

# 論文 柱梁接合部のシース管内通し主筋の付着性状確認実験

杉本 訓祥\*1・増田 安彦\*1・江戸 宏彰\*1

**要旨：**プレキャスト化工法の一つとして、柱梁接合部内通し主筋を予め部材内部に埋設したシース管内に通し、シース管-主筋間をグラウト充填し一体化する手法があるが、主筋とコンクリート躯体の間にシース管とグラウト材が介在することで、在来工法に比べ主筋の付着性状が異なる可能性がある。このような工法を想定して、グラウト充填性を確認するための施工実験を行った。また、接合部内柱主筋を想定したコンクリート供試体の鉄筋引抜き試験を行い、シース管とグラウト材の有無が付着性状に与える影響を検討した。その結果、施工性は良好であること、用いるシース管種類によっては、良好な付着性状が得られることが確認できた。

**キーワード：**プレキャスト, グラウト, 柱梁接合部

## 1. はじめに

筆者らは、RC造建物の省力化施工法の一つとして、柱梁接合部のプレキャスト化(以下 PCa 化と略す)手法についての開発を進めてきた<sup>1), 2)</sup>。本工法では、梁と一体にした接合部 PCa 部材に、柱主筋を後から挿入できるようにシース管を埋込んでおき、上下階の柱をセットして柱主筋を貫通させたあと、シース内および上下階の柱との間の目地部にグラウト材を充填し、上下階の柱と接合部とを一体化する。このとき、柱主筋と躯体コンクリートとの間に、シース管およびグラウト材が介在するために、柱通し主筋の付着特性が、通常の一体打ち接合部材と異なることが予想され、接合部挙動の確認が必要と考えられる。接合部挙動の確認には、本工法による接合部架構の構造実験も必要と考えられるが、柱主筋の付着性状に着目し、その性状に関する基礎的データをを得ることを目的として、要素試験を行うこととした。鉄筋の付着特性に関する実験的研究は、これまでも数多く行われているが(例えば<sup>3), 4), 6), 8)</sup>、在来型の施工法と本工法の直接比較を主な目的として、ここでは、主筋を模擬した鉄筋を埋込んだ無筋コンクリートからの鉄筋引抜き試験を実施することとした<sup>5), 6)</sup>。また、これまでにしている実験<sup>1), 2)</sup>では、コンクリート強度を普通強度としており、高層化に伴うコンクリートの高強度化に対応するため、比較的高強度の範囲を対象として実験を行った。

一方、前述したように、接合部一体化に際してのグラウト充填性を確認するため、接合部上下目地および鉄筋を貫通したシース管を模擬した試験体によるグラウト充填性の確認試験を行った。

本報では、上記接合部 PCa 化工法に関わる施工性および構造性能把握のために行った、施工性確認試験および付着性能確認試験の概要と結果について述べる。

## 2. 工法概要

本報において想定する工法概念図を図-1 に示す。本工法は、梁部材と柱梁接合部を一体として PCa 化し、接合部内の柱通し主筋が貫通する箇所シース管を配置する。下層階柱上部に接合部 PCa を設置し、上階柱建込により柱主筋を挿入し、柱頭目地部とシース管内を同時に、圧入によりグラウト充填し、柱主筋と接合部 PCa とを一体化する。

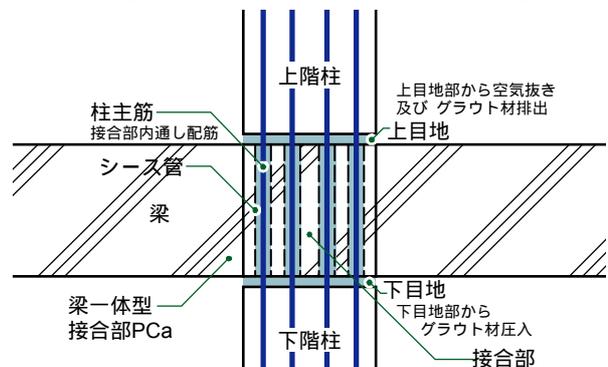


図-1 工法概念図

\*1 (株)大林組 技術研究所 (正会員)

### 3. 施工性確認試験

#### 3.1 実験概要

施工実験用試験体の形状・寸法を図-2 に示す。施工実験は、実物大接合部 PCa 部材内を想定し、シース管を模擬したアクリルパイプ(内径 60mm)と、柱目地に相当する上下の目地部(目地厚さ 15mm)からなる。また、アクリルパイプ内には実施工を想定して主筋(D41)を挿入し、固定した。グラウト材は、プレミックスタイプの無収縮モルタルを使用し、ポンプによる圧入とした。下目地部から圧入を開始し、アクリルパイプ内が充填された後、上目地部に充填されて完了する。上目地部には、空気抜き兼グラウト材排出口を設けており、グラウト材の 5秒以上の排出により充填完了と判断する。本施工実験では、上下目地にアクリル版を用い、シース管のかわりにアクリルパイプを用いており、それぞれグラウト材充填状況を目視により確認する。

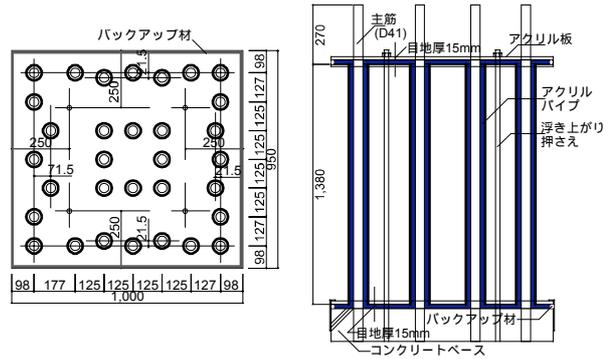


図-2 試験体形状



写真-1 下目地充填状況



写真-2 シース内充填状況



写真-3 上目地充填状況

#### 3.2 実験結果(圧入状況)

グラウト材のフレッシュ性状を表-1 に示す。また、実験経過状況を写真-1~3 に示す。

アクリルパイプ内は、ほぼ均等に充填が進んだ。

下目地の隅角部は4隅には圧入中に空気溜りが確認されたが、アクリルパイプ内の圧入高さが 30cm を超えた時点で空気溜りはすべて解消された。一方、上目地の隅角部は、排出口からグラウト材が排出された時点で1個所に空気溜りが確認されたが、5 秒間排出を続けた後、空気溜りは解消された。また、上目地には、水溜まり(実験前日の雨水の残留による)が3個所(1cm<sup>2</sup> 程度が1個所、2cm<sup>2</sup> 程度が2個所)確認され、実験終了まで解消されなかった。実施工においては、雨水の流入を防ぐ養生や、排出できるような排出口を別途設ける必要があると考えられる。

表-1 使用材料のフレッシュ性状

天気/気温	くもり/28℃
水温/材温度	23℃/28℃
練上り温度	29℃(管理値:5~40℃)
フロー [mm]	255×260(管理値:250~350)

#### 4. 付着性状確認試験

##### 4.1 供試体概要

供試体諸元を表-2 に、供試体形状・寸法を図-3 に示す。供試体は実物大を想定して計画した。表には、試験時に実施したコンクリートおよびグラウトの圧縮強度試験結果も併せて示した。

供試体は同一条件のものを3体用意し、合計8条件 24 体とした。パラメータはシース管種類およびコンクリート、グラウト強度として2シリーズ計画した。シリーズIはシース管に標準型(#1060:リブが低く、少ないタイプ)を用い、主筋は D41(SD490)とし、コンクリート強度を3種、グラウト強度を1種とした。シリーズIIはシース管にWSタイプ(#3060:リブが高く、多いタイプ)を用い、主筋は同じく D41(SD490)とした。コンクリート強度は1種、グラウト強度を2種とした。各シリーズとも、比較用基準供試体(シース管無しとした供試体)を同時に製作した。また、全供試体とも、ばらつきを考慮して同一条件のものを3体用意した。シース管径は主筋径の 1.5 倍となるよう内径  $\phi 60\text{mm}$  とした。

文献<sup>5), 6)</sup>の手法を参考に、コンクリートは一辺の長さが主筋径の約6倍(=250mm)の立方体とした。いずれの供試体も、鉄筋とコンクリートまたはグラウト間に、載荷面の支圧により拘束力が作用する影響を少なくするため、載荷面から  $2d_b$ (=85mm,  $d_b$ : 主筋径)の領域はバックアップ材(スチレンペーパー)をビニールテープで巻付け非付着区間とした。

使用したシース管の形状を図-3 に示す。シリーズIでは、リブ高さが 1.5mm でピッチも粗い標準型シースを用い、シリーズIIでは、リブ高さ 2.5mm でピ

ッチが細かいWSタイプを用いた。

供試体の製作は、以下の手順により行った。すなわち、型枠中央に、鉄筋またはシース管を鉛直に立てて固定し、コンクリートを打設した。コンクリート打設後、シース管内に鉄筋を鉛直に固定し、シース管鉄筋間のグラウト材として、モルタルを上部からの流し込みにより充填した。グラウト充填は、コンクリート打設 5 日~13 日後に行った。

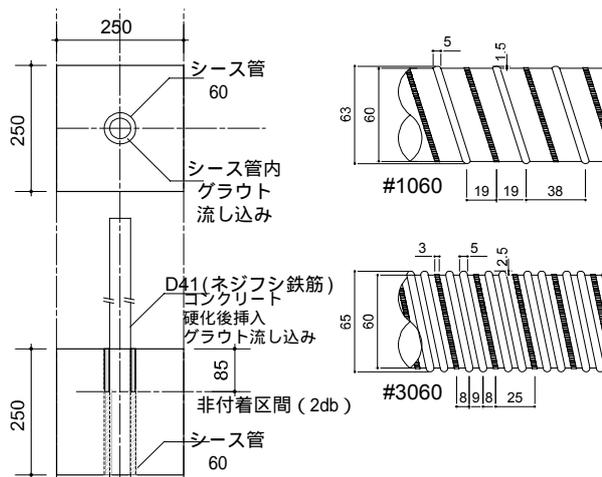


図-3 供試体およびシース管形状



写真-4 加力状況

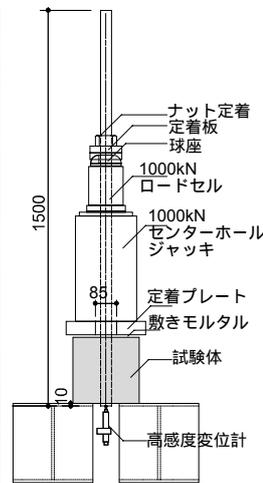


図-4 加力装置図

表-2 供試体一覧

供試体名	I-4800	I-6000	I-6012	I-1200	I-1212	II-6000	II-6080	II-6010
$F_{C1}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	54.6	88.2		131.7		78.3		61.0
$E_{C1} \times 10^4$ [N/mm <sup>2</sup> ]	3.55	5.01		4.91		4.48		3.63
$F_{C2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]			120.5		120.5		72.9	108.6
シース管	無		#1060	無	#1060	無	#3060	
個数	各 3 体							

$F_{C1}$ :コンクリート強度,  
 $E_{C1}$ :コンクリートヤング係数,  
 $F_{C2}$ :グラウト強度

供試体名の凡例:シリーズII, コンクリート 60N/mm<sup>2</sup>, グラウト 100N/mm<sup>2</sup> の例  
 II-6010→グラウト目標強度(10は 100N/mm<sup>2</sup>, 80, 100, 120 の3水準。実強度は表中  $F_{C2}$  参照)  
 ↳コンクリート目標強度(60は 60N/mm<sup>2</sup>, 48, 60, 120 の3水準。実強度は表中  $F_{C1}$  参照)  
 ↳試験シリーズ

## 4.2 加力および測定方法

加力状況を写真-4 に、加力装置図を図-4 に示す。コンクリート上面の定着プレートを介してセンターホールジャッキおよびロードセルをセットし、ナットにより定着した鉄筋端部をジャッキにより押すことで、鉄筋をコンクリートから引抜く加力方法とした。また、架台に取り付けた高感度変位計を用いて、鉄筋自由端部の鉛直変位を測定し、相対拔出し変位とした。加力は、一方向漸増増載荷とし、鉄筋が引き抜けて、荷重が低下するまで行った。

## 4.3 実験結果および結果の検討

最大耐力一覧を表-3 に示す。試験後の供試体の破壊状況例を写真-5 に示す。

### (1) 破壊性状

いずれの供試体も、相対拔出し変位 0.1mm に至るまでに剛性が低下し、その後急激に拔出すとともに、コンクリートが割れて荷重が低下した。最終的には、コンクリートの主筋に沿った縦方向の割裂面が開いて鉄筋または鉄筋とシース管が一体となって試験体から拔出す破壊となった(写真-5(a))。

シース管を使用した供試体は、Iシリーズ(I-6012, I-1212)では鉄筋とグラウトは一体となり、グラウトとシース管内面との界面で滑り出していた(写真-5(c))が、IIシリーズ(II-6080, II-6010)では鉄筋がグラウトから拔出した(写真-5(b), (d))。

これらのことから、リブの少ない標準型のシース管では、シース管内面の付着強度が小さく、在来型の鉄筋-コンクリート間の付着強度以上の付着力を確保することが困難で、周面のすべりにより破壊するが、リブの多い WS タイプであれば、在来型と同程度以上の性能を確保できると判断できる。

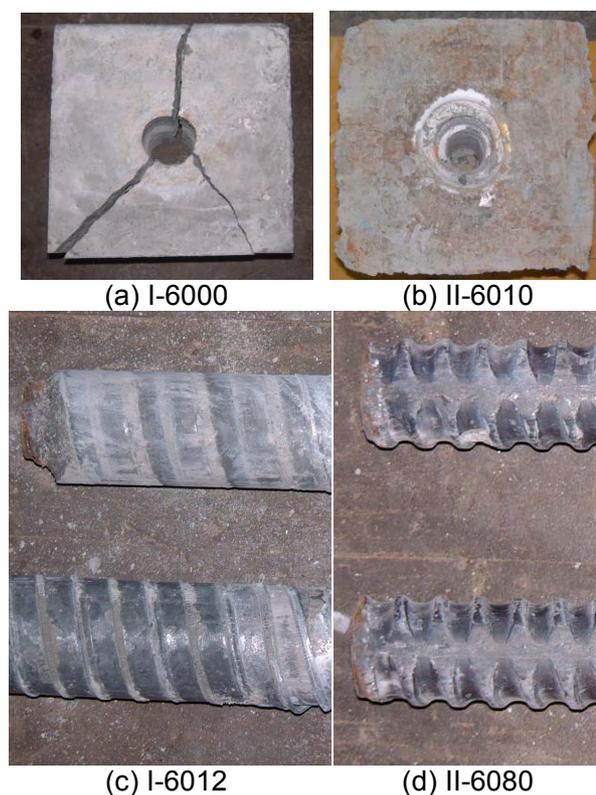


写真-5 供試体破壊状況の例

表-3 実験結果一覧

供試体名	I-4800	I-6000	I-6012	I-1200	I-1212	II-6000	II-6080	II-6010
最大荷重 [kN]	435	490	370	596	385	531	550	612
	406	551	387	582	383	522	604	529
	404	511	387	561	364	553	668	612
平均値 [kN]	415	517	381	580	377	535	608	584
鉄筋周面付着応力度 <sup>*1)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	19.35	24.1	17.8	27.0	17.6	25.0	28.3	27.2
シース周面付着応力度 <sup>*2)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	—	—	12.3	—	12.1	—	19.5	18.8
破壊モード <sup>*3)</sup>	SC	SC	GS	SC	GS	SC	SG	SG

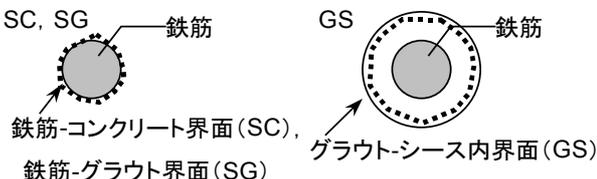
\*1) 鉄筋周面付着応力度:

周長  $\phi$  : 130mm (D41)  
付着長さ  $L$  : 165mm (D41)

\*2) シース管周面付着応力度:

周長  $\phi$  : 188mm ( $\phi$  60)  
付着長さ  $L$  : 165mm ( $\phi$  60)

\*3) 破壊モード: SC, SG



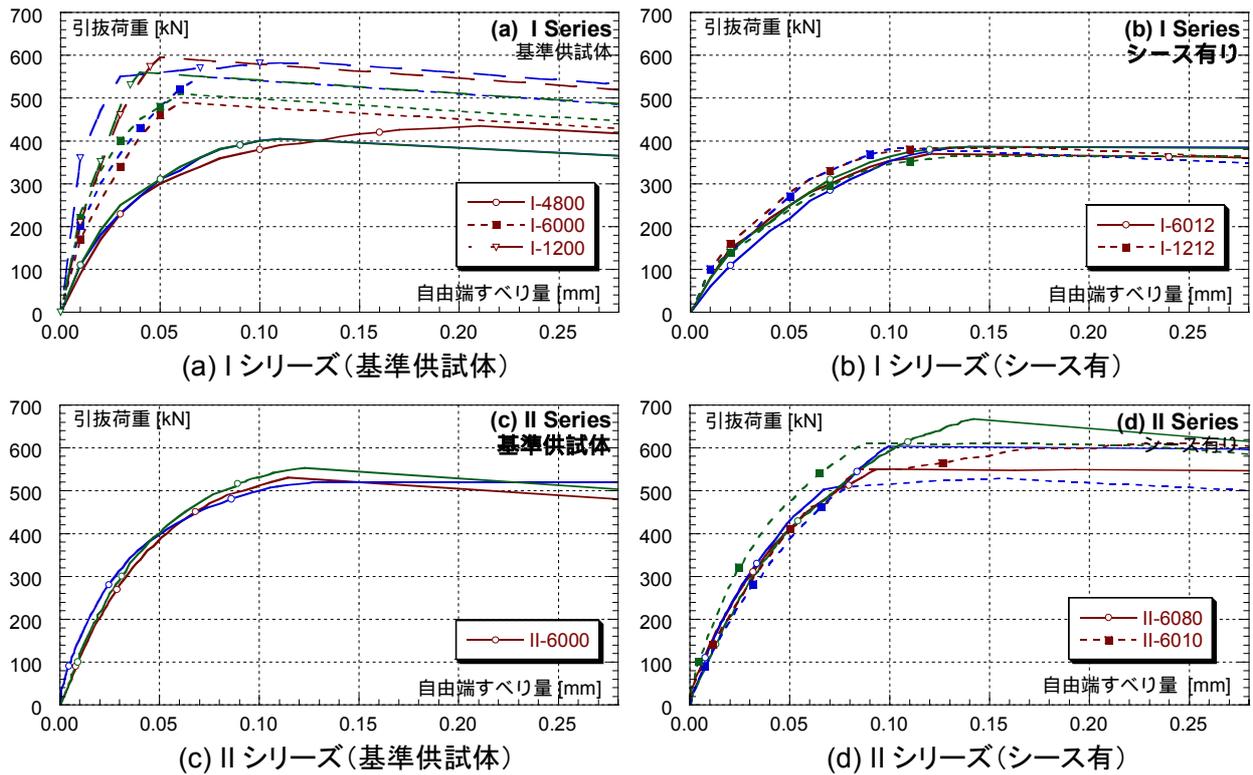


図-5 荷重-変位関係

## (2) 荷重-変位関係

各供試体の荷重-変位関係を図-5 に示す。

シリーズ I では、4800 に比べ、6000、1200 の方が初期剛性が高くなっており、コンクリートのヤング係数の影響と考えられる。一方、シース管を介した供試体では、コンクリート強度によらず同様の荷重-変形関係を示し、また、基準供試体に比べ最大耐力が小さいことから、シース管-グラウト間が破壊要因となっていることが推測される。

一方、シリーズ II では、シース管の有無に関わらず、耐力・剛性に有意差はない。破壊状況と併せ、これらのことから、WS タイプのシース管を用いた場合は鉄筋-グラウト間の強度により耐力が決定していると考えられる。

## (3) 既往文献の付着強度式<sup>6)</sup>

ここでは、既往の提案式の適用性を検討する。

基準供試体の最大付着応力度実験値補正值 ( $\tau_{\max, \text{mod}}$ ) の付着強度に対する比 (実験値の計算値に対する比に相当) をコンクリート強度との関係にして図-6 に示す。 $\tau_{\max, \text{mod}}$  (実験値) 及び  $\tau_{ou}$  (計算値) は文献<sup>6)</sup> に従い、それぞれ次式により算出した。

図には、既往文献<sup>3), 6)</sup> の実験結果もあわせて示す。式(1)は、文献<sup>6)</sup> によれば、コンクリート強度によ

らず一定となるように実験値を補正する式であるが、本報および文献<sup>3)</sup> の実験範囲の  $\sigma_B \geq 50 \text{ N/mm}^2$  に対して、コンクリート強度が高いほど実験値 (式(1)) の計算値 (式(2)) に対する比が小さくなる傾向があり、コンクリート強度が大きいほど補正した実験値が計算値と対応しなくなっている。

$$\tau_{\max, \text{mod}} = \alpha \cdot \frac{P_{\max}}{\phi \cdot L} \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 $\tau_{\max, \text{mod}}$ : 最大付着強度実験値補正值 [N/mm<sup>2</sup>],  
 $\alpha$ : 補正係数 (=  $30/\sigma_B$ )

$$\tau_{ou} = \gamma \cdot \sigma_{tu} \cdot \tan \theta \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 $\tau_{ou}$ : 割裂き付着強度 [N/mm<sup>2</sup>],  $\sigma_{tu}$ : コンクリートの引張強度 (=  $1.8 \cdot 0.33 \sqrt{\sigma_B}$ ,  $\sigma_B$ : コンクリートまたはグラウト強度) [N/mm<sup>2</sup>],  $\theta$ : ふし側面の傾斜角 (=  $45^\circ$ ),  $\gamma = c/d_b$  (= 2.5,  $c$ : かぶり厚さ,  $d_b$ : 鉄筋径)

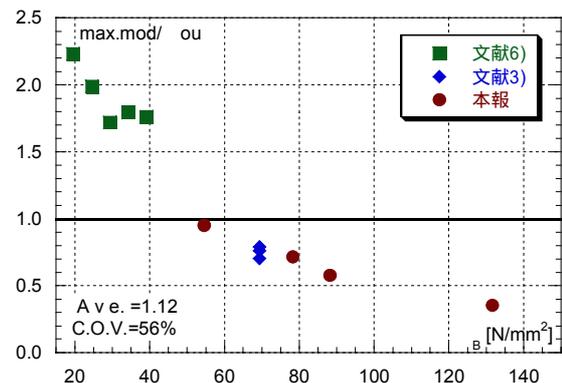


図-6 実験値 ( $\tau_{\max, \text{mod}}$ ) の付着強度 ( $\tau_{ou}$ ) に対する比

#### (4) 付着強度とコンクリート強度

次に、基準供試体の最大付着応力度実験値 ( $\tau_{max}$ ) とコンクリート強度 ( $\sigma_B$ ) の関係を図-7 に示す。ここで、最大付着応力度実験値は式(3)により求めた。図には、式(4)による付着強度指標値 ( $\tau_i$ ) もあわせて示した。式(4)は、付着強度が  $\sigma_B$  の 2/3 乗に比例するとの指摘<sup>7), 8)</sup> から、ここでは指標として示した。 $\tau_{max}$ - $\sigma_B$  関係は、式(4)による指標値と明瞭な比例関係にはないものの、比較的良好に対応している。

$$\tau_{max} = \frac{P_{max}}{\phi \cdot L} \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 $\tau_{max}$ : 最大付着応力度実験値[N/mm<sup>2</sup>],  
 $P_{max}$ : 最大引抜き荷重[N],  $\phi$ : 鉄筋またはシース管の周長[mm],  $L$ : 付着長さ[mm] (L=165mm)

$$\tau_i = \sigma_B^{0.667} \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 $\tau_i$ : 付着強度指標値[N/mm<sup>2</sup>],  $\sigma_B$ : コンクリートまたはグラウト強度[N/mm<sup>2</sup>]

次に、シース管内面で破壊した供試体も含めて  $\tau_{max}/\tau_i$  を図-8 に示す。 $\sigma_B$  が大きくなるにつれ、余裕度が小さくなるものの、低強度から高強度の全試験範囲にわたり比較的ばらつきは小さい(変動係数 15%)。さらに、シース管内面で破壊した標準型シースを用いた供試体は、実験値が計算値を大きく下回っている。シース内面の付着強度は、I-6012, I-1212 の結果によれば、鉄筋-コンクリート間の付着強度(基準供試体 I-1200 の実験値)の 5 割弱程度と小さくなっているものの、本報の実験範囲ではデータが十分とはいえず、今後の実験データの蓄積を待って考察を進める必要がある。

#### 5. まとめ

接合部 PCa 化を想定し、シース管およびグラウトの影響を確認するため、グラウト充填の施工性確認試験と鉄筋引抜きによる付着性能確認試験を行い、以下の知見を得た。

- 1) アクリル製の試験体を用いた実大施工実験では、グラウト充填性は良好であることが確認できた。
- 2) WS タイプシースを用いた場合、鉄筋-グラウト間で破壊し、基準供試体と同等の耐力を有していた。さらに、これら鉄筋-コンクリートまたはグラウト間の付着強度は、コンクリート強度の 2/3 乗の値に

関連する傾向が見られた。

- 3) 標準型シースを用いた場合、シース管内面ですべり、基準供試体より低い荷重で破壊した。この場合の付着強度は、鉄筋とコンクリート間の付着強度の 5 割弱程度であった。

謝辞: 東京鉄鋼株式会社殿には、グラウト注入に関して、適切な助言ならびにご協力をいただきました。ここに厚く謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 武田寿一, 吉岡研三, 関根正孝: 柱・はり接合部 PC 化工法を用いた高層 RC 建築物の開発(その2. 柱主筋の引抜き実験), 大林組技術研究所報, No.35, pp.108-112, 1987
- 2) 吉岡研三: OHRC システム-PG コネクションを採用したマンション, 建築技術, pp.86-91, 1992.05
- 3) 真田暁子, 丸田誠: PC 鋼材種とグラウト種類が付着強度に及ぼす影響, 日本建築学会学術講演梗概集, C-2, pp.571-572, 2003.9
- 4) 玉井真一, 増田芳久: コンクリート中にグラウトにより定着された鉄筋の付着特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.2, pp.1207-1212, 1995
- 5) 村田二郎: 引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強度試験方法(案), コンクリート工学, Vol.23, No.3, pp.8-11, 1985.3
- 6) 村田二郎, 河合紘茲: 引抜き試験による異形鉄筋の付着強度に関する研究, 土木学会論文集, No.348, pp.113-122, 1984.8
- 7) 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型設計指針・同解説, 日本建築学会, 1997
- 8) 山尾芳秀, 周礼良, 二羽淳一郎: 付着応力-すべり関係に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, No.343, pp.219-228, 1984.3

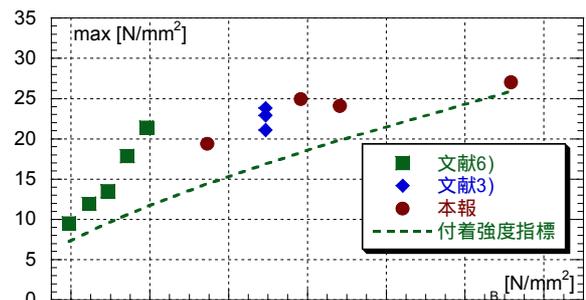


図-7 実験値とコンクリート強度の関係

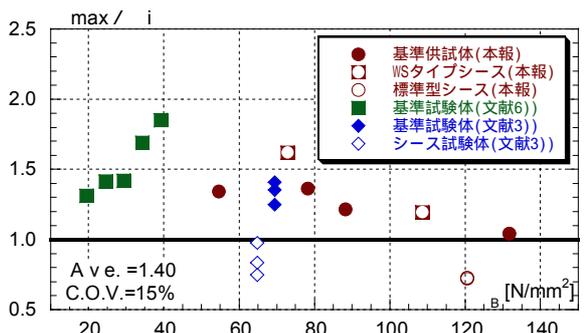


図-8 実験値( $\tau_{max}$ )の計算値( $\tau_i$ )に対する比