

# 鋼管杭の機械式継手「ハイメカネジ™」の土木分野への展開

## Application of Thread Joint “High-Mecha-Neji” for Steel Pipe Piles in Construction Field

河野 謙治 KONO Kenji 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）  
横幕 清 YOKOMAKU Kiyoshi JFE スチール 建材センター建材開発部 主任部員（課長）

### 要旨

JFE スチールでは、鋼管杭の機械式継手として「ハイメカネジ™」を開発し、主に鉄道工事向けに適用されてきたが、近年の環境変化を踏まえ、一般土木分野での活用に資するために公的認証を取得し、有識者による第三者評価を得た。取得に当たっては、「ハイメカネジ™」が鋼管本体と同等以上の耐力を有すること、継手接合の所要時間が 1 箇所当たり 10 分程度であることを確認、溶接接合に対する高い優位性を実証した。

### Abstract:

JFE Steel has produced a thread joint called “High-Mecha-Neji” for steel pipe piles, and applied mainly for railroad construction works. Based on the change of the social environment, JFE Steel has acquired the official certification for the application of “High-mecha-Neji” in the construction field. Expert committee confirmed that (1) “High-Mecha-Neji” had the strength same as those of pipe piles to be jointed, and (2) joining of the joint could be achieved in about 10 min per joint.

## 1. はじめに

構造物の基礎として用いられる鋼管杭の現場接合は、従来よりセルフシールドアーク溶接によって行われてきた。JIS A 5525（鋼管ぐい）には、溶接部の標準的な開先形状なども示されており、最も汎用的な鋼管杭の現場接合方法として現在でも多用されている。

一方、鉄道軌道内での杭工や地すべり抑止杭工といった、溶接作業に要する時間が障害となるような特殊工事向けには、溶接に代わる無溶接機械式継手に対する根強い要望があった。これに対して、JFE スチールでは、「ハイメカネジ™」や「ネジール®」<sup>1)</sup>といった鋼管杭用機械式継手（図 1）を開発し、社会へ提供してきた。ただし、機械式継手を用いることによる利便性向上の効果や工期短縮に伴う経済効果を適切に評価する手法が陽に示されるには至っていない。このため、上述の特殊な制約条件下にほぼ限定して採用されてきた。

しかしながら、近年、公共事業において工期短縮や品質確保といったことが盛んに叫ばれるようになるなど、一般的な条件の元においても機械式継手を求める機運が高まりつつあると認識している。本論文では、この社会的要請を受け、一般土木分野での活用に資するために公的認証（建設技術審査証明）を取得した、「ハイメカネジ™」の概要について

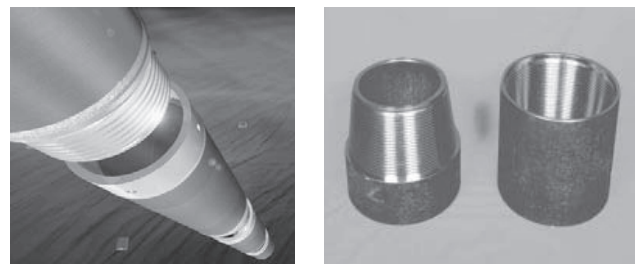


図 1 「ハイメカネジ™」と「ネジール®」  
Fig. 1 “High-Mecha-Neji” and “Neji-ru”

述べるものである。

## 2. 機械式継手を取り巻く環境とその変化

### 2.1 機械式継手の必要性

鋼管杭の現場接合技術としての溶接は豊富な実績を有する優れた方法であるが、(1) 鋼管寸法（外径・板厚）によっては作業時間が非常に長くなる、(2) 風雨時の作業が困難である、(3) 溶接品質が溶接工の技量に大きく依存する、(4) 検査の所要時間が長い、(5) 結果として溶接が杭の施工能率向上の大きな阻害要因になっているなど実施上の制約条件となることもある。それゆえに、前述の特殊工事のみならず、ユーザーからはこれらの制約条件を除去可能な接合技術の実用化に対する強い要望がある。

機械式継手の必要性について、以下にまとめる。

(1) 低空頭施工への対応

鉄道軌道内のように上空に架線がある場合や供用下にある既設橋梁の基礎の補強を行なう場合など、空頭制限下で鋼管杭を施工する必要がある場合、短尺の杭を多数接合していくことになる。接合箇所が多ければ、工事時間に占める現場円周溶接の時間が支配的となる。さらに、鉄道工事では終電から始発までの厳しい時間制約の中で施工を行なう必要もある。これら施工条件に対して機械式継手は有効であり、既に鉄道工事でも多数採用されている。

(2) 鋼管杭の厚肉化・高強度化への対応

地すべり抑止鋼管杭は、山間部の斜面のすべり面を貫いて設置されるもので、強大なすべり力に鋼管杭が直接抵抗することによって地すべりを抑止するために、厚肉の鋼管杭が多く使用される。そのため、現場円周溶接では溶接時間の増大は避けられない。また、高強度化 (JIS G 3106 の SM570 相当) により板厚低減を図って経済性を高めた地すべり抑止鋼管杭もあるが、溶接部の強度確保の観点より、セルフシールドアーク溶接ではなく炭酸ガスシールドアーク溶接が必要となる。炭酸ガスシールドアーク溶接は、その品質が風の影響を顕著に受けるため、現場での施工管理の難度が相対的に高い。このような背景から、地すべり抑止鋼管杭では、気象条件に左右されず急速施工の可能な機械式継手が早い段階から受け入れられており、現在では完全に定着している。

(3) 工期短縮への対応

橋梁などの杭基礎に用いられる鋼管杭の場合、板厚は比較的小さい (一般に板厚外径比  $t/D$  の最小値は 1%) ため、機械式継手の採用による工期短縮効果は地すべり抑止鋼管杭ほど大きくはないが、現場接合時間の短縮が可能であることから、全体工期の短縮が期待できる。たとえば、渡河橋の建設において、渇水期内での施工が求められる場合など、機械式継手は有効な手段となるものと考えられる。

(4) 溶接工減少への対応

近年、溶接工の長期的な不足傾向が指摘されている。

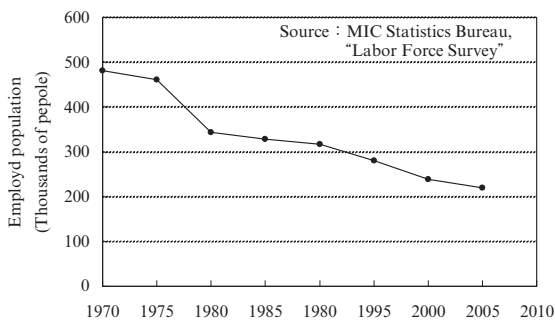


図2 金属溶接・溶断作業者の数の変遷  
Fig. 2 Trend in number of welders and framecutters

図2に金属溶接・溶断作業者の数の変遷を示すが、現在では1970年代と比較して半減していることが分かる。一方の機械式継手は、現場接合作業において特殊な技量や資格は不要であり、特殊技能工の不足の影響を受けない。

2.2 当社の機械式継手の開発経緯

2.1節の機械式継手の必要性を踏まえ、当社では各種の鋼管杭用機械式継手を開発してきた。図3に機械式継手の開発経緯を示す。油井管のねじ継手を応用し、治山分野での地すべり抑止鋼管杭用の機械式継手から開発を始めている。「ネジール®」<sup>2,3)</sup>は「1条・テーパ・台形ねじ継手」, 「メカネジ」<sup>4,5)</sup>は「4条・平行・三角ねじ継手」である。その後、「メカネジ」の「4条」を「1条」の「ネジール®」に採用し、回転数を約1回転まで低減させ、かつ嵌合初期の鉛直性の安定に伴うかじり防止を付与した「4条・テーパ・台形ねじ継手」の「ネジール®」を現在提供している。

一方、鉄道工事向けにも「メカネジ」を適用し始めていたが、逆に「ネジール®」の「台形ねじ」を「メカネジ」に採用し、さらに荷重伝達効率を向上させたものが「4条・平行・台形ねじ継手」の「ハイメカネジ™」である。図4に「ハイメカネジ™」の適用実績を示すが、これまでに鉄道分野を中心に約50件 (継手数約3,000個) の工事に採用されている。

Field	1995	2000	2005	2010
Road and port			Kashieen	
Railroad		Mecha-Neji	High-Mecha-Neji	
Afforestation (Landslide)		Neji-ru		Neji-ru
		Mecha-Neji		
Building			High-Mecha-Neji	

図3 機械式継手の開発経緯

Fig. 3 Development chronology of mechanical joints

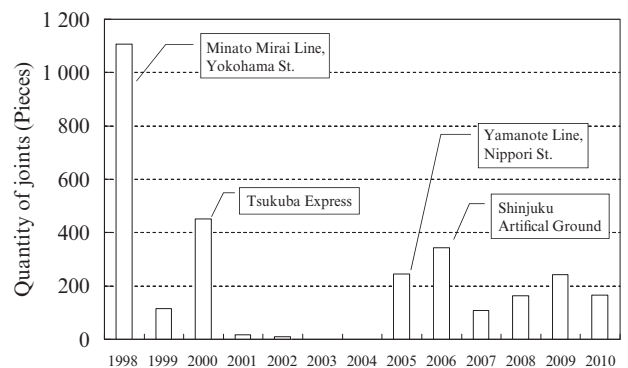


図4 「ハイメカネジ™」の適用実績  
Fig. 4 Adoption results of "High-Mecha-Neji"

### 2.3 一般土木分野への展開

前述したように、溶接継手の代替としての鋼管杭の機械式継手は一定の利便性を有するものの、これに伴う効果を適切に評価する手法が陽に示されておらず、鉄道や治山分野以外の幅広い分野で積極的に活用される環境にはなかった。しかし、近年の技術基準<sup>6,7)</sup>には機械式継手が紹介され、さらには公共事業の調達方式に係る制度が変更されるなど、工期短縮や品質確保を従来以上に重視する機運が高まってきた。実際に、事業者や施工者によって機械式継手の適用が検討される機会が徐々に増加しつつある。

さらに、既設道路橋基礎の耐震補強の必要性が指摘されている<sup>8)</sup>。古い時代に建設され、現行の基準の要求水準を満足しない道路橋の数は膨大である<sup>8)</sup>。増し杭による補強を行なう場合には、供用中の橋梁の桁下において、短尺の鋼管杭を多数継ぎ足しながら施工を行なう必要が生ずると考えられる。

逼迫する巨大地震に供えるため、耐震補強が必要と判断される道路橋基礎の補強事業は速やかに行なう必要があると考えられる。特殊技能工を必要とせず、現場作業時間の短縮が可能な機械式継手は、このような社会の要請に応えることが可能であると考えられる。そこで、豊富な採用実績を有する機械式継手「ハイメカネジ™」を対象に、土木分野での公的認証である建設技術審査証明を取得することとした。なお、言うまでもなく、建設技術審査証明は客観性の高い第三者による評価結果であるので、採用を検討する場合の貴重な判断材料となる。

## 3. 鋼管杭の機械式継手「ハイメカネジ™」の必要条件

### 3.1 要求性能

「ハイメカネジ™」の建設技術審査証明の取得に当たり、以下に示す要求性能を設定した。

(1) 継手強度

継手部が鋼管本体と同等以上の強度（圧縮・引張・曲げ・せん断）を有すること

(2) 耐久性

継手部が鋼管本体と同等の耐久性（耐腐食性）を有すること

(3) 継手施工性

継手施工作業時に特殊な機材や技能が不要であり、かつ溶接接合と比較して短時間で施工可能であること

ここで、継手部の強度は必ずしも鋼管本体と同等である必要はないが、いわゆる全強継手とすることにより、設計実務において継手部の断面照査を省略できる利便性も同時に確保されることになる。

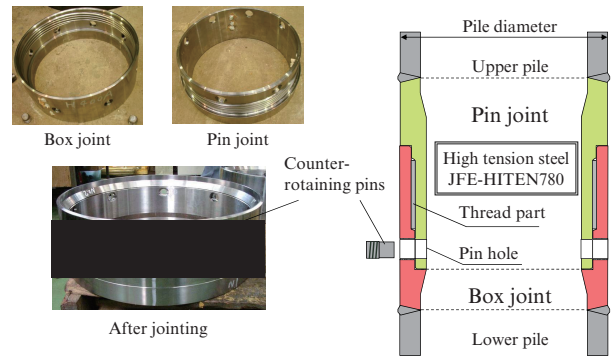


図5 「ハイメカネジ™」の構造

Fig. 5 Structure of "High-Mecha-Neji"

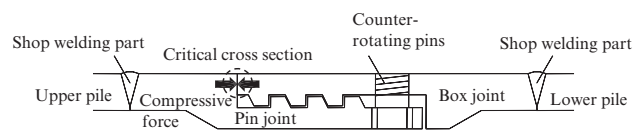


図6 圧縮力の荷重伝達メカニズム

Fig. 6 Transfer mechanism of compressive force

### 3.2 「ハイメカネジ™」の構造

上記の要求性能を満足する構造として、「ハイメカネジ™」では「4条・平行・台形ねじ継手」を採用した（図5）。2.2節で述べたとおり、「メカネジ」の「4条・平行」および「ネジール®」の「台形ねじ継手」を組み合わせて改良したものである。

「4条」ねじの採用は、通常の1条ねじの1/4の回転数とすることにより、継手接合時の回転作業負荷の軽減を目的としている。また、継手接合途中でのねじの噛み合わせ不良を防止するため、接合開始時に一旦ねじが噛み合わせばその後はねじピッチで接合される「平行」ねじを採用、安定した施工性が得られるようにした。

さらに、従来の「メカネジ」は、圧縮力および引張力の両方を「三角ねじ」が伝達する構造であったが、「ハイメカネジ™」では、原則として圧縮力はオス・メス継手の突き合わせ部（ショルダー部）に負担させ、引張力のみ「台形ねじ」で伝達させることにした（図6）。このような、荷重分担およびオス・メス継手のねじ山間の荷重伝達効率の合理化の結果、「メカネジ」よりもねじ長さを大幅に低減でき、より経済的なねじ継手とすることが可能となった。

継手部長さは、 $0.25D \sim 0.5D$ （ $D$ ：鋼管径）と比較的短い。鋼管が弾性範囲を超えるような大変形を受ける場合には、鋼管に対して剛性の大きな継手近傍の鋼管のひずみが大きくなるが、継手部長さが短いことにより、この影響を小さくする効果も得られる。

なお、「ハイメカネジ™」の材料は、引張強度  $780 \text{ N/mm}^2$  級の高張力鋼である JFE-HITEN780（当社独自規格）としている。ピレットをリング鍛造・熱処理後、ねじ部を切削加工

して製作するオス・メス継手を鋼管本体に溶接により取り付け手順で製造し、所定の検査を行なってハイメカネジ™付き鋼管杭として提供している。

ここで、継手部に高張力鋼を使用しているのは、継手部材の厚みを極力小さくすることを目的としており、これは(1) 施工された鋼管杭の周面抵抗力に悪影響を及ぼさないよう、鋼管外表面から継手部を突出させない、(2) 中掘り工法において鋼管中空部に挿入される施工器具との干渉を避けることを意図している。

なお、逆回転防止ピンは、接合後の「ハイメカネジ™」が万一の際の外れ止め機能（フェールセーフ）を有するとともに、一定のねじりトルクを伝達する機能を併せて具備しており、逆回転防止ピンの数量に応じて定めたねじりトルク

表1 「ハイメカネジ™」の力学試験  
Table 1 Mechanical test of "High-Mecha-Neji"

Test case	Specimens	
	Specifications	Number
1. Compression test	φ318.5 mm × t9 mm (SKK490)	1
2. Tensile test	φ318.5 mm × t9 mm (SKK490)	1
3. Alternating bending test	φ318.5 mm × t12 mm (SKK490)	1
4. Monotonic bending test	φ800 mm × t25 mm (SKK490)	1
	φ1 200 mm × t28 mm (SKK490)	1
5. Shearing test	φ318.5 mm × t9 mm (SKK490)	1
6. Torsion test	φ600 mm × t9 mm (SKK400)	1



写真1 圧縮試験状況

Photo 1 View under test of compressing strength

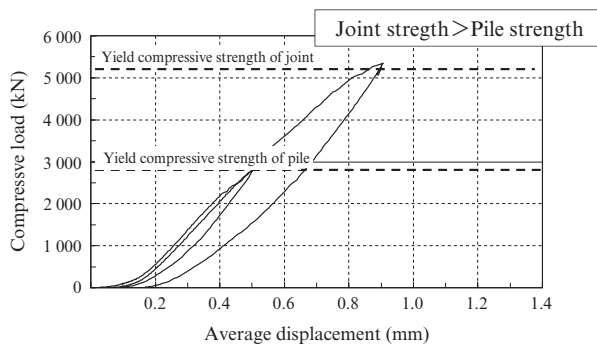


図7 圧縮試験結果

Fig. 7 Result of compression test

の制限値を超えない範囲のねじりトルクを施工時に付与することも可能である。

### 3.3 「ハイメカネジ™」の強度

継手強度を確認するため、表1に示す一連の力学試験を実施した。その結果、いずれの試験においても、取り付けられる鋼管杭の降伏強度を上回り、「ハイメカネジ™」が鋼管本体と同等以上の強度を有することが確認された。以下に、主な試験結果について示す。

#### 3.3.1 圧縮試験

写真1に示す継手単体の圧縮試験を実施し、「ハイメカネジ™」の圧縮強度を確認した。図7に試験結果を示すが、鋼管杭の降伏圧縮強度まで弾性的な挙動を示すとともに、「ハイメカネジ™」が鋼管本体と同等以上の圧縮強度を有することが確認された。また、オス・メス継手のショルダー部で圧縮力が伝達されていることも、ひずみ分布より確認された。

#### 3.3.2 曲げ試験

「ハイメカネジ™」の曲げ強度を確認するため、写真2に示すハイメカネジ™付き鋼管杭の曲げ試験を実施した。図8に試験結果を示すが、鋼管杭の降伏曲げ強度まで弾性的な挙動を示すとともに、「ハイメカネジ™」が鋼管本体と同等以上の曲げ耐力を有することが確認された。



写真2 曲げ試験状況

Photo 2 View under test of bending strength

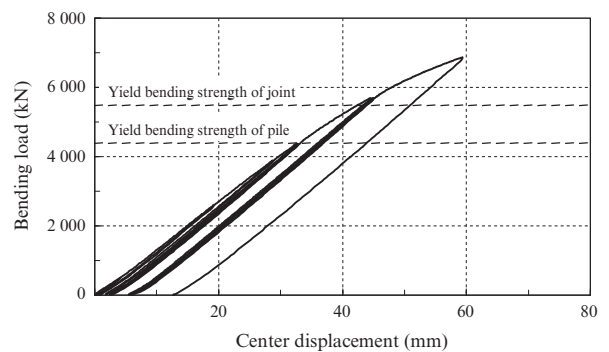


図8 曲げ試験結果

Fig. 8 Result of bending test

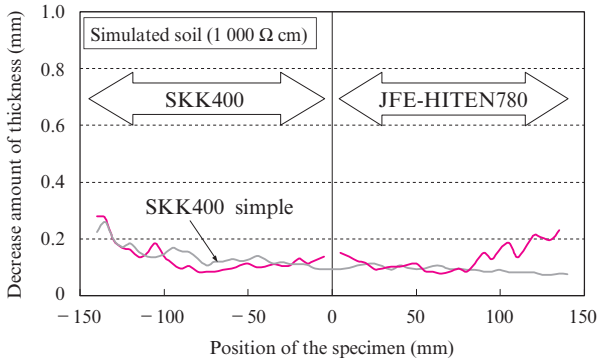


図9 腐食促進試験結果

Fig. 9 Result of accelerated corrosion test



写真3 回転嵌合試験

Photo 3 View under test of screw-jointing

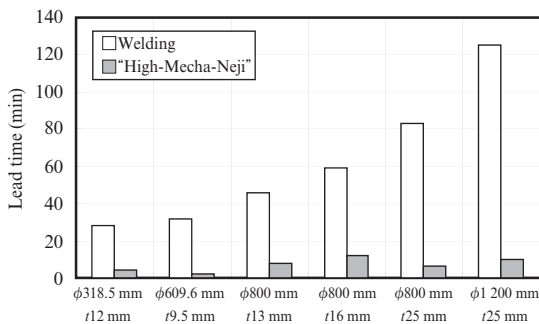


図10 接合所要時間

Fig. 10 Lead time of screw-jointing

### 3.4 「ハイメカネジ™」の耐久性（耐腐食性）

「ハイメカネジ™」の耐腐食性を確認するため、腐食促進試験を実施した。その結果、「ハイメカネジ™」の材料であるJFE-HITEN780は、鋼管本体と同等の耐腐食性を有することが確認された（図9）。

### 3.5 「ハイメカネジ™」の施工性

溶接接合に比べて短時間で容易に作業できることは機械式継手の大前提である。そこで、写真3に示すような施工試験により、「ハイメカネジ™」の施工性を検証した。図10に所要時間を示すが、「ハイメカネジ™」はいずれも1ヶ所当たり10分程度で接合完了しており、優れた施工性が実

表2 「ハイメカネジ™」の適用範囲

Table 2 Scope of application of "High-Mecha-Neji"

Pile diameter	φ318.5 mm-φ1 200 mm
Thickness	6 mm-35 mm (SKK400)
	6 mm-28 mm (SKK490)
Piling method	Bored pile (Digging in pile, Hybrid pile of steel pipe and Soil cement, etc), Jacked pile, Rotation pile

証された。なお、このことはこれまでの3 000ヶ所におよぶ実施工の実績からも明らかである。

## 4. 公的認証（建設技術審査証明）の取得

上記の要求性能（継手強度・耐久性・継手施工性）の達成状況や技術基準への適合性などが（財）土木研究センターによって審査された。その結果、要求性能が満足されていることが確認され、「ハイメカネジ™」の建築技術審査証明書の交付を平成23年5月10日付けで受けた<sup>9)</sup>。表2に、建設技術審査証明における主な適用範囲を示す。

なお、近年では法規制などの制約によって採用数が少なくなっている打撃工法への適用性に対しては検証を行っていない。また、施工に当たって鋼管にねじりトルクが付与される場合に備え、逆回転防止ピンの数量に応じて許容トルクを定めてある。

## 5. 「ハイメカネジ™」の適用事例

既設駅直上での商業施設建設（エキナカ事業）における、鉄道軌道内の基礎杭への「ハイメカネジ™」の適用事例を写真4に示す。施工条件として、4mの空頭制限および終電から始発までの3.5時間の間という厳しい時間制約があった。この条件をクリアすべく、「ハイメカネジ™」（φ700 mm × t16 mm用）が採用された結果、実際の継手接合に要した時間は1ヶ所当たり4分程度であった（溶接接合の所要時間は積算上79分）。



写真4 低空頭下での「ハイメカネジ™」施工状況

Photo 4 Field view under "High-Mecha-Neji" within the limited height

## 6. おわりに

建設現場での作業時間短縮や品質管理の利便性向上が期待できる鋼管杭用機械式継手「ハイメカネジ™」を対象に、一般土木分野での活用に資するため建設技術審査証明を取得した。本報告では、機械式継手の必要性、取得に至るまでの開発経緯、取得に当たり実施した各種試験、および適用事例について述べた。これらを以下にまとめる。

- (1) 特殊条件下での施工や厚肉・高強度の鋼管杭の施工に適した溶接代替の現場接合技術が求められてきた。JFE スチールでは、これに応えるために複数の機械式継手を実用化してきた。このうち、「メカネジ」を改良した「ハイメカネジ™」は、鉄道工事を中心に多数採用されてきた。
- (2) 近年、公共事業における調達方式の制度が変更されたり、技術基準に機械式継手が紹介されるなど、一般土木分野においても工期短縮や品質管理の利便性向上が期待される機械式継手の採用が求められるようになってきた。この社会的要請に応えるため、「ハイメカネジ™」の建設技術審査証明を取得した。
- (3) 各種力学試験および腐食促進試験により、「ハイメカネジ™」が鋼管本体と同等以上の強度を有することおよび同等の耐腐食性を有することを確認した。
- (4) 「ハイメカネジ™」の施工性は施工試験により検証し、継手接合の所要時間が1ヶ所当たり10分程度という優れた施工性が実証された。この施工時間短縮効果は、適用事例においても発揮されている。

ここに紹介した「ハイメカネジ™」は、特殊条件下での工事や一般土木分野における要請に加え、既設道路橋基礎の耐震補強といった新たな社会的要請に貢献できるものと考えている。

### 参考文献

- 1) 砂防・地すべり技術センター. 地すべり抑止鋼管杭用ねじ継手 (JFE ネジール) 技術審査証明書 (JFE スチール). 2008.
- 2) 砂防・地すべり技術センター. 地すべり抑止鋼管杭用ねじ継手 (ネジール) 技術審査証明書 (日本鋼管). 1995.
- 3) 高野公寿, 森玄, 篠原敏雄. ねじ継手式地滑り抑止鋼管杭 "NKK ネジール". NKK 技報. 1995, no. 151, p. 53-56.
- 4) 砂防・地すべり技術センター. 地すべり抑止鋼管杭用ねじ継手 (メカネジ) 技術審査証明書 (川崎製鉄). 1997.
- 5) 豊原陽登志, 白井一矢, 置田孝一. 地すべり抑止杭用ねじ継手「メカネジ」. 川崎製鉄技報. 1998, vol. 30, no. 4, p. 209-214.
- 6) 日本道路協会. 杭基礎設計便覧 (平成 18 年度改訂版). 2007.
- 7) 鉄道総合技術研究所. 鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物. 2011.
- 8) たとえば, 土木研究所. 既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価手法に関する研究. 土木研究所資料. no. 4168, 2010-05.
- 9) 土木研究センター. 鋼管杭の機械式継手 (ハイメカネジ™) 建設技術審査証明報告書 (JFE スチール). 2011.



河野 謙治



横幕 清