

鋼管杭・鋼管矢板向け機械式継手 新「ハイメカネジ[®]」の開発

Development of Mechanical Joint New “High-Mecha-NejiTM” for Steel Pipe Piles and Steel Pipe Sheet Piles

市川 和臣 ICHIKAWA Kazuomi JFE スチール スチール研究所 土木・建築研究部 主任研究員 (課長)
佐藤 遼一 SATO Ryoichi JFE スチール スチール研究所 土木・建築研究部
寺尾 名央 TERAO Nao JFE スチール 建材センター 建材開発部 土木技術室

要旨

JFE スチールでは、鋼管杭用のネジ式機械式継手「ハイメカネジ[®]」を1998年から主に鉄道の仮設工事用として商品化しており、2011年には一般土木分野において公的な評価を取得して、橋梁基礎等の本設構造用での活用も進めてきた。

今回、機械式継手の必要性がますます高まっている社会環境下で継手の競争力を高めるために、適用可能な鋼管の径、板厚、鋼種および施工法を大幅に拡大するとともに、継手の構造を見直して、施工性を向上させた。変更内容については、構造試験、解析および施工試験により効果を検証し、新「ハイメカネジ[®]」として再度公的な評価を取得した。ここではその開発の経緯と内容を示す。

Abstract:

JFE Steel has developed a mechanical joint “High-Mecha-NejiTM” for steel pipe piles as a temporary construction use for railroads in 1998, and acquired public approval for real constructions in the field of public works in 2011. To raise its competitiveness in the social environment where the need of the mechanical joint has increased, we have largely expanded the application range of the diameter, thickness, strength, and construction method of the pile, and reviewed the structure of the joint to improve workability. We have inspected the effect of the changes by structural experiments, analysis, and construction tests, and renewed the approval as new “High-Mecha-NejiTM”. This paper introduces process and contents of the development.

1. はじめに

JFE スチールでは、鋼管杭用のネジ式機械式継手「ハイメカネジ[®]」を1998年から鉄道の仮設工事向けに商品化し、2011年には、一般土木分野向けに建設技術審査証明を取得¹⁾して施工実績を増やしてきた。

一方、鋼管杭を取り巻く環境は、①杭の大径・厚肉・高強度化、②強度の信頼性確保、③工期短縮、低空頭、狭隘地、硬質地盤等の厳しい施工条件、④様々な施工法の開発、⑤溶接技能者の大幅減少(20万人割れ²⁾)、といったトレンドが加速しており、機械式継手の必要性はますます高まっていると考えられる。

こうした状況を踏まえ、JFE スチールでは「ハイメカネジ[®]」の適用範囲を大幅に拡大するため、構造試験と解析、施工試験を行って新しい継手仕様を確立し、公的な認証を再度取得して新「ハイメカネジ[®]」として商品化した。

ここでは、検討した内容について述べる。

2. 開発の概要

2.1 継手の概要

従来型「ハイメカネジ[®]」の概要を以下に示す。

(1) ねじの形状：差込式平行多条ねじ

ねじ先端に余長を持たせた差込式の平行ねじとすることで、接合時の位置合わせを容易にしてねじ山のかじり等の施工トラブルを防止するとともに、4条ねじ(ねじの入り口が4か所)を採用することで、厚肉鋼管に対応したねじ山数が多い継手でも、接合に必要な回転数を1~2回転程度に抑え、施工性を確保している。

(2) 素材および製造方法：高強度鋼材

継手の素材は、JFE スチールの独自規格であるJFE-HITEN780を用いている。ピレットをリング鍛造+熱処理して降伏点685 N/mm²以上、引張強さ780 N/mm²以上を確保し、機械切削により継手を製作する。高強

度鋼材を用いることにより、継手が過度に厚くなることを防止し、中掘り工法も適用可能にしている。なお、継手は工場で鋼管に溶接された状態で出荷されるため、現場での溶接作業は不要である。

(3) 継手性能：鋼管全強以上

継手は取り付けられる鋼管の強度（圧縮・引張・曲げ・せん断）を上回る仕様とする。継手仕様は鋼管径ごとに3~5種類に規格化されており、板厚や規格に応じて1対1対応している。また、接合完了後にPIN継手とBOX継手にまたがって取り付けられる逆回転防止ピン（M28）のせん断抵抗により、ピン本数に応じたねじりトルクの伝達が可能となっている。

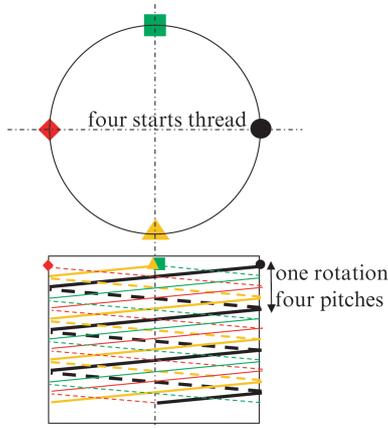
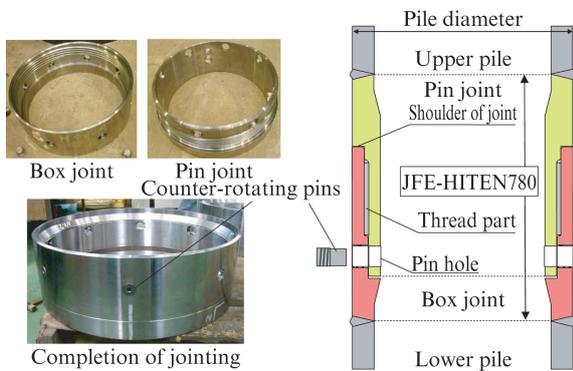


図1 「ハイメカネジ®」の構造

Fig. 1 Structure of “High-Mecha-Neji”™



写真1 「ハイメカネジ®」の施工状況

Photo 1 Constructing of “High-Mecha-Neji”™

「ハイメカネジ®」の構造を図1に、「ハイメカネジ®」の施工状況を写真1にそれぞれ示す。通常は位置合わせが容易となるよう、PIN継手を上杭側に配置することが多いが、BOX継手を上杭側にすることも可能である。

2.2 新「ハイメカネジ®」の開発コンセプト

「ハイメカネジ®」の基本仕様は維持しつつ、下記の条件を踏まえて適用範囲を拡大した。従来型との比較をまとめたものを表1に示す。

- (1) 鋼管材質は高強度鋼管杭のSM570材まで対応させ、鋼管径は道路橋示方書³⁾の記載最大径の2000mmまで対応させた。併せて継手の短尺化を図った。
- (2) 施工性の向上を図った。そのために、接合に要する回転数（平行ねじの場合、ねじ山数/条数となる）を削減して、条数およびねじ山高さを鋼管径に応じて最大16条、最大12mmとした。
- (3) バイブロハンマ工法、打撃工法を追加した。回転杭についても、対応トルクを大幅に増加させた。
- (4) 鋼管矢板に対応させた。

2.3 新構造追加

開発コンセプトを満足するため、図2に示す構造を新たに追加した。これらの性能は、試験および解析で検証した。各構造の概要を以下に示す。

(1) 逆回転防止ピンの大型化および取付位置変更

高トルクが必要な回転杭向けに、ピンのサイズを大

表1 従来型との比較

Table 1 Comparison with conventional type

	Conventional type	New type
Pipe diameter	318.5 mm-1 200 mm	318.5 mm-2 000 mm
Pipe thickness	6 mm-35 mm (SKK400) 6 mm-28 mm (SKK490)	6 mm-60 mm (SKK400, SKY400) 6 mm-45 mm (SKK490, SKY490) 6 mm-30 mm (SM570, SM490Y)
Piling method	Bored pile Rotation pile Jacked pile	Bored pile Rotation pile Jacked pile Driven pile
Number of starts	4	4-16
Number of threads	3-9	1-10
Thread height	4-5	4-12
Number of counter-rotating pins	2-16	0-38
Application	Steel pipe pile	Steel pipe pile Steel pipe sheet pile
Margin in the strength of joint	1.1	1.2
Total length	190 mm-400 mm	171 mm-401 mm

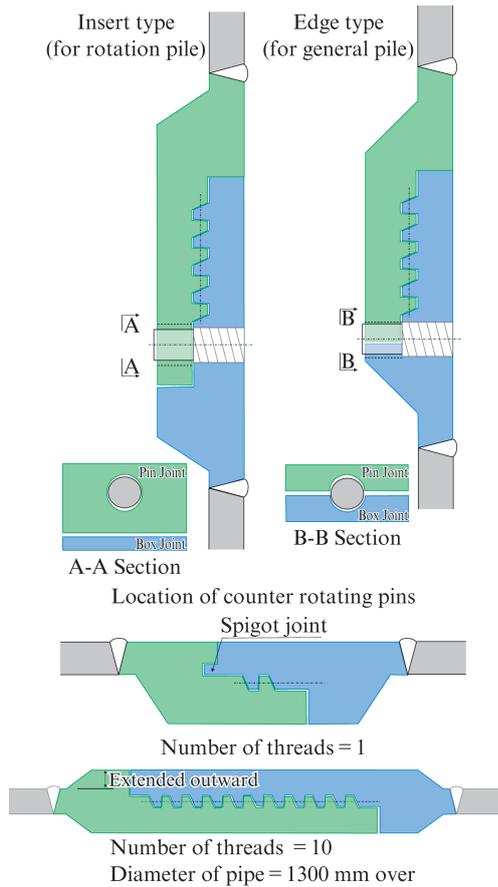


図2 新構造

Fig. 2 New design of “High-Mecha-NejiTM”

型化して最大本数も増加させた。この仕様を「インサートタイプ」と称する。一方、施工時にトルクがほとんど作用しない工法向けに、逆回転防止ピン用のPIN継手孔を切り欠きとした構造を追加し、継手を短尺化した。こちらを「エッジタイプ」と称する。

(2) インロー構造

ねじ山数が1つの場合、曲げ作用時の変形性能を高めるため、継手のショルダー部にインロー構造を採用した。

(3) 外側張出構造

径が1300mm以上で最も厚肉鋼管用の場合には、継手の曲げ性能を高めるため、外側に張り出した構造とした。張出量は周面摩擦力に影響を与えないよう、一律9mmとした。

3. 仕様設定および構造性能の検証

3.1 概要

基本的には従来型の「ハイメカネジ[®]」の設計手法を用いる。圧縮・引張については荷重伝達機構が周方向で一様であることから、寸法の影響はほとんど受けないと考えられる

が、曲げやせん断については寸法や新構造の影響を受けると考えられるため、実験および解析による検討を行った。

なお、本報では、曲げ性能についての検討内容を示したが、せん断についても同様の検討を実施し、評価を受けている。

3.2 検討フロー

曲げ性能における検討フローを以下に示す。

① 曲げ試験の実施と耐力の評価

継手パラメータ(径、ねじ山高さ、ねじ山数、新構造、条数)の影響を確認し、試験体の最大耐力が提案する設計式を満足することを確認する。

② FEMの妥当性検証

曲げ試験結果をFEMを用いて再現できることを確認する。

③ 継手の仕様設定

鋼管杭の径、板厚、材質に応じた継手仕様を、設計式に基づき設定する。

④ FEMによる継手の性能検証

②で検証した解析手法を用いて、③で設定した継手が所定の耐力を有することを確認する。

3.3 曲げ試験およびFEMの妥当性検証 (①, ②)

表2に示す全9体の4点曲げ試験を実施し、うち4体についてFEMで再現した。試験体選定における主な着目点を以下に示す。

- (1) 最大径 (2000 mm), 最大板厚・規格 (30 mm SM570) での耐力確認
- (2) 最大ねじ山高さ (12 mm), 最大ねじ条数 (16 条, リード角≒4.5 度) での耐力確認
- (3) インロー構造 (ねじ山数 1), 外側張出構造 (ねじ山数 10) の影響確認
- (4) 正負交番の影響確認

継手の最大耐力まで確認したのは2体だが、全ての試験において継手耐力または最大載荷荷重が設計式を満足していることを確認した。試験 No.4 については鋼管が先行破壊したため、別途鋼管を弾性体としたFEMを実施し、得られた継手耐力との比較結果を示した。

曲げ試験の代表例として、試験 No.7 の概要と結果を図3に示す。図中にはFEMの結果も併せて示しており、FEMで継手の挙動がほぼ再現できていることを確認した。

FEMは継手および鋼管の材料試験結果に基づく3次元ソリッド要素を用いた弾塑性解析とし、継手同士の接触や摩擦を考慮するモデルを用いた。なお、ねじ山形状は軸対称として扱い、対称性を踏まえて1/2モデルとした。

3.4 継手の仕様設定 (③)

設計式に基づき、鋼管の仕様に対応する継手の仕様を設定した。主な設定項目を図4に示す。

表2 4点曲げ試験
Table 2 List of 4point bending tests

Test No.	Joint type	Pipe spec.	Focus point of joint	Simulation	Strength ratio (test/design)	fracture location
1	Conventional type	D318.5-t12 SKK490	minimum diameter reversed cyclic number of threads = 4		1.214	-
2		D800-t25 SKK490	maximum diameter of thread height = 4 mm number of threads = 9	FEM	1.004	-
3		D1200-t28 SKK490	maximum diameter of thread height = 5 mm number of threads = 6		1.039	-
4	New type	D1500-t30 SM570	maximum thickness and grade extended outward number of threads = 10	FEM	1.284*	pipe
5		D700-t16 SKK490	number of starts = 8 number of threads = 2		1.632	joint
6		D700-t16 SKK490	spigot joint number of starts = 8 number of threads = 2		1.728	-
7		D1000-t16 SKK490	number of starts = 8 number of threads = 2	FEM	1.028	joint
8		D1000-t16 SKK490	spigot joint number of starts = 12 number of threads = 1		1.364	-
9		D2000-t20 SM570	maximum diameter maximum thread height (12 mm) spigot joint number of starts = 16 number of thread = 1	FEM	1.043	-

* maximum load in FEM with elastic pipe (because of fracture of pipe)

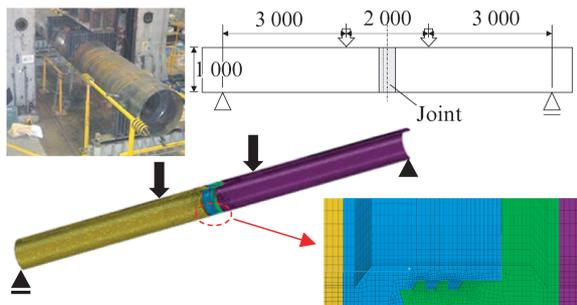


図3 曲げ試験および解析の概要と結果

Fig.3 Overview and result of bending test and analysis

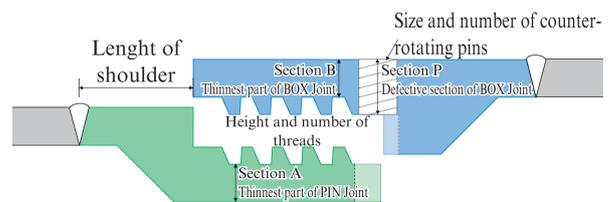


図4 継手の仕様設定

Fig.4 Setting of joint specification

継手は鋼管の仕様に応じて鋼管杭向け（Jシリーズ）、鋼管矢板向け（Kシリーズ：薄肉のSKK400, SKK490材用・小回転）の2種類とした。また、施工条件に応じて下記の選択を可能とした。

(1) 逆回転防止ピンの仕様

必要なトルクに応じて、逆回転防止ピンの本数や配置を設定した。なお、継手の仕様設定では、逆回転防止ピンを最大本数として検討した。

(2) ねじ条数

鋼管杭向けは4条、鋼管矢板向けは8条を標準としたが、現場状況や施工機械等の都合により接合回転量を減らす必要がある場合には、条数を増やすこととした。

表3 解析を実施した継手の仕様
Table 3 Analyzed joint specification

Strength of joint		weak ←————→ strong			
Number of threads		few ←————→ many			
Spec. thickness (mm)	SKK400	6-16	17-35	36-52	53-60
	SKK490	6-12	13-28	29-38	39-45
	SM570	6-8	9-20	21-26	27-30
Diameter (mm)	900	J900A K900Z*1		J900G	-
	1 000				
	1 200	J1200A	J1200Y		J1200G
	1 500				
2 000	K2000Z*1	J2000A K2000Y	J2000E	J2000G*2	

*1: spigot joint

*2: extended outward

Joint series	Name	Number of threads	Thread height (mm)	Thickness of pipe (mm)	Bending strength (kNm)
J	J900A	2	5	6-SM570	2 590
	J900G	10	5	26-SM570	10 728
	J1200A	2	6	7-SM570	5 380
	J1200G	10	6	30-SM570	22 181
	J2000A	2	8	9-SM570	19 266
	J2000E	6	8	25-SM570	52 661
	J2000G	10	8	30-SM570	62 875
K	K900Z	1	10	10-SKK490	2 994
	K1200Y	2	10	18-SKK490	9 507
	K2000Y	2	12	21-SKK490	31 090
	K2000Z	1	12	12-SKK490	17 927

3.5 FEMによる継手の性能検証 (④)

設定した仕様は径ごとにJシリーズが5~7種類, Kシリーズが1~2種類あるため, 合計171種類と多岐にわたる。

全ての仕様について解析するのは困難なため, 鋼管径, ねじ山数, ねじ山高さ, 新構造に応じた代表的な仕様 (Jシリーズ 7種類, Kシリーズ 4種類) についてFEMを実施した。

FEMモデルは, 3.3と同様の4点曲げモデル (载荷点間距離を $2.0D$ (D =鋼管径), アーム長を $4.0D$ とした) を用い, 継手は規格降伏点 (685 N/mm^2) を用いたバイリニアの弾塑性体, 鋼管は適用する最大強度における最大板厚の弾塑性体として, 継手自体の曲げ耐力を算出した。

適用範囲における解析した継手仕様の位置付け, 継手の仕様および曲げ耐力を表3に示す。

解析で得られた支間中央部の荷重-変位関係を鋼管の全塑性耐力と, 梁の曲げせん断変形量の計算値で正規化して整理した結果を図5に示す。なお, 全ての試験体で継手部

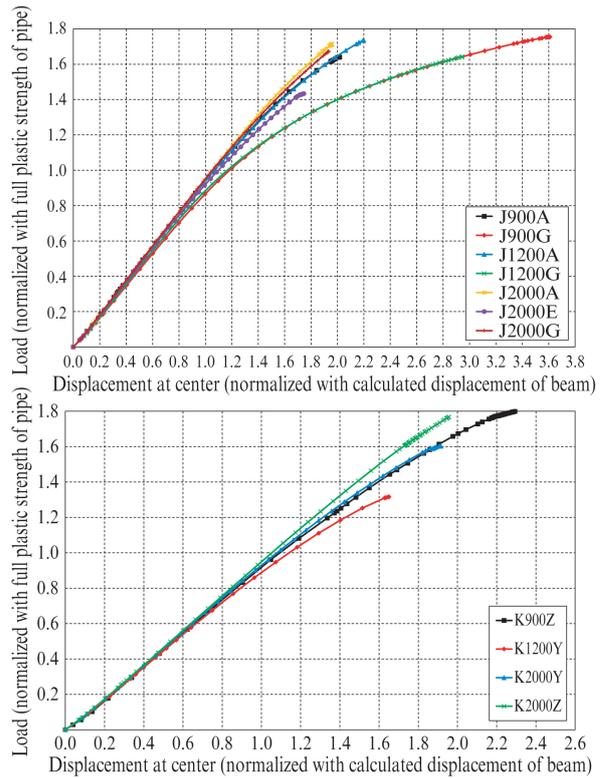


図5 正規化した荷重-変位関係

Fig. 5 Normalized load-displacement curve

の荷重伝達が不安定となって解析を終了した。

いずれの仕様も鋼管の1.2倍以上の耐力を有していること, 継手付き鋼管の剛性は鋼管とほぼ同等と見なせることから, 設定した継手仕様は, 鋼管に対して十分な強度を持っていることが確認できた。

4. 施工性能の検証

4.1 概要

継手の接合時間が溶接と比べて短縮できること, および新たに追加した施工法においても継手が健全であることを確認するために, 継手の接合試験と施工試験を実施した。

4.2 接合時間

最小径から最大径までの継手を用いて, 接合に要する時間を調査した。積算資料に基づき計算した溶接時間との比較結果を表4に示す。

ばらつきはあるものの, 継手はおおむね10分未満で接合を完了しており, 溶接接合と比べて大幅 (1/5以下) に時間が短縮されること, 径が大きくなるほど時間短縮効果が大きいことを確認した。

4.3 バイブロハンマ工法・打撃工法への適用

ハイメカネジを用いて, バイブロハンマ工法と打撃工法

表5 試験杭の仕様と施工条件

Table 5 Specification of test pile and construction condition

Pipe spec.	Hammer type	Machine spec.	Construction condition
D700 mm t12 mm	Vibro-hammer	Motor 120 kW Vibratory force 748 kN Frequency 16 Hz	Vibratory force 748 kN Driving time 11 min. (N<50) 56 min. (N>50)
D600 mm t9 mm	Hydraulic hammer	Ram weight 10 ton Driving energy 150 kNm	Driving energy 40 kNm Total number of impacts = 534

表4 継手の接合時間

Table 4 Lead time of jointing

	Pile spec.		Joint time	Welding time ^{*1}		A/B
	Diameter	Thickness		A	B	
	mm	mm	min	min		
Test1	318.5	12	5	22	0.21	
Test2	609.6	9.5	2	33	0.06	
Test3	800	13	8	46	0.16	
Test4	800	16	12	59	0.20	
Test5	800	25	6	83	0.08	
Test6	1 000	12	4	44	0.10	
Test7	1 200	25	10	125	0.08	
Test8	2 000	20	3	208	0.02	

*1: estimation standard of public works



写真3 逆回転防止ピンの緩み止め防止策
Photo 3 Prevention of slack for counter rotating pins

表6 試験杭の仕様と施工条件

Table 6 Specification of test pile

Pipe spec.	Number of starts	Number of threads	Thread height
D1 000 mm-t12 mm	8	2	8 mm

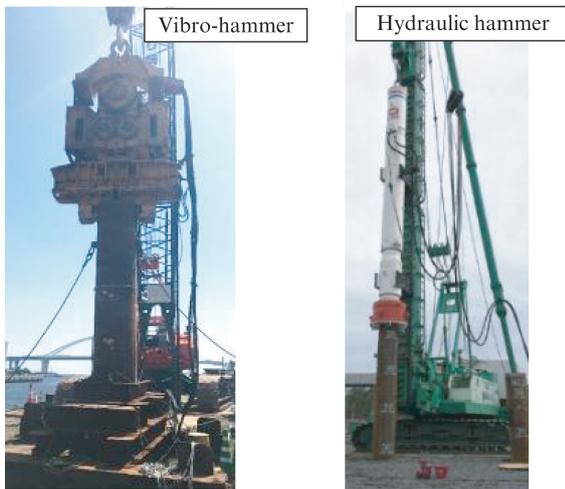


写真2 ハイメカネジ®の施工試験
Photo 2 Constructing test of "High-Mecha-Neji™"

の施工試験を実施した。試験杭の仕様と施工条件を表5に、施工状況を写真2に示す。

継手に対して厳しい試験とするため、バイブロハンマについては、杭基礎施工便覧⁴⁾に記載の最長施工時間の目安である60分程度施工し、打撃工法については、N値50以上の地盤に約1.2m根入れさせている。

なお、施工時の逆回転防止ピンの緩み止めのため、写真3に示すようにピンに特殊ナイロンを塗布し、一定のトルク

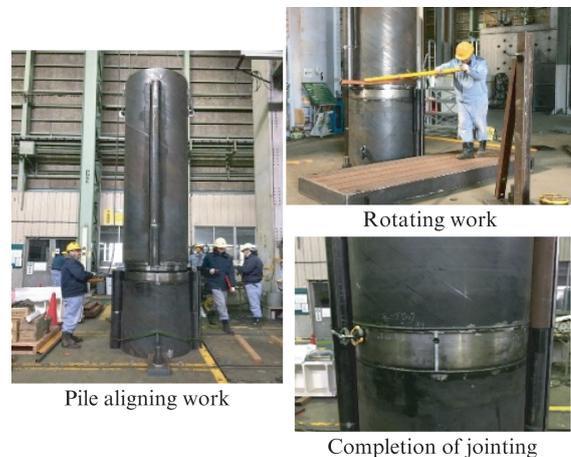


写真4 鋼管矢板接合状況
Photo 4 Jointing of steel pipe sheet pile

(50 N·m)で締め込みを行っている。

試験完了後、継手を取り外して継手内部の状況を確認した。ねじ部には損傷や変形は確認されず、再度の接合も可能であったことから、バイブロハンマ工法や打撃工法にもハイメカネジを適用可能であることを確認した。

4.4 鋼管矢板への適用

鋼管矢板については、鋼管横の連結継手の方向を上下の鋼管で一致させることが最も重要であるため、実際に継手

表7 試験杭の仕様と施工条件
Table 7 Specification of test pile

Pipe spec.	Number of starts	Number of threads	Thread height
D700 mm-t16 mm	4	4	4 mm

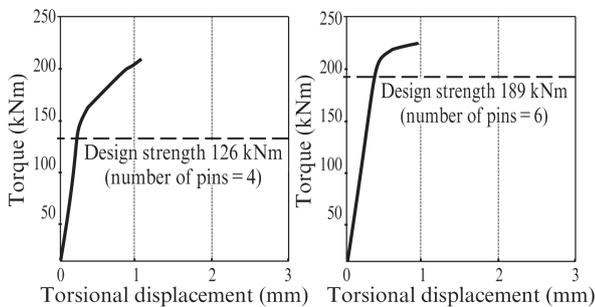


図6 ねじり試験の概要と結果

Fig. 6 Overview and result of torsion test

付き鋼管矢板を製造し、ハイメカネジの接合完了時に連結継手の方向を一致させることができるかを検証した。

試験体の仕様を表6に示す。ねじ部は8条2山であり、90度の回転で接合完了となるが、写真4に示すように、問題なく接合できた。

なお、ハイメカネジの変形を防止するため、機械式継手近傍では連結継手と鋼管の溶接を省略した。

4.5 ねじり試験

逆回転防止ピン用の孔を切り欠き構造とした継手について、実際の施工機械を用いてねじり試験を行った。試験の概要と結果を表7及び図6に示す。

逆回転防止ピンの本数に応じたねじり耐力まで継手はほぼ弾性的に挙動しており、切り欠き構造においても、所定の耐力を発揮できることを確認した。

5. おわりに

本報では、鋼管杭・鋼管矢板向け機械式継手である新「ハイメカネジ[®]」の開発について述べた。より詳細な内容については、(一財)土木研究センターにて取得した建設技術審査証明の報告書⁵⁾に記載されている。

適用範囲が大幅に拡大されたことにより、従来は対応できなかった条件下での機械式継手の活用が期待されており、今後、さらなる普及に努める所存である。

参考文献

- 1) 河野謙治, 横幕清. 鋼管杭の機械式継手「ハイメカネジTM」の土木分野への展開. JFE 技報. 2013, no. 31, p. 62-67.
- 2) 国勢調査. 職業就業者数 (金属溶接・溶断従事者).
- 3) (公社) 日本道路協会. 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編. 2017.
- 4) (公社) 日本道路協会. 杭基礎施工便覧. 2015.
- 5) (一財) 土木研究センター. 鋼管杭・鋼管矢板の機械式継手「ハイメカネジ」建設技術審査証明報告書 (建技審証 第1101号). 2018.



市川 和臣



佐藤 遼一



寺尾 名央