

# 打込み型枠『オリフォーム』工法の開発（その3）

## —— 構造体部材『オリフォーム III』の開発 ——

小柳光生 中根 淳  
吉岡研三 小林 譲

### 概要

施工の省力化を目的として、梁用薄肉プレキャスト型枠（オリフォーム工法）を既に実用化しているが、今回、構造体の一部とみなすことの出来る改良タイプを研究・開発した。改良点は、調合の見直しと界面接着の改善である。パネルとしての曲げ、圧縮強度及び界面部の接着強度試験などを行い、一体性や長期的な特性にも優れていることを確認した。また合成梁の曲げせん断実験を行い、構造性能にも言及している。せん断破壊型の合成梁は比較用のRC梁に対して1.2～1.4倍の耐力、曲げ降伏型では同等の耐力と靱性を有しており、終局強度型の設計法が適用できることを確認した。さらに合成梁としての耐火性能（2時間耐火）を有していることも確認した。

### 1. はじめに

コンクリート工事の省力化を目的として、折り曲げ可能な高強度プレキャストコンクリート製の薄肉材を梁用の打込み型枠工法として開発し、既に多くの物件に適用したり<sup>2)</sup>。この種の型枠は、現場での型枠材の加工・組立てや解体を極力少なくできる上に、薄肉材のため、軽量であり鉄筋工事との相互干渉も基本的に発生しないという特長をもつ。また、近年の熱帯雨林保護のための合板削減の動きにも有効である。

しかし、これまでのように型枠扱いではなく、高強度という特性を利用し、構造体のかぶりの一部とみなすことができればその価値は大きい。そこで、これまでの型枠工法に多少の改良を行い、後打ちコンクリートと一体化できる型枠兼用プレキャスト（以下プレキャストをPCと呼ぶ）工法を開発する目的で、構造実験を始めとする種々の試験を行い、各種性能を確認した。

### 2. 型枠兼用PC工法の仕様

本型枠工法は、平らなベッド上で打込んだ高曲げ強度PC板を折り曲げることで形成される梁用型枠であり、梁寸法を自由に選定できる特長がある。このPC板の調合はTable 1に示すが、これまでのモルタルを改良して最大寸法15mmの小砂利を使用したコンクリート板（厚さ25mm）としている。PC板と後打ちコンクリートとの一体化は界面部への砂利散布（5kg/m<sup>2</sup>程度）によるせん断キー方式を採用した。補強材はビニロン短繊維（30mm長）は従来通り用いるが、これまでのアラミド長繊維の代わりに安価なワイヤーメッシュ筋を下面より3mm前後に敷込む方式とした。ただし折り曲げ部は、繊維系コーナ

補強材の他、これまで同様にアラミド繊維も併用している。パネル断面状況をFig. 1に示す。

### 3. PCパネルの力学特性

#### 3.1 基本的な考え方

打込みPCパネルは、型枠パネルとしての有効な曲げ強度が確保されなければいけない。それと同時に構造体の一部とみなす場合、構造体コンクリートと同等以上の強度を有すること、しかも長期的にも安定している必要がある。さらに構造上、一体化の役割を有することが確認されなければいけない。ここでは、PCパネルの基本的な力学特性についての試験結果を示す。

#### 3.2 曲げ強度

調合はTable 1に示す。曲げ試験体寸法は、長さ700mm、幅100mm、厚25mmとし、メッシュ筋φ2.7-100×100をかぶり3mm前後に配置した。試験材齢は、1週、4週、13週、26週とし、養生条件は、標準気中と外気暴露の2水準とした（1週までは標準気中養生）。フレッシュコンクリートの性状をTable 2に示す。曲げ試験結果をFig. 2に示す。3本の平均値で表わしているが、この結果から材齢

Table 1 パネル調合表  
Mix Proportion of Concrete Panel

単位：kg/m<sup>3</sup>

名称	W/C	単位水量	セメント量	細骨材	粗骨材	収縮低減材	ビニロン	高性能AE減水剤
調査A	29.0	269	928	689	346	8	26	25

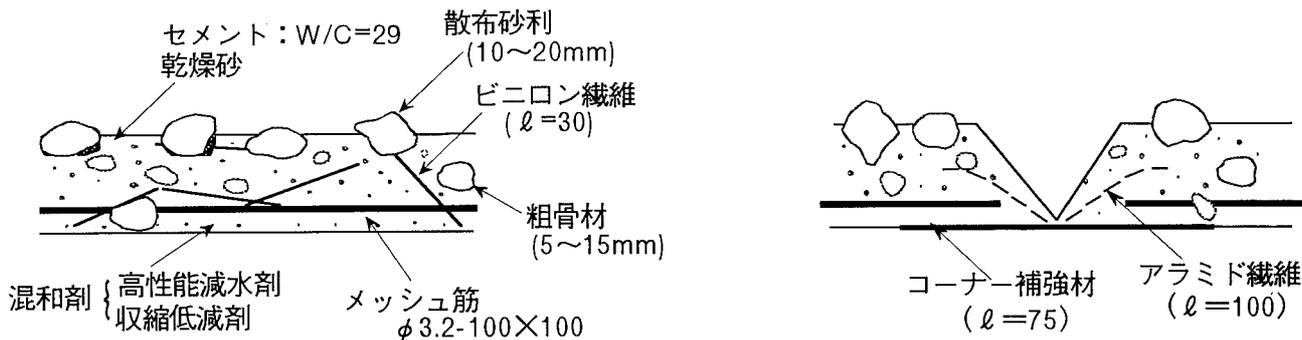


Fig. 1 PC板断面の状況  
PC Panel Section

4週で初期ひび割れ強度は80kgf/cm<sup>2</sup>強を示し、最大曲げ強度は150kgf/cm<sup>2</sup>前後であった。また長期材令でも曲げ強度はほぼ安定していることが確認された。

### 3.3 圧縮強度および割裂強度

コンクリートは、Table 1の調合（A調合）の他、参考に、ビニロン繊維を混入しないで他は同じという調合（B調合）についても比較した。圧縮強度、割裂強度のテストピースはそれぞれφ100×200、φ150×300であり、材令と養生は、標準水中養生（4週、1年）、標準気中養生（1週、4週、13週、1年）の6水準である。圧縮強度、割裂強度の試験結果（3本の平均値）をそれぞれFig. 3、4に示す。A調合の圧縮強度は4週で900kgf/cm<sup>2</sup>以上の高強度を確保し、さらに材令1年では1,000kgf/cm<sup>2</sup>以上と長期強度も安定している。またA調合の割裂強度は4週で72kgf/cm<sup>2</sup>を示し、ビニロン混入の効果が確認された。

### 3.4 界面の直接せん断強度

後打ちコンクリートとの一体化を図るため、砂利散布によるコッター処理法を採用するが、この界面処理法の妥当性を調べるため、Fig. 5のような試験体を使って、押し抜き形式による2面せん断試験を行った。砂利は寸法10~20mmのものを1m<sup>2</sup>当たり5kg程度散布した。試験要因は、砂利による凹凸の効果を調べるため、剥離剤塗布の有無を要因とした。なおPC板どおしのつなぎにボルトを用いて軽く締めたが、摩擦力を生じず、無視できる締付け力であることも歪みゲージから確認した。

PCコンクリートはTable 1の調合であり、後打ちコンクリートの調合はW/C=60%、スランプ18cmとした（試験時の圧縮強度：390kgf/cm<sup>2</sup>）。試験結果をTable 3に示すが、この時の強度は荷重を界面部の全断面積（150cm<sup>2</sup>×2面）で除して算出した。この表から、剥離剤を塗布しないタイプは平均20.9kgf/cm<sup>2</sup>、塗布した場合でも平均14.1kgf/cm<sup>2</sup>のせん断強度（初期剥離）であった。

### 3.5 界面の接着強度

建研式接着試験法を用いて、パネルと後打ちコンクリートの界面処理の違いによる接着強度を調べた。界面

Table 2 フレッシュコンクリートの性状  
Property of Fresh Concrete

名称	スランプフロー (mm)	空気量 (%)	温度 (°C)	単位重量 (kgf/cm <sup>3</sup> )
調合A	640×650	1.7	21.5	2,310

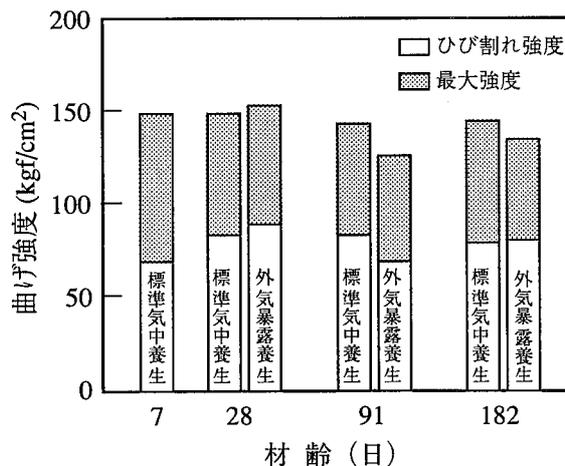


Fig. 2 曲げ強度試験結果  
Test Result of Bending Strength

の要因は1) プレーン、2) 砂利散布（粒径10~15mm）3) 砂利散布（粒径5~15mm）の3要因とした。試験方法はパネル製作3週後にコンクリートを打込み、所定の養生を行い、接着強度試験を行った（試験片寸法：4cm×4cm）。養生は、湿潤養生、気中養生および気中養生後に強制乾燥（100°C、1日間）の3要因とした。養生期間4週での試験結果をFig. 6に示す。この結果から、強制乾燥を行うと、①プレーンの場合、コンクリートの乾燥収縮に伴う肌分かれ現象を起こし、接着強度はゼロに近いが、砂利散布の場合いづれも平均10kgf/cm<sup>2</sup>以上の接着強度を確保できることが確認され、砂利散布の効果が認められた。

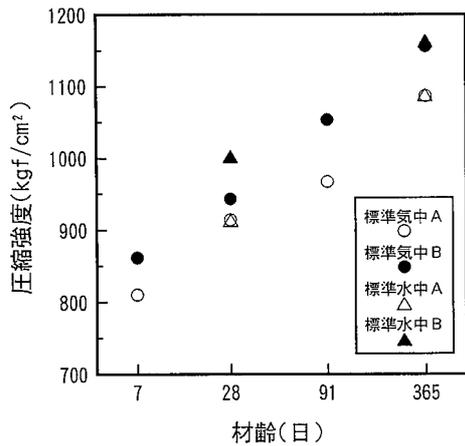


Fig. 3 圧縮強度試験結果  
Test Result of Compression Strength

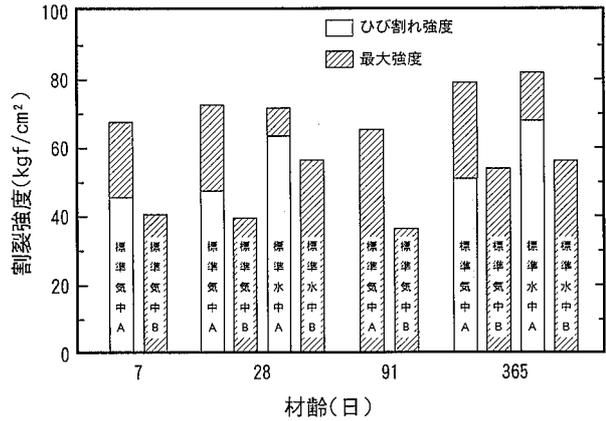


Fig. 4 割裂強度試験結果  
Test Result of Tension Strength

Table 4 セパレータ引抜き強度試験結果  
Test Result of Anchor Strength

要因		材齢1週		材齢4週	
		引抜き強度 (kgf/本)	平均値	引抜き強度 (kgf/本)	平均値
VF=2%	1	980	880	910	980
	2	950		1000	
	3	750		1000	
VF=1%	1	720	790	1080	870
	2	860		740	
	3	790		790	
VF=0%	1	520	480	580	590
	2	460		710	
	3	460		480	

Table 3 界面のせん断強度試験結果  
Test Result of Shear Strength at Joint Part

試験体シリーズ	剥離剤の有無	初期剥離強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )		最大せん断強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	
			平均値		平均値
No.1	無	15.6	20.9	18.4	23.0
		18.9		22.2	
		28.3		28.3	
No.2	有	16.0	14.1	18.6	15.8
		17.9		17.9	
		8.4		10.8	

### 3.6 セパレータ引抜き強さ

セパレータは埋込みタイプ(レジコンZ)を基本仕様としており、この時の引抜き強さ試験結果をTable 4に示す。調合はTable 1をベースとして、ビニロン繊維の効果調べるため、ビニロン繊維容積比2%の他、1%、0%についても比較した。材令1週で、容積比2%、1%でそれぞれ880、790kgf/本の引抜き強さを示しており、設計引抜き強さ(350kgf/本)の2倍以上の安全率を有していた。一方、ビニロン繊維を混入しない場合、引抜き強さは480kgf/本と低かった。

### 3.7 PCパネルの物理的特性

パネルの耐久性能を調べるため、中性化促進試験(CO<sub>2</sub>濃度5%、温度30℃)を行った。現在、6カ月の試験期間でも中性化はゼロであり、耐久性能に優れたパネルであることが確認された。

パネルの乾燥収縮変形を調べるため、寸法100×100×400mmの試験体を打込み、初期養生(温度40℃、湿度

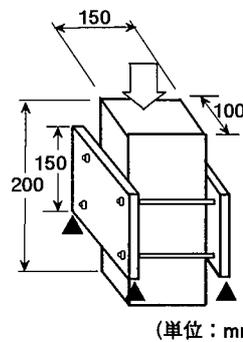


Fig. 5 せん断試験体の状況  
Specimen for Shear Strength Test

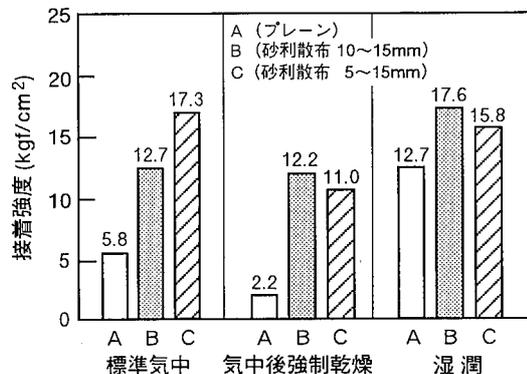


Fig. 6 接着強度試験結果  
Test Result of Bonding Strength at Joint part

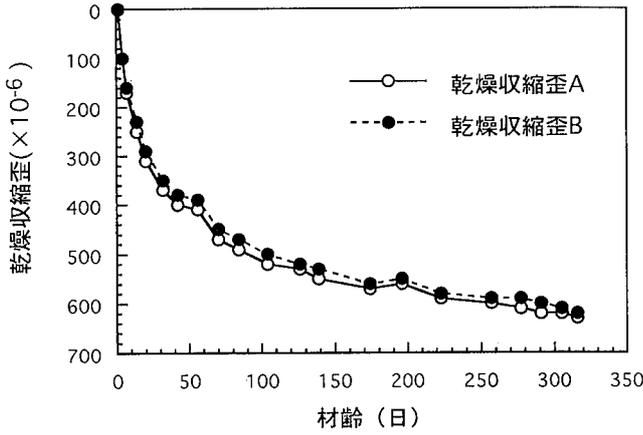


Fig.7 コンクリート乾燥収縮試験結果  
Measurement Result of Concrete Shrinkage Strain

90%RH, 10時間)の後、冷却して材令1日で直ちに標点を貼り、原点として歪みを計測した。試験室は恒温恒湿室(20℃, 60%RH)で気中養生で、コンクリートの調合はTable 1(調合A)の他、ビニロン無し(調合B)も参考に比較した。試験結果をFig. 7に示す。

### 3.8 耐火性能

PC板をコンクリートかぶりの一部とみなして建材試験センターで合成梁の2時間耐火試験を行った。梁試験体の断面をFig. 8に示す。梁底のスタラップ筋までの被りはPC板の外表面から30mmとしている。試験結果をTable 5に示すが、鋼材の最高温度は規定値以内であり、耐火上、有害な変形、脱落なども生じなかった。現在は、日本建築センターから梁の2時間耐火性能の認定を取得している。

## 4. 合成梁としての曲げせん断実験

### 4.1 実験概要

改良PC板を用いた合成梁を使って曲げせん断実験を行い、在来の一体打ち梁と同等以上の構造性能を有することを確認する。試験体の一覧をTable 6に示す。主な実験変数は主筋量、せん断補強筋量と強度、せん断スパン比とした。また界面剥離剤塗布の影響、在来工法との比較も行った。試験体形状、配筋図をFig. 9に示す。梁せい50cm、幅30cmの断面で上端部はスラブ厚10cmを想定した。後打ちコンクリート強度は試験時で273~296kgf/cm<sup>2</sup>であった。またPC板の圧縮強度は900kgf/cm<sup>2</sup>で、初期曲げひび割れ81kgf/cm<sup>2</sup>、最大曲げ強度110kgf/cm<sup>2</sup>であった。加力方法は建研式短柱試験装置を使って正負交番繰返し載荷とする。載荷履歴は、曲げひび割れ荷重で各1回、その後、部材角1/200, 1/100, 1/50で各2回づつの加力をし、最終的に1/33の変形を加えることとした。

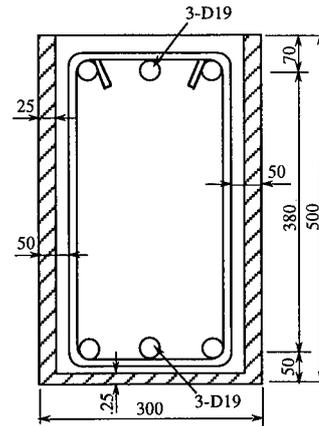


Fig.8 耐火試験梁断面  
Section of Fireproof Test Beam

Table 5 耐火試験結果  
Result of Fireproof Test

試験体	A	B
加熱時間	120分	120分
鋼材最高温度 (規定値 500℃)	456℃ (144分)	457℃ (147分)
変形・破壊脱落・ 割れ目等	PCパネル表面に、部分的な表層剥離が生じていたが、耐火上有害な変形破壊、脱落、割れ目等は認められなかった。	
(参考) スタラップ 筋最高温度	480℃ (135分)	494℃ (134分)

Table 6 試験体一覧  
List of Specimens

試験体 記号	種類	剥離剤 の有無	せん断補強筋	M/QD	主筋量	破壊 計画	
S-1	RC梁	—	SD 295, Pw=0.24 %	1.0	6-D22 Pt=1.84 %	降伏前せん断破壊	
S-2	合成梁	無					
S-3		有					
SU-1	RC梁	—	ウルボン SD 1300 相当 Pw=0.133 %	1.0	6-D22 Pt=1.84 %	降伏前せん断破壊	
SU-2	合成梁	無					
SU-3		有					
FS-1	合成梁	無	端部	Pw=0.68 %	2.0	5-D19 Pt=1.15 %	降伏後せん断破壊
FS-2			中央部	Pw=0.34 %			
		FS-3	端部	Pw=0.68 %			
中央部			同上				
FS-3		端部	Pw=1.02 %				
		中央部	Pw=0.34 %				
F-3	合成梁	無	SD 295, Pw=1.36 %	2.0	4-D19 Pt=0.87 %	降伏後 曲げ破壊	
B-1	RC梁	—	ウルボン SD 1300 相当 Pw=0.53 %	2.0	4-D25 Pt=1.54 % SD 345	降伏後 付着破壊	
B-2	合成梁	無					
B-3		有					
B-4	合成梁	無					SD 295, Pw=0.95 %

4.2 実験結果

実験結果の一覧をTable 7に示す。荷重-相対変位関係の一部をFig. 10に示す。ひび割れ状況の一部をFig. 11に示す。S, SUシリーズはせん断ひび割れや付着ひび割れを生じながらせん断破壊した。FSシリーズとF-3は曲げひび割れから曲げ圧壊した。B-1~3は、付着ひび割れも目立つが、部材角1/33までは十分な靱性を確保しつつ、曲げ圧壊した。B-4試験体は、スラブ（想定）側で顕著な付着ひび割れを生じ、部材角1/33で耐力が最大値の0.86に低下し、付着割裂破壊した。ただし、PC側は高強度パネルで囲まれているためか、損傷は少なかった。S, SUシリーズの場合、合成梁の最大耐力は在来の1.2~1.4倍で、Bシリーズは在来と同等であった。

剥離剤塗布の影響は、せん断破壊したS, SUシリーズで認められ、後述するようにパネルの肌分かれ現象がやや早く、若干耐力が低下した。

計算方法は『RC造建物の終局設計指針』（日本建築学会編）を適用した<sup>3)</sup>。

せん断強度：

$$V_u = b \cdot j_t \cdot p_w \cdot \sigma_{wy} \cdot \cot \phi + \tan \theta (1 - \beta) \cdot b \cdot D \cdot \nu \cdot \sigma_p / 2 \dots (1)$$

曲げ終局強度：

$$M_u = 0.9 A_t \cdot \sigma_y \cdot d \dots (2)$$

付着強度：

$$\tau_{bus} = \{60 p_{wb} (N_s + 2) / (N_t \sum db) + 0.4\} \sqrt{\sigma_B} \dots (3)$$

実験値と計算値の比をTable 7中に示す。S, SUシリーズの在来梁は1.0前後と良く一致し、合成梁では実験値の方が大きい。これはパネル強度が高いためである。なお、等価強度（強度の異なる複合材をその断面積比から見かけ強

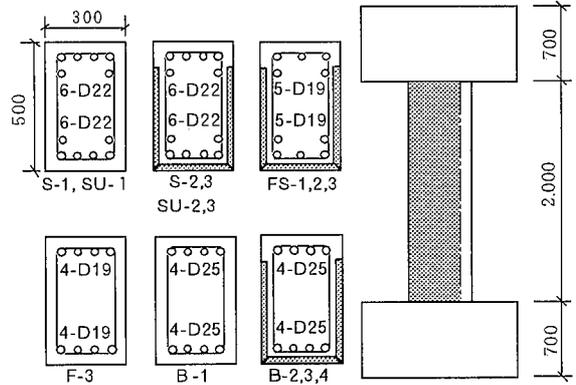


Fig. 9 試験体形状と配筋図  
Specimen Frame and Reinforcement Steel Disposition

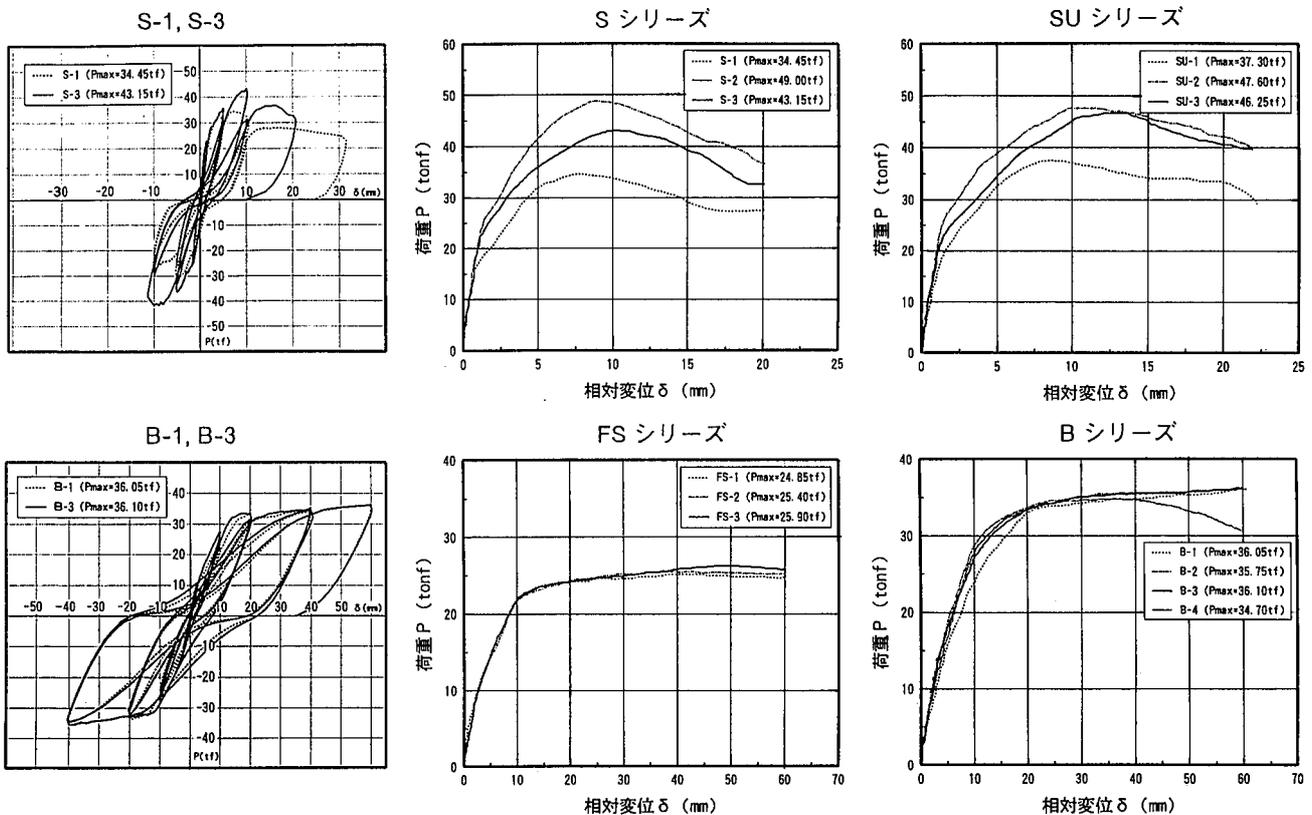


Fig. 10 荷重-相対変位関係  
Relationship of Load-Displacement

Table 7 最大強度実験値と計算値  
Comparison of Calculated Maximum Strength  
with Measured Degree

No.	試験体 名称	最大強度 実験値 ① (tf)	せん断強度 計算値 ② (tf)	曲げ強度 計算値 ③ (tf)	実/計	
					①/②	①/③
1	S-1	34.45	36.6	65.3	0.94	-
2	S-2	49.00			1.39	-
3	S-3	43.15			1.22	-
4	SU-1	37.30	37.4	65.3	1.00	-
5	SU-2	47.60			1.27	-
6	SU-3	46.25			1.24	-
7	FS-1	24.85	26.9	20.0	-	1.24
8	FS-2	25.40			-	1.27
9	FS-3	25.90			-	1.30
10	F-3	20.80	46.7	17.1	-	1.22
11	B-1	36.05	41.9	30.3	-	1.19
12	B-2	35.75			-	1.18
13	B-3	36.10			-	1.19
14	B-4	34.70			35.0	-

度を設定) という考え方を使ってせん断強度を試算するとS-2, 3はそれぞれ1.11, 0.98であり, SU-2, 3はそれぞれ1.06, 1.04と良く一致した結果が得られた。

FS, Bシリーズでの実験値と曲げ強度計算値の比は1.15~1.3でその対応性は良好であった。また(4)式からB-4の付着強度を算定すると, 34.7kgf/cm<sup>2</sup> (≒設計用付着応力度34.6kgf/cm<sup>2</sup>) となり, 計算からも付着破壊の可能性が高いことが確認された。

次に合成梁は肌分かれの検討が重要であるため, その強度を調べる。今回の改良板のように砂利コッター付タイプの界面せん断強度は, 別途行った材料実験から23kgf/cm<sup>2</sup>, 表面に剥離剤塗布タイプでも15.8 kgf/cm<sup>2</sup>と大きかった (Table 3参照)。肌分かれの影響が予想されるせん断スパン比1.0の場合の肌分かれ荷重をTable 8に示すが, この結果からかなりの荷重まで肌分かれの恐れがないこと, 梁の耐力が曲げ強度で決まる場合, 一体性を損なう恐れはさらに少ないことを確認した。なお肌分かれ時の荷重は, ずれ変形計測結果から求めた。平均せん断強度計算式を以下のように表わし,

$$\text{平均せん断強度} : \tau = Q / b \cdot h \quad \dots\dots\dots (4)$$

(Q:荷重, b:幅, h:せい)

前述の材料実験値を使うとTable 8に示すように良く一致した。梁の耐力がせん断強度で決まる場合, 通常のせん断補強筋レベルでは問題ないが, せん断補強筋が多いような時は, 一応, 肌分かれのチェックを行うことが望ましい。その時のせん断強度計算式は, (4)式を利用できる。

Table 8 肌分かれ強度実験値と計算値  
Comparison between Measured and  
Calculated Sprit Strength

試験体 名称	最大強度 実験値 (tf)	肌分かれ 強度実験値 (tf)	肌分かれ 強度計算値 (tf)	肌分かれ強度 実験値/ 計算値
S-2	49.00	32.0	34.5	0.93
S-3	43.15	28.0	23.7	1.18
SU-2	47.60	38.0	34.5	1.10
SU-3	46.25	24.0	23.7	1.01

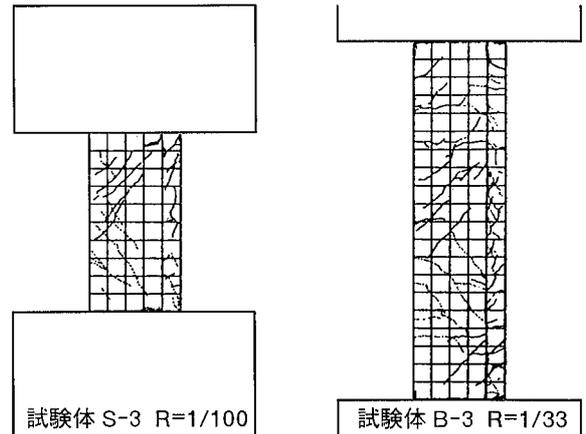


Fig. 11 ひび割れ状況図  
Final Crack Patterns of Specimens

### 5. まとめ

打込み型枠としてのプレキャストコンクリート板を梁構造体の一部に利用出来るように改良した。一連の試験から耐久性能, 耐火性能に優れていることを確認した。また曲げせん断耐力に関する実験から, 合成梁が比較用のRC梁と同等以上の性能を有することを確認した。後打ちコンクリートとの肌分かれの問題に関して計算式を提案した。

#### 参考文献

- 1) 小柳, 小川, 久保田, 中根, 青山, 脇坂, 古屋: 打込み型枠オリフォーム工法の開発, 大林組技術研究所報, No.46, p.19~24, (1993.2)
- 2) 古屋, 小柳, 脇坂, 中根: 打込み型枠オリフォーム工法の開発 (その2), 大林組技術研究所報, No.48, p.83~88, (1994.2)
- 3) 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・同解説, (1990)