

既製コンクリート杭の杭頭接合技術「FPA 工法」の改良

林 和也 丸 隆宏 *1
小林 勝巳 山本 秀明 *2

概 要

従来の既製コンクリート杭の杭頭接合工法では、多くの施工工程が必要であり、また、杭頭中空部のソイルセメントを掘削・処分しなくてはならなかった。これに対し、工程の簡略化と工期短縮を図るとともに、建設廃材を削減する工法として、杭頭に機械的に接合したパイルキャップへのアンカー筋(FPA ボルト)によって杭頭を接合する工法(FPA 工法)が開発され、多くの実績をあげている。

今回、この FPA 工法を、以下の点についてさらに改善するため、実験を行った。

- (a)FPA ボルトの定着長さを最適化すること、
- (b)FPA ボルトの最小本数を4本とすること、
- (c)ひょうたん形ねじ接合部に適用可能とすること、
- (d)外殻鋼管付き遠心力コンクリート杭(SC 杭)に適用可能とすること

本報告では、実験の概要と検証結果を報告する。

Improvement of Pile Head Connection System “FPA” for Precast Concrete Piles

Abstract

In general, pile head connection systems require a lot of construction processes, and the soil cement at the hollow part of the pile head has to be removed and disposed. In order to solve these problems we have developed the FPA system, in which anchor bars (FPA bolts) are mechanically connected to the top of a pile for pile head connection.

This time, we carried out experiments to improve the FPA system in order to (a) optimize the bond length of the FPA bolt, (b) decrease minimum number of necessary FPA bolts to four, (c) enable application to bottle gourd type screw joints, (d) enable application to steel pipe-concrete composite piles (SC piles).

This paper describes the outline and the verification results of these experiments.

キーワード: コンクリート杭, 杭頭接合,
アンカー筋, 施工管理

*1 建築本部 建築技術統括部

*2 東京支店 建築技術部

§1. はじめに

従来の既製コンクリート杭の杭頭接合工法では、多くの施工工程が必要であり、また、杭頭中空部のソイルセメントを掘削・処分しなくてはならなかった。これを改善し工程の簡略化と工期短縮を図るとともに、建設廃材を削減することを目的として、杭頭に機械的に接合したパイルキャップへのアンカー筋(FPA ボルト)によって杭頭を接合する工法(FPA 工法)を開発している。今回、さらに、FPA ボルト長の最適化、2穴の雌ねじが部分的に重なるひょうたん形ネジ接合部や SC 杭への適応範囲の拡大等の改良を行った。以下にその概要を報告する。

§2. FPA工法の概要

図1に本工法の構成を示す。本工法は、既製コンクリート杭の杭頭座板(以下「座板」)のねじ孔に、一部ねじ加工した異形鉄筋(以下「FPAボルト」)を機械的に接合することにより、杭とフーチングの接合を行う技術である。ねじ孔付き座板を有するPHC杭、PRC杭およびSC杭を対象としている。

FPAボルトの上部ねじ部に六角ナット(以下「FPAナット」)を取付け、そのナット部分に締め付け工具を用いて回転を与え、FPAボルトそのものを回転させ、座板ねじ孔に挿入し固定する。

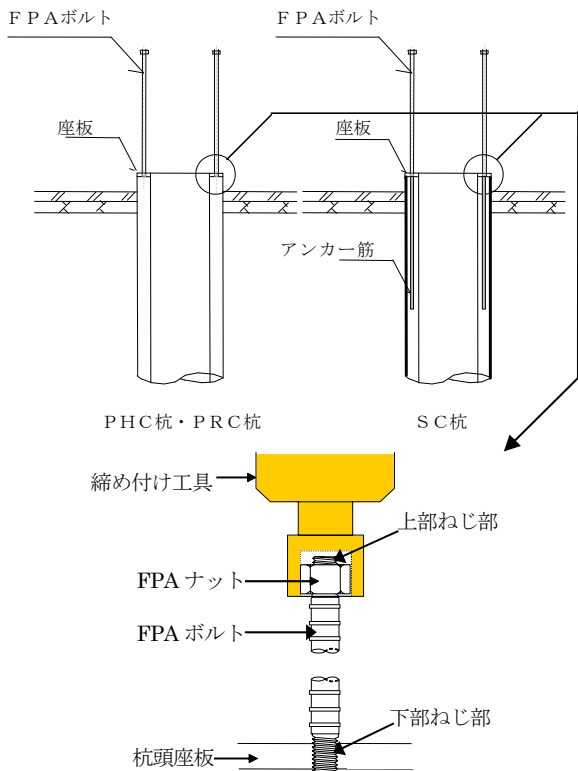


図1 FPA 工法の構成

FPAボルトは、JIS規格(G3112)に準拠した異形鉄筋にねじ加工した製品とし、FPAナット、ねじ加工もJIS規格に準じる(表1参照)。ねじは、転造加工により座板のねじに応じてつくられるため、メートルねじとウイトねじがある。表2、図2に、標準的なFPAボルトの寸法を示す。

表1 使用材料

FPAボルト	SD345、SD295(JIS G 3112)
ね じ	メートル並目(JIS B 0205)
	ウイト並目(旧 JIS B 2060)
FPAナット	六角ナット(JIS B 1181)

表2 FPAボルトの種類と寸法

ねじタイプ	FPAボルト	d1(mm)	S(mm)	L
メートルねじ	D22-M22	19.3	23.0	左記の 値かつ 座板+ 3mm 20d 以上
	D25-M24	20.8	24.0	
	D29-M27	23.8	27.0	
ウイトねじ	D19-W3/4	15.8	21.0	
	D22-W7/8	18.6	23.0	
	D25-W1	21.3	25.0	

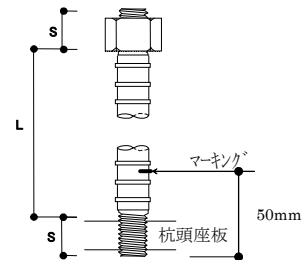


図2 FPAボルトの詳細

§3. 開発概要

FPA 工法の改良のためには、①先端に定着ナットを設けた FPA ボルトの必要定着長の評価法の検討、②FPA ボルトを4本とした場合の杭頭接合部の力学性状の確認、③ひょうたん形ネジ接合部を用いた場合の耐力低減係数の算定、④鋼管コンクリート杭(SC 杭)に用いた場合の FPA ボルトから鋼管への力の伝達機構の確認を行う必要があった。そこで、これらに対する検証のために、①杭頭水平加力実験、②FPA ボルトの引抜き実験、③ひょうたん形ねじ接合部の引張試験、④SC 杭の座板引張試験の4つの実験を行った。本報では、実験①、②を中心に実験の概要を報告する。

§4. 実験

4.1 杭水平加力実験

4.1.1 実験概要

試験体は、コンクリート杭の杭頭部を模擬した実大試験体で、杭とパイルキャップを上下反転させた片持ち梁形式とした(図3参照)。試験体は計3体とし、その諸元を表3に示す。

図4に座板の孔とFPAボルトの配置を、図5に試験体パイルキャップおよびFPAボルト定着部の配筋例を示す。試験体No.1は、径600mmのSC杭($F_c=80\text{N/mm}^2$)とし、座板は標準品と異なり、D25 FPAボルト20本と、SC杭に引張力を伝達するための杭体内アンカー筋(D25, $L=1000\text{mm}$)10本を設けた。試験体No.2は、径600mmのPHC杭B種($F_c=85\text{N/mm}^2$)とし、D25のFPAボルト9本を配した。試験体No.3は、径400mmのPHC杭B種($F_c=85\text{N/mm}^2$)とし、D19のFPAボルト4本を設けた。FPAボルトの材質はSD345である。定着長は、定着用ナット支圧面までとし全て20dとした。各杭体のパイルキャップへののみ込みは100mmとした。

パイルキャップは、コンクリートの設計基準強度 F_c を 24N/mm^2 とし、幅を杭体の径の2倍、加力方向長さ2400mm、高さ900mmとした。なお、試験体は、横にした状態でコンクリートを打設した。

パイルキャップ部をPC鋼棒で固定し、杭に水平力を与えた。パイルキャップ面から杭水平載荷点までの高さHは2400mmとした。また、軸力は加えていない。

4.1.2 実験結果

表4に杭頭接合部短期許容曲げモーメント時の計算値、最大荷重時実験値の結果を示す。図6に杭せん断力と端

部回転角との関係を示す。

いずれの試験体も、断面引張側からFPAボルトが降伏し、さらに強度上昇した後、杭頭接合部が曲げ破壊した。最大耐力は、接合部の曲げ耐力計算値の1.23~1.83に達し十分な強度を有していた。

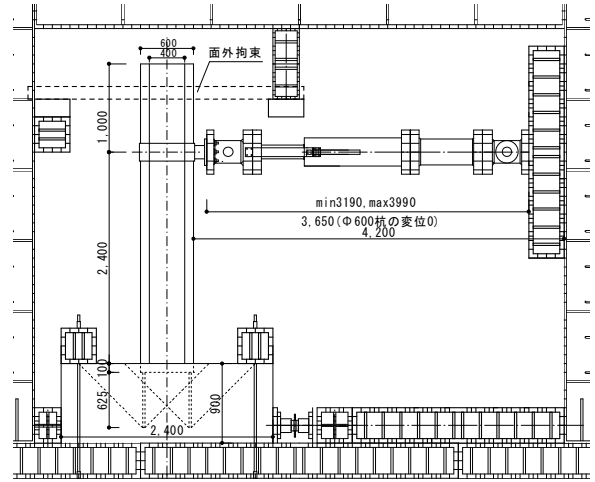


図3 試験体および加力装置

表3 試験体諸元

試験体名	No.1	No.2	No.3
検証対象	SC 杭	定着長 20d	最小本数 4 本
杭種	SC 杭 ϕ 600 (SKK490, $t=6\text{mm}$, $F_c=80\text{N/mm}^2$)	PHC 杭 B 種 ϕ 600 ($F_c=85$)	PHC 杭 B 種 ϕ 400 ($F_c=85$)
座板(SS400)	$t=19\text{mm}$ (補強)	16mm (標準)	12mm (標準)
座板ねじ孔数	30	13	9
FPA ボルト (SD345)	数-径-ネジ種 20-D25-W1	9-D25-W1	4-D19-W3/4
定着長	20d	20d	20d
杭体内アンカー筋(SD345)	10-D25-W1	—	—
パイルキャップ	コンクリート $F_c=24\text{N/mm}^2$ (スランブ 18cm)		

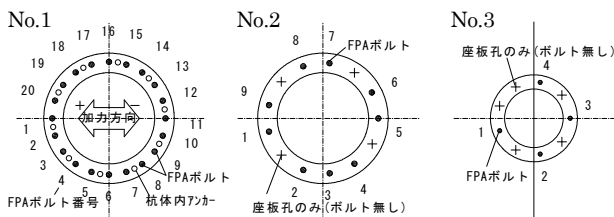


図4 座板の孔とFPAボルトの配置

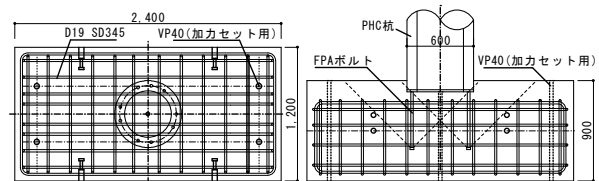


図5 パイルキャップの配筋例(No.2)

表4 実験結果

		杭頭接合部短期許容曲げモーメント時			最大荷重時				
		せん断力 Q	全体変形 R	端部回転 Ro	実験値 Q	計算値 cQ	Q/cQ	全体変形 R	端部回転 Ro
No.1	+	188.8	4.19	2.20	454.8	318	1.43	47.02	44.43
	-	-188.8	-4.70	-2.33	-414.8	-318	1.30	-30.17	-23.06
No.2	+	95.83	2.53	1.50	220.3	165	1.34	20.11	18.04
	-	-95.83	-3.30	-2.33	-203.0	-165	1.23	-20.13	-19.47
No.3	+	18.75	1.74	0.85	60.6	32.9	1.83	30.09	25.29
	-	-18.75	-1.93	-0.94	-40.7	-32.9	1.23	-20.00	-18.27

単位 Q[kN], R, Ro[1/1000rad.], 計算値 cQ: 杭頭接合部曲げ耐力計算値

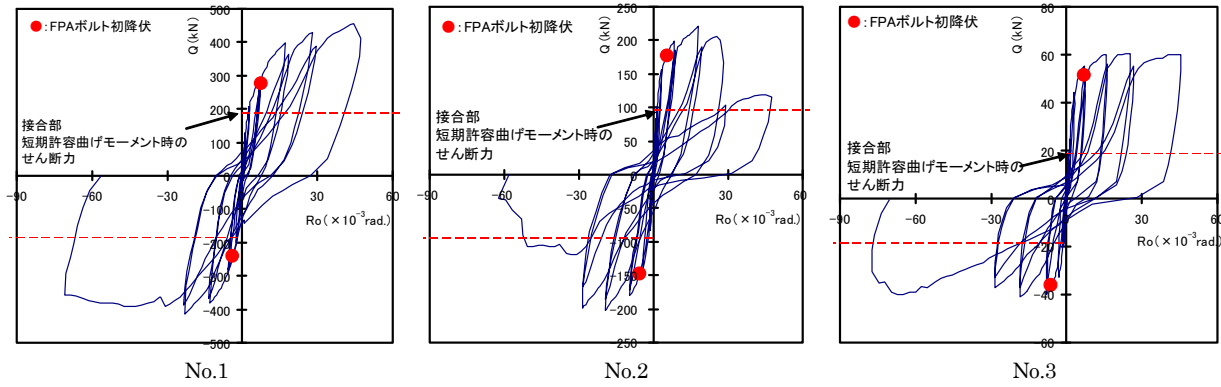


図6 杭せん断力と端部回転角との関係

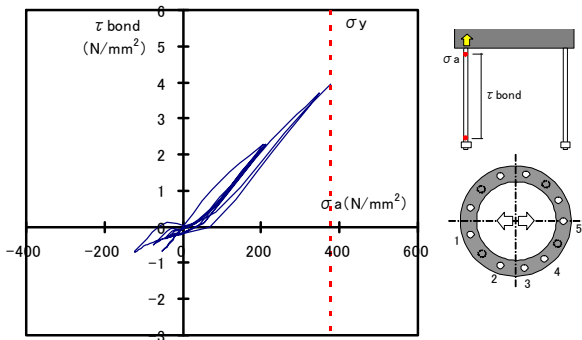


図7 FPA ボルトの引抜き力と平均付着応力度との関係の例(No.2 FPA ボルト1)

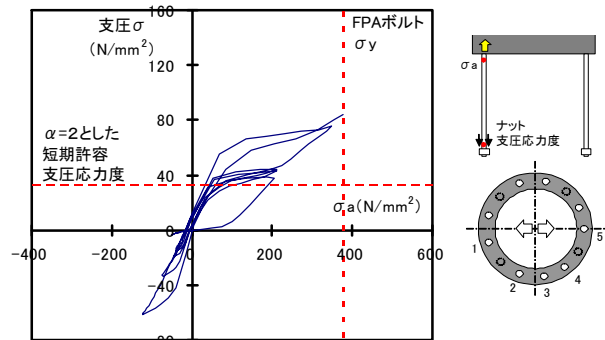


図8 FPA ボルトの引抜き力とナット支圧応力度との関係の例(No.2 FPA ボルト1)

4.1.3 検討および考察

a) FPA ボルトの定着状況

図7にパイルキャップ内の FPA ボルトの引抜き力(杭直近での引張応力度)と平均付着応力度との関係, 図8に FPA ボルトの引抜き力とナット支圧応力度との関係のそれぞれ例を示す。

FPA ボルトの平均付着応力度は, それぞれのボルトに作用する引抜き力と共に増加し, 平均付着力の頭打ちは見られず, 各ボルトの降伏時の引抜き力に対し十分な付着力を有していた。

また, 定着ナットに作用する支圧応力度は, 支圧強度係数 $\alpha = 2$ を超えて十分な定着性能を有しており, $\alpha = 2$ の支圧強度計算値に対し安全であることを確認した。

b) SC 杭の杭体内アンカーボルトの定着状況

図9に, SC杭(No.1)試験体でのFPAボルトと杭体内アンカー筋の歪度の関係を示す。また, 図10に, 杭体内アンカー筋とその近傍の鋼管の歪度の分布を重ねて示す。鋼管の歪度に比べアンカー筋の歪度の方が大きい区間は, 梁端から約300mmの間のみで, 杭端から300mm程度以上内部では両者の歪度は, 小変形時から大変形時($R=30 \times 10^{-3}$ rad.)までほぼ等しかった。つまり, 杭端から300mm程度までの区間で, アンカー筋から鋼管に付着力として力が伝達されていた。

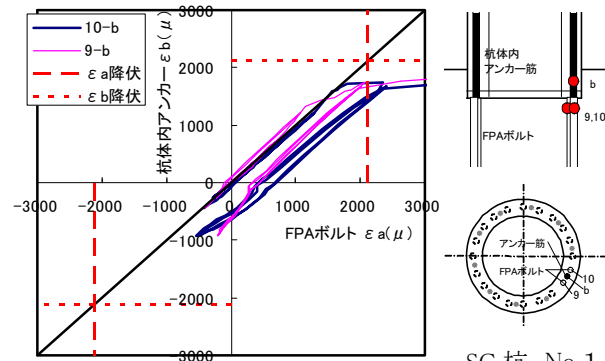


図9 FPA ボルトと杭体内アンカー筋の歪度の関係例

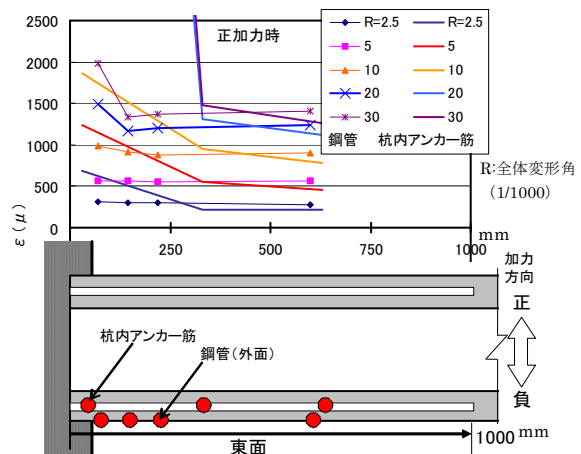


図10 FPA ボルトと杭体内アンカー筋の歪度の関係

表5 試験体変動因子 σ_y [N/mm²]

ボルト (ねじ) 降伏点 σ_y	D29 (M27)	D25 (M24)	D22 (M20)	$\phi 25$ (M24)
定着長 20d	No.4	No.1	No.5	No.6
15d	-	No.2	-	-
10d	-	No.3	-	-

4.2 FPA ボルトの引抜き実験

4.2.1 実験概要

パイルキャップへの FPA ボルトの定着力を検証するため、ボルト単体の引抜き実験を行った。

a) 試験体

試験体は、表5に示す6体で、No.1を D25 定着長 20d の基本試験体とし、定着長、ボルト径を変動因子とした。なお、本工法では、メートルねじとウィットねじの2種類を可能としているが、メートルねじのナットの方が支圧面積が小さく、定着に対し不利であると考え、本実験では、メートルねじについてのみ行うこととした。

試験体は、箱型枠の底面から所定の定着長さの FPA ボルトを立て、コンクリートを型枠内に打設したもので、コンクリート塊は無筋とした。コンクリートの反力が実験に影響しないように、定着ナットを頂点とした 45 度コーンより反力作用点を外側とするため、コンクリート塊の大きさは 1300×1300×H(高さ:定着長+100)とした。

b) 加力方法

加力は、試験体を上下反転させ、ボルトを上方向に引抜く。図 11 に示すように、試験体の4隅を反力作用点とした。FPA ボルトは、カップラーを介して PC 鋼棒と連結し、ジャッキにより引抜き力を与えた。

4.2.2 実験結果

表6に実験結果と計算値を比較して示す。また、図12に引張き力-抜け出し量の関係を示す。抜け出し量は、コンクリート内の鉄筋先端(定着ナット部)位置の動きを示す。なお、全試験体ともに、ボルトが降伏後も荷重上昇し、その後断面欠損しているカップラーねじ部の伸びが大きくなり、危険なために実験を終了した。したがって、定着耐力は、実験値の最大荷重以上の値である。

丸鋼を用いた No.6 は、初期段階(引抜き力 P が 20kN 程度)から、抜け出しを生じた。

異形棒鋼を用いた試験体の内、D25 を用い定着長さを 10d とした No.3 は、FPA ボルトの引抜き側の降伏後、コーン状にコンクリートが浮き、抜け出し量が増し、実験終了時では 9mm と大きくなった。No.3 と No.6 の 2 体は定着破壊したものと考えられる。

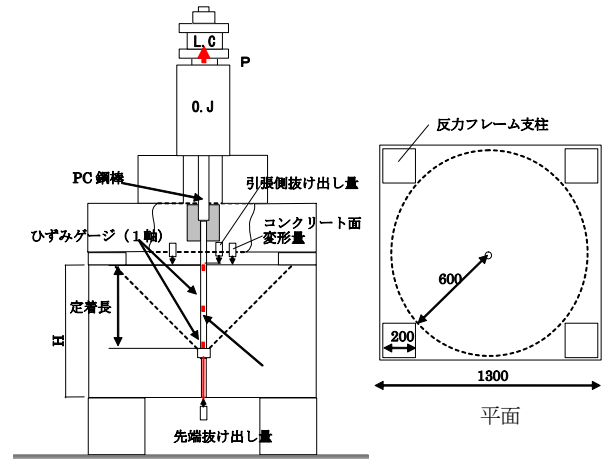


図11 試験体および加力装置

表6 実験結果と計算値の比較

試験体	短期許容付着 応力度計算値			母材 降伏 計算値 D(kN)	最大 荷重 実験値 E(kN)	実験値 /計算値	
	直線部 付着力 A(kN)	ナット 定着力 B(kN)	C =A+B (kN)			E/C	E/D
No.1	197.6	34.4	232.0	191.3	250.2	1.08	1.31
No.2	148.2	34.4	182.6	191.3	240.1	1.13	1.26
No.3	98.8	34.4	133.2	191.3	206.9	1.55	1.08
No.4	152.2	28.0	180.2	149.3	190.1	1.06	1.27
No.5	257.9	45.5	303.4	284.7	334.7	1.10	1.17
No.6	0	35.3	35.3	160.2	164.6	4.66	1.03

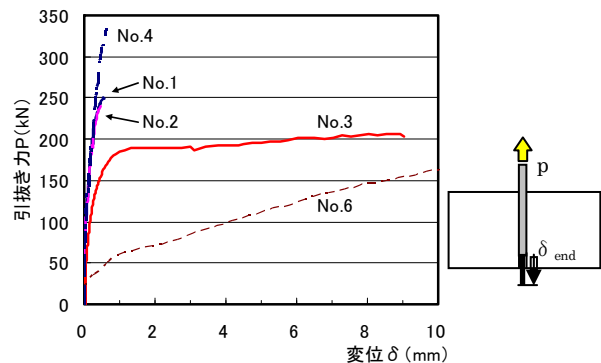


図12 引抜き力と抜け出し量(鉄筋先端)の関係

定着長さ 15d, 20d とした試験体は、終了時においても定着破壊は生じなかった(すべり量は最大 0.6mm)。

4.2.3 検討および考察

a) 付着力

図13に FPA ボルトのナット手前までの直線部の平均付着応力度の推移を示す。定着長さ L=20d とすることにより、付着応力度を短期許容応力度程度とすることが出来た。また、短期許容付着応力度計算値は、定着破壊した No.3 の最大平均付着応力度に対し 1.6 倍の安全率があった。

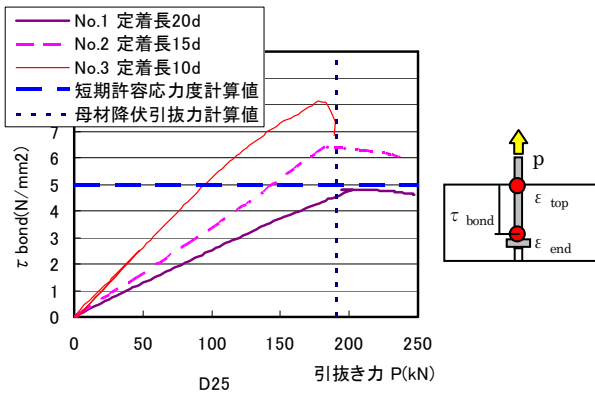


図13 平均付着応力度の推移

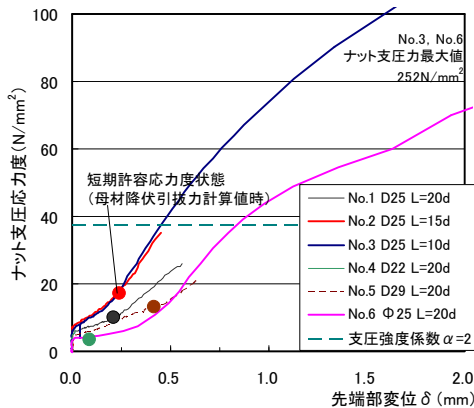


図14 ナット面の支圧応力度と抜け出し量の関係

b) ナットの負担定着力

図14にナット面の支圧応力度と先端での抜け出し量の関係を示す。支圧強度係数 $\alpha = 2$ とした許容応力度計算値が作用したNo.2において、定着破壊は生じていない。ナット面の支圧応力度最大値は、定着破壊した試験体No.3, No.6で、およそ 250N/mm^2 ($\approx 9 \times$ コンクリート圧縮強度 σ_B)であった。また、定着長 $20d$ のNo.1,4,5の短期許容応力度状態でのナットへの作用支圧応力は 20N/mm^2 以下と小さく、ナット定着耐力に対しては大きな余裕があることが確認された。

4.3 ひょうたん型ねじ接合部の引張試験

4.3.1 実験および結果の概要

FPA工法を適用する座板のねじ孔として、2穴の雌ねじが部分的に重なりひょうたん型となる場合がある。このねじ部の力学性能に関し、実際に用いる材料を用いて引張り試験を行い、低減率 β を決定した。

β は、ねじ部の降伏耐力 T_{ty} に対する短期許容引張力の低減率として設定し、引張試験での実験値に対し2倍以上の安全率を確保するよう β を設定した。

この結果、ボルトM22-座板t12の場合 $\beta = 0.5$ 、それ以外では $\beta = 0.7$ と定めた。

4.4 SC杭の座板引張試験

4.4.1 実験および結果の概要

SC杭に関し、座板の引抜き力が杭体内アンカー筋を介してコンクリートの付着により鋼管に伝達される機構を検証した。実験は、SC杭の杭頭のFPAボルト全数を同時に引張り、内部応力状況を測定し、検討した。なお、杭体内アンカー筋はFPAボルトの1/2の本数とした。

実験結果から、FPAボルトからの引張力に対して、1/2が杭体内に伝わったことを確認した。さらに、杭体内アンカー筋の定着長さを $30d(=750\text{mm})$ とすれば、短期許容引張力時の応力を鋼管へ伝達できた。

また、鋼管内側にずれ止めを設けることは、鋼管とコンクリートの付着抵抗を増大させ、引き抜きに対して非常に効果があった。

§5. まとめ

本工法による杭頭およびパイルキャップ部を模擬した水平加力実験を行い、強度および変形性能共に良好な力学性能を有することを確認し、さらに、FPAボルトの引抜き実験、ひょうたん型ネジ接合部の引張実験、SC杭の座板引抜き試験により、各要素の設計評価法を検証した。これにより、本工法の耐震性能に対する安全性が検証できた。

謝辞 今回の改良は、日本コンクリート工業(株)、安藤建設(株)、ジャパンパイル(株)との共同研究によって実施した。貴重なご意見、ご協力をいただきました関係者方々に深謝いたします。

参考文献

- 1)平成12年5月31日建設省告示1450号「コンクリートの付着、引張り及びせん断に対する許容応力度及び材料強度を定める件」
- 2)BCJ-審査証明-18:既製コンクリート杭の杭頭接合技術「FPA工法」, pp.15~18, 2002.3
- 3)日本コンクリート工業株式会社: TECHNICAL NOTE, pp.173~176, 2005

ひとこと

FPA工法は、構造性能・施工性能共に合理的な杭頭接合方法であり、支援体制も整っており、安心して使える工法です。



林 和也