって著しく剛性が低下し変形が増大すること、および最大耐力につい

ても一体打ちの試験体のそれに比較し低下する場合があることが明らかとなり、設計時点において、このずれ発生耐力をせん断耐力評価の一環として評価する必要があるものと考えられる。なお、この他の構法による試験体では、いずれもせん断引張破壊により最大耐力を示し、その耐力および変形ともほぼ同様の性状を示した。このことより、スラブのみをハーフ PC 化した TI タイプ、スラブをハーフ PC 化しさらにはりにU字形の PC 部材を使用した TU タイプでは、いずれの補強量においても全断面一体打ちのT形はりと同等として評価し得るものと考えられる。

次に、打ち継ぎ面のずれによる影響が顕著に見られた $pw=0.29\%$ の TH タイプに対し、ダボ筋またはブロックでずれ補強を施した場合の $Q-\delta$ 関係を図-10および図-11に示す。まず、ダボ筋で補強した場合について見ると、ダボ筋を分散配置した S1 のずれ発生耐力はダボ筋補強しないものほとんど変わらない値を示し、補強効果がほとんど見られなかったのに対し、スパン中央に集中配置した S2 ではずれが発生せずせん断引張破壊し、最も高い最大耐力を示した。また、S2 の半数ずつを2箇所に分けて配置した S3 はこれらの中間のずれ発生耐力

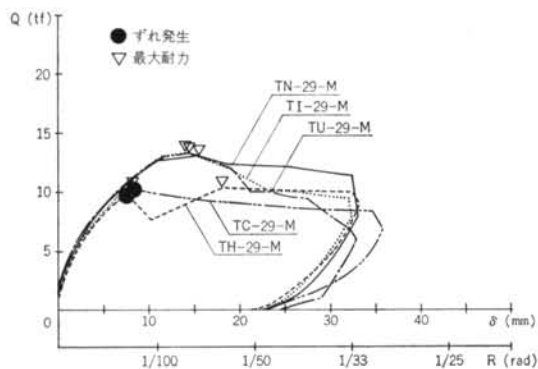


図-8 $Q-\delta$ 関係 (要因: 構法)

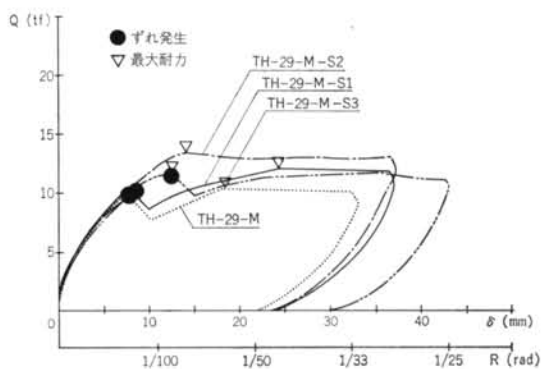


図-10 $Q-\delta$ 関係 (ダボ筋補強)

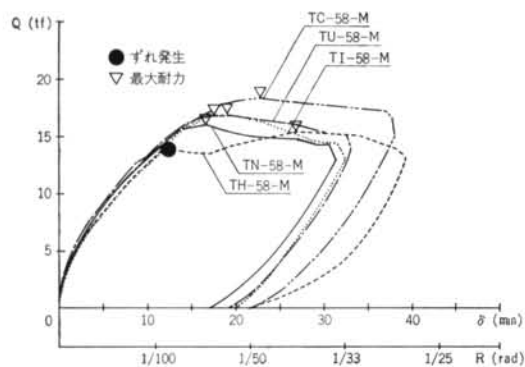


図-9 $Q-\delta$ 関係 (要因: 構法)

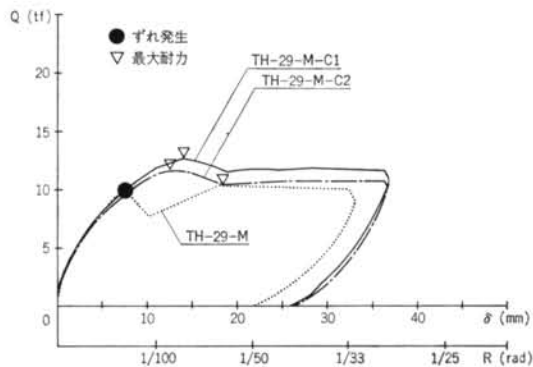


図-11 $Q-\delta$ 関係 (ブロック補強)

を示し、集中配置したもののほどずれ拘束に有効であることが認められた。さらに、ずれが発生した後のS1およびS3の挙動は、最大耐力の発現時点こそ異なるものの、おおむね同等の性状であると評価できる。一方、ブロックによりずれ補強した場合は、いずれもずれが発生せずせん断引張破壊し、その耐力はブロックの強度の上昇に伴い上昇した。なお、加力後これらの試験体を切断したところ、打ち継ぎ面に沿ったひびわれがブロックを横切っており、ブロックのせん断破壊が確認された。

3.3 せん断耐力に対するせん断補強量の効果

THタイプにおいて pw を要因とした $Q-\delta$ 関係を図-12に示す。前述のように、ずれの発生は pw の増加により抑制され、ずれに伴う変形の増加も抑えられる傾向が見られた。また、最大耐力も pw の増加により上昇した。図-13に、全試験体のせん断補強量($pw \cdot w \sigma_y$)と最大耐力($\tau_u = Q_u/bj$)の関係を示す。本実験の範囲では、最大耐力は $pw \cdot w \sigma_y$ の増加に伴いほぼ直線的に上昇した。この実験値と終局耐力算定式との対応をみると、まず荒川 mean 式では、ずれが発生した TH タイプ $pw = 0.29\%$ ($pw \cdot w \sigma_y \approx 10 \text{ kgf/cm}^2$ (0.98MPa)) の繰返しの試

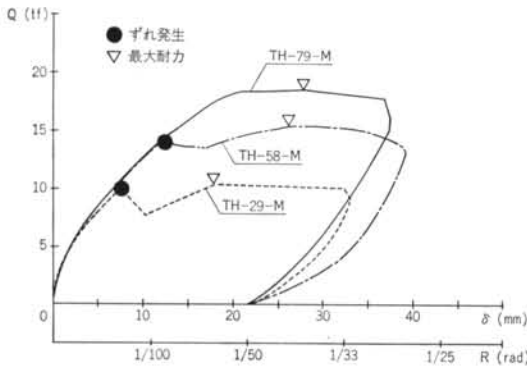


図-12 $Q-\delta$ 関係 (要因: pw)

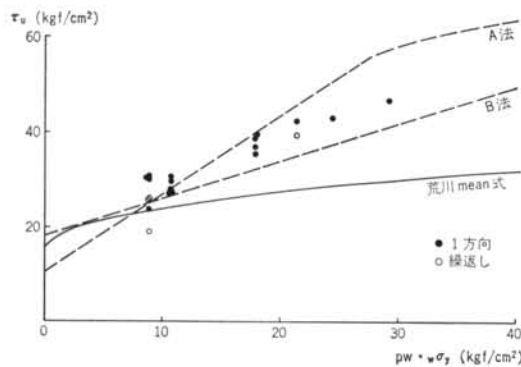


図-13 $\tau_u-pw \cdot w \sigma_y$ 関係

験体でこれを下回った他は実験値は計算値を上回っており、 $pw \cdot w \sigma_y$ が増加するにつれ荒川 mean 式はせん断終局耐力を相当安全側に評価する傾向にある。また、渡辺の論文等で示されているように、せん断終局耐力を塑性理論によるトラス機構とアーチ機構の和として与えられる耐力とする算定式では、トラス機構の角度 ϕ やその他の係数の取り方について二つの方法が提案されているが(A法, B法), これらを暫定的に付着の検討を無視して適用してみると両者とも $pw = 0.29\%$ ($pw \cdot w \sigma_y \approx 10 \text{ kgf/cm}^2$ (0.98MPa)) 程度では実験値とよく適合しているが、せん断補強量が増加するにつれ、A法では実験値を上回り、B法では下回る傾向がある。全体として、実験値はA法およびB法のおおむね中間に位置する結果となったが、 $pw \cdot w \sigma_y$ の増加に伴うせん断耐力の増加の割合はB法による場合の傾きに良い一致を示し、B法による算定値は実験の下限的な推移を示すものとなった。

3.4 繰返し載荷による影響

表-4および図-13に示したように、ほとんどの繰返し載荷の試験体の耐力は同一要因の1方向載荷の試験体に比べ低下し、THタイプ $pw = 0.58\%$ の場合を除き1

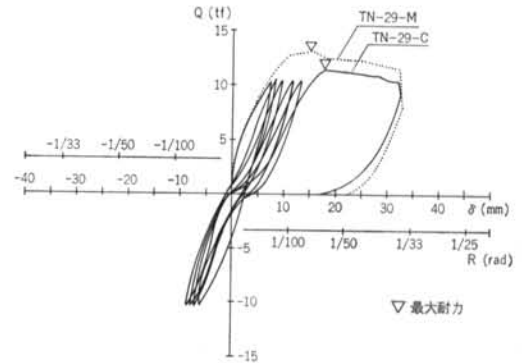


図-14 $Q-\delta$ 関係 (TNタイプ)

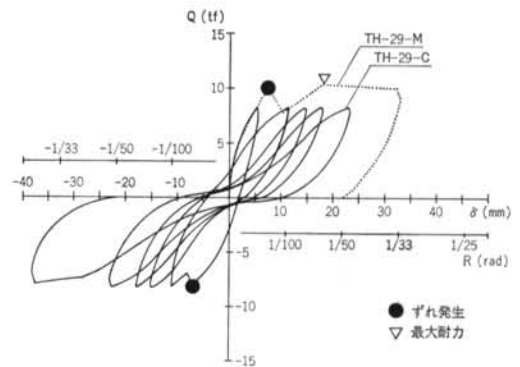


図-15 $Q-\delta$ 関係 (THタイプ)

方向載荷の80~87%の値を示した。 $pw=0.29\%$ の TN タイプ、および TH タイプの繰返し載荷の $Q-\delta$ 関係を 図-14 および 図-15 に示す。これらは、第一サイクルの除荷時荷重と同一荷重内での繰返しを与えたものであるが、TN と TH ではその性状に大きな差異がみられ、TH タイプでは第一サイクル負載荷に発生した打ち継ぎ面のずれにより、すべりおよび剛性低下の著しいループを示した。なお、TH タイプでも補強量を増加し、ずれを拘束した場合には繰返しによる著しい変形の増大は見られず、安定したループ形状を示した。このように、打ち継ぎ面のずれの発生は繰返し荷重を受ける場合のせん断性状に対して特に顕著な影響を与える因子であり、ずれ発生耐力をせん断耐力として評価する必要があるものと考えられる。

3.5 せん断補強筋のひずみ度分布

図-16 に、 $pw=0.29\%$ の試験体のせん断補強筋のひずみ度分布を示す。いずれの試験体においても、せん断補強筋のひずみ度分布は試験区間両側のせん断ひびわれ発生位置のみが卓越し、中央部のせん断補強筋が降伏した試験体は見られなかった。また、せん断ひびわれは打ち継ぎ面のずれが発生した TH、TC タイプとその他のタイプではその発生角度を異にし、ずれが発生していないタイプの方が比較的材軸方向に傾斜して発生しているが、せん断補強筋のひずみに対しては本実験の間隔では差が認められず、おおむね両端からはりせい (D) 程度の範囲内のひずみが卓越する傾向を示した。

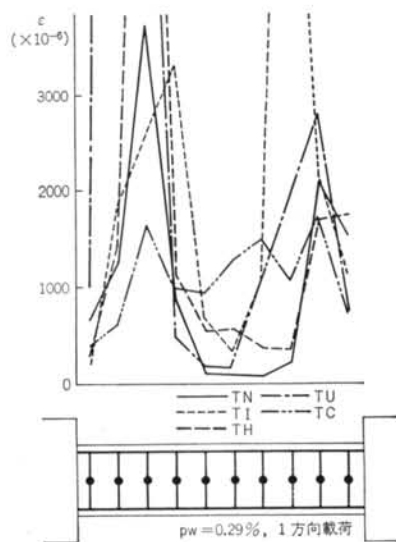


図-16 せん断補強筋ひずみ分布

§ 4. 打ち継ぎ面のずれ耐力に関する考察

4.1 すべり破壊条件

前項までにおいて、平滑な打ち継ぎ面を有するはり部材においてはそこにずれが発生する場合があること、およびこれによりせん断耐力は低下し、特に繰返し荷重を受ける場合にその影響が大きいことを述べた。本項では試みとして、このように部材のせん断性状に著しく影響を及ぼす打ち継ぎ面のずれ耐力を、コンクリートのすべり破壊条件に基づき考察を加える。

コンクリートの破壊を、極限解析によって推定する場合、降伏線におけるエネルギーの散逸に対しコンクリートの破壊基準を設定する⁸⁾。鉄筋コンクリートに極限解析を適用した例としては、直接せん断に対する Jensen の研究⁷⁾や、はりのせん断抵抗に対する Nielsen の研究⁹⁾等が報告されている。これらはいずれも、図-17 に示すコンクリートのすべり破壊条件を表わす修正 Mohr-Coulomb の基準に基づき解を導き、実験結果との対応を検討したものである。一方、Mattock は直接せん断に対するコンクリートの抵抗を実験により検討し、実験式を与えている⁵⁾が、この実験結果も Mohr-Coulomb の基準を引張側で補正した Zia 包絡線や、ひびわれを有する場合にはさらに引張側を補正したものによって近似し得ることが報告されている。また、金子・田中は短柱の斜張力亀裂面でのせん断伝達に注目し、同様のすべり基準を用いてせん断耐力の解析を行なっている¹¹⁾が、これはすべり面をあらかじめ決定することで、その位置における垂直応力度とせん断応力度にすべり基準を適用したものである。

本報では、Mattock らのひびわれを有する場合の実験結果を参考に、Zia による破壊包絡線を表わす式：

$$\begin{aligned} \tau &= \sqrt{\frac{1-2\mu+5\mu^2}{4\mu-4\mu^2}} (-\sigma + \sigma_c) \\ &= 1.77(-\sigma + F_t) \end{aligned} \quad \dots\dots(1)$$

ここに、 $\mu = \tan 37^\circ$, $\sigma_c = F_t \approx 0.14 c \sigma_b$

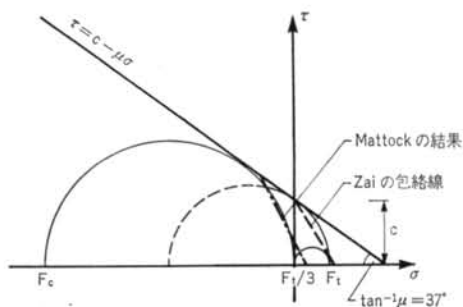


図-17 引張側を修正した Mohr-Coulomb の破壊基準

を引張側で $\sigma_c = \frac{1}{3}F_t$ に補正した式:

$$\tau = 1.77(-\sigma + \frac{1}{3}F_t) \quad \dots\dots(2)$$

をすべり破壊条件として、打ち継ぎ面におけるせん断伝達を検討することとする。

4.2 ずれ発生時における応力状態の仮説

図-18に、本考察で想定するずれ発生時のはりの応力状態を示す。本項では、はりにおける伝達せん断力をトラス機構による伝達とアーチ機構による伝達の和として捉え、図-19に示すずれ発生時の打ち継ぎ面の要素の応力状態を定めることとする。なお、実験結果を考慮してトラス機構の圧縮束の角度をB法的に $\phi = 45^\circ$ とし、さらにずれ発生時において軸方向にはせん断補強筋の反力として分布圧縮応力度 $p_w \cdot w \sigma_y$ が生じ、トラス機構が形成されている状態を仮定することとする。

打ち継ぎ面の要素の作用応力は、図式的に以下のように与えられる。

・トラス機構による打ち継ぎ面作用圧縮力:
 $c\sigma_t = -p_w \cdot w \sigma_y \quad \dots\dots(3)$

・トラス機構による打ち継ぎ面作用せん断力:
 $c\tau_t = -c\sigma_t \cdot \cot \phi$
 $= p_w \cdot w \sigma_y \quad \dots\dots(4)$

・アーチ機構により打ち継ぎ面を介して伝達される圧縮力:

$$cC_a = C_a \cdot t / (D/2)$$

$$= b \cdot t \cdot \sigma_a \cdot \cos \theta \quad \dots\dots(5)$$

・アーチ機構による打ち継ぎ面作用圧縮力:
 $cC_{ay} = b \cdot t \cdot \sigma_a \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta \quad \dots\dots(6)$

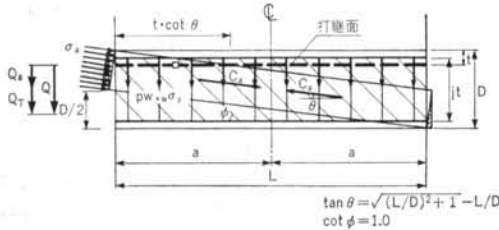


図-18 はりのせん断抵抗機構

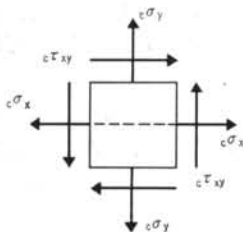


図-19 打ち継ぎ面要素の応力状態

$$cC_a = cC_{ay} / (b \cdot t \cdot \cot \theta)$$

$$= \sigma_a \cdot \sin^2 \theta \quad \dots\dots(7)$$

・アーチ機構による打ち継ぎ面作用せん断力:

$$cQ_a = -b \cdot t \cdot \sigma_a \cdot \cos^2 \theta \quad \dots\dots(8)$$

$$c\tau_a = cQ_a / (b \cdot t \cdot \cot \theta)$$

$$= -\sigma_a \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \quad \dots\dots(9)$$

$$= -c\sigma_a \cdot \cot \theta \quad \dots\dots(10)$$

以上により、打継面作用圧縮力は、

$$c\sigma_y = c\sigma_t + c\sigma_a$$

$$= -p_w \cdot w \sigma_y + \sigma_a \sin^2 \theta \quad \dots\dots(11)$$

打継面作用せん断力は、

$$c\tau_{xy} = c\tau_t + c\tau_a$$

$$= p_w \cdot w \sigma_y - \sigma_a \sin \theta \cdot \cos \theta \quad \dots\dots(12)$$

となる。ここに、

$c\sigma_t$: トラス機構による打ち継ぎ面作用垂直応力度 (kgf/cm²)

$c\tau_t$: トラス機構による打ち継ぎ面作用せん断応力度 (kgf/cm²)

C_a : アーチ機構による伝達圧縮力 (kgf)

cC_a : C_a のうち、打ち継ぎ面を介して伝達される圧縮力 (kgf)

cC_{ay} : cC_a の鉛直方向成分 (kgf)

cQ_a : cC_a の材軸方向成分 (kgf)

σ_a : アーチ機構による伝達圧縮応力度 (kgf/cm²)

$c\sigma_a$: アーチ機構による打ち継ぎ面作用垂直応力度 (kgf/cm²)

$c\tau_a$: アーチ機構による打ち継ぎ面作用せん断応力度 (kgf/cm²)

$c\sigma_y$: 打ち継ぎ面要素に作用する鉛直方向垂直応力度 (kgf/cm²)

$c\tau_{xy}$: 打ち継ぎ面要素に作用するせん断応力度 (kgf/cm²)

θ : アーチ機構の圧縮束方向と材軸との角度

b : 打ち継ぎ面の幅 (cm)

t : はり上端から打ち継ぎ面までの距離 (cm)

4.3 打ち継ぎ面ずれに対するすべり破壊条件の適用

本項は、打ち継ぎ面が式(2)の条件によりずれを発生するとして応力状態を定めることとし、図-20にずれ発生時の打ち継ぎ面要素の応力状態を示す。これより、せん断補強筋を有するはりにおいて打ち継ぎ面のずれはベクトル OC により発生する。ここに、OC を形成する式(1)上の OB および BC のベクトルは、それぞれアーチ機構およびトラス機構により伝達される応力を示す。

また、OC の成分を示す式(11)、式(12)とすべり破壊条件

式(2)より、アーチ機構により伝達される圧縮応力度 σ_a はせん断補強量 $p_w \cdot w \sigma_y$ の関数として表わすことができ、

$$\sigma_a = \frac{0.77 p_w \cdot w \sigma_y + 1.77 F_t/3}{\sin \theta (1.77 \sin \theta - \cos \theta)} \quad \dots\dots(13)$$

となる。また、せん断補強筋のない場合は図-20中のベクトル OA により、ずれが発生する。

以上より、打ち継ぎ面のずれ発生時においてアーチ機構の圧縮力により伝達されるせん断力は、

$$Q_a = -\frac{bD}{2} \cdot \sigma_a \cdot \tan \theta$$

$$= -\frac{bD(0.77 p_w \cdot w \sigma_y + 1.77 F_t/3)}{2 \cos \theta (1.77 \sin \theta - \cos \theta)} \quad \dots\dots(14)$$

なる関係で示すことができ、これを $Q_u - p_w \cdot w \sigma_y$ 関係上に図示すると図-21の実線のようになる。また、同図中の点線はコンクリート圧縮束の圧潰で決まるアーチ機構による伝達せん断力:

$$Q_a = \tan \theta (1 - \beta) b \cdot D \cdot c \sigma_b / 2 \quad \dots\dots(15)$$

ここに、

β : トラス機構によりコンクリートに伝達される圧縮応力の圧縮強度に対する割合

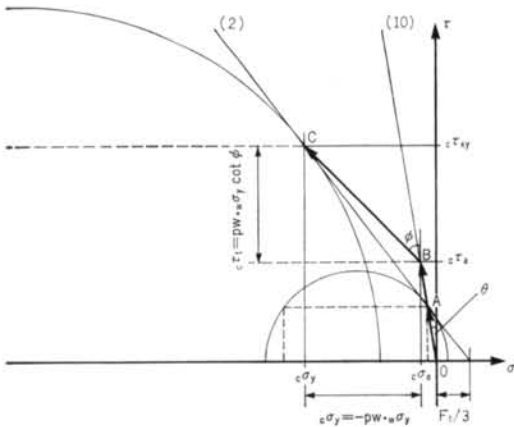


図-20 ずれ発生時における $\sigma-\tau$ 関係

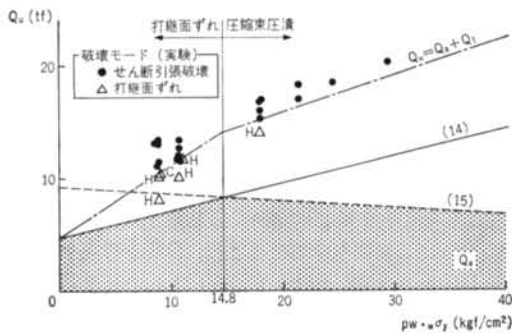


図-21 $Q_u - p_w \cdot w \sigma_y$ 関係

$c\sigma_b$: コンクリート圧縮強度 (kgf/cm²)

で、式(14)および式(15)に前述の材料定数を代入すると、これらは $p_w \cdot w \sigma_y = 14.8 \text{ kgf/cm}^2 \{1.45 \text{ MPa}\}$ で交点を持つ。これは、 $p_w \cdot w \sigma_y$ の小さい場合に打ち継ぎ面のずれにより耐力が決まるということを意味しており、結果としてアーチ機構により伝達されるせん断力は図中のドット部で示される。これに、トラス機構による伝達せん断力を加えたものが部材のせん断耐力ということになるが、これは図中の一点鎖線で示す値をとる。

実験結果 (Δ : ずれ破壊, \bullet : せん断引張破壊) との対応を見ると、ずれ破壊したもののうち繰返し載荷したものが他をやや下回っているが、ほぼずれ耐力を近似し得ているものと考えられる。また、本方法により、せん断補強量の増加によるずれの拘束に伴う破壊モードの変化をおおむね推定することができることが認められる。

§ 5. 結論

はり部材の断面内に、打ち継ぎ面が存在する場合のせん断抵抗を評価する目的で、ハーフ PC 合成床板を有する鉄筋コンクリート T 形合成はり部材の曲げせん断実験を行ない、打ち継ぎ面におけるせん断伝達に関する考察を試みた。本実験研究において得られた知見をまとめると、以下のようなになる。

(1) 打ち継ぎ面が平滑で、さらにせん断補強量が比較的小さい場合は打ち継ぎ面のずれにより、せん断耐力が低下することが認められた。

(2) 打ち継ぎ面のずれが発生するようなせん断補強量の範囲において、ダボ筋あるいはブロックのような、ずれ拘束要素を付加的に使用することによってずれを拘束でき、一体打ちの場合と同様の性状を示すことが明らかとなった。

(3) 本実験の範囲において、打ち継ぎ面のずれが発生しない場合のせん断耐力は、 $\phi = 45^\circ$ としたトラス機構とアーチ機構の和として与えられる耐力でほぼ推定できること、および打ち継ぎ面にずれが発生する場合のずれ発生耐力は、上述のアーチ機構に対しすべり破壊条件より求められる耐力を適用することによって得られる耐力で近似し得ることが認められた。

(4) スラブにハーフ PC 合成床板を使用した場合において、スラブの接合面でのすべりは見られず、終局時まで一体として挙動し、一体打ちのスラブとの有為差は認められなかった。

謝辞 本研究は、その計画から考察までの全体にわたり東京理科大学助教授松崎育弘博士の懇切なご指導のもとで行なわれた。ここに、厚く感謝の意を表する次第であ

ります。また、本研究を進めるに当たりご協力いただいた松崎研究室舟山勇司氏、金子裕一氏をはじめ同研究室の諸兄に心より感謝申し上げます。

＜参考文献＞

- 1) 松崎育弘, 中野克彦, 舟山勇司, 高田博尾, 齊藤豊, 中澤春生: “鉄筋コンクリート造 T 形合成はり部材の力学的性状に関する実験研究 (シアロッカーを有する合成床版による T 形はりの曲げ・せん断実験)” 日本建築学会大会学術講演梗概集(1988年) pp.193~194
- 2) 黒正清治, 松崎育弘, 高田博尾, 他: “合成床板 (PICOS) の構造性能に関する研究 (その 1) ~ (その 4)” 同上 (1983年) pp.1973~1980
- 3) H. Takada, S. Kokusho, Y. Matsuzaki & K. Kobayashi: “New Composite Slab System by Large Scale PC Panel Cast in Site” Proceedings of 13th IABSE Congress in Helsinki (1988) pp.957~962
- 4) R. F. Mast: “Auxiliary Reinforcement in Concrete Connections” Journal of Structural Div., ASCE, Vol. 94, No. ST 6 (1968) pp.1485~1504
- 5) A. H. Mattock & N. M. Hawkins: “Shear Transfer in Reinforced Concrete Research” PCI Journal, Vol. 17, No. 2 (1972) pp.55~75
- 6) J. A. Hofbeck, I. O. Ibrahim & A. H. Mattock: “Shear Transfer in Reinforced Concrete” Journal of ACI, Vol. 66, No. 2 (1969) pp.119~128
- 7) B. C. Jensen: “Lines of Discontinuity for Displacements in the Theory of Plasticity of Plain and Reinforced Concrete” Magazine of Concrete Research, Vol. 27, No. 92 (1975) pp.143~150
- 8) 広沢雅也: “鉄筋コンクリート部材の強度と靱性” 建築研究報告 No. 76 (1977年)
- 9) M. P. Nielsen, M. W. Braestrup & F. Bach: “Rational Analysis of Shear in Reinforced Concrete Beams” IABSE Periodica, P-15 (1978) pp.1~16
- 10) 古屋則之, 竹本靖: “コンクリート打ち継ぎ面でのせん断伝達 (その 3) ハケ仕上げ面のせん断強度” 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1978年) pp.1563~1564
- 11) 金子雄太郎, 田中弥寿雄: “せん断伝達理論に基づく鉄筋コンクリート短柱のせん断耐力に関する研究” 日本建築学会論文報告集 第267号 (1978年) pp.39~47
- 12) 大久保全陸, 是永健好, 東洋一: “逆対称モーメントをうける鉄筋コンクリート T 形はりのせん断強度に関する研究” 第 1 回コンクリート工学年次論文報告集 (1980年) pp.445~448
- 13) W. F. Chen: “Plasticity in Reinforced Concrete” McGraw-Hill International (1982)
- 14) 青柳征夫: “せん断伝達機構とその設計上の取り扱い” コンクリート工学 Vol. 20, No. 12 (1982年) pp.4~10
- 15) 南宏一: “せん断を受ける鉄筋コンクリート部材の極限解析について” RC 構造のせん断問題に関する解析的研究に関するコキウム論文集 (1982年) pp.1~16
- 16) 松崎育弘, 星野克征, 坂本浩孝, 山本泰宏: “鉄筋コンクリート造 T 形はりのせん断耐力に関する実験研究” 第 6 回コンクリート工学年次論文報告集 (1984年) pp.489~492
- 17) 櫻野昇一, 鈴木朋久, 狩野芳一: “T 形梁のせん断耐力に及ぼすフランジ効果に関する実験的研究” 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1986年) pp.461~462
- 18) 松崎育弘, 浜田真, 鈴木英之: “水平打ち継ぎを有するはり部材のせん断耐力に関する実験研究 (その 2)” 同上 (1986年) pp.447~478
- 19) 日本建築学会編: “プレキャスト鉄筋コンクリート構造の設計と施工” 日本建築学会 (1986年)
- 20) 日本建築センター編: “中高層壁式ラーメン鉄筋コンクリート造設計指針・同解説” 日本建築センター (1987年)
- 21) 渡辺史夫: “鉄筋コンクリート部材のせん断強度と変形性能” コンクリート工学年次論文報告集 第10巻, 第 1 号 (1988年) pp.105~114
- 22) 日本建築学会編: “鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針 (案)・同解説” 日本建築学会 (1988年)

