

高耐力継手付き鋼管矢板を用いた新形式基礎 「ハイパーウェル SP」の開発

Development of a New Foundation Method That Uses Steel Pipe Sheet Pile with High Strength Pipe-Junction

恩田 邦彦 ONDA Kunihiko JFE 技研 土木・建築研究部 主任研究員(副課長)
横幕 清 YOKOMAKU Kiyoshi 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)
大久保浩弥 OOKUBO Hiroya JFE スチール 西日本製鉄所 土木・建築室 主任部員(課長)

要旨

大規模橋梁向けの新しい基礎工法として開発を進めてきた「ハイパーウェル SP」について、種々の実験から構造性能ならびに施工性を検証するとともに、設計施工方法を確立した。高い剛性を有する「ハイパーウェル SP」は、徳島東環状大橋において初採用となり、すでに一部の工区で施工が完了している。本実施工において、本工法の施工性は、従来の鋼管矢板と比較して、同等であることが確認できた。以上の検討成果に基づいて、大規模橋梁向けの新しい基礎工法として平成 16 年 8 月に、(財)土木研究センターの建設技術審査証明を取得し、開発を完了した。

Abstract:

A composite steel pipe sheet pile foundation method, “Hyper-Well SP,” has been developed to apply to a large-scale bridge. Structural characteristics and construction easiness were verified by various experiments, and the design and construction method of Hyper-Well SP were established. Hyper-Well SP that has high rigidity was adopted for the first time to the foundation of Tokushima-Higashi-Kanjo-Ohashi, and construction of a part of work section has been completed. As a result, it is confirmed that the construction easiness of Hyper-Well SP is equivalent to that of conventional steel pipe sheet pile. Based on this result, the certification of examination proof of construction technology issued by Public Works Research Center was acquired as a new method for foundation of a large-scale bridge by JFE Steel in Aug., 2004.

1. 緒言

近年、幹線交通網の整備や、空港、港湾へのアクセス道路整備などが各地で進捗している。これらの道路網では軟弱地盤や沿岸域での橋梁も多く、基礎が大規模化している。またプロジェクトの投資効果を向上させるため、大幅なコスト削減、工期短縮への要望も高い。

本技術は、大規模基礎における大幅なコスト削減というニーズにこたえるため、従来の鋼管矢板基礎の設計、施工技术を踏襲しつつ、固有の高耐力継手を用いることにより、経済性を向上させる工法として開発したものである¹⁻⁸⁾。

2. 「ハイパーウェル SP 工法」の概要

ハイパーウェル SP は、従来の鋼管矢板基礎に改良を加えたものであり、井筒型と脚付き型の 2 タイプがある。

(a) 井筒型 (Fig. 1)

鋼管矢板を支持層まで設置し、その継手部には高耐力継手を使用したもの

(b) 脚付き型 (Fig. 2)

鋼管矢板の打抜きが困難な硬い中間層があり、かつこの中間層が支持層としては期待できない場合において、中間層までは高耐力継手を使用した鋼管矢板を設置し、鋼管矢板の下には場所打ち杭を鋼管矢板 1 本おきに造成するもの

本工法は、鋼管コンクリート合成構造および場所打ちコンクリート杭からなる複合杭と、これらを相互に連結する高耐力継手により構成される。これらの構成要素を従来技術と比較すると、次のとおりである。

(1) 高耐力継手：高耐力継手は、Fig. 3 および Photo 1 に示すように、従来の鋼管矢板基礎の P-P 型継手⁹⁾を基本として、次に示す構造とすることで継手のせん断耐力を大幅に向上させたものである。(a) 継手管の内表面に突起を設け、モルタルとの付着強度を向上させる、

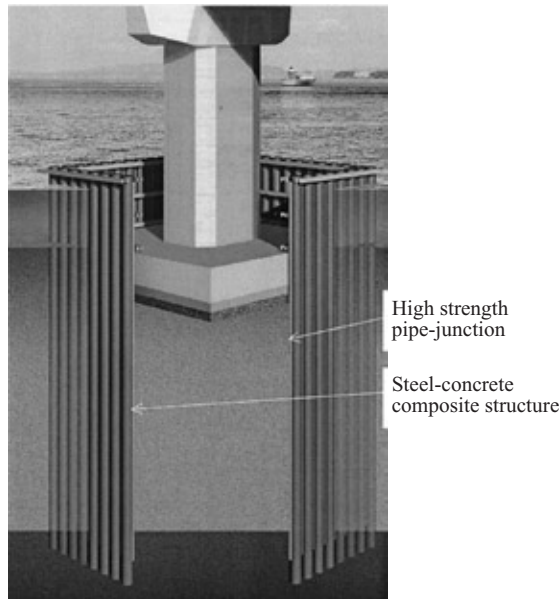


Fig. 1 Schema of Hyper-Well-SP (Normal)

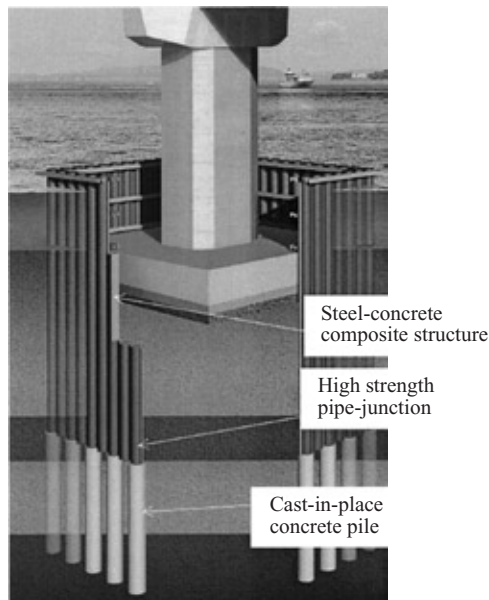


Fig. 2 Schema of Hyper-Well-SP (with Cast-in-place-concrete pile)

(b) 高強度モルタルの使用により、付着強度を向上させる、(c) 継手管の外径を 165.2 mm から 267.4 mm に拡大することで、広い付着面積を確保する。また、継手管の径を大きくすることで、継手管内の洗浄の施工性も向上する。

- (2) 鋼管コンクリート合成構造：鋼管コンクリート合成構造は、鋼管内にコンクリートを充てんした構造であり、鋼管内面に突起（リブ）を設けることにより、合成構造としての効果が期待できる¹⁰⁾。したがって、鋼管のみの場合に比較すると、杭 1 本あたりの剛性が高くなる。
- (3) 場所打ちコンクリート杭：支持層部分を場所打ちコンクリート杭とすることにより、支持層へ鋼管矢板を長

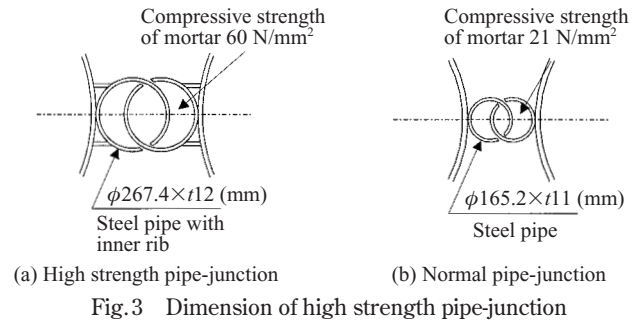


Fig. 3 Dimension of high strength pipe-junction

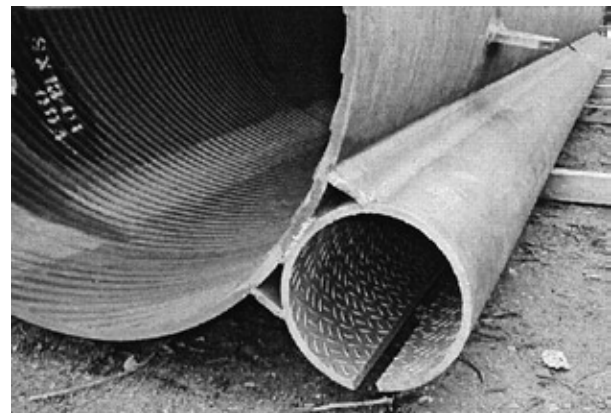


Photo 1 High strength pipe-junction pipe and steel pipe with inner rib

く打設する場合に比べて、施工性が向上する。その結果、硬質地盤へ十分根入れすることが可能となり、大きな支持力を確保できる。本部位については、現場施工実験⁸⁾、鋼管コンクリート合成部と場所打ち杭部との接合部の曲げ性能実験⁸⁾により、施工性および性能を確認している。

本構成要素を適用することにより、基礎の剛性が高まるため、従来の鋼管矢板基礎に比べて平面寸法を縮小できる。すなわち、本工法は、従来の鋼管矢板基礎では基礎の平面寸法が大きくなる傾向にある大規模橋梁において、従来の鋼管矢板基礎、さらには大規模橋梁で実績の多いケーソン基礎に比べて十分な競争力を持つ優れた工法である。

3. ハイパーウェル SP 工法の施工

本工法は、鋼管矢板の継手のせん断耐力を、従来継手に比べて大幅に高めるため、継手管構造に工夫を施すとともに新たな施工技術を使用するなど、継手管内土砂の排出およびモルタル充てんの施工技術を向上させている。まず、土砂の排出では、従来のウォータージェット方式の他に、深度が深い場合などに、Fig. 4 に示すエアリフト排土管併用方式を使用することにより、排土能力を向上させた。継手管の外径を 267.4 mm と大きくするとともに、継手部に間隔保持鋼材⁴⁾を使用して、継手管の間隔を保持し、継手で構成される空間の確保を可能にしたことで、エアリフト排土管（たとえば外径 60.5 mm）が継手管内に挿入でき、

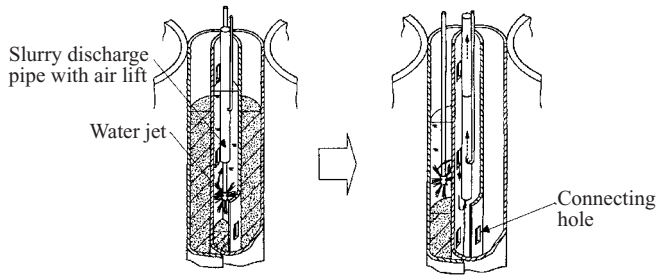


Fig. 4 Outline of slurry discharge pipe with air lift

これによる確実な施工を実現した。

また、継手管の一部に、連通孔と称する幅 50 mm × 高さ 100 mm 程度の孔を継手の長手方向に断続的に設け、継手の中央の部屋に設置するエアリフト排土管への土砂の移動、およびモルタル充てんを促進させる。

次に、脚付き型 (Fig. 2) の場合、鋼管矢板打設完了後に、鋼管矢板の本管内を掘削し、その後、鋼管矢板下端から場所打ちコンクリート杭を造成する手順で施工を行う⁵⁾。

これらの構造と施工技術は、現場実験⁴⁾にて確認を行っている。

4. 高耐力継手のせん断性能

本章では本工法の特徴のひとつである高耐力継手のせん断性能を実証した実験結果とその評価について述べる。

高耐力継手のせん断性能を評価するため、現場施工実験⁷⁾において造成した試験体 2 体と、モルタル強度をパラメータとして気中で製作した 2 体¹¹⁾を用いて実施した。試

Table 1 Condition of pipe-junction shear test specimen

Name	Condition of construction	Compressive strength of mortar (N/mm ²)
Test specimen ①	Field construction (in Ibaraki Pref.)	81.4
Test specimen ②	Field construction (in Chiba Pref.)	83.9
Test specimen ③	Shop construction	39.0
Test specimen ④	Shop construction	60.0

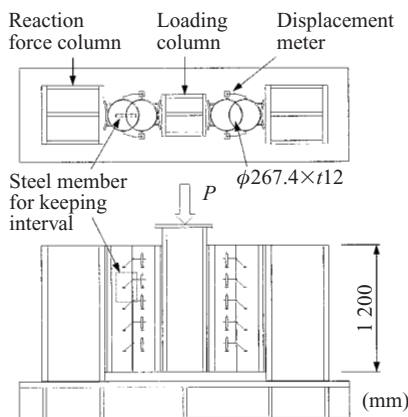


Fig. 5 Pipe-junction shear test specimen

験条件を Table 1 に示す。試験体は、Fig. 5 に示すように、荷重柱、反力柱に溶接によって取り付け、この荷重柱を下向きに押し込むことで、その両側に取り付けた継手のせん断性能を評価した。計測項目は、荷重荷重、継手の相対変形量などである。

荷重荷重を継手長 (1.2m × 2 = 2.4 m) で除した値と継手の相対変形量の関係を Fig. 6 に示す。いずれの試験体も従来の鋼管矢板基礎の P-P 型継手¹²⁾と比べて、10 倍程度の高いせん断耐力を有することが確認できた。また、大きな変形量にいたっても荷重が大きく低下することはなく、変形性能に優れた挙動を示した。

現場施工実験において造成した試験体について、荷重後に継手管の一部を溶解して、モルタルの充てん状況を調査した結果の一例を Photo 2 に示す。荷重実験の良好な結果から推測されたとおり、管内壁面の突起部にいたるまで土砂が排除され、モルタルが完全に充てんされていた。

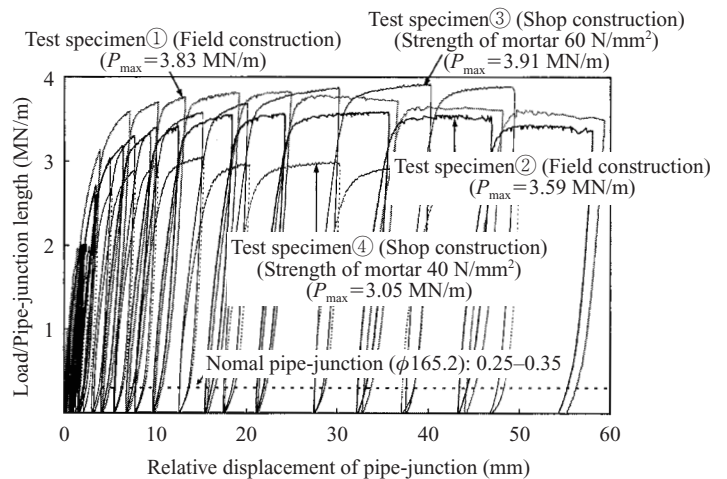


Fig. 6 Load and relative displacement curve

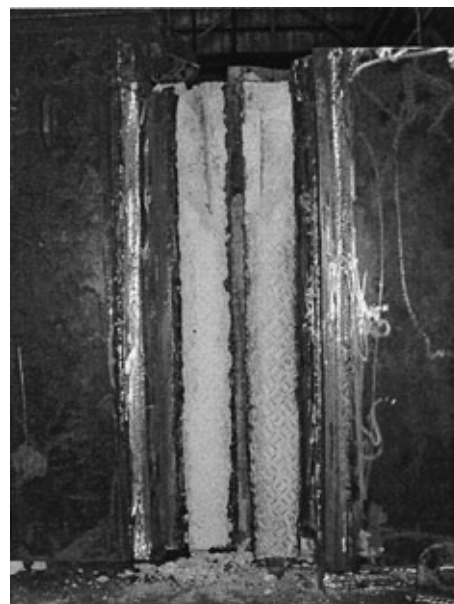


Photo 2 Appearance of mortar filling (Test specimen ①)

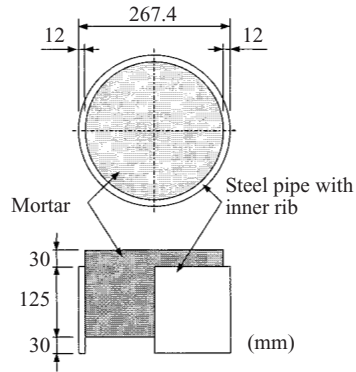


Fig. 7 Test specimen for push out test

Table 2 Quantity of test specimen for push out test

Condition of mortar pouring	Target strength of mortar			
	20 (N/mm ²)	40 (N/mm ²)	60 (N/mm ²)	80 (N/mm ²)
Atmospheric	—	2	—	2
Underwater	2	2	2	2
Under mud-water	—	2	—	2

次に、モルタル強度ならびにモルタル打設条件（大気中、清水中、泥水中打設）が高耐力継手のせん断耐力におよぼす影響を見るため、高耐力継手のせん断耐力を決定付ける主要因である、内面縞鋼管の突起面とコンクリート間の付着強度に関して、押し抜き付着試験（Fig. 7）による検討を実施した¹¹⁾。試験条件をTable 2に示す。なお、泥水条件については、地中連続壁安定液の管理値範囲下限¹³⁾である1.04比重のベントナイト泥水とした。Fig. 8に、付着試験結果から推定したせん断耐力（Fig. 9に示す付着面に付着強度を乗じた）とモルタル強度との関係について、前述の継手せん断試験による結果とあわせて示す。モルタル強度の増加とともにせん断耐力は増加しており、泥水中打設の場合のせん断耐力は、大気中および清水中打設のケースに比べて、小さい値であることが確認された。また、せん断試験結果（現場造成の場合、清水中打設に近いと考えられる）ともよく対応しており、付着強度に基づくせん断耐力の推定方法が妥当であることが確認できた。

また、現場施工実験⁴⁾で採取した高強度モルタル（呼び強度60 N/mm²：高耐力継手の標準仕様）の供試体（14個）による圧縮試験結果を従来手法¹⁴⁾に準拠して整理した結果、呼び強度60 N/mm²のモルタル圧縮強度の平均が83 N/mm²、ばらつきの下限が40 N/mm²程度であることを確認した。

したがって、呼び強度60 N/mm²の高強度モルタルに対して、下限値の40 N/mm²を設計基準強度と考えることとし、Fig. 8のモルタル圧縮強度が40 N/mm²で、かつ泥水中を想定した場合のせん断耐力の値から、高耐力継手のせん断耐力設計値（最小値：Type-A）を2.0 MN/mとした。

ここで、設計において、高耐力継手の耐力を低く設定し

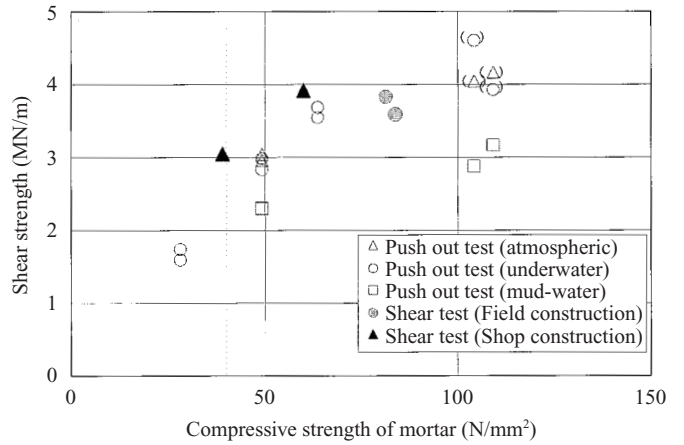


Fig. 8 Relation of shear strength and compressive strength

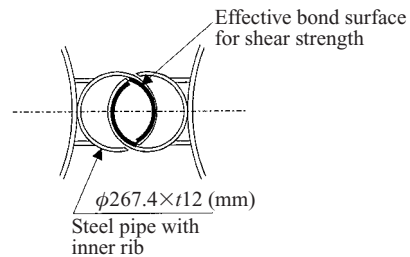


Fig. 9 Effective bond surface for shear strength

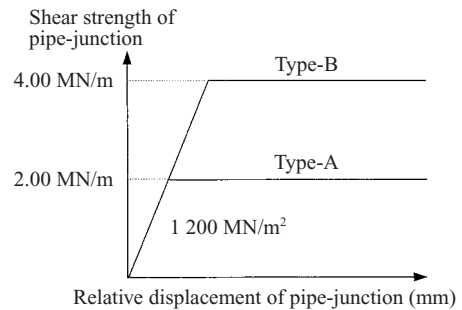


Fig. 10 Analysis model for shear character of pipe-junction

た場合、基礎天端の水平変位量および鋼管矢板に発生する最大曲げモーメントが大きくなるなど安全側の評価となることが多いが、一方で、場所打ち杭部（脚付き型）に作用する曲げモーメントを過度に小さく算出するケースもある。そこで、継手せん断試験結果をやや上回るもう一つの高耐力継手のせん断耐力設計値4.0 MN/m（Type-B）を与え、2タイプのせん断特性により設計照査を行うこととした（Fig. 10）。なお、高耐力継手のせん断剛性設計値は実験結果を考慮し、1 200 MN/m²とした。

5. 設計方法

5.1 井筒型（Fig. 1）の設計

ハイパーウェル SPの井筒型については、継手のせん断変形を考慮した仮想井筒ばり¹⁵⁾によって、断面力、変位

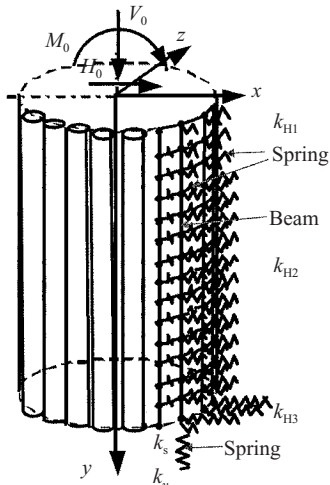


Fig. 11 Stereo flame model for analysis

および地盤反力度を計算する。高耐力継手のせん断特性は、4章で示した実験結果などに基づく Type-A および B の 2 タイプを用いる。

5.2 脚付き型 (Fig. 2) の設計

脚付き型の設計については、場所打ち杭部の挙動を適切に解析する必要があることから、立体骨組解析によって断面力、変位および地盤反力度を算出する。立体骨組解析は、Fig. 11 に示すように、鋼管矢板（鋼管コンクリート合成部材）と場所打ち杭をはり要素、高耐力継手と地盤抵抗をバネ要素としてモデル化して解析するものである。

高耐力継手については、井筒型の設計で記述した鉛直方向のせん断特性（バネモデル）の他、各要素実験¹¹⁾に基づいて設定した、鋼管コンクリート合成部材間の圧縮・引張バネ、水平方向せん断バネ、部材軸まわりの回転バネを考慮する。

6. 徳島東環状大橋における採用

本技術は、徳島県が吉野川河口に建設する東環状大橋（仮称）において初採用となり、本橋の下部工事が 2003 年 12 月に始まり、一部の工区では、すでに施工が完了している。本橋では、Fig. 12 に示すような立ち上がり方式の基礎形式が選定された¹⁶⁾。このため河積阻害率を最小限に抑

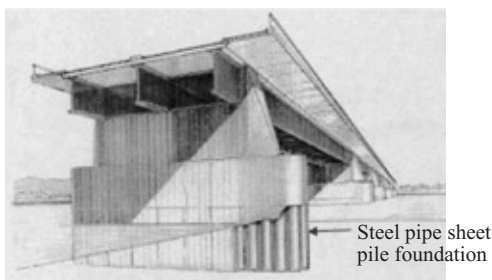


Fig. 12 Pier foundation (standing style)

える観点より扁平の平面形状が必要となり、その結果、Fig. 13 に示すように外壁部には従来継手が、隔壁部には高耐力継手を使用されている。土質条件と基礎設置長さとの関係を Fig. 14 に示すが、全長 55 m の鋼管矢板を支持層となる砂礫層に 8 m 根入れする計画であり、鋼管矢板の施工条件としては厳しいものと言える。鋼管矢板は 2 本継ぎとし、上杭の途中まではパイプロハンマで建込みを行い、その後油圧ハンマ（ラム重量 115 kN、最大打撃エネルギー 203 kN・m）で打込みを行った。施工の状況を Photo 3 に

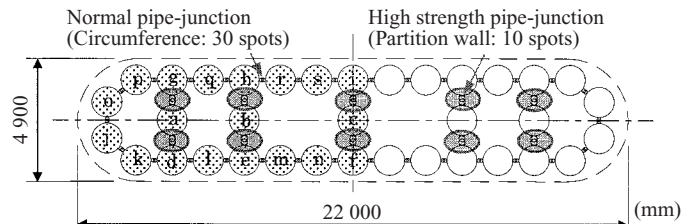


Fig. 13 Cross section of steel pipe sheet pile foundation

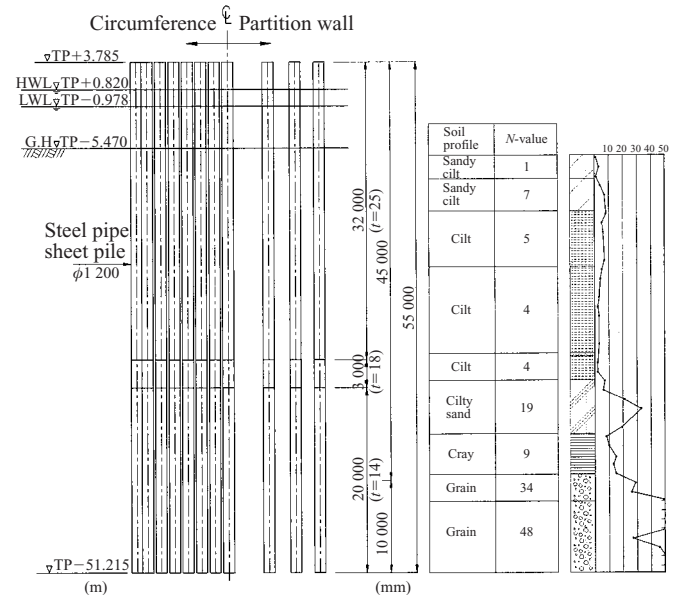


Fig. 14 Soil profile of foundation site

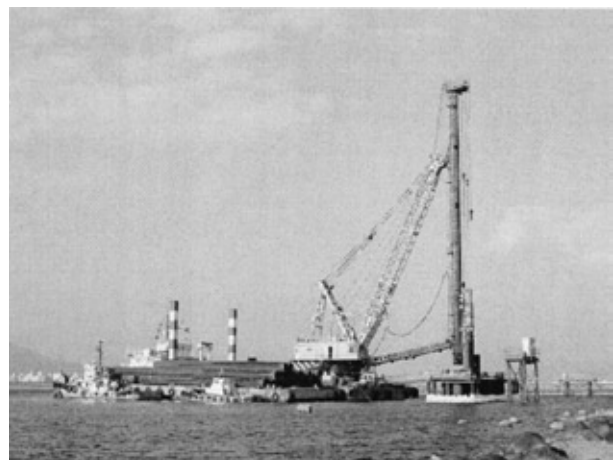


Photo 3 A view of construction

Table 3 Blow count and driving depth in bearing layer

	Number	Blow count in bearing layer	Driving depth in bearing layer (mm/1 blow)	
High strength pipe-junction	①	1 316	7.1	Average 6.6
	②	1 004	6.8	
	③	1 299	6.5	
	④	995	5.9	
Normal pipe-junction	①	1 088	8.1	Average 7.9
	②	1 066	8.2	
	③	1 533	6.3	
	④	1 088	8.9	

Table 4 Eccentricity of steel pipe sheet pile

Pile	Junction form	Average eccentricity (mm)	
		Longitudinal direction	Transverse direction
a-c	High strength pipe-junction: 2 spots	23	15
d-i	High strength pipe-junction: 1 spot Normal pipe-junction: 2 spots	26	26
j-s	Normal pipe-junction: 2 spots	22	11

示す。

高耐力継手および従来継手について、それぞれ4本ずつの鋼管矢板を抽出し、支持層における打撃回数と打止め時の貫入量を計測した結果をTable 3に示す。個体差はあるものの、平均的には両者の間に有意な差は認められなかった。

次に、継手の相違が施工精度に及ぼす影響を確認するため、打込みを完了した鋼管矢板 (Fig. 13) の平面位置を橋軸方向およびこれに直交する方向の2方向について計測した結果をTable 4に示す。こちらも高耐力継手および従来継手との間には大きな差異はなかった。以上の計測結果より、高耐力継手を有する鋼管矢板は、従来継手の鋼管矢板と比較して施工性は同等であることが確認できた。

7. 結言

ハイパーウェル SP の構造性能および施工性に関する検討を実施するとともに、設計評価手法を確立した。また、本検討結果に基づき、大規模橋梁向けの新しい基礎工法として2004年8月に(財)土木研究センターの建設技術審査証明を取得した。今後は、さまざまな条件下でのケーススタディを行うなど、さらなる採用に向けた検討を進めていく予定である。

本研究は、清水建設(株)、(株)大林組の2社との共同研究であることを付記するとともに、関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大久保浩弥, 宮川昌宏, 勝谷雅彦, 佐藤峰生. 鋼管矢板複合基礎工法の概要と構造性能. 基礎工. no. 8, 2003, p. 28-31.
- 2) 大久保浩弥, 風間広志, 勝谷雅彦, 佐藤峰生. 鋼管矢板複合基礎工法の概要. 第24回日本道路会議 一般論文集 (B). no. 10, no. 8, 2001, p. 336-337.
- 3) 大久保浩弥, 宮川昌宏, 勝谷雅彦, 佐藤峰生. 鋼管矢板複合基礎—新しい大規模橋梁基礎工法—. 橋梁と基礎. vol. 36, no. 8, 2002, p. 128-130.
- 4) 風間広志, 佐藤峰生, 西澤信二, 勝谷雅彦. 鋼管矢板複合基礎工法の開発 (その1) — 工法概要と高耐力継手現場施工実験 —. 土木学会第57回年次学術講演会講演概要集 第6部. no. 9, 2002, p. 713-714.
- 5) 沖誠一, 風間広志, 三谷靖, 勝谷雅彦. 鋼管矢板複合基礎工法の開発 (その2) — 鋼管コンクリートおよび下部場所打ち杭の施工実験 —. 土木学会第57回年次学術講演会講演概要集 第6部. no. 9, 2002, p. 715-716.
- 6) 大久保浩弥, 水谷慎吾, 宮川昌宏, 谷和男. 鋼管矢板複合基礎工法の開発 (その3) — 高耐力継手のせん断性能 —. 土木学会第57回年次学術講演会講演概要集 第6部. no. 9, 2002, p. 717-718.
- 7) 南部俊彦, 大久保浩弥, 佐藤純哉, 古庄伸一郎. 鋼管矢板複合基礎工法の開発 (その4) — 複合杭の曲げ性能 —. 土木学会第57回年次学術講演会講演概要集 第6部. no. 9, 2002, p. 719-720.
- 8) 大久保浩弥, 西澤信二, 三谷靖. 大規模橋梁向け鋼管矢板複合基礎工法の施工性と構造性能. 川崎製鉄技報. vol. 34, no. 4, 2002, p. 175-181.
- 9) 日本道路協会. 鋼管矢板基礎設計施工便覧. 1997-12.
- 10) 土木研究センター. 土木系材料技術・技術審査証明 報告書 内面リブ付鋼管巻き場所打ち杭「NKTB 杭」. 2000-12.
- 11) 土木研究センター. 土木系材料技術・技術審査証明 報告書 高耐力継手を用いた鋼管矢板基礎, 高耐力継手を用いた鋼管矢板・場所打ち杭複合基礎「ハイパーウェル SP」. 2004-04.
- 12) 片山猛, 森川孝義, 吉田映, 平田尚. 鋼管矢板基礎における高耐力継手の実験的研究. 土木学会第49回年次学術講演会講演概要集 第3部 (B). 1994-09, p. 1018-1019.
- 13) 地中連続壁基礎協会. 地中連続壁基礎工法 施工指針 (案). 2002-07.
- 14) 竹下貞雄, 梅原俊夫, 奥村文直. 場所打ち杭の杭体コンクリート強度について. 基礎工. 1985-06.
- 15) 日本道路協会. 道路橋示方書・同解説IV下部構造編. 2002-03.
- 16) 寺田和己. 道路橋基礎の設計例—新神宮橋・東環状大橋 (仮称) の事例. 基礎工. 2001-08.



恩田 邦彦



横幕 清



大久保浩弥