プレキャスト柱梁接合部におけるシース管内通し柱主筋の付着性状確認実験

Pull-out Tests to Confirm the Bond Characteristics of Column Longitudinal Bars Passing Through a Sheath in Precast RC Beam-Column Joints

R&Dセンター	古澤　護	MAMORU FURUSAWA
R&Dセンター	松永　健太郎	KENTARO MATSUNAGA
R&Dセンター	新上　浩	HIROSHI SHINJO
R&Dセンター	田野　健治	KENJI TANO
建築技術部	平野　秀和	HIDEKAZU HIRANO
建築技術部	甲田　輝久	TERUHISA KODA

柱梁接合部プレキャスト部材におけるシース管を含めた鉄筋の配筋納まりの改善を目的として，従来よりも内径を 5mm 縮小した内径 55mm の柱シース管に D41 および D38 鉄筋を後挿入した鉄筋引抜き実験を実施して付着性状を確認した。実験変数はコンクリート圧縮強度および鉄筋径とした。その結果，内径 55mm シース管に D41 および D38 の鉄筋を後挿入してグラウトを充填した場合においても，鉄筋貫通孔を有さない一体打ちとしたものと比較して最大付着応力度については同等以上の値を示すことを確認した。

キーワード：プレキャスト，付着性状，シース管，柱主筋，グラウト

This paper discusses the results of pull-out tests conducted to improve the arrangement of the sheath and reinforcement in precast RC beam-column joints. The bond characteristics of column longitudinal bars passing through a sheath with an inner diameter of 55mm, which is 5mm less than the current construction standards, were confirmed. It was verified that the bond strength achieved by installing D41 and D38 longitudinal bars through the sheath and grouting was equal to or greater than that of traditional cast in place reinforced concrete beam-column joints.

Key Words: Precast, Bond characteristics, Sheath, Column longitudinal bars, Grout

1．はじめに

鉄筋コンクリート造建物の施工省力化を目的として，プレキャスト（以下，PCa）工法の適用が推進されている。柱梁接合部を PCa 化する場合，柱梁接合部 PCa 部材に柱部材および梁部材の主筋を貫通させるための鉛直および水平貫通孔をシース管により設けることがあるため（**図-1**），主筋やせん断補強筋を含めて柱梁接合部内の配筋が輻輳し過密な状態となる場合がある。過密化された柱梁接合部では，コンクリートの打設不良が生じることがあり PCa 部材の品質に悪影響を及ぼす。そこで，シース管を小径化することで過密な配筋状態を改善し PCa 部材の製造難度を低減できる可能性がある。しかし，小径シース管とそれを貫通する主筋の間のクリアランス

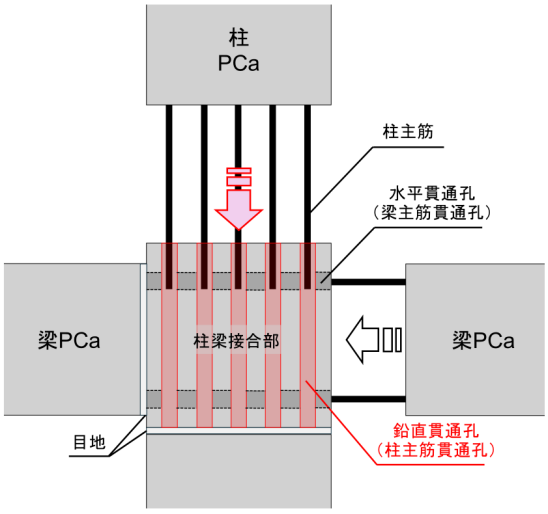


図-1　鉛直および水平貫通孔を有する接合部 PCa 部材

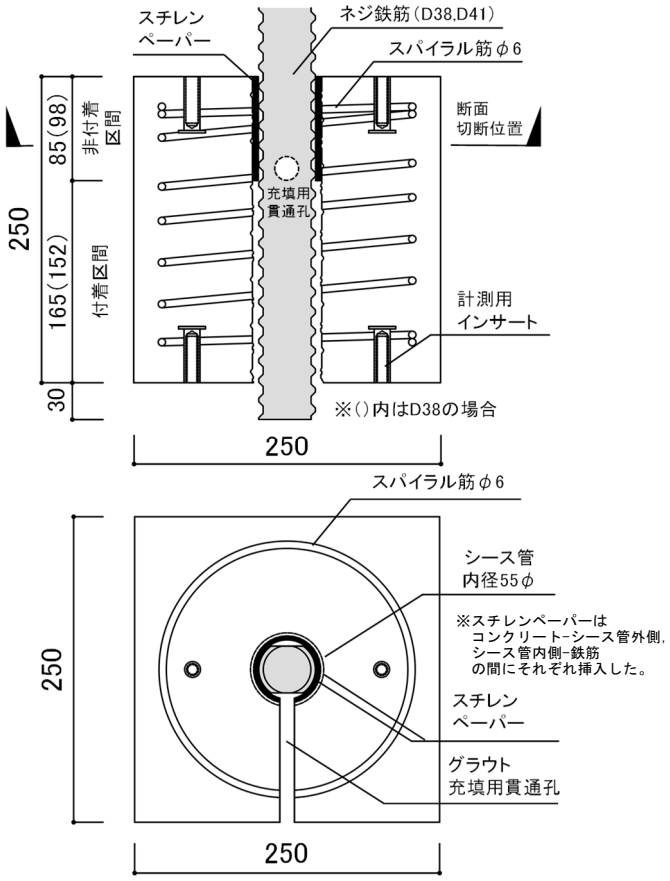


図-2　試験体の寸法形状（寸法：mm）

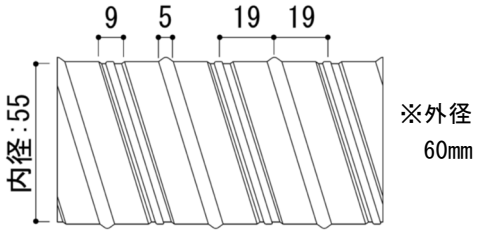


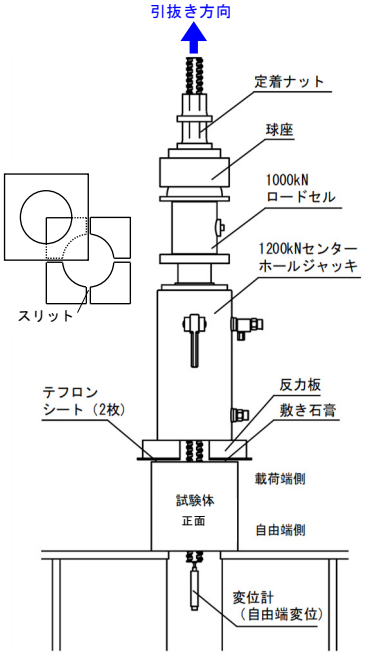
図-3　シース管（寸法：mm）

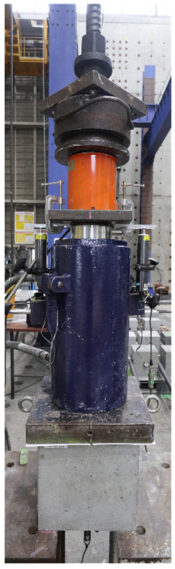
表-1　コンクリートおよびグラウトの材料試験結果

試験体名	コンクリート [N/mm²]			グラウト [N/mm²]		
	σ_B	E_c※1	σ_t	σ_B	E_c※1	σ_t
D41-03/12	34.6	26000	3.19	121	40600	7.21
D41-06/12	62.2	31800	4.48	112	39000	5.41
D41-09/12	86.5	35500	4.60	116	39300	6.68
D41-12/12	122.7	38300	4.04	115	39200	6.84
D38-03/12	35.0	26100	3.00	119	39600	6.60
D38-06/12	62.2	31800	4.48	112	39000	5.41

σ_B：圧縮強度，E_c：ヤング係数，σ_t：割裂引張強度
※1　1/3 割線剛性の値

試験体名の凡例　D○○-□□/△△
○○：鉄筋の呼び名　D41，D38
□□：コンクリート圧縮強度　03…30N/mm²，06…60N/mm²，09…90N/mm²，12…120N/mm²
△△：グラウト圧縮強度　12…120N/mm²





セットアップ状況

図-4　載荷装置および変位計測

が小さくなるため，シース管内に充填されるグラウト量が減少し主筋の付着性状に影響を及ぼすことが懸念される。そこで本報告では，鉛直貫通孔の小径化を想定して，既往の研究[1),2)]よりも内径を 5mm 縮小した内径 55mm のシース管に D41 および D38 の鉄筋を貫通させた後にグラウトを充填した試験体を製作して鉄筋引抜き実験を実施し，文献 2)に示される現場打ちを模擬したコンクリートに対して直接鉄筋を埋め込んだ試験体（以下，単体引抜き試験体）を用いた鉄筋引抜き実験の実験結果と比較することで，内径 55mm のシース管を用いた場合の付着性状が現場打ちと同等以上であるかを確認した。

2．実験計画

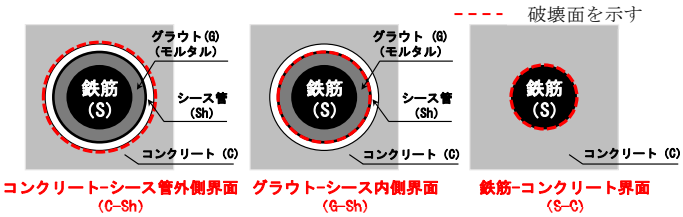
（1）試験体

試験体の寸法形状を**図-2** に，シース管を**図-3** に，コンクリートおよびグラウトの材料試験結果を**表-1** にそれぞれ示す。試験体は平均付着応力度のばらつきを考慮して，実験変数ごとに 3 体製作した。試験体の形状やコンクリートの補強を目的とするスパイラル筋の配置は，文献 3)および 4)を参考に決定した。試験体は 1 辺が鉄筋径（D41）の約 6 倍である 250mm のコンクリートブロックであり，シース管で形成した貫通孔に鉄筋を後挿入してシース管内にグラウトを充填している。使用したシース管，グラウトおよび鉄筋の鋼種（USD685）は全試験体で共通とした。$4d$（d：鉄筋の呼び径）の区間を付着区間として，残りの区間はスチレンペーパーにより各構成部材間の縁を切り非付着区間とした。なお，本実験では柱梁接合部内の鉛直貫通孔を想定しているため，シース管内に鉄筋を鉛直に固定した状態でグラウトを充填した。その際，**図-2** の状態から上下を反転させた状態で非付着区間内に設けたグラウト充填用の貫通孔からハン

表-2　実験結果一覧

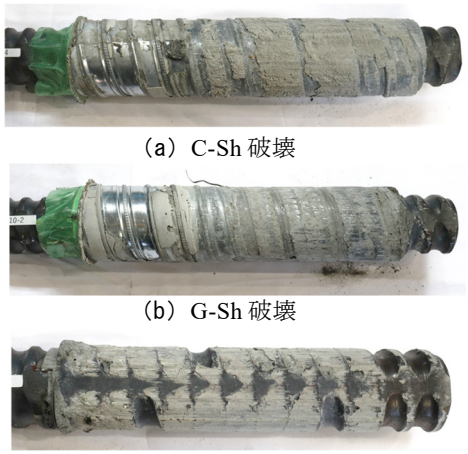
試験体名（-以降は試験体番号）				D41-03/12	D41-06/12	D41-09/12	D41-12/12	D38-03/12	D38-06/12
最大荷重時	荷重	P_{max}[kN]	-1	309.3	462.0	592.3	564.3	308.0	493.3
			-2	318.0	519.0	576.7	572.3	308.0	476.3
			-3	358.0	494.0	520.3 *1	548.3	317.3	464.3
	変位	S_{max}[mm]	-1	1.38	0.42	0.38	0.21	1.59	0.47
			-2	3.15	0.42	0.31	0.26	1.39	0.57
			-3	4.29	0.41	0.63 *1	0.24	4.11	0.72
	平均付着応力度（鉄筋周面）	τ_{max} [N/mm^2]	-1	14.4	21.5	27.6	26.3	16.9	27.0
			-2	14.8	24.2	26.9	26.7	16.9	26.1
			-3	16.7	23.0	24.3 *1	25.6	17.4	25.5
		平均値		15.3	22.9	27.3 *2	26.2	17.1	26.2
最終破壊状況 *3			-1	C-Sh,G-Sh	G-Sh,C-Sh	G-Sh	G-Sh	C-Sh	G-Sh,C-Sh
			-2	C-Sh,G-Sh	G-Sh	G-Sh	G-Sh	C-Sh,G-Sh	G-Sh,C-Sh
			-3	C-Sh,G-Sh	G-Sh	G-Sh*1	G-Sh	C-Sh,G-Sh	G-Sh,C-Sh

*1…D41-09/12-3 は試験体製作不良のため，参考データとして記載した。
*2…D41-09/12 の鉄筋周面の付着応力度の平均値は D41-09/12-3 を除く 2 体の平均値とした。
*3…鉄筋の軸方向に 2 通りの破壊が見られた試験体については併記した。また，本載荷の終了後に鉄筋を引き抜いて判定したため，最大荷重以降における荷重低下の直接的な要因を示していない可能性がある。



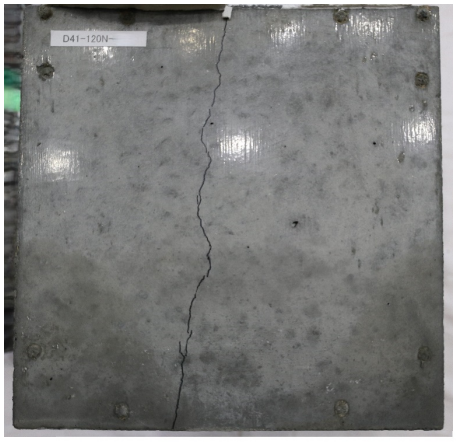
（a）C-Sh　（b）G-Sh　（c）S-C

図-5　破壊形式



（a）C-Sh 破壊　（b）G-Sh 破壊　（c）S-C 破壊

写真-1　破壊状況の例（鉄筋引き抜き後）



※ひび割れ発生位置にマジックでなぞり書きしている

写真-2　縦方向割裂ひび割れ（D41-12/12 試験体正面）

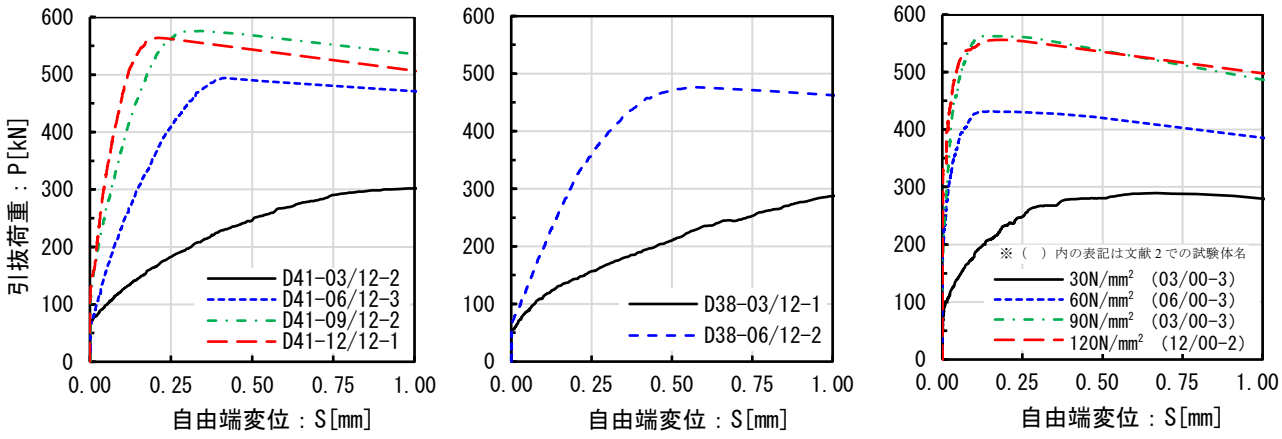
ドポンプにより下から上へグラウトを圧入した。実験変数はコンクリートの圧縮強度と挿入する鉄筋の径とした。鉄筋を D41 とした試験体ではコンクリートの圧縮強度を 30，60，90 および 120N/mm^2 の 4 水準，鉄筋を D38 とした試験体では 30 および 60N/mm^2 の 2 水準を設定した。

（2）載荷・計測

載荷装置および変位計測を**図-4** に示す。載荷は，鉄筋端部に取り付けた定着ナットをセンターホールジャッキにより上方へ押して鉄筋をコンクリートから引き抜く一方向単調載荷とした。この際にジャッキの反力により生じる摩擦がコンクリートの割裂を拘束することを低減させるため，反力板と試験体上面の間にテフロンシートを 2 枚（試験体側の 1 枚は 4 枚割り）挿入した。計測項目は，引抜荷重 P および鉄筋自由端部とコンクリート底面の相対変位 S である。引抜荷重はセンターホールジャッキの上部に取り付けた 1000kN ロードセルにより計測した。鉄筋自由端部とコンクリート底面の相対変位は，自由端側のコンクリート底面に埋設したインサートを介して取り付けた高感度変位計により計測を行った。

3．実験結果

実験結果一覧を**表-2**，破壊形式を**図-5** にそれぞれ示す。破壊形式の記号は，コンクリートとシース管外側での付着破壊を C-Sh，グラウトとシース管内側での付着破壊を G-Sh，鉄筋とコンクリート界面での付着破壊を S-C とした。



（a）内径 55mm シース管＋D41　　（b）内径 55mm シース管＋D38　　（c）単体引抜き実験　D41

図-6　引抜荷重-自由端変位関係

（１）破壊状況

シース管を有する試験体では，最大荷重に至るまでに徐々に剛性が低下し，鉄筋がシース管と一体になった状態もしくはグラウトが鉄筋に付着した状態（**写真-1** (a) C-Sh 破壊もしくは (b) G-Sh 破壊 参照）で抜け出しが生じて荷重が低下した。また，コンクリートブロックの側面に縦方向の割裂ひび割れ（**写真-2** 参照）が最大引抜荷重到達とほぼ同時に生じた。

破壊形式については，コンクリートの圧縮強度により異なる傾向を示した。今回の実験の範囲では，コンクリートの圧縮強度が 30N/mm² 程度の場合にはコンクリートとシース管外側の界面での付着破壊（C-Sh），60N/mm² 以上の場合にはグラウトとシース管内側の界面での付着破壊（G-Sh）が生じる傾向が見受けられた。コンクリートの圧縮強度が 30N/mm² と 60N/mm² の試験体では，これらの複合的な破壊となる場合も存在した。

（２）荷重-変形関係

代表的な試験体の引抜荷重-自由端変位関係を**図-6** に示す。**図-6**（a）および（b）はシース管を有する試験体，（c）は単体引抜き試験体のものである。各 3 体の試験体のうち，最大引抜荷重が中央値となったものを代表的な試験体として選出した。なお，比較対象とする単体引抜き試験体の実験結果および材料特性については文献 2)を参照した。シース管を有する試験体のうち，コンクリートの圧縮強度が同一で，鉄筋径が異なる試験体を比較すると，今回の実験の範囲内ではほぼ同程度の最大荷重を示した。シース管を有する試験体の最大引抜荷重時における自由端変位 S_{max} は単体引抜き試験体よりも大きな値を示した。

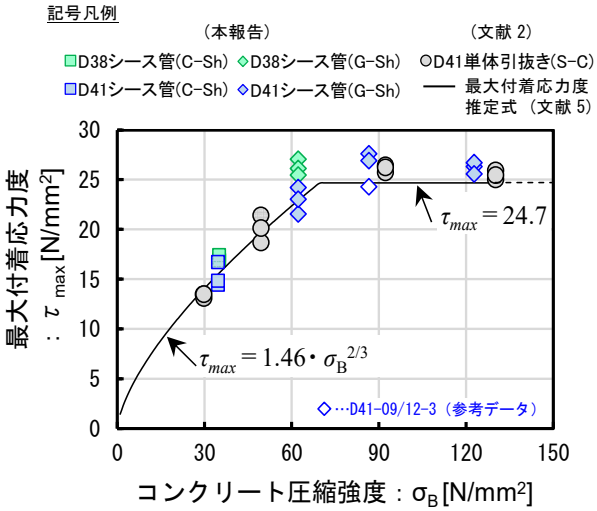


図-7　最大付着応力度-コンクリート圧縮強度関係

（３）付着強度とコンクリートの圧縮強度の関係

各試験体の最大平均付着応力度(τ_{max})とコンクリートの圧縮強度の関係を**図-7** に示す。τ_{max} は式(1)により算出した。

$$\tau_{max} = P_{max} / (\varphi \cdot L) \qquad (1)$$

ここで，φ：鉄筋の周長[mm]（D38：120，D41：130）

L：付着長さ[mm]（D38：152，D41：165）

なお，**図-7** に示す実験結果は，ばらつきを考慮して実験変数ごとに各 3 体のデータを示した。

シース管を有する試験体の τ_{max} はコンクリート圧縮強度がほぼ同程度の単体引抜き試験体の τ_{max} と同等以上の値を示した。シース管の有無にかかわらず，コンクリートの圧縮強度が 90N/mm² 程度まではコンクリートの圧縮強度の上昇とともに τ_{max} も増大するが，それ以降は頭打ちとなる傾向が見られる。この傾向は，コンクリート

の圧縮強度が 90N/mm^2 程度以上になると付着界面での付着破壊ではなくコンクリートの割裂により最大荷重が決定したためと考えられる。

図-7 中の実線は，過去に筆者らがコンクリートの圧縮強度を実験変数としてD41をコンクリートに埋め込んだ単体引抜き実験の結果より算出した最大平均付着応力度の推定式 [5]（適用範囲：コンクリート圧縮強度30N/mm^2～130N/mm^2）である。既往の研究 [1),2)]におけるシース管よりも内径を 5mm 小さくした場合であっても，シース管を用いない鉄筋単体の引抜き実験より得られた推定式により最大平均付着応力度を概ね評価することができた。

4．まとめ

シース管により形成した鉄筋貫通孔に主筋を挿入し，グラウトを充填することで一体化を図る柱梁接合部 PCa 部材において，既往の研究 [1),2)]よりも内径が 5mm 小さいシース管を鉛直貫通孔へ適用することを想定し，D41 およびD38の鉄筋を用いた鉄筋引抜き実験を実施した。その結果，最大平均付着応力度は，現場打ちを模擬したシース管無しの単体引抜き実験と同等以上の値を示すことを確認した。また，シース管の無い鉄筋単体の引抜きに対して適用可能な推定式 [5)]によって最大平均付着応力度の評価が可能であることを確認した。

参考文献

1）杉本訓祥，増田安彦，江戸宏彰：柱梁接合部のシース管内通し主筋の付着性状確認実験，コンクリート工学年次論文報告集，vol.22，No.2，pp.817-822，2004.7

2）菅谷和人，新上浩，蓮尾孝一，松本啓二，小坂英之，山中久幸：梁主筋の貫通孔を有するプレキャスト柱梁接合部に関する実験的研究（その 1）付着特性確認実験，日本建築学会大会（中国）学術講演梗概集，構造Ⅳ，pp.319-320，2008.9

3）（財）建材試験センター：JSTM C2101　引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強さ試験方法，1999.5

4）村田二郎：付着強度試験方法の標準化について，土木学会第 32 回年次学術講演会講演概要集，第 5 部門，pp.190-191，1977.9

5）新上浩，蓮尾孝一，菅谷和人，田野健治，小坂英之：貫通孔内に後挿入された鉄筋の付着性状に関する実験的研究，三井住友建設技術研究開発報告，第 6 号，pp.107-111，2008.11