

# 論文 高強度モルタルを用いた埋設型枠の一体性に関する実験的検討

石原美光\*1・秋山暉\*2・小関喜久夫\*3・村尾義則\*4

**要旨：**普通ポルトランドセメントにエトリングイト系特殊混和材を用いたモルタルを使用した高強度・高耐久性を有する埋設型枠を開発した。その埋設型枠を構造物に使用した場合の後打ち部との一体性並びにRC部材としての部材性能を確認するため、要素実験及び梁の曲げ載荷実験を行い、①埋設型枠と後打ち部の境界面では普通コンクリートと同程度の力学性能を有していること、②埋設型枠を使用した梁は一度打ちした梁と同等以上の曲げ性能を有していることから、設計上、埋設型枠をRC断面の一部として考えて良いことを確認した。

**キーワード：**プレキャスト型枠、高強度モルタル、曲げ、一体性

## 1. はじめに

構造物を施工するにあたって、現場作業の省力化や工期短縮を達成する手段の一つとして、プレキャスト型枠の利用がある。プレキャスト型枠を埋設型の永久型枠としての適用を考える上で重要な点は、①後打ち部と同程度以上の強度特性を有すること、②耐久性に優れていること、③二次製品工場で製造可能であること、④後打ち部との一体性を有していること、等である。

上記4項目を満たし、かつ施工現場においても簡便に製造可能な材料として、樹脂を用いない、普通ポルトランドセメントにエトリングイト系特殊混和材を用いた高強度モルタルが開発され、①～③について所定の強度特性や耐久性を有していることが確認されている[1]。

ここでは、このモルタルを用いた埋設型枠について、埋設型枠と後打ち部との一体性を確認する各種要素実験及び梁を用いた部材実験を行ったので、その結果について報告する。

## 2. 埋設型枠の概要

ここで対象とした埋設型枠は、裏面(後打ち部と接する面)の縦横にワッフル状の突起を設けたもの(Wタイプ)と、裏面に打設後硬化遅延剤を塗布し、硬化後目荒らし処理を行ったもの(Rタイプ)の2種類である。また、組立時の位置決めや剥落防止のため、約30cm毎にインサートを設けている。Wタイプの標準形

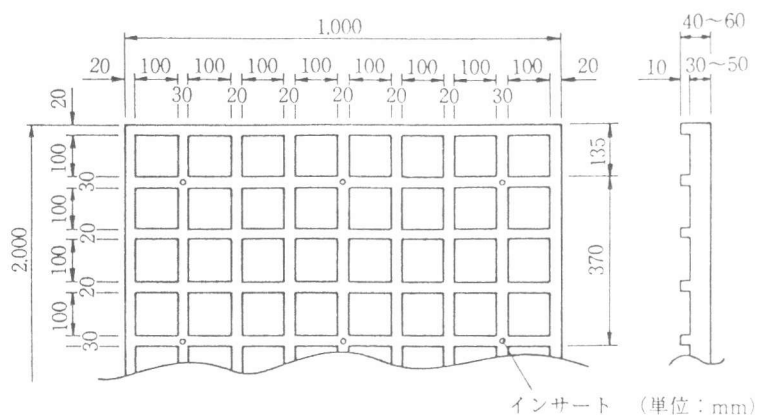


図-1 埋設型枠標準形状図(Wタイプ)

- \*1 鹿島技術研究所 第一研究部研究員(正会員)
- \*2 鹿島技術研究所 第一研究部主管研究員(正会員)
- \*3 鹿島建設総事業本部 土木技術本部(正会員)
- \*4 鹿島建設総事業本部 土木設計本部

状を図-1に、埋設型枠用モルタルの配合を表-1に示す。

表-1 埋設型枠用モルタルの配合表

水結合材比 (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 (結合材×%)	ステンレス ファイバー (vol%)
		水	セメント	混和材	細骨材		
24.0	3±1	192	696	104	1342	2.0	2.0

### 3. 実験の目的

構造物に埋設型枠を使用する場合、これをRC断面の一部として使用する考え方と無視する考え方がある。ここでは前者を対象とし、埋設型枠と後打ち部とが一体性を有していること、すなわち、設計において埋設型枠をRC断面の一部として考えられるかどうかを検討することとした。

構造物の設計を行う場合、平面保持の原則やコンクリートの引張抵抗の無視といった仮定に加えて、かぶりコンクリートに鉄筋の定着や耐久性といった性能が要求される。

ここでは、埋設型枠を使用した構造物が上記条件を満たしたRC構造物と同程度の部材性能を有していること、すなわち、①埋設型枠が力の伝達や鉄筋の定着、及び耐久性の観点からかぶりとして有効であること、②埋設型枠を使用した部材が一度打ちと同程度の部材性能を有することの2点を確認することとした。

埋設型枠のかぶりとしての有効性の確認を行うために、埋設型枠と後打ち部の境界面における表面剥離、2面せん断、鉄筋引抜の3項目に対して要素実験を行った。また、埋設型枠を使用した部材での部材性能を総合的に評価するために梁の曲げ載荷実験を行い、両者の実験結果を踏まえて、埋設型枠が設計上RC断面の一部として適用可能かどうかの検討を行った。

### 4. 実験概要及び実験結果

#### 4.1 表面剥離実験

埋設型枠と後打ち部の境界面での付着性能を調べるために、「建研式表面引張試験方法」に準拠して行った。試験体は、Wタイプ・Rタイプそれぞれの埋設型枠を縦置き（壁構造を想定）・横置き（スラブ構造を想定）した状態でコンクリート打設（ $f'_{ck}=27N/mm^2$ ）を行った計4種類であり、それぞれ各3カ所行った。

実験結果は表-2に示すとおりであり、境界面での付着力はWタイプ・Rタイプとも横置きの場合ほぼ普通コンクリートの引張強度レベルであることが分かった。またWタイプを縦置きした場合付着力が小さいが、インサートを設けることによって剥離力に抵抗させるものとした。

#### 4.2 2面せん断実験

埋設型枠と後打ち部の境界面でのせん断伝達性能を調べるために行った。試験体は、比較用一度打ち（ $f'_{ck}=27N/mm^2$ ）とWタイプでインサート有り（1本）・無し、及びRタイプでインサート無しの計4種類であり、それぞれ各3体とした。載荷要領を図-2に示す。

実験結果を表-3に示す。Wタイプ・Rタイプともにせん断伝

表-2 表面剥離実験結果

		剥離強度(N/mm <sup>2</sup> )			
		①	②	③	平均
一度打ち		2.0	1.8	1.9	1.9
Wタイプ	縦置き	1.1	0.8	0.8	0.9
	横置き	1.9	1.7	2.0	1.9
Rタイプ	縦置き	1.6	1.5	1.3	1.5
	横置き	2.2	2.3	2.1	2.2

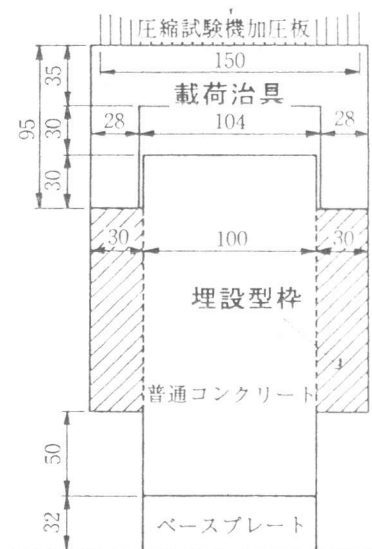


図-2 実験概要図

達耐力は $2.7\text{N/mm}^2$ であり、一度打ちの $3.4\text{N/mm}^2$ に比べて若干小さな値を示したが、道路橋示方書〔2〕に規定されている設計荷重作用時にコンクリートが負担できる平均せん断応力度 ( $0.4\text{N/mm}^2$ ) に対しては十分大きな値であった。

### 4.3 鉄筋引抜実験

埋設型枠と後打ち部の境界面での鉄筋の付着性能を調べるために「ASTM C234」に準拠して行った。試験体は、比較用一度打ちとWタイプの埋設型枠を用いてかぶり厚を変化させた計3種類であり、鉄筋埋込み長は $7.5\phi$ 、試験体数は各3体とした。試験体形状を図-3に示す。

実験結果は表-4に示すとおりであり、全ての試験体において鉄筋が降伏することを確認して実験終了としたが、付着切れによる鉄筋の拔出は無く、実験結果以上の付着性能を有していることが分かった。

### 4.4 梁の曲げ載荷実験

#### (1) 試験体

埋設型枠を使用した梁の部材性能を総合的に評

表-5 試験体諸元

項目	試験体諸元
試験体種類	RC-S(比較用一度打ち) FW-T(Wタイプを引張側に配置) FW-C(Wタイプを圧縮側に配置) FR-T(Rタイプを引張側に配置) FR-C(Rタイプを圧縮側に配置)
引張鉄筋	D19 3本、引張鉄筋比0.84%
引張鉄筋かぶり	49mm
埋設型枠平板部厚さ	30mm
埋設型枠寸法	300mmおよび500mm、接着剤等不使用
後打ち部コンクリート	設計基準強度 $27\text{N/mm}^2$ 、スランブ8cm

価するために行った。試験体は、比較用一度打ちとWタイプ・Rタイプの埋設型枠をそれぞれ圧縮側及び引張側に配置したものの計5種類であり、各1体とした。試験体諸元を表-5に、使用材料の特性値を表-6、7に示す。埋設型枠の寸法は、試験体中央から一方は300mm幅、他方は500mm幅とし、埋設型枠間の目地には接着剤等は一切使用しなかった。試験体の一般図(配筋図)を図-4に示す。

表-3 2面せん断実験結果

	せん断強度( $\text{N/mm}^2$ )				
	①	②	③	平均	
一度打ち	3.1	3.3	3.9	3.4	
Wタイプ	インサートなし	2.6	2.6	2.8	2.7
	インサートあり	2.7	2.9	3.3	3.0
Rタイプ インサートなし	2.9	2.7	2.5	2.7	

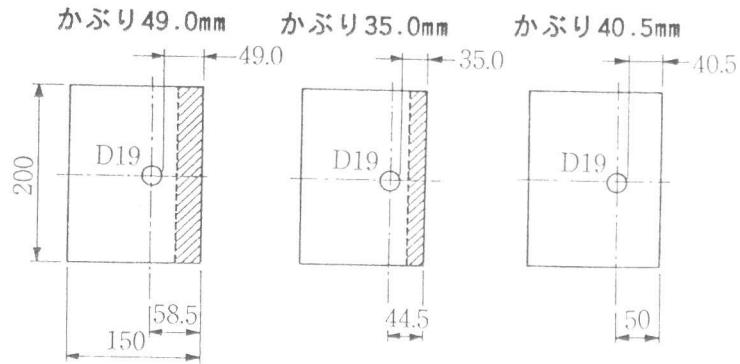


図-3 鉄筋引抜実験試験体形状図

表-4 鉄筋引抜実験結果

	付着強度( $\text{N/mm}^2$ )				
	①	②	③	平均	
一度打ち	22.8	21.5	20.6	21.5	
埋設型枠	鉄筋とのあき 19mm	21.2	21.5	21.4	21.4
	鉄筋とのあき 5mm	21.4	21.6	21.5	21.5

表-6 材料試験結果(コンクリート、モルタル)

	圧縮強度( $\text{N/mm}^2$ )	曲げ強度( $\text{N/mm}^2$ )	弾性係数( $\text{N/mm}^2$ )	
一度打ち	$37^{\ast 1}$	—	28,145	
Wタイプ	埋設型枠	$123^{\ast 2}$	$20^{\ast 2}$	35,800
	後打ち部	$37^{\ast 1}$	—	26,772
Rタイプ	埋設型枠	$112^{\ast 2}$	$20^{\ast 2}$	32,166
	後打ち部	$42^{\ast 1}$	—	30,499

\*1  $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 供試体による。

\*2  $4\text{cm} \times 4\text{cm} \times 16\text{cm}$ 供試体による。

表-7 材料試験結果(鉄筋)

	降伏強度( $\text{N/mm}^2$ )	引張強度( $\text{N/mm}^2$ )
D19 (引張鉄筋)	362	541

試験体打設は、壁構造物を想定し、試験体を横倒しにして側面から行った。

## (2) 実験方法

実験は4点曲げ荷で行い、スパンは2,600mm、等曲げ区間は800mmとした。

荷重は、荷重容量5,000kNの圧縮試験機を用いて行い、一度打ち試験体において求めたひびわれ発生荷重、降伏荷重まで荷重した後一旦除荷し、その後破壊に至るまで単調増加させた。

計測は、梁の変形やコンクリートのひずみ、埋設型枠中央目地目開き量等について行った。

## (3) 実験結果

### ① 変形

図-5に全試験体の荷重-たわみ(スパン中央鉛直変位)曲線の包絡線を示す。

埋設型枠を使用した試験体(以下、埋設型枠試験体)は、全ての試験体において一度打ち試験体とほぼ同様の挙動を示しており、埋設型枠をRC断面の一部として使用しても一度打ち試験体と同程度の曲げ剛性を有していることが分かった。

### ② ひびわれ

図-6に全試験体のひびわれ状況を示す。

等曲げ区間における最終的なひびわれ分散性は、全ての埋設型枠試験体において一度打ち試験体とほぼ同じであった。また、Wタイプ・Rタイプでの違いはみられなかった。

圧縮側に埋設型枠を配置した試験体での等曲げ区間におけるひびわれ分散性は、荷重開始時から破壊に至るまで一度打ち試験体とほぼ同じであった。また、ひびわれは荷重点に対して左右対称に発生しており、

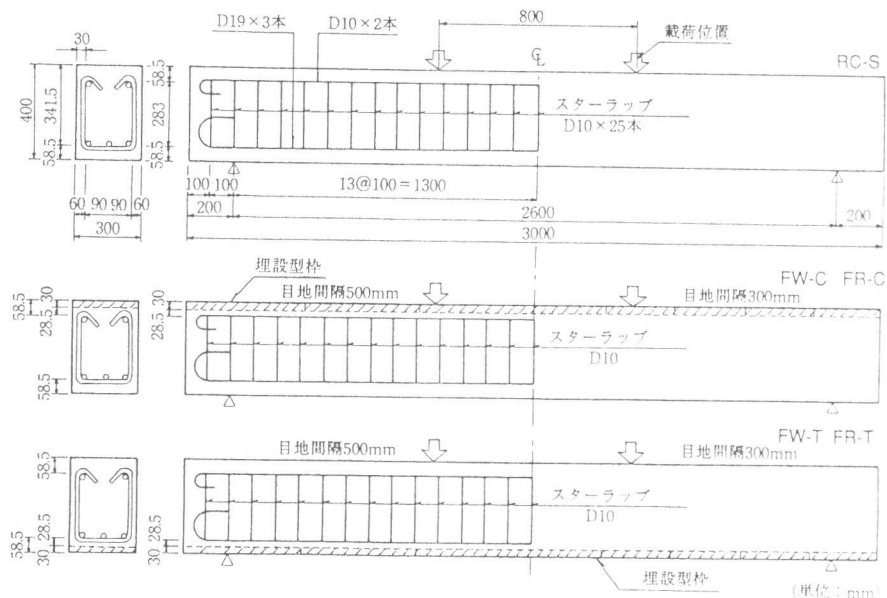


図-4 梁の曲げ荷重実験試験体一般図

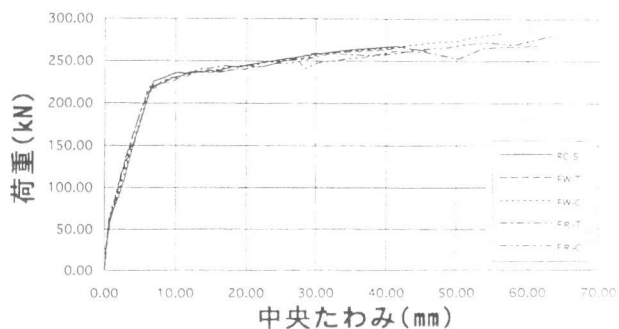


図-5 荷重-たわみ曲線

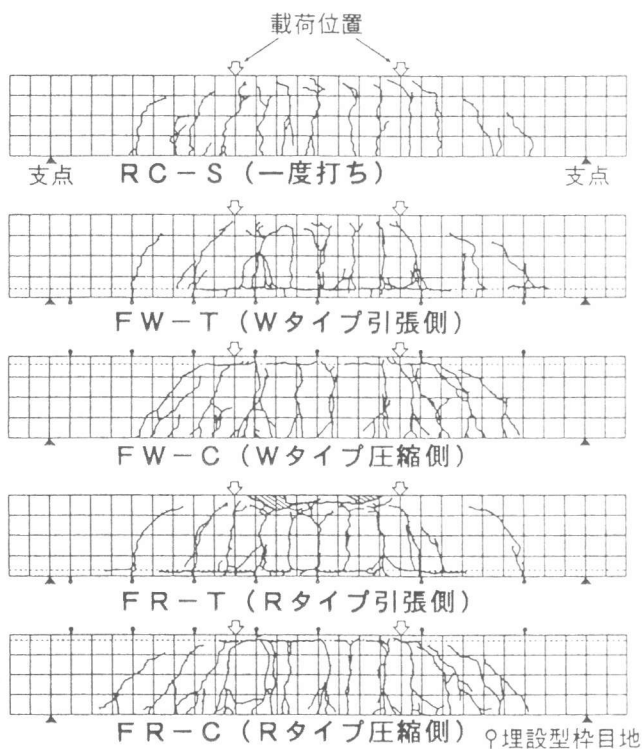


図-6 ひびわれ状況図

埋設型枠の寸法を部材の左右で変えた影響はみられなかった。

引張側に埋設型枠を配置した試験体のひびわれは最初に後打ち部に発生し、埋設型枠でのひびわれは鉄筋の許容応力度レベル（112kN）では認められず、降伏荷重レベル（218kN）で発生を確認した。なお、後打ち部でのひびわれは、鉄筋の許容応力度レベル（112kN）に達するまでは埋設型枠目地近傍にのみ発生し、150kNあたりから目地部以外でも発生した。

### ③埋設型枠目地部開き

図-7に引張側に埋設型枠を配置した試験体の荷重-埋設型枠中央目地部水平開き曲線の包絡線を示す。

本実験では埋設型枠目地部に接着剤等を用いていないため載荷とともに開き量は徐々に増加したが、Wタイプ・Rタイプによる挙動の違いはみられなかった。

鉄筋の許容応力度レベル（112kN）における開き量は、Wタイプ・Rタイプでそれぞれ0.31mm・0.29mmであり、コンクリート標準示方書〔3〕のひびわれ幅算定式による計算結果（0.27mm）とほぼ同じ値であった。

### ④コンクリートひずみ

図-8に全試験体の荷重-圧縮側コンクリートひずみ曲線の包絡線を示す。

引張側に埋設型枠を配置した試験体では、鉄筋の許容応力度レベル（112kN）までは一度打ち試験体とほぼ同様の挙動を示しており、また、Wタイプ・Rタイプによる違いはみられなかった。

圧縮側に埋設型枠を配置した試験体では、ひずみが一度打ち試験体に比べて小さかった。

これは、埋設型枠目地部が完全に密着していなかったために、力の伝達がやや不十分であったためと考えられる。

### ⑤耐力

表-8に、全試験体の降伏荷重及び終局荷重を示す。破壊モードは、全ての試験体において曲げ圧縮破壊であった。

埋設型枠試験体の降伏荷重は、いずれも一度打ち試験体での計算値（214kN）以上であり、一度打ち試験体とほぼ同じであった。

最大荷重は、引張側に埋設型枠を配置した試験体が一度打ち試験体とほぼ

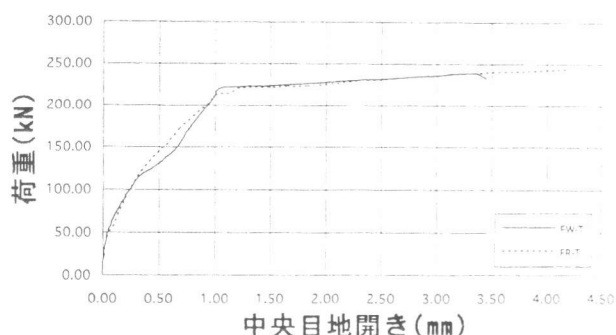


図-7 荷重-目地開き曲線

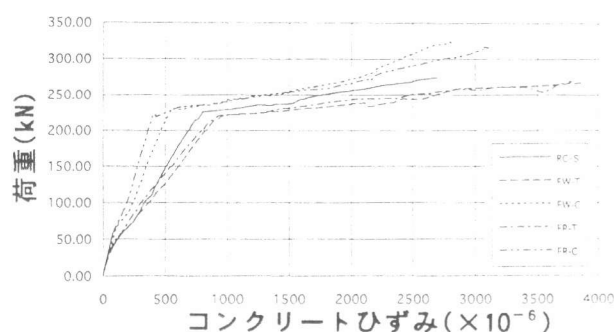


図-8 荷重-圧縮側ひずみ曲線

表-8 梁の曲げ載荷実験結果

	降伏荷重 (kN)	最大荷重 (kN)	埋設型枠ひびわれ 確認荷重 (kN)	破壊 モード
一度打ち	225.55	276.16	—	曲げ圧壊
W-引張側	215.84	267.62	213.78	曲げ圧壊
W-圧縮側	217.12	320.09	—	曲げ圧壊
F-引張側	220.65	269.98	196.13	曲げ圧壊
F-圧縮側	223.10	317.44	—	曲げ圧壊

同程度であったのに対して、圧縮側に埋設型枠を配置した試験体は15%程度大きかった。これは埋設型枠の圧縮強度(110~120N/mm<sup>2</sup>)が後打ち部の圧縮強度(37N/mm<sup>2</sup>)に比べて大きく、圧縮縁コンクリートが圧壊しにくかったことに起因している。

これより、埋設型枠をRC断面の一部として使用しても一度打ち試験体と同程度かそれ以上の曲げ抵抗力を有していることが分かった。

#### 4.5 RC断面の一部としての埋設型枠の適用性について

以上の実験結果をもとに、実構造物の設計における、RC断面の一部としての埋設型枠の適用性について検討を行った。

##### (1) かぶりとしての有効性

表面剥離実験、2面せん断実験で得られた結果は一度打ちコンクリートに比べて若干小さな値を示したが、埋設型枠はインサートを必要量装着することで後打ち部との一体性が確保されることや、鉄筋の付着性能は埋設型枠と鉄筋のあきの大小にかかわらず十分であり、埋設型枠がかぶりの一部としての機能を有していること、及び梁の曲げ載荷実験における埋設型枠のひびわれが鉄筋の許容応力度レベルでは発生しなかったことから、本埋設型枠は、剥落や鉄筋の定着を考慮した場合、一度打ちコンクリートと同等のかぶり性能を有しているといえる。

##### (2) 部材性能

梁の曲げ載荷実験の結果、埋設型枠を使用した梁は一度打ち梁と同程度の曲げ剛性を有していること、降伏荷重は一度打ち梁によって求めた計算値と同程度であり、また一度打ち梁と同程度以上の曲げ抵抗力を有していることから、本埋設型枠を用いた梁を、一度打ち梁と同様の曲げ性能を有している部材として扱って良いといえる。

#### 5. まとめ

普通ポルトランドセメントにエトリングイト系特殊混和材を用いた高強度モルタルを使用した埋設型枠について、後打ち部との一体性を確認する各種要素実験及び梁を用いた部材実験を行った。

その結果、埋設型枠は一度打ちコンクリートと同程度のかぶりとしての性能を有していることや、埋設型枠を用いた梁は一度打ち梁と同程度以上の曲げ性能を有していることが分かり、設計上RC断面の一部として埋設型枠を適用して良いことが確認された。

なお、本報の内容は、電気化学工業(株)と実施した共同研究の成果の一部である。

#### 参考文献

- 1) 岩井稔、万木政弘、玉木俊之、石田秀朗：永久型枠用材料としての高強度モルタルの諸性状  
コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 17, No. 2, pp. 89-94, 1995
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅲコンクリート橋編）・同解説
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書【平成三年版】設計編