論文 場所打ち鋼管コンクリート杭を対象とした杭頭半剛接接合に関する 実験的研究

深津 尚人*1・山本 俊彦*2・神谷 隆*1・伴 幸雄*1

要旨:近年,場所打ちコンクリート杭の杭頭部を鋼管によって補強を行う場所打ち鋼管コンクリート杭が数 多く採用されるようになってきた。そこで、本研究では場所打ち鋼管コンクリート杭おいても杭頭半剛接工 法を適用できることを確認するために、静的加力実験を行った。その結果から、場所打ち鋼管コンクリート 杭に杭頭半剛接工法を適用した場合においても、杭頭部の回転角が 1/20 まで安定した曲げせん断性能を有す ることを確認した。また、回転剛性を評価する算定式を提案し、初期の回転剛性および最大モーメントを精 度良く評価できることを確認した。

キーワード:場所打ち鋼管コンクリート杭,杭頭半剛接工法,回転剛性

1. はじめに

筆者らは、場所打ちコンクリート杭を対象に杭頭半剛 接工法の開発を進め、杭体の回転角が 1/100 程度まで安 定した曲げせん断性能を有することを確認し、接合部に 配筋する接合鉄筋に発生する歪から接合部が有する回 転剛性を簡易的に評価する手法の提案などを行ってき た^{1)~3)}。

近年,場所打ちコンクリート杭の杭頭部を鋼管によっ て補強を行う場所打ち鋼管コンクリート杭が数多く採 用されるようになってきた。そこで,本研究では場所打 ち鋼管コンクリート杭おいても杭頭半剛接工法を適用 できることを確認するために,静的加力実験を行った。 その結果から,場所打ちコンクリート杭と同様に安定し た曲げせん断性能を有することの確認および回転剛性 の評価手法の適合性を検証することを目的とする。

2. 実験概要

2.1 試験体

表-1に試験体の概要を,図-1に試験体の形状および配筋状況(例として RC1,TB1 を挙げる。)を示す。試験体は縮尺比 1/3 とし,杭径を 800mm とした。杭頭接合



部において杭体断面積の 1/2 となるように直径 600mm(クリアランス 40mm)の断面減少部分を設け,剛 性を低減している。断面減少部において,局所的な破壊 を抑制するために鋼管を用いている。また,接合部には 接合鉄筋を配筋し杭体からスタブへ応力の伝達を行っ

表-1 試験体概要

試除休夕	杭体		接合部		パイルキャップ
武政中石	概要	せん断補強筋	概要	接合鉄筋	概要
RC1	場所打ちコンクリート杭 杭径:800 杭長1120mm	U7.1@100			
RC2	主筋:12-D22(主筋比p _g :0.92)	D6@80	接合部径:600	20-D22 (鉄族比点:2.74)	形状:800×800×190
TB1	提所打た 鋼管コンクリート坊		接合鋼管: <i>t</i> =6.0	(亚大 月77 レレ ρ_g . 2.74)	ベース筋:D6@70
TB2	场所引う過音コンククートが 抗径:800 抗星1120mm	_	クリアランス:40		はかま筋 : D6@250
TB3	鋼管: <i>t</i> =4.5			24-D25 (鉄筋比p _g :4.30)	

*1 矢作建設工業(株) 地震工学技術研究所 (正会員)

*2 大同大学 建築学科 工博 (正会員)

ている。このように接合部の断面積を低減しているため、 パイルキャップに大きな応力が作用することとなる。よ って、スタブの上部にパイルキャップ想定した 800mm の矩形断面区間を設け、接合部がパイルキャップに与え る影響について検証する。試験体は場所打ちコンクリー トを対象とした RC シリーズが 2 体、場所打ち鋼管コン クリート杭を対象とした TB シリーズが 3 体の計 5 体を 作成した。RC1 および RC2 は杭体のせん断補強筋の鋼種 を実験変数とし、RC1 では高強度鉄筋を使用し、RC2 で は普通鉄筋を使用した。TB シリーズでは TB1 を標準タ イプとし、TB2 は軸力を実験変数と、TB3 は接合鉄筋の 配筋量を実験変数とした。

2.2 製作手順および使用材料

試験体の製作においてコンクリートの打設は実施工 と同様に3段階に分けて行った(図-2参照)。まず,ス タブおよびパイルキャップ(図中①部分)の打設を行っ た。次に接合鋼管内部および杭頭部(図中②部分)の打設 を行った。次に杭体および加力スタブの打設(図中③部 分)を行った。

表-2および表-3に材料試験より得たコンクリー トおよび鋼材の材料特性を示す。



図―2 コンクリートの打設状況 表-2 材料特性(コンクリート)

庙田部位	圧縮強度	ヤング係数	割裂強度
使用即位	N/mm ²	kN/mm ²	N/mm^2
①パイルキャップ	29.6	28.0	2.18
②接合部	38.1	31.4	2.53
③杭体	36.2	29.8	2.02

表-3	材料特性(鋼材)
-----	----------

汉 •回	降伏強度	ヤング係数	引張強度
1年7月	N/mm ²	kN/mm ²	N/mm^2
D6	413	207	532
U7.1	1331	183	1385
D22	412	170	596
D25	434	176	603
t4.5	268	187	398
t6.0	375	201	534

2.3 加力概要

図-3に加力概要を示す。加力は鉛直ジャッキ(図中①, 容量 4000kN×2)を用い軸力を与え、水平ジャッキ(図中 ②容量 4000kN)を用い、回転支承を介し水平変位 δ を与 えた。パイルキャップ上端からを加力区間 *L*=960 と設定 した。半剛接工法を用いた場合、杭頭部に発生するモー メントが低下し、シアスパン比が大きく低下することが 想定されるためシアスパン比は 1.2 とした。軸力は TB2 以外を定軸力タイプとし、TB2 を変動軸力タイプとした。 定軸力タイプでは杭体部の長期許容軸応力を想定し、接 合部において 16N/mm² の定軸応力が作用するように与 えた。変動軸力タイプでは、正加力時で 28 N/mm²を, 負加力時で 1.6 N/mm²と軸応力を変化させた。制御は杭 体の回転角 $\theta(\theta = \delta/L)$ で制御し、1/1000 で 1 回、 1/400,1/200,1/100,1/25 で各 2 回、1/20 で 1 回、静的 正負交番繰返し載荷を行った。





写真一1 加力状況

3. 実験結果

図-4にモーメントMと回転角の関係を示す。図中の計算値については4.2.項で説明をする。表-4に実験から得られた最大モーメント,最大モーメント発生時の回転角および破壊形式を示す。また,写真-2に杭頭部の破壊状況を示す。

RC1 は 1/50 サイクルに最大耐力に達した。1/25 サイク ルの負加力途中に杭頭せん断補強筋が破断し,耐力が大 きく低下した。軸力支持能力は維持していたが 1/25 サイ クルの正加力2回目途中で水平耐力が最大耐力の 50%以 下に低下したため加力を終了した。

RC2 は 1/50 サイクルに最大耐力を達した。1/25 サイク ルの正加力途中で杭頭部がせん断破壊し,耐力が大きく 低下した。軸力支持能力は維持していたが 1/25 サイクル の負加力中に水平耐力が最大耐力の 50%以下に低下した ため加力を終了した。

TB シリーズでは 1/50 サイクル(TB1)および 1/25 サイ クル(TB2,TB3)で最大耐力に達した。1/20 サイクルにお いても最大耐力の 90%以上の耐力を維持していたため, θ=1/12 の正加力を行った。1/12 サイクルにおいても最 大耐力の 84%(TB1),76%(TB2),87%(TB3)の耐力を維持し, 安定した曲げせん断能力を維持していることを確認し た。また,外観上では鋼管に大きな変形は確認されなか った。杭頭端部のコンクリートでは 1/100 サイクルでひ び割れが発生したが,最終サイクルまでひび割れ幅の拡





大は無く,鋼管を巻いたことによって杭頭部の損傷が抑 制されていることが確認できた。

RC1,RC2,TB1を比較することによって, 杭頭部のせん 断補強量が耐力に与える影響について検証する。杭頭の 鋼管巻せん断補強を杭頭せん断補強筋比に換算すると 1.13%となり RC シリーズの 0.10%の 10 倍以上のせん断 補強量を有すると考えられる。最大耐力については,大 きな変化がないが,最大変形量については RC シリーズ では 1/25 が限界であったが TB シリーズでは 1/12 と大変 形にも追従できた。また,せん断補強筋に高強度鉄筋を 用いることによって,若干の変形性能の向上が確認でき た。以上の点から, 杭頭部のせん断補強量は耐力よりも 変形性能に大きな影響を与えると考えられる。







図-4 モーメントー回転角関係

	正加力		負加力		
	最大モーメント	最大モーメント発生時 部材角	最大モーメント	最大モーメント発生時 部材角	破壊形式
	kN∙m	× 10 ³ rad.	kN∙m	× 10 ³ rad.	
RC1	1465	20.3	-1470	-20.0	接合部の曲げ降伏後
RC2	1405	20.5	-1544	-19.0	杭頭部せん断破壊
TB1	1522	20.1	-1574	-19.9	
TB2	2047	32.4	-912	-39.5	接合部曲げ破壊
TB3	1882	35.4	-1931	-20.3	

表-4 実験結果(最大モーメント)





B) RC2(最終破壊状況)

A) RC1(最終破壊状況)



C) TB1(θ=1/25 状況)
D) TB1(最終破壊状況)
写真-2 杭頭部破壊状況

4. 考察

4.1 接合鉄筋の歪分布

接合鉄筋に発生する歪の分布状況を図-5 (RC1,TB1 の1/200サイクルのピーク時を例として挙げる。)に示す。 図中のY軸上下端は接合鉄筋の上下端部を,データ位置 は歪ゲージの貼付位置を示している。X軸は歪の発生量 を示す。歪ゲージは加力方向に対して正加力側端部,中 央部および負加力側端部に位置する接合鉄筋に貼付し ている。

全ての試験体において,接合鉄筋の弾性範囲内では接 合鋼管の軸方向中心とパイルキャップとスタブの界面 に位置する歪データはほぼ同じ値で最大歪を発生して いる。また,端部に向け比例的に歪が減少する傾向が確 認できた。

以上の結果から, 杭頭部の変形は接合鋼管部およびパ イルキャップ部分に集中していることを確認した。



A) RC1 (1/200 サイクル)



B) TB1(1/200 サイクル)図-5 接合鉄筋の歪分布状況

4.2 耐力算定

4.2.1 計算方法

既往の研究により,接合鉄筋に発生する歪からモーメ ントー回転角を簡易的に算出し、初期の回転剛性を評価 する方法を提案している。場所打ち鋼管コンクリート杭 に半剛接工法を適用した場合についてもこの手法が適 用できるかを確認する。

図-6にモーメントー回転角関係の計算フローを、図 -7には接合鉄筋の歪から回転角を計算する計算式お よび回転角の定義を示す。

モーメントついては端部歪および中立軸を仮定し,平 面保持の仮定をもとに,接合鋼管,鋼管内コンクリート, 接合鉄筋の負担応力を計算し,平衡状態の確認を行い, モーメントを算出している。このとき,接合鋼管につい ては、圧縮応力を負担し、引張応力を負担しないと仮定 し、鋼管内コンクリートについては、鋼管による拘束効 果による補正式⁴⁾(1),(2)を行った。計算には最大補正量 k σ_{r} は 6.0N/mm²を用いた。

次に平衡状態が確認できた場合,接合鉄筋の中央部に 発生する歪から算出する接合鉄筋の変形量を用い回転 角の計算を行う(図-7参照)。

以上の過程を,端部歪を漸増させ,モーメントおよび 回転角の計算を繰返し行うことによってモーメント-回転角関係の計算を行う。





$$_{c} \sigma_{cB} = _{c} \sigma_{B} + k \cdot \sigma_{r} \qquad \cdots (1)$$

4.2.2 計算結果

θ=1/200のモーメントの計算結果を表-5に、最大モ ーメントの計算結果を表-6に示す。TB2については正 加力と負加力で軸力が異なるため、それぞれ計算を行っ ている。図-4に計算から得られたモーメントと回転角 の関係を示す。図中の点は加力方向に対し最外端に位置 する接合鉄筋が降伏した時点の実験値および計算値を 示す。

表-5 計算結果 (θ=1/200)

	実験値	計算値	実験値/計算値
	モーメント	モーメント	モーメント
	kN∙m	kN∙m	
RC1	1066	1028	1.04
RC2	1096	1028	1.07
TB1	1103	1028	1.07
TB2(正加力)	1328	1224	1.09
TB2(負加力)	-495	-636	0.78
TB3	1229	1088	1.13

表-6 計算結果(最大モーメント)

	実験値	計算値	実験値/計算値
	モーメント	モーメント	モーメント
	kN∙m	kN∙m	
RC1	1468	1483	0.99
RC2	1474	1483	0.99
TB1	1548	1483	1.04
TB2(正加力)	2047	1607	1.27
TB2(負加力)	-912	-994	0.92
TB3	1907	1839	1.04

θ=1/200 の計算結果においては TB2(負加力)を除き, 実験値と計算値の比が 1.07 から 1.13 となっており,初 期回転剛性を精度良く評価できていることが確認でき た。また,最大モーメントの計算結果においては,TB2(正 加力)を除き,実験値と計算値の比が 0.92 から 1.04 とな っており,最大モーメントを精度良く評価できているこ とが確認できた。

 θ =1/200の計算結果および最大モーメントの計算結果 の両結果において、軸力が高い TB2(正加力)の実験値が 計算値より高くなり、軸力が低い TB2(負加力)の実験値 が計算値より低くなる傾向を示している。この結果につ いては、軸力が高い場合は、鋼管による拘束効果の影響 が補正式で評価した最大補強量 kor以上に発生し、軸力 が低い場合は、最大補強量 kor以上しか発生していない 可能性が考えられる。補正式には軸力による圧縮領域の 拡大および縮小による影響は加味されていないため、今 後は圧縮領域の変化によっても補正効果に影響を与え ることを考慮しなければならない。

場所打ちコンクリート杭を対象とした RC シリーズの 2 体と、場所打ち鋼管コンクリート杭を対象とし RC シ リーズと杭頭部の補強以外を同一条件とした TB1 の計3 体の結果について、 *θ*=1/200 の計算結果および最大モー メントの計算結果のともに精度良く評価できているこ とが確認できた。よって、提案した接合鉄筋の歪から回 転剛性を評価する手法は、場所打ち鋼管コンクリート杭 に杭頭半剛接工法を採用した場合についても適用出来 ることを確認した。

4.3 パイルキャップの破壊状況

パイルキャップの破壊状況を**写真-3**(例として TB1 を挙げる。)に示す。写真はA)正加力方向側および B)加 力正面を示している。

1/200 サイクルでひび割れが発生し、その後、加力の 進行に従い、ひび割れ数の増加およびひび割れ幅の拡大 が確認された。特に加力方向側の水平方向に発生したひ び割れ幅の拡大が顕著であった。この高さはパイルキャ ップのベース筋位置と対応しており、かぶり領域のコン クリートの損傷が大きかったことが確認できた。しかし、 かぶり領域の損傷と水平耐力の低下には関連性は少な く、試験体の耐力に与える影響はほとんど無かったと考 えられる。

実験終了後,パイルキャップのコンクリートの除去を 行った。かぶり領域のコンクリートについては容易に除 去が出来たが,鋼管下のコンクリートは容易には除去で きなかった。よって,鋼管下のコンクリートはベース筋 および接合鉄筋により拘束され,最終サイクルまで杭体 からスタブへ応力を充分に伝達できていたと考えられ る。



A) 正加力方向
B) 加力正面
i) 1/100 サイクル終了時



A) 正加力方向



B) 加力正面

ii)加力終了時



A) 正加力方向
B) 加力正面
iii)かぶりコンクリート除去後
写真-3 パイルキャップの破壊状況(TB1)

5. まとめ

場所打ち鋼管コンクリートに杭頭半剛接を適用した 試験体を製作し,静的加力実験を行った。その結果,以 下に示す知見を得た。

- 1)場所打ち鋼管コンクリート杭においても,1/12まで 安定した曲げせん断性能を有していること。
- 2) 杭頭部のせん断補強量は最大耐力に与える影響よりも変形量に与える影響が大きい可能性があること。
- 3)提案を行った接合鉄筋に発生する歪から杭頭部の 回転剛性を評価する手法が、場所打ち鋼管コンクリ ート杭においても適用できること。
- 4) 接合部がパイルキャップに与える影響について、ベ ース筋上部のかぶり領域の損傷は大きいが、接合鋼 管下のコンクリートは損傷が小さく、杭体からスタ ブへ応力を充分に伝達できていること。

謝辞

本実験の遂行およびデータ整理に際して御助力を得 た大同大学山本研究室岩瀬恭成氏,野村英次氏,丸杉滉 兵氏に対して謝意を表します。

参考文献

- 深津尚人、山本俊彦、山田和夫、岡田亨:場所打ち 杭の杭頭半剛接接合に関する実験的研究、コンクリ ート工学年次論文集, Vol.26, No.2, pp.919-924, 2004
- 深津尚人、山本俊彦、山田和夫、岡田亨:場所打ち 杭の杭頭半剛接接合に与える軸力の影響に関する 実験的研究、コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.2, pp.1633-1638, 2005
- 深津尚人、山本俊彦、山田和夫、岡田亨:場所打ち 杭の杭頭半剛接接合部が有する回転性能に関する 実験的研究、コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.2, pp.1669-1674, 2006
- 4) 日本建築学会:コンクリート充填鋼管構造設計施工 指針,1997