

大口径鋼管杭向けの機械式継手「カシーン」

Mechanical Joint “KASHEEN” for Large-Diameter Pipe Piles

芥川 博昭 AKUTAGAWA Hiroaki JFE スチール 建材センター 建材技術部土木技術室 主任部員(副課長)
高野 公寿 TAKANO Kimitoshi JFE 技研 土木・建築研究部 主任研究員(副部長)
田近 久和 TAJIKA Hisakazu JFE 技研 土木・建築研究部 主任研究員(副課長)

要旨

JFE グループでは、大口径鋼管杭用無溶接継手「カシーン」を開発した。曲げ強度試験をはじめとした各種強度試験、FEM 解析を実施し、カシーンの有する強度が鋼管杭本体の強度を上回っていることを確認した。また、施工試験を実施し、カシーンの施工時間短縮効果を確認したほか、振動・打撃工法による施工に対してもカシーンの変形が生じないこと、ボルトが緩まないこと、施工効率に影響がないことを確認した。

Abstract:

JFE Group has developed a mechanical joint, “KASHEEN,” for large-diameter steel pipe piles. Through a series of bending tests and FEM analysis on the steel pipe piles with the mechanical joint, it is confirmed that the joint has larger strength than the body of a pile. A full scale construction test of the joint part proved the reduction of construction time. And pile-driving test proved good field performance, such as no visible deformation of the pipe, no loosening of bolts and no impact on construction efficiency.

1. はじめに

従来、鋼管杭の継杭作業は、現場における溶接接合により施工することが一般的であった。しかし、溶接接合による場合、(1) 施工時間が比較的長く、鋼管の外径または板厚が大きいほどこの傾向が顕著、(2) 雨天・強風時など悪天候下での作業ができない、(3) 品質確保にあたっては、入念な管理および溶接工の高い技量を必要とするなどの課題を有しており、昨今の鋼管杭の大径化・厚肉化傾向、増加する狭隘地での施工などにより工期および工費の増大の大きな要因となっていた。

このような背景のもと、JFE グループでは大径鋼管杭に適用可能な無溶接機械式継手「カシーン」を開発し、実用化した。

今回の報告では、継手形状と荷重伝達のメカニズムの紹介や強度試験、および FEM 解析の結果、施工試験や実施工の状況について述べる。

2. カシーンの概要

Fig. 1 にカシーンの構造概要を示す。カシーンは 780 MPa 級の高張力鋼 JFE-HITEN780 を素材とし、鍛造、機械加工によって製造される。継手部はピン継手および

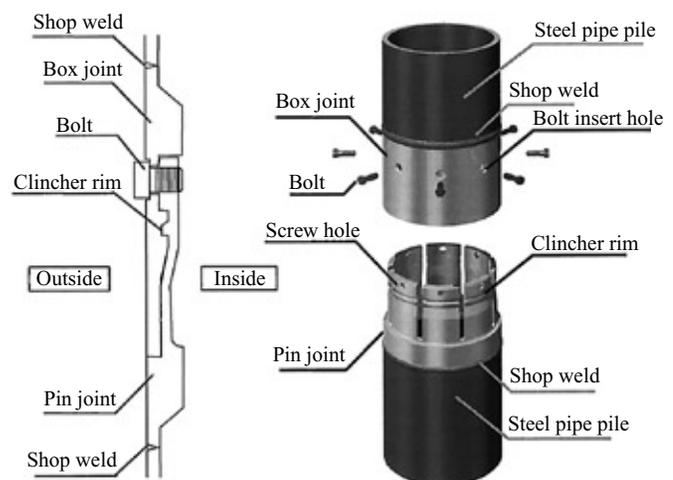


Fig. 1 Mechanical joint “KASHEEN”

ボックス継手により構成され、それぞれが鋼管杭端部にあらかじめ工場において溶接取付される。ピン継手およびボックス継手の構造詳細は以下のとおりである。

ピン継手：引掛り凸部を有しており、スリットを設けて周方向に 8 分割される。継手先端位置にはボルトねじ穴を設けている。

ボックス継手：ピン継手の引掛り凸部に対応する凹部を継手内面に有しており、ピン継手のボルトねじ穴位置に対応するボルト貫通用切り穴を設けている。

カシーンの嵌合の手順は以下のとおりである。

- (1) ボックス継手側の鋼管（上杭）をピン継手側の鋼管（下杭）に被せる。
- (2) 上杭の自重、もしくは上杭下杭間に引張力を導入することにより、ピン継手先端が継手中心側に変形しながら挿入される。
- (3) ボックス継手下端がピン継手に突き当たることで挿入が完了する。
- (4) ボックス継手のボルト貫通切り穴、ピン継手のボルトねじ穴にボルトを挿入し締め付けることにより、ピン継手をボックス継手側に引き寄せる。
- (5) 十分なボルト締付トルクを与え、雄ボックス継手の引掛り凹凸部を噛み合わせることで嵌合を完了する。

なお、(財)土木研究センターの建設技術審査証明¹⁾および、(財)沿岸技術研究センターの港湾関連民間技術の確認審査・評価²⁾における認定範囲は、鋼管杭・鋼管矢板の径 $\phi 400\sim 1\,600$ mm、板厚6~30 mmであり、適用可能な杭の施工方法は、中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法、圧入工法および打込み杭工法となっている。

3. 強度確認試験

3.1 概要

実験および解析を実施し、カシーンが期待する強度を具備することを確認した。

行った実験・解析について **Table 1** に示す。今回カシーン単体での圧縮・引張試験、曲げせん断試験、曲げ試験、そしてカシーン付鋼管の曲げ試験を実施した。ここではそれらのうち、最大径の $\phi 1\,600 \times t25$ mmのカシーン付鋼管の曲げ試験結果に関して報告する。また、カシーン付鋼管の曲げ試験を模して各種鋼管径・板厚の解析を実施した。ここでは、それらのうち適用可能範囲内の最大径・最大板厚($\phi 1\,600 \times t30$ mm)のものについて結果を示す。

3.2 カシーン付鋼管の曲げ試験

実寸試験体を用いた曲げ試験により、カシーン付鋼管が

期待する曲げ強度を有することを確認した。

試験方法は **Fig. 2** に示す4点曲げ試験であり、最大曲げモーメントが生じる荷重スパン中央にカシーンを配置した。使用した材料とその諸元を **Table 2** に示す。 $\phi 1\,600 \times t25$ mmの鋼管の地震時許容荷重は荷重荷重換算で4 848 kN、鋼管が曲げにより降伏する荷重（降伏荷重） P_y は5 493 kNであり、鋼管断面が全塑性する荷重（全塑性荷重） P_p は7 104 kNである。曲げ試験ではこれらの荷重を

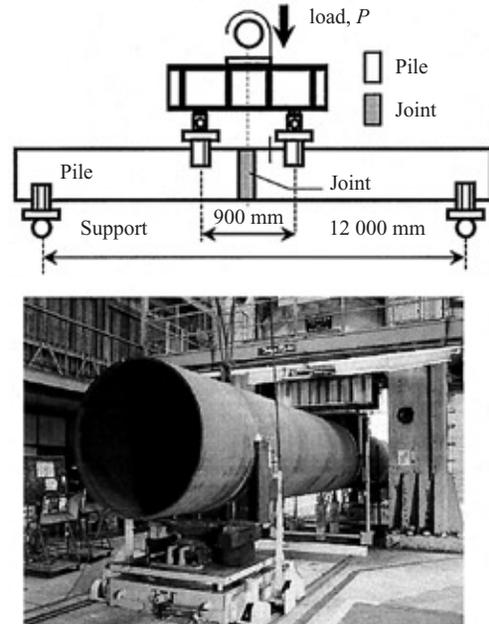


Fig.2 Bending test ($\phi 1\,600 \times t25$ mm)

Table 2 Mechanical properties

Part	Pile	Joint
Material	SKK490	JFE-HITEN780
Young's ratio (N/mm ²)	2.0 × 10 ⁵	
Poisson's ratio	0.3	
Yield stress (N/mm ²)	315	685
Tensile stress (N/mm ²)	490	780

Table 1 List of experiments and analysis

Type of experiments	Specimen (mm)
Compression	$\phi 600 \times t12$
Tensile	$\phi 267.4 \times t 9$
Bending-shear	$\phi 267.4 \times t 9$
Bending	$\phi 1\,600 \times t25$
	$\phi 1\,200 \times t25$
	$\phi 600 \times t12$
Bending (FEM)	$\phi 1\,600 \times t30$
	$\phi 1\,600 \times t25$
	$\phi 1\,200 \times t25$
	$\phi 800 \times t25$

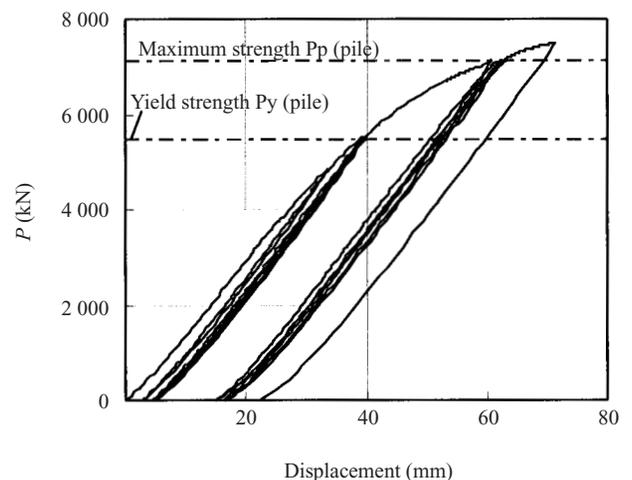


Fig.3 Load-deformation curve

目標荷重として載荷後いったん除荷し、載荷の挙動に与える影響を把握した。また、降伏荷重と全塑性荷重はそれぞれ3回ずつ載荷した。

Fig. 3 に試験結果（荷重変形曲線）を示す。カシーン付鋼管は、地震時許容荷重および降伏荷重載荷による残留変形は小さく、これらの荷重範囲では健全である。また、全塑性荷重載荷による残留変形量は幾分大きくなるものの、繰返し載荷を行っても、残留変形の進展はわずかである。以上により曲げ荷重に対してカシーンが十分な強度を有することを確認できた。

3.3 カシーン付鋼管モデルの解析

曲げが作用するカシーン付鋼管の強度の検証には、試験による検証と共に適用可能な最大径・最大板厚（ $\phi 1600 \times t30$ mm）鋼管用カシーンについては解析による強度の確認を行った。

材質（Table 2）・形状・境界条件等は実験と同様（Fig. 2）の状況をモデル化した。要素分割（Fig. 4）に関しては継手部（カシーン）は機械要素部・ボルトなどが存在するため詳細なモデル化を行い、鋼管部分に関しては要素分割を粗くすることでモデル化を行った。

$\phi 1600 \times t30$ mm の鋼管が曲げで降伏する時の荷重 P_y は載荷荷重換算で 6 519 kN であり、鋼管の断面が全塑性する荷重 P_p は 8 472 kN である。これらの荷重を目標荷重として解析を実施した。

Fig. 5 に解析結果（荷重変形曲線）を示す。カシーン付鋼管は鋼管の降伏荷重を超えても健全であることが分かる。これによりカシーンの強度は鋼管本体強度を上回っていることが確認された。また、全塑性荷重を超えて最大荷重に至っても曲げモーメントの低下は確認されず、急激なカシーンの強度低下は発生していないことが確認された。

また、Fig. 6 に鋼管の降伏荷重載荷時にカシーン部で発生した発生応力の分布図を示す。曲げにより、支持点側に引張応力、載荷点側に圧縮応力が発生する。引張側はピン継手の最薄部で引張応力が卓越するため継手内側を、圧縮側ではボックス継手先端とピン継手ショルダー部で当接し圧縮力を伝達するため、外側の分布を示した。

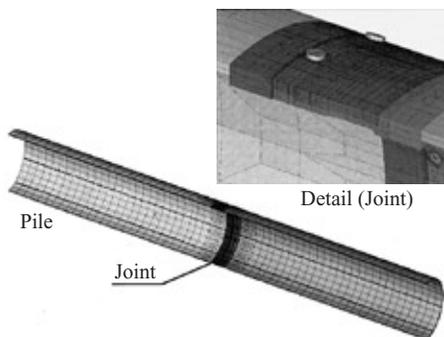


Fig.4 FEM model ($\phi 1600 \times t30$ mm)

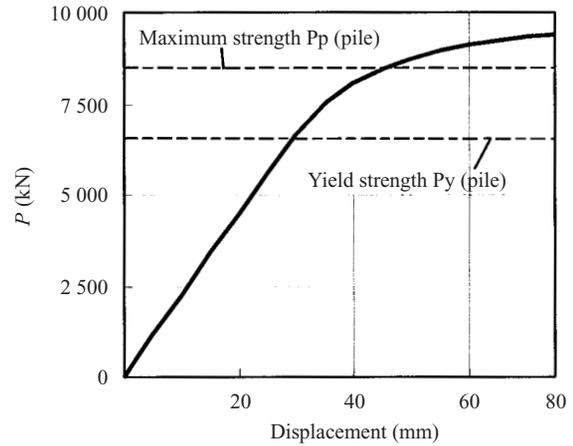


Fig.5 Load-deformation curve (FEM)

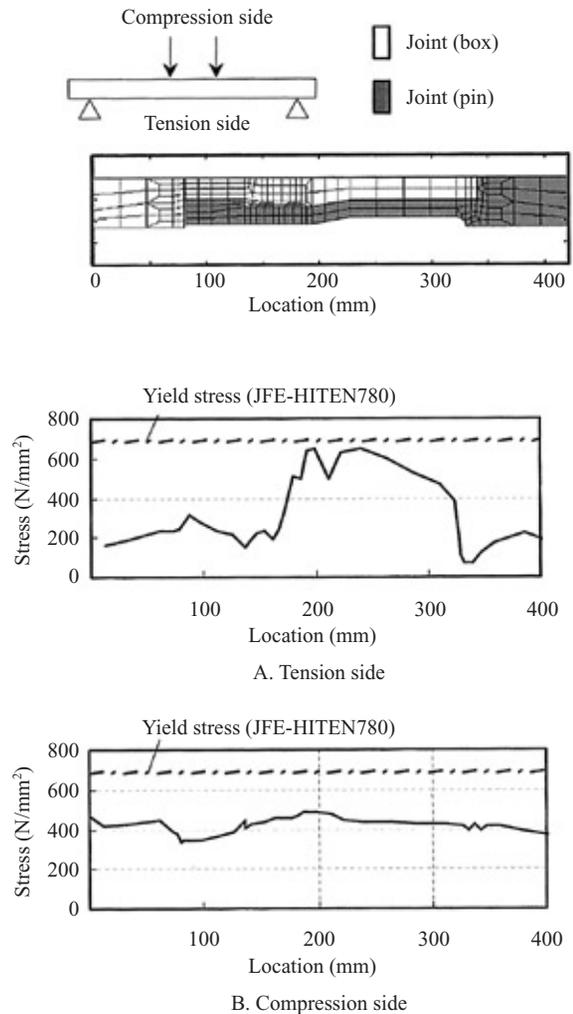


Fig.6 Stresses in joint elements

引張側では、座標にして 200 mm から 300 mm の部分で大きな引張応力が発生している。この部分は設計で引張時のクリティカル断面と想定している部分であり、設計におけるクリティカル断面の設定が妥当であることを示している。なお、鋼管の降伏荷重の載荷時には JFE-HITEN780 の材料降伏応力を超える応力は発生していない。一方、圧縮

応力についてはボックス継手に均一に圧縮応力が発生している。圧縮応力についても鋼管の降伏荷重の載荷時で JFE-HITEN780 の材料降伏応力を超える応力は発生していない。

これにより適用可能な最大径・板厚 ($\phi 1600 \times t30$ mm) のカシーン付鋼管は、鋼管本体の降伏荷重を載荷した場合についても期待する曲げ強度を有することが確認できた。

3.4 まとめ

実験および解析からカシーンの強度は鋼管本体強度より大きく、期待する強度を満たすことが確認された。したがって、カシーン付鋼管杭を鋼管本体の設計条件下で問題なく使用することが可能である。

4. 施工試験

4.1 屋外嵌合試験

カシーンの施工性を確認するため実大鋼管を用いて継手の嵌合試験を実施した。嵌合試験ケースと試験結果を **Table 3** に示す。ケース 1 では $\phi 1600 \times t25$ mm 鋼管用カシーン、ケース 2 では $\phi 1200 \times t14$ mm 鋼管用カシーン、ケース 3 では小径杭の例として $\phi 400 \times t8$ mm 用カシーンの試験を実施した。

試験においては、**Photo 1** のようにクレーンで吊り上げた上杭の自重を、徐々に下杭（ボックス継手側）にあずけていくことで、ボックス継手を挿入した。短時間で挿入を完了することができ、挿入後結合ボルトの締付のみで嵌合完了となるため、すべてのケースにおいて施工性は非常に良好な結果が得られた。



Photo 1 Insertion situation of KASHEEN

屋外嵌合試験における継手嵌合作業に要した時間を計測したところ、結合ボルトの本数により嵌合時間の差はあるものの、継手の芯合せから挿入に要した時間は鋼管径に関わらず 3 min 程度、嵌合作業全体では 10~15 min 程度で作業が完了する結果となった。**Table 3** には継手嵌合時間との比較参考として積算基準を基に算出した現場溶接継手による鋼管接合に必要とする時間の例を示している。両者を比較すると、現場溶接継手による鋼管接合では、鋼管径、板厚が増大するとともに、接合時間が飛躍的に増大することとなるが、今回実施したカシーンの継手嵌合試験結果では、いずれの径でもほぼ一定の接合時間となっており、カシーンの施工時間短縮効果が際立った結果となった。

4.2 打撃・振動工法適用性試験

カシーンの打撃工法および振動工法に対する適用性と施工時挙動を確認するために、 $\phi 1200 \times t14$ mm 鋼管用カシーンを用いて施工試験を実施した。使用した重機の仕様を **Table 4** に、施工条件を **Table 5** に、試験状況を **Photo 2** および **3** に示す。

打撃・振動工法による施工の際には、カシーンを直接打撃することによりカシーンが変形し、嵌合に支障をきたすおそれがあるため、保護キャップ（ヤットコ）を装着した状態で施工することを標準としている。そのため、カシーンの振動工法および打撃工法への適用性を検討するにあたっては、保護キャップ使用時および継杭状態に着目し、カシーンの発生応力度の確認、結合ボルトの緩みの発生の有無を確認することとした。以下に試験結果を示す。

(1) 保護キャップ使用時

カシーンに保護キャップを取り付けて施工した結果、打撃工法・振動工法ともに継手部の変形は確認されず、保護キャップを取り外した後に継手嵌合がスムーズに行えたことから、本方法を用いることで、カシーンを振動工法・打撃工法で施工される鋼管に対しても適用できることを確認できた。

(2) 継杭状態

カシーンの嵌合が完了した後、杭先端が支持層に到達したことを確認した上で、振動工法については約 40 min、打撃工法については最大落下高で約 60 min 施工し続けた際の継手部応力の発生状況を **Fig. 7** および **8** に示す。

Table 3 Joint test results

Case	Steel pipe specification		Number of bolts	Process time (KASHEEN)	Process time (Field weld)*
	Diameter (mm)	Thickness (mm)			
1	$\phi 1600$	25	16	11 min 22 s	188 min
2	$\phi 1200$	14	32	15 min 23 s	61 min
3	$\phi 400$	8	8	11 min 32 s	13 min

*Process time is calculated based on the estimation standard.

Table 5 Specifications of pile-driving test

Case	Diameter (mm)	Condition of KASHEEN	Method	Conditions of performance
1	φ1 200	Use protection cap	Vibro method	Time: $T = 1\,000$ s (20 min) Number of shaking: $T \times 16.3 = 16\,300$ times
			Impact method	Ram fall height: Level 1-8 Number of blow: 800 times (30 min)
2	φ1 200	State of joint	Vibro method	Time: $T = 2\,400$ s (40 min) Number of shaking: $T \times 16.3 = 39\,120$ times
			Impact method	Ram fall height: $h = 1.44$ m (Maximum) Number of blow: 900 times (60 min)

Table 4 Specifications of heavy equipment

Method	Kind of heavy equipment	Specifications
Vibro Method	Motorized vibro-hammer	120 kW class Vibratory force: 748.2 kN Frequency: 16.3 Hz (58 680 times/h)
Impact Method	Hydraulic pile hammer	Ram weight: 10 t Driving energy: 141 kN · m



Photo 2 Vibro method test (Used protection cap)



Photo 3 Impact method test (Use protection cap)

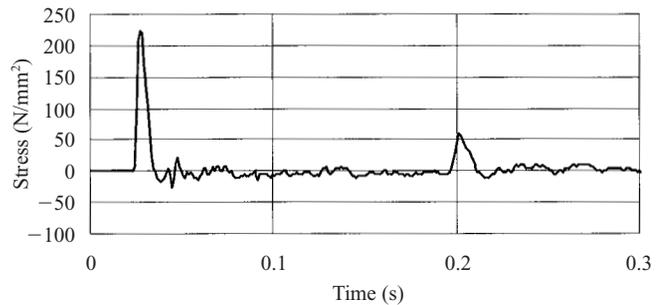


Fig. 7 Stress of Impact method test

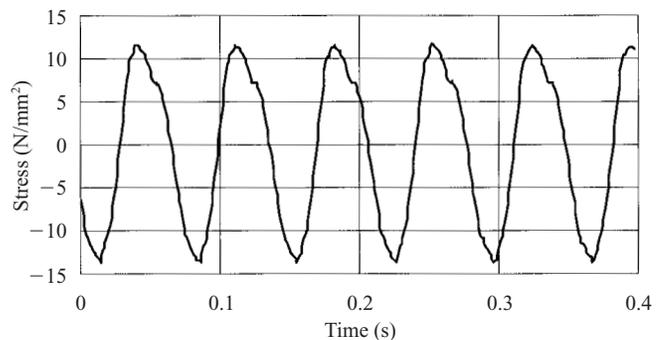


Fig. 8 Stress of vibro method test

カシーンの降伏応力度 $\sigma_y \geq 685$ N/mm² に対し、120 kW クラスのバイブロハンマーの振動施工時には、 ± 15 N/mm² 以下と降伏応力度の3%以下、100 kN 油圧ハンマの最大落下高さでの打撃施工時には、最大 223.0 N/mm² と降伏応力度の約 33%と、十分弾性範囲内であることが確認された。

また、打撃・振動による結合ボルトの緩み発生の有無を確認したところ、十分なトルクで締めこんだボルト（トルク値 = 150 kN · mm）および緩み止めボルトを用いた箇所では、大きな緩みの発生は確認されなかった。

また、振動施工時に計測した継手を挟む上下位置での加速度変化を、Fig. 9 に示す。加速度変化は継手の上下で大きくは変わらず、継手を介しても十分に振動が伝達されており、カシーンが施工効率に影響を及ぼしていないことが分かる。

なお、今回の打撃・振動試験に用いた試験体は、鋼

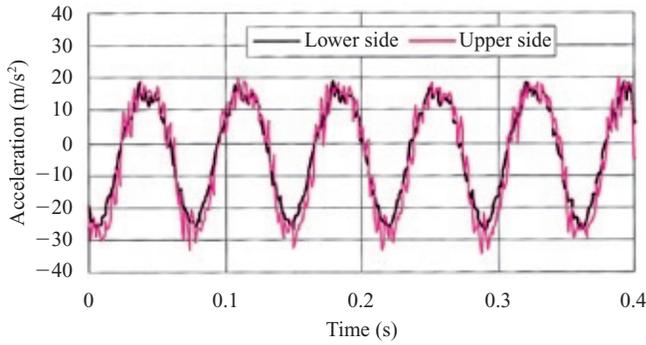


Fig.9 Acceleration of vibro method test

管杭引抜き後にカシーン付鋼管の曲げ試験を実施し、打撃・振動履歴を受けた後もカシーンの所定の強度が得られることを確認している。

以上の結果より、カシーンにより接合された杭が打撃・振動工法に対して、十分な適用性を有することが確認された。

5. おわりに

鋼管杭・鋼管矢板用無溶接機械式継手カシーンの強度確認試験・解析結果および嵌合試験結果について紹介した。

カシーンはすでに（財）土木研究センターの建設技術審査証明（2004年3月）および（財）沿岸技術研究センター

の港湾関連民間技術の確認審査・評価（2004年11月）の認定を取得している。

今後ますます鋼管杭の大口径化、施工用地の狭隘化傾向が進む中、非常に簡便な作業で鋼管杭の接合作業を完了し、接合部の強度を確保することのできるカシーンは、鋼管杭の施工現場に新たな可能性を拓く製品として使用ニーズが高まっていくものと確信する。

参考文献

- 1)（財）土木研究センター．鋼管杭・鋼管矢板用鋼管本体の機械式継手「カシーン」．建設技術審査証明報告書（建技審証 第0325号）．2004．
- 2)（財）沿岸技術研究センター．鋼管杭・鋼管矢板用鋼管本体の機械式継手「カシーン」．港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書（第04001号）．2004．



芥川 博昭



高野 公寿



田近 久和