

PCa 柱の埋込み部に関する実験的研究その 2

An Experimental Study on Embedded Part in Precast Concrete Columns Part 2

平田 裕一 YUICHI HIRATA

江頭 寛 HIROSHI EGASHIRA

建築技術部

伊藤 彰 AKIRA ITO

建築技術部

西成田 由 YU NISHINARITA

構造設計ディビジョン

徳武 茂隆 SHIGETAKA TOKUTAKE

構造設計ディビジョン

牧田 瑞記 MIZUKI MAKITA

本研究で対象とする工法は、PCa 柱を基礎梁内部に埋込む形式となっている。埋込み部は、柱より大きな断面積を有しており、付着力を高めるため、両面リブ付き鋼管とスパイラル筋を用いている。スパイラル筋は、リブ付き鋼管の外側に配筋されている。リブ付き鋼管とスパイラル筋の耐荷挙動に及ぼす影響を検討するため、押抜き実験、引張実験および曲げせん断実験を行った。押抜き実験より、スパイラル筋の増大により最大耐力が大きくなることが確認された。引張実験の最大耐力は、RC 規準の短期付着力とほぼ同等であった。曲げせん断実験の最大耐力は、基礎梁計算耐力とほぼ一致し、埋込み外周部は終局まで大きな損傷を受けなかった。

キーワード：PCa 柱、埋込み部、押抜き実験、引張実験、曲げせん断実験

The construction method proposed in this paper is about precast concrete columns embedded to the footing beam. The embedded part of the column has a larger cross-sectional area than the column itself, and the steel pipe with ribs and the spiral reinforcing bars are used to have higher bond capacity. The spiral reinforcing bars are arranged outside the steel pipe with ribs. In order to study influence of the steel pipe with ribs and the spiral reinforcing bars on the strength of the embedded part, push out tests, tension test and bending shear test were carried out. The push out tests shows that the spiral reinforcing bars make the maximal strength larger. The tension test shows that the maximal strength is the same as the allowable bond capacity for temporary loading of the RC standard. The bending shear test shows that the maximal strength is the same as the calculated strength of the footing beam and that the embedded part did not show any significant damage until the ultimate state.

Key Words: Precast Concrete Column, Embedded Part, Push Out Test, Tension Test, Bending Shear Test

1. はじめに

筆者らは、構造体の PCa 化の方法として、両面リブ付き鋼管を用いた PCa 柱の埋込み部に関する工法の開発を進めている¹⁾。構造躯体の標準的な PCa 化工法は、基礎梁までを在来工法で施工し、基礎梁天端より上位に架構される上部構造を PCa 化することが多い。本研究で対象とする PCa 化工法は、PCa 柱の下端を従来の基礎梁天端から耐圧版直上まで延長するものである。基礎梁のコンクリート強度が PCa 柱より小さい場合、柱軸力を伝達するため、基礎梁上部に柱と同強度の柱断面積より大きい

断面積の部位が必要になる。本工法では、両面リブ付き鋼管により PCa 柱を拡張することで、この部分を構成している点に特徴がある。また、両面リブ付き鋼管の付着力を確保するために鋼管の外側にスパイラル筋を配置している。

前報²⁾で示した実験は、両面リブ付き鋼管の付着性能を確認するため行ったリブ面の要素付着実験と PCa 柱の埋込み部の鉛直耐力を確認するために行った圧縮載荷実験である。両面リブ付き鋼管により圧縮耐力が著しく増大することを確認している。

本報の実験は、前報に続いて本工法の埋込み部の付着

および引張特性と曲げせん断伝達特性を確認するために行うものである。押抜きおよび引張実験とともに両面リブ付き鋼管を持つPCa柱を基礎梁に埋込み、スパイラル筋で補強したT形試験体による曲げせん断実験を実施している。

2. 本工法の概要

図-1に、本PCa工法の概要を在来工法と比較して示す。本工法は、PCa柱を両面リブ付き鋼管により拡径し、それを耐圧版直上まで延長するものである。PCa柱の建て方を耐圧版の打設後から行うため工期短縮が可能である。一般に基礎梁のコンクリート強度が、軸力伝達に必要な値より、架構として求められる値が小さい場合、基礎梁の強度の打ち分けを行えば、施工コストを低減することができる。在来工法の場合、打ち分けには、基礎梁の全せいに対する打継ぎ面が必要となる。このような打継ぎ面は、施工上の理由から最小限に止めたいと考えられている。本工法では、埋込み部を耐圧版天端に設置するため、強度の打ち分けによる打継ぎ面が耐圧版の内部に限定される。これは施工性を向上し、コストの低減に寄与する。

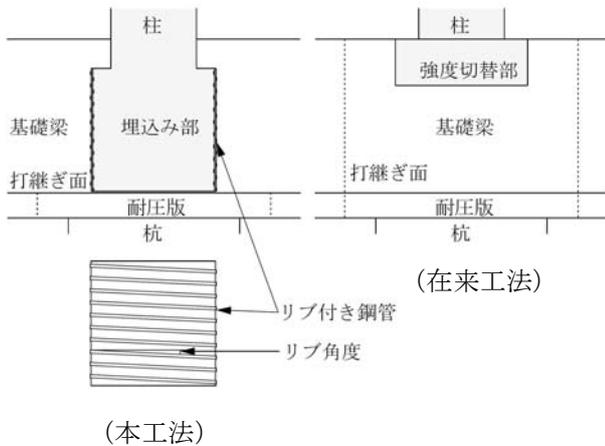


図-1 本工法の概要

3. 押抜きおよび引張実験概要

本実験は、押抜き実験と引張実験の2種類の加力形式で行うものである。図-2に試験体を示す。また試験体一覧を表-1に、補強筋の材料試験結果を表-2に示す。

図-2(1)に示すように、押抜き実験の試験体は、直径750mmの円形状の外周部のコンクリート内に、両面リブ付き鋼管で補強された埋込み部を設置している。両面リブ付き鋼管は、直径400mmである。リブサイズは、高さ2.5mm、角度17°である。試験体の縮尺は、約1/4であ

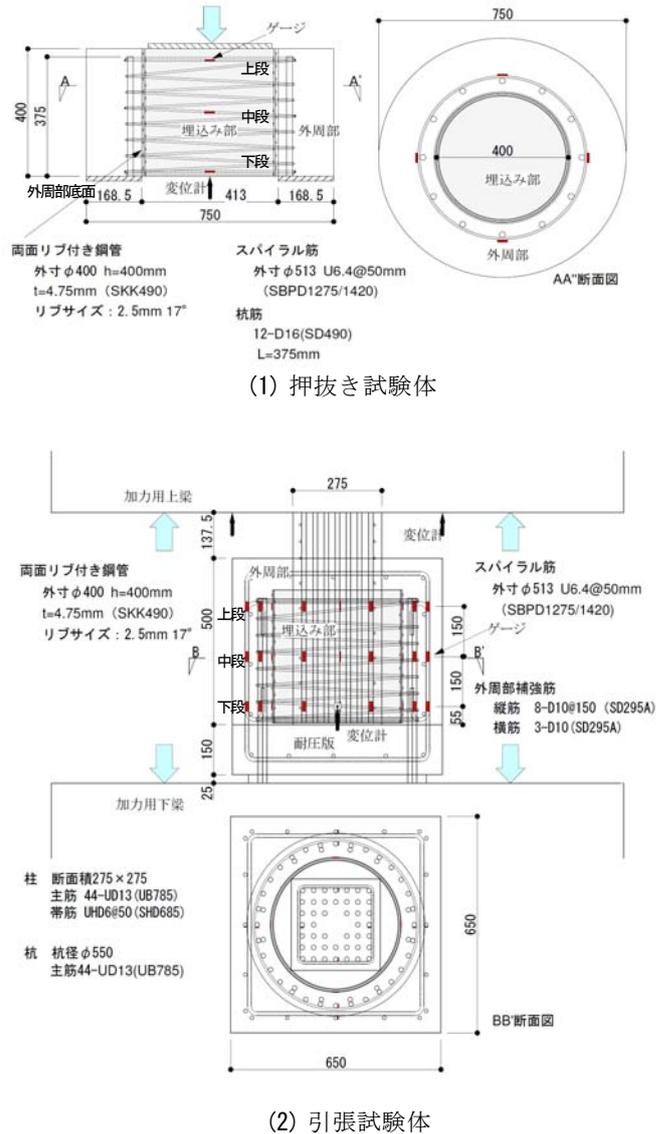


図-2 試験体図(押抜き, 引張)

る。外周部コンクリートには、D16の杭筋を12本配置し、スパイラル筋で補強している。押抜き試験の実験パラメータは、スパイラル筋の補強量である。加力方法は、図-2(1)に斜線で示した外周部底面を支持し、埋込み部上面を加力する押抜きせん断形式の単調載荷試験である。計測項目は、埋込み部の抜き量とスパイラル筋のひずみ量である。

図-2(2)に示すように、引張実験の試験体は、フーチングを模擬した外周部にPCa柱を埋込んだものである。

外周部の大きさは、650×650mmである。PCa柱の断面は、275×275mmである。両面リブ付き鋼管の大きさおよびスパイラル筋の配筋量は、押抜き試験体P1のものと同じである。PCa柱の主筋を加力用上梁に定着し、杭主筋は加力用下梁に定着している。引張力は、加力用上梁と下梁を介して与えている。

計測項目は、加力用梁の変位、鋼管の拔出し量および鉄筋、鋼管のひずみである。鋼管の拔出し量は、鋼管に外周部コンクリートと縁を切ったボルトを設置し、その動きを計測している。ひずみは、柱主筋、鋼管、杭主筋、外周部縦筋に対して3深度で測定した。加力ルールは、コンクリートの短期許容圧縮応力度から定まる軸力を設定し、その値の1/2とその値をそれぞれ2回与えた後、終局まで引張載荷した。

4. 押抜きおよび引張実験結果

図-3に押抜き実験の荷重変形曲線を示す。図より、試験体 P1 の初ひび割れは 1374kN である。ひび割れは鉛直外周部の側面に鉛直方向に生じた。その後荷重変形曲線の曲率が著しく増大し、最大耐力 3047kN に至った。

なお、荷重変形曲線の曲率が增大する箇所の荷重値は 2418kN である。試験体 P2 の初ひび割れは 2255kN である。その後徐々に剛性低下し、最大耐力は 3047kN になった。試験体 P2 の荷重変形曲線の曲率が增大し始める点の荷重は 3473kN である。図-4にスパイラル筋の荷重ひずみ曲線を示す。試験体 P1,P2 とともに下段のスパイラル筋のひずみが大きく、中段、上段に行くに連れひずみが小さくなっている。また試験体 P1 では荷重変形曲線で曲率が增大した点でひずみが著しく増大している。

図-5に引張試験の荷重変形曲線を示す。図中には、加力用梁の変位と拔出し量を重ねて示している。図より、RC 規準の短期許容応力度から算定した軸力の1/2の荷重を少し超過した時点で初ひび割れが確認された。また荷重変形曲線において、拔出し量の曲率が大きくなる点の荷重は、1603kN であり、最大耐力は 1873kN であった。図-6にスパイラル筋の荷重ひずみ曲線の包絡線を示す。図より、上段のスパイラル筋のひずみが大きく、有効に拘束していると考えられる。

図-7に引張実験の柱主筋、鋼管、杭筋、外周部縦筋のひずみモード図を示す。柱のひずみモードに対して、杭筋、外周部縦筋は、逆勾配になっている。柱主筋と鋼管から外周部コンクリートを介して杭筋、外周部縦筋に力が伝達していることが分かる。特に外周部縦筋は、最大耐力近傍でひずみが大きい。これは、終局状態で抜け出そうとする埋込み部を外周部縦筋が拘束するためと思われる。写真-1に実験終了後の試験体の切断面を示す。写真より、終局状態では、埋込み部底部が大きくすべっており、外周部縦筋を横切るすべり面が確認できる。

表-2に実験結果一覧を示す。表中には、参考として RC 規準の鉄筋の許容付着応力度から算定される付着力を示した。表より、試験体の拔出し時耐力は、長期付着

表-1 試験体一覧 (押抜き, 引張)

試験体名	コンクリート部位	圧縮強度 σ_c [N/mm ²]	密度 ρ [t/m ³]	ヤング率 E_c [$\times 10^4$ N/mm ²]	割裂強度 σ_{cs} [N/mm ²]	スパイラル筋
P1	埋込み部	57.4	2.24	2.95	-	U6.4@50
	外周部	28.5	2.23	2.22	2.54	SBPD1275/1420
P2	埋込み部	54.7	2.25	2.90	-	U12.6@50
	外周部	27.8	2.23	2.28	2.50	SBPD1275/1420
T	埋込み部	36.2	2.34	2.96	2.66	U6.4@50 SBPD1275/1420
	耐圧版	33.4	2.31	2.75	2.70	
	外周部	30.2	2.25	2.59	2.57	

表-2 補強筋材料試験結果一覧 (押抜き, 引張, 曲げせん断)

鉄筋	降伏強度 σ_y [N/mm ²]	降伏ひずみ ϵ_y [$\times 10^{-6}$]	引張強度 σ_t [t/m ²]	ヤング率 E_s [$\times 10^5$ N/mm ²]	伸び率 [%]
D10(SD295)	369	1993	501	1.865	25.1
D16(SD490)	524	3005	710	1.889	19.3
D16(熱処理)	1081	5791	1161	1.866	6.1
U10.7(ウルボン)	1364	6456	1468	2.112	7.5
U6.4(スパイラル)	1397	7233	1442	1.931	7.1
U12.6(スパイラル)	1288	7025	1423	1.834	5.6

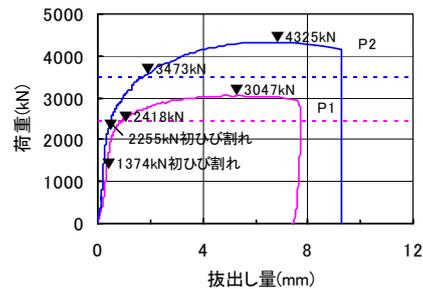


図-3 荷重変形曲線 (押抜き)

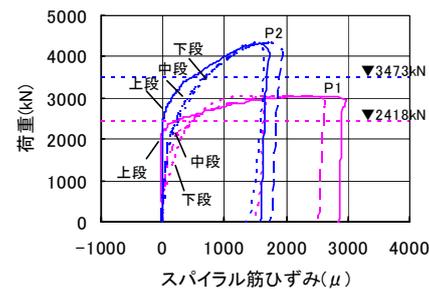


図-4 荷重ひずみ曲線 (押抜き)

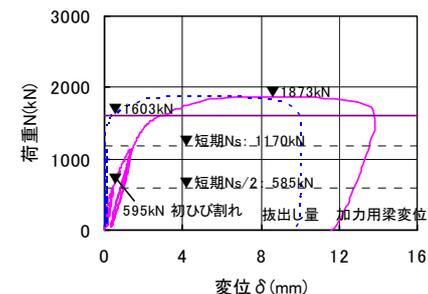


図-5 荷重変形曲線 (引張)

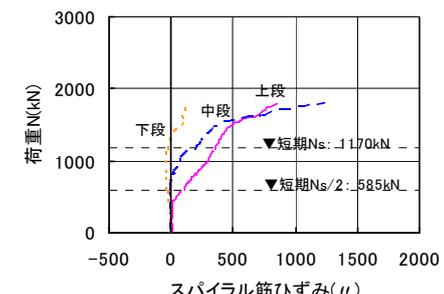


図-6 荷重ひずみ曲線 (引張)

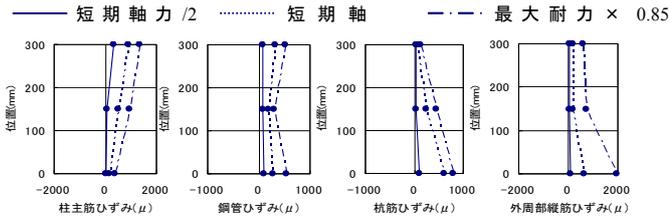


図-7 各部位のひずみモード (引張)



(1) 切断面全体 (2) a)部の拡大

写真-1 引張試験体切断面

表-3 実験結果一覧 (押抜き, 引張)

試験体	外径 (mm)	鋼管径 (mm)	スパイラル筋 pw(%)	実験最大耐力(kN)	拔出し時の耐力(kN)	長期付着力(kN) [*]	短期付着力(kN) [*]
P1	円形750	400	0.2	3047	2418	1252	1877
P2	円形750	400	0.9	4325	3473	1238	1856
T	方形650	400	0.2	1873	1603	1286	1929

*RC規準の許容応力度より算定

力を超過した。押抜き試験体 P1,P2 では拔出し時耐力は短期付着力より大きい。これに対して引張試験Tでは、拔出し時耐力は、短期許容付着力の83%である。最大耐力は97%とほぼ同等の値となった。

押抜き実験の場合の耐力が大きい原因は、スパイラル筋による外周部コンクリートの拘束力が両面リブ付き鋼管の垂直抗力として作用し、その摩擦力が付着力に累加しているためと思われる。

5. 曲げせん断実験概要

PCa柱の埋込み部における水平力の伝達特性を把握するために、基礎梁に両面リブ付き鋼管を有するPCa柱を埋込んだT形試験体による曲げせん断実験を行った。

図-8に、試験体図を示す。試験体は、375×625mmの断面を有する基礎梁に、直径400mmの両面リブ付き鋼管を有するPCa柱を埋込んでいる。PCa柱埋込み外周部の配筋は、引張試験体と同じである。試験体は1体であり、縮尺は約1/4である。なお、本実験ではPCa柱埋込み部の応力伝達特性を確認するため柱に高強度コンクリートを用い、主筋に熱処理を行った。主筋は明瞭な降伏点はなく降伏強度1080N/mm²から引張強度1160 N/mm²までなだらかに増加した。加力方法は基礎梁の反曲点をロ

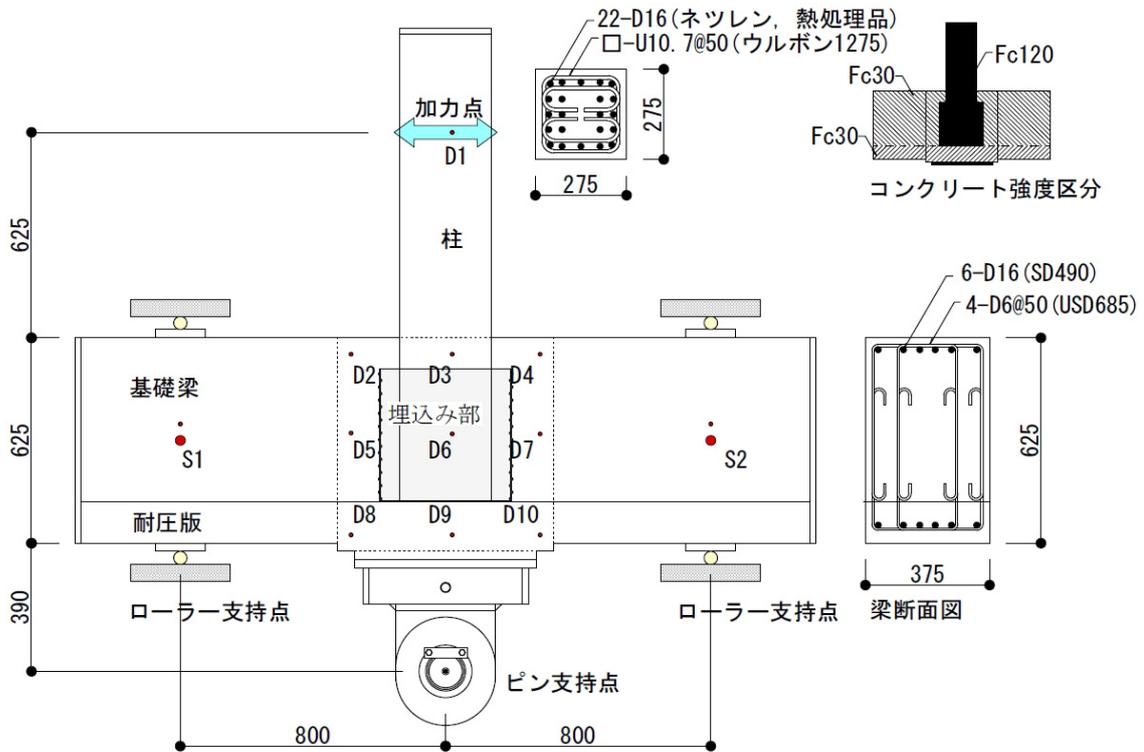


図-8 試験体 (曲げせん断)

表-4 材料強度一覧 (曲げせん断)

試験体名	コンクリート部位	圧縮強度 σ_c [N/mm ²]	密度 ρ [t/m ³]	ヤング率 E_c [$\times 10^4$ N/mm ²]	割裂強度 σ_{ct} [N/mm ²]	スパイラル筋
MS	埋込み部 柱	147.5	2.57	4.70	7.60	U6.4@50 SBPD1275/1420
	耐圧版	38.0	2.34	3.02	3.33	
	外周部 基礎梁	32.6	2.31	2.88	2.72	

表-5 実験結果一覧 (曲げせん断)

試験体	鋼管径 (mm)	スパイラル筋 pw(%)	実験平均 最大耐力(kN)	柱計算*) 曲げ耐力(kN)	基礎梁計算*) 曲げ耐力(kN)
MS	400	0.2	701	713	669

*)技術基準解説書の曲げ強度式より算定

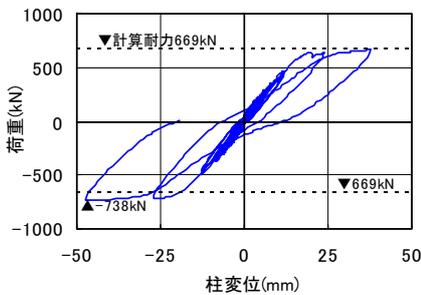


図-9 荷重変形曲線 (曲げせん断)

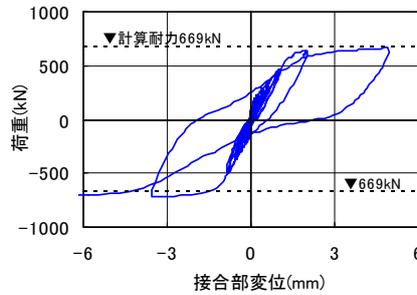


図-10 荷重変形曲線 (埋込み外周部)

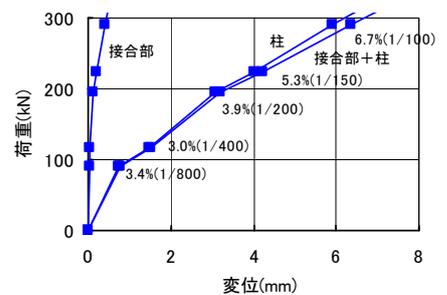


図-11 変形割合 (曲げせん断)

ラー支持し、杭頭部をピン支持して柱の反曲点に正負交番漸増水平載荷を各振幅 2 サイクル行った。柱軸力は作用させていない。計測項目は図中の加力点と埋込み外周部の変位および鉄筋ひずみである。ひずみゲージ位置は引張試験体と同じである。

6. 曲げせん断実験結果

表-4, 5 に試験体の材料強度および実験結果の一覧を示す。なお、補強筋の材料強度は、表-3に示したものと共通である。表中の基礎梁および柱の計算耐力は、技術基準解説書³⁾に示されたはりの曲げ強度式から、加力点位置の水平力に換算した値である。また図-9に荷重と加力点位置の変形の関係を、図-10に荷重と図-8に示した埋込み外周部の上部 (D3) と下部 (D9) の相対変位の関係を示す。本試験体の初ひび割れは、部材角 1/400 で PCa 柱の柱脚部に曲げひび割れが生じている。続いて 1/200 を超えたところで、基礎梁フェイス部の曲げひび割れおよび PCa 柱埋込み外周部の上面にひび割れが生じた。終局時は、柱脚部コンクリートの剥落および基礎梁の曲げひび割れが大きく進展した。なお、埋込み外周部側面では、ほとんどひび割れが生じておらず、終局時近傍において、鉛直方向のひび割れが確認された。実験最大耐力は、正負平均で 701kN である。これは、基礎梁曲げ耐力とほぼ一致している。図-11 に柱と PCa 柱埋込み外周部の変形割合を示す。部材角 1/100 までの範囲で、全体変形に占める外周部の変形割合は、3.0 ~ 6.7% と小さい値で安定しており、外周部での急激な変形増大は

生じていない。

なお、実験終了後、試験体を切断し、PCa 柱埋込み部にすべりが生じていないことを確認した。埋込み外周部コンクリートと両面リブ付き鋼管は一体として挙動していたと思われる。

終局時までのひび割れ状況、外周部コンクリートの変形状況、実験終了時にコンクリート切断面の状況などから、埋込み外周部は大きな損傷を受けていない。柱水平力が両面リブ付き鋼管を有する埋込み部を介して基礎梁に伝達されていることが確認された。

7. まとめ

本研究で対象とする PCa 化工法は、両面リブ付き鋼管を用いて拡張した PCa 柱の埋込み部を耐圧版直上に設置する形式のものである。本工法の埋込み部の付着および引張特性と曲げせん断伝達特性を確認するために押抜きおよび引張実験と両面リブ付き鋼管を持つ PCa 柱を基礎梁に埋込みスパイラル筋で補強した T 形試験体による曲げせん断実験を行った。実験結果より、以下のことが確認された。

- ① 押抜き実験より、スパイラル筋の配筋量が多い場合、押抜き耐力が大きくなる。押抜き実験の場合、軸力を受けるコンクリートは、放射状に著しく膨張する。スパイラル筋はこの膨張を拘束する役割を果たしている。実験結果では、下段のスパイラル筋のひずみが大きく、下段の拘束効果が大きかった。スパイラル筋の配筋量の増大による耐力の増大

は、外周部コンクリートに対する拘束力が増大し、リブ面の摩擦力が累加したためと思われる。

- ② 押抜き実験の抜出し時耐力は、RC 規準の鉄筋の短期許容応力度に両面リブ付き鋼管の表面積を乗じて得られる短期付着力より大きかった。これは、短期付着力相当の押抜き力では鋼管が動かないことを示している。鋼管の抜出し時耐力は、鉄筋の許容付着応力度から推定した場合、十分な余力を有していると思われる。
- ③ 引張実験の抜出し時耐力は、RC 規準の鉄筋の長期許容付着より算定される長期付着力より大きかった。また、最大耐力は、短期付着力と同等であった。押抜き実験との耐力の違いは、加力方向によって外周部コンクリートの膨張量が異なることを反映していると思われる。鋼管の付着力が、加力方向の影響を受けるため、設計時に適切に考慮する必要があると思われる。
- ④ 曲げせん断実験の最大耐力は、基礎梁の計算耐力とほぼ一致した。また、終局時までのひび割れ状況、外周部コンクリートの変形状況、実験終了時にコンクリート切断面の状況などから、埋込み外周部は大きな損傷を受けておらず、鋼管の抜出しも見られない。柱水平力が埋込み部を介して基礎梁に伝達されていることが確認された。

参考文献

- 1) 徳武, 平田他: PCa 柱の埋込み部に関する実験的研究(その1), (その2), 日本建築学会大会梗概集(北海道), 2013.8, 構造IV, pp.715-718
- 2) 平田他: PCa 柱の埋込み部に関する実験的研究, 三井住友建設技術開発センター報告, No.11, 2013, pp.91-98
- 3) 国土交通省住宅局建築指導課他: 2007年版建築物の構造関係技術基準解説書