

鋼管矢板基礎に用いる高耐力継手の開発

DEVELOPMENT OF HIGH STRENGTH PIPE-JUNCTION FOR STEEL PIPE SHEET PILE FOUNDATION

青柳孝義¹・秋山義信²・永嶋聡志²・山下久男³・西海健二⁴・石濱吉郎⁵

Takayoshi AOYAGI, Yoshinobu AKIYAMA, Satoshi NAGASHIMA,
Hisao YAMASHITA, Kenji NISHIUMI and Yoshiro ISHIHAMA

¹非会員 鹿島建設株式会社 土木設計本部 (〒107-8502 東京都港区赤坂6丁目5-30)

²正会員 鹿島建設株式会社 土木設計本部 (〒107-8502 東京都港区赤坂6丁目5-30)

³正会員 新日本製鐵株式会社 建材開発技術部 (〒100-8071 東京都千代田区大手町2丁目6-3)

⁴正会員 新日本製鐵株式会社 技術開発本部 (〒293-8511 千葉県富津市新富20-1)

⁵非会員 新日本製鐵株式会社 技術開発本部 (〒293-8511 千葉県富津市新富20-1)

In the construction of steel pipe sheet pile foundation, the displacement of the foundation caused by the external force can be reduced by enhancing the shear strength of the pipe junction, because the overall rigidity of the foundation depends heavily on it. Quantity of the steel pipe sheet pile can be reduced at the same time. This paper explains the development of a pipe-junction named "Super Junction", which has higher shear strength than the commonly used ones.

Key Words: Pipe-junction, steel pipe sheet pile foundation, large-scale bridge

1. はじめに

近年, 都市再生事業・港湾区域整備事業の一環として, 全国各地で臨海部における橋梁計画が進んでいる。その橋梁基礎として, 工期・施工性に優れた鋼管矢板基礎を採用するケースが増えている。鋼管矢板基礎では, 継手部のせん断耐力が井筒基礎全体の剛性に大きく影響するため, 継手部のせん断耐力を大きくすることにより外力による井筒基礎の変形を抑え, 同時に鋼管矢板数量の削減が可能となる。そこで, 図-1に示す一般的な鋼管矢板継手(P-P継手)の10倍以上のせん断耐力を有する継手の開発を目標として, Super Junctionを開発したので, その成果について報告する。

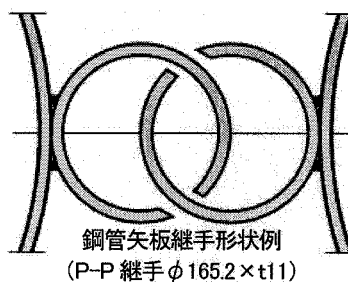


図-1 P-P継手概要図

2. Super Junctionの概要

Super Junctionは図-2に示すように山形鋼を継手として, 継手内にずれ止め用異形鉄筋を溶接したものであり, 継手部に充填した高強度モルタルと異形鉄筋の付着力によって, 継手せん断耐力を向上させたものである。Super Junctionの特長を以下に示す。

①図-2のように継手部の内空寸法を200mm×400mmと大きくし, 新規開発した洗浄機を使用することで, 洗浄作業(土べら落とし)が容易となり高強度モルタルを確実に充填できる。

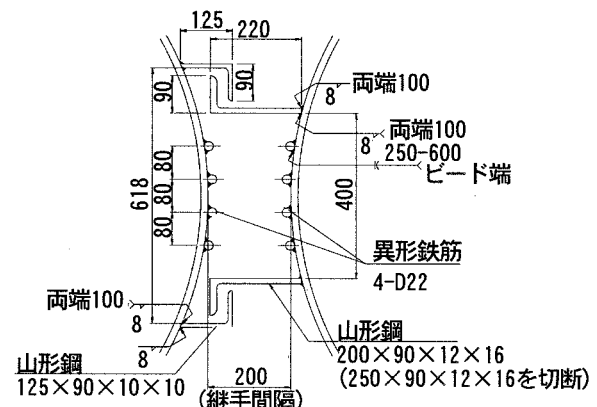


図-2 Super Junction構造図

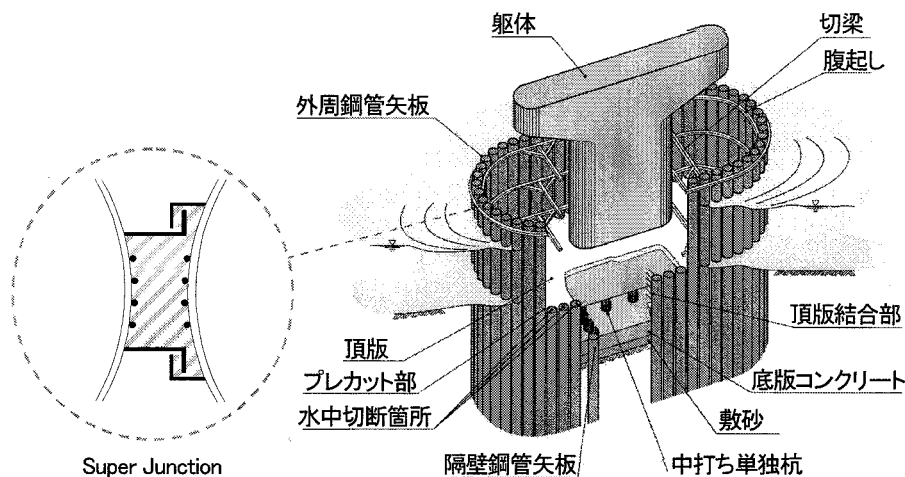


図-3 Super Junctionを用いた鋼管矢板基礎例

②継手部に溶接した異形鉄筋による付着力及び上記の高強度モルタルの確実な充填により従来型の継手（P-P継手等）に比べて大きなせん断耐力およびせん断剛性を得ることができ、鋼管矢板基礎においては鋼管矢板本数の削減、工費・工期の縮減が可能となる。

Super Junctionを用いた鋼管矢板基礎例を図-3に示す。

3. 実証試験による施工性の確認

(1) 施工性実証試験概要

、施工性について問題ないか確認するために、図-4の施工フローに従い、実施工を想定した施工性試験を実施した。施工性試験は、まず、砂質土地盤に試験杭をバイプロハンマーで打設した後、継手空間を掘削・洗浄機で確実に掘削・洗浄できるかを確認した。つぎに試験杭を引抜き、砂質土地盤を埋戻した後、再度砂質土地盤に試験杭を打設し継手空間を掘削・洗浄した。その後、粘性土地盤を想定して継手空間にセメントベントナイトを充填し、再度掘削・洗浄を実施した。さらに、実施工と同様に継手空間にモルタルを充填し、モルタル硬化後は、試験杭をバイプロハンマーで引抜きモルタル充填状況を確認した。また、現場施工試験体として長さ1.0mの試験体を切り出し、押し抜きせん断試験を実施した。

(2) 試験杭打設

予め全旋回式掘削機により圧入したφ2,500のケーシングの内部を砂で置換し、この中に試験杭をバイプロハンマーで打設した。今回の試験では、長さ25.0mの試験杭を22.0m打設した。

打設断面を図-5に、試験杭の全景を写真-1に、打設状況を写真-2に示す。

(3) 継手空間の掘削・洗浄

継手空間の掘削・洗浄は、写真-3、図-6に示す掘削・洗浄機で行った。掘削・洗浄機は、継手空間寸法200×400mmに収まる110(H)×380(W)×2,150(L)で、エアリフ

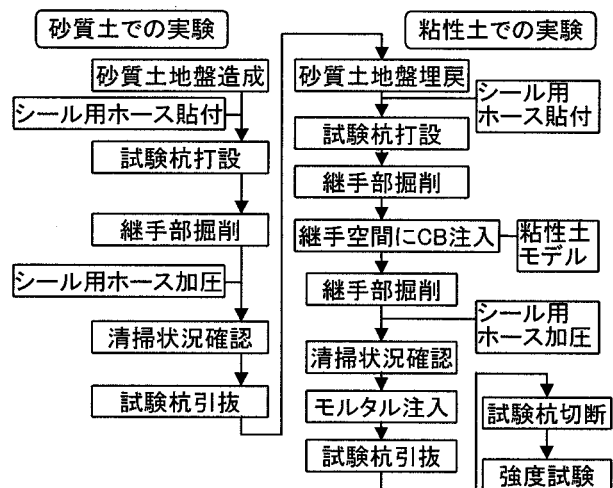


図-4 Super Junction施工フロー

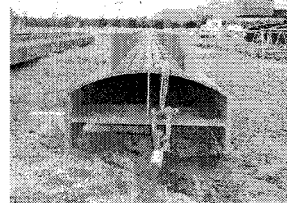


写真-1 試験杭

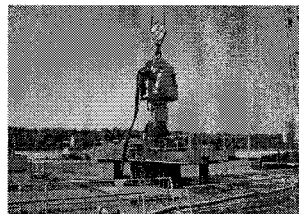


写真-2 試験杭打設状況

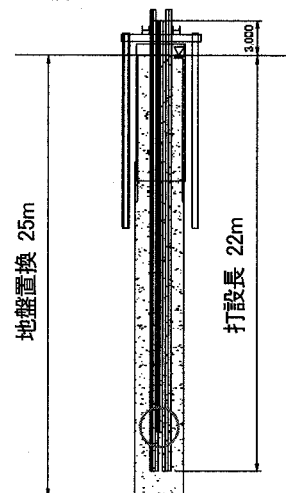


図-5 試験杭打設断面

トとウォータージェットを装備している。写真-4にウォータージェット噴出状況を示す。

継手空間の掘削・洗浄状態は、この掘削・洗浄機を用いることで従来の継手と同等以上の掘削・洗浄ができることを写真-5、写真-6(図-5の○部)により確認した。

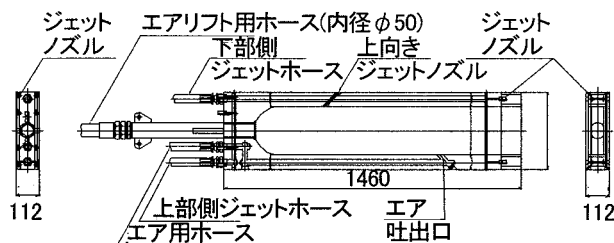


図-6 掘削・洗浄機

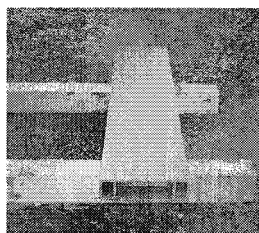


写真-3 掘削・洗浄機

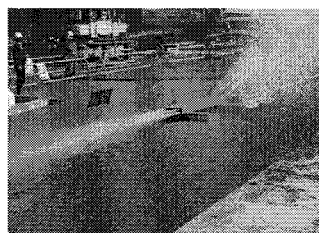


写真-4 ウォータージェット噴出状況



写真-5 継手部洗浄状況
(砂質土)



写真-6 継手部洗浄状況
(粘性土)

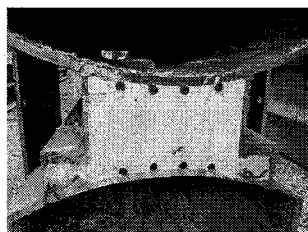


写真-7 モルタル充填継手断面

(4) モルタル充填

掘削・洗浄後、継手空間に高強度モルタルを充填した。充填状況は、写真-7に示すように鉄筋の細部までモルタルが十分充填されていることが確認できた。

(5) まとめ

施工性試験により、以下のことを確認した。

- ① Super Junctionを用いた鋼管矢板は、従来工法で打設できる。
- ② 継手空間内は、掘削・洗浄機できれいに掘削・洗浄でき、モルタルも確実に充填できる。

4. 押し抜きせん断試験によるせん断特性の評価

継手の性能を確認するために、試験体を室内で数体製作し、それについて押し抜きせん断試験を実施した。また、現場造成試験体として長さ1.0mの試験体を現場造成した試験杭から切り出し、それについても押し抜きせん断試験を実施した。押し抜きせん断試験は開発段階においてモルタル強度、鉄筋径、本数を変化させて多数の試験を実施し、せん断耐力が効果的に得られるケースを最

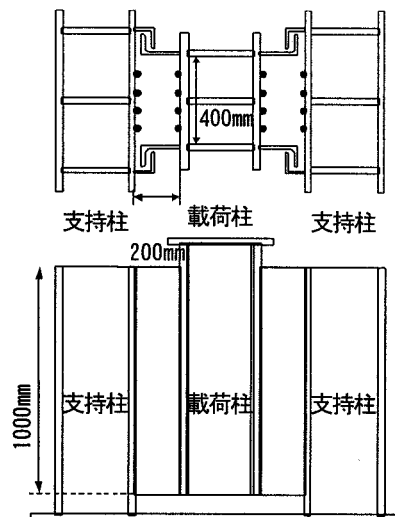


図-7 室内造成試験体形状

表-1 室内造成試験体諸元

Case名	鉄筋仕様	モルタル強度
Case-L1	D22×4本	60N/mm ²
Case-L2	D22×4本	

表-2 現場造成試験体諸元

Case名	鉄筋仕様	モルタル強度	材令
Case-F1	D22×4本	68.1N/mm ²	68日

終仕様(モルタル強度60N/mm²、鉄筋径D22、鉄筋4本)とした。最終仕様における試験結果を示す。

(1) 室内造成試験体

a) 試験体諸元

試験体諸元を表-1に示す。Case-L1とCase-L2は同仕様の試験体とした。

b) 試験体形状

試験体は、載荷柱の両側に長さ1.0mの継手をそれぞれ設けたものとした。形状図を図-7に示す。

(2) 現場造成試験体

施工性実証試験の施工試験杭(25.0m)より作製した試験体を用いて押し抜きせん断試験を行った。なお、試験体は施工試験杭の上端から17.5～19.5mの位置から切り出した。

a) 試験体諸元

試験体諸元を表-2に示す。

b) 試験体形状

試験体は、載荷柱の両側に長さ1.0mの継手をそれぞれ設けたものとした。形状図を図-8に示す。

(3) 試験概要

試験は、載荷柱の両側に長さ1.0mの継手を配置し、10MN構造物載荷試験装置を用いて載荷を行った。試験体セット状況を写真-8に示す。計測した変形量は、雌雄継手同士の鉛直方向の相対ずれ量を用いており、載荷は繰り返し荷重の影響を考慮するために、相対ずれ量をモニタリングしながら、相対ずれ量が5.0mmに達するまでは

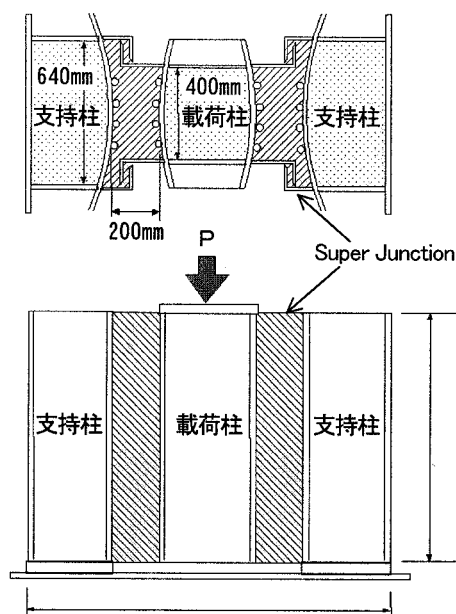


図-8 現場造成試験体形状

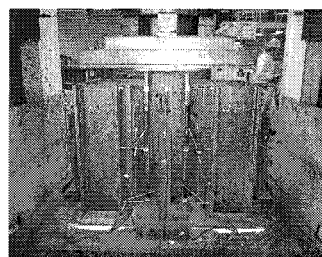


写真-8 試験体セット状況

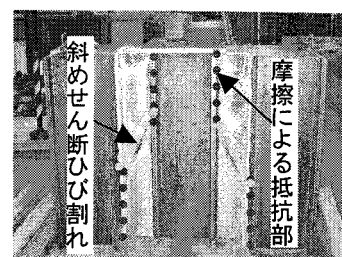


写真-9 せん断試験結果 (Case-L1)

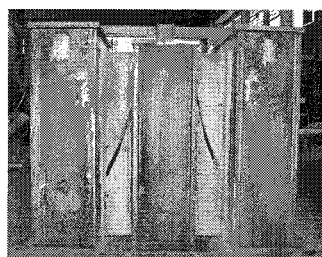


写真-10 せん断試験結果 (Case-L2)

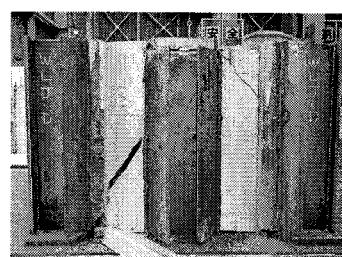


写真-11 せん断試験結果 (Case-F1)

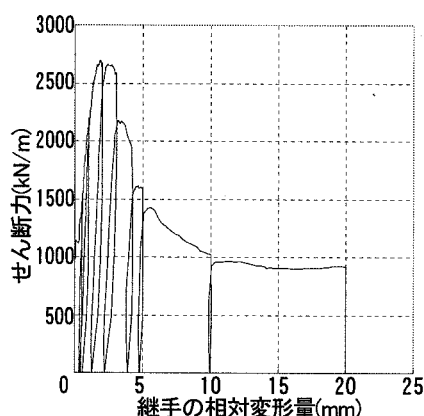


図-9 せん断試験結果 (Case-L1)

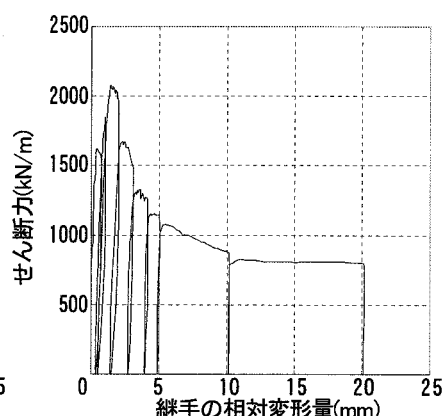


図-10 せん断試験結果 (Case-L2)

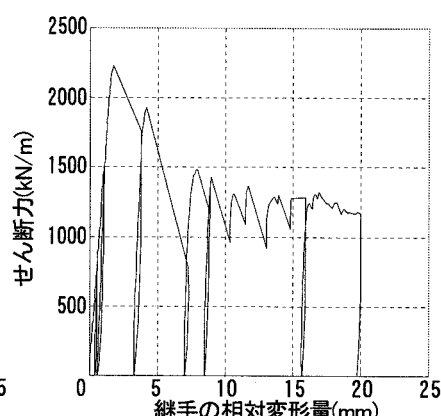


図-11 せん断試験結果 (Case-F1)

1.0mm毎に、相対ずれ量が5.0mm以上に達した後は5.0mm毎に、載荷と除荷を繰り返す片振り漸増載荷試験とした。

(4) 押し抜きせん断試験結果

押し抜きせん断試験により得られたせん断力-継手の相対変形量関係を図-9～図-11に示す。せん断力は載荷荷重を継手長で除した値とした。

また、写真-9～写真-11にCase-L1, L2, F1の試験体破壊状況を示す。全て、継手部に载荷柱から斜め下方向に向かって斜めせん断ひび割れが発生している。上面側ではどのケースにおいても鉄筋近傍からの滑り面が確認された。また、モルタルのブロックと継手の相対変形量について観察を行った結果、最大せん断耐力を示した後の残留耐力は、写真-9の点線に示す、界面でのモルタルと鉄筋部の摩擦による抵抗力により決定すると滑り面の磨耗状況から考えられる。

継手のせん断試験結果は、全ケースで、継手の相対変形量が1～2mmで最大せん断耐力を示した後、せん断力が低下し、継手の相対変形量10mmで一定のせん断力に収束する挙動を示した。各ケースの最大せん断力および相対変形量10mm時のせん断力を表-3に示す。

表-3 最大せん断力、相対変形量10mm時せん断力

	継手の 最大せん断力	継手の相対変形量 10mm時のせん断力
Case-L1	2,695 kN/m	1,024 kN/m
Case-L2	2,080 kN/m	882 kN/m
Case-F1	2,235 kN/m	1,349 kN/m

(5) 耐力発揮メカニズムに対する考察

本継手構造のせん断力の伝達は、図-12に示すように、最大せん断耐力が発現するまでと、それ以降でメカニズムが異なる。これは、継手に斜めせん断ひび割れが発生するためである。図-12に示すメカニズムについて以下に説明する。

・最大せん断耐力までのメカニズム

鉄筋の節とモルタルの機械的な噛み合い、鉄筋表面とモルタルの摩擦力、化学的な接着力によりせん断耐力が発現する。

・最大耐力経験直後のメカニズム

異形鉄筋とモルタルの付着が切れ、せん断方向にずれが生じた状態で、鉄筋-モルタル間もしくはモルタルに発生したひび割れ面におけるせん断力の伝達によって、継手間の残留せん断耐力が発現する。

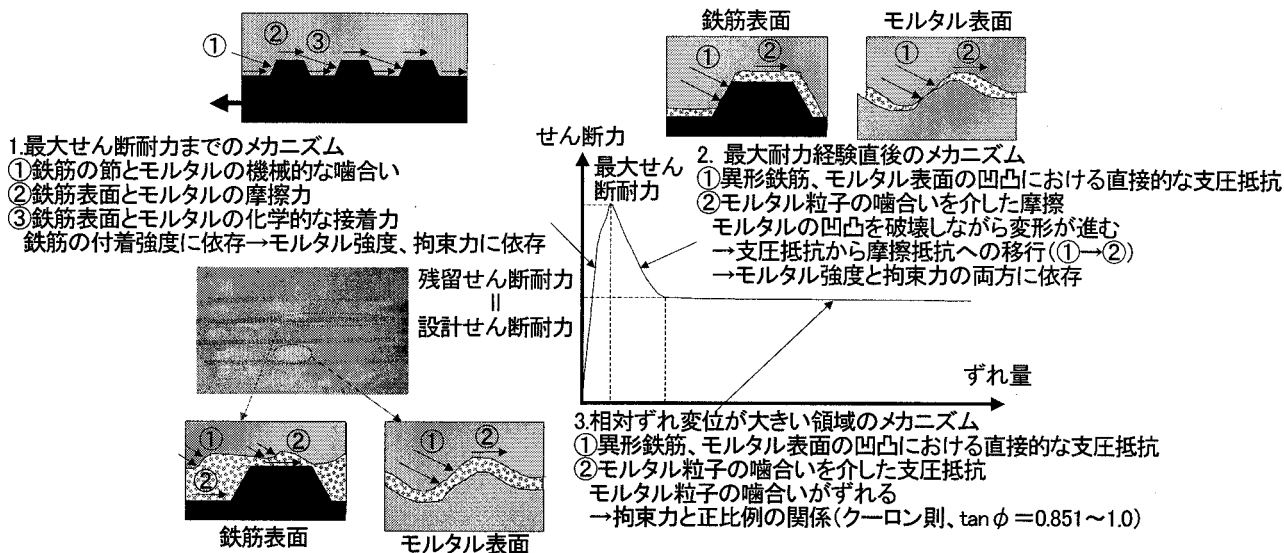


図-12 せん断耐力の発現メカニズム

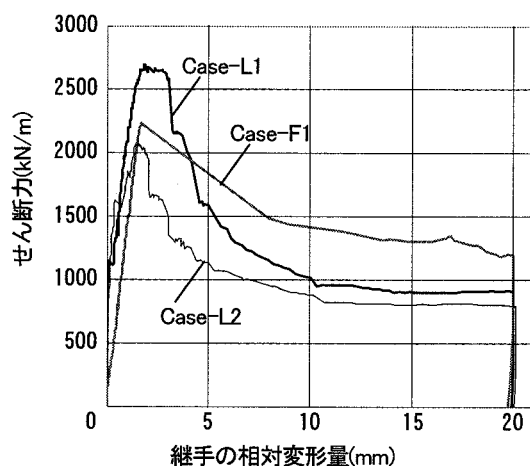


図-13 せん断力-継手の相対変位量

・相対ずれ変位が大きい領域のメカニズム
 モルタルの凹凸を破壊しながら変形が進み、モルタル粒子の噛み合い部におけるずれによりせん断耐力の大部分が発現する。

5. Super Junctionのせん断特性の設計値

前章までの試験結果より、Super Junctionのせん断特性を設定する。

図-13は室内造成、現場造成試験体のせん断試験結果の包絡線を示したものである。

Super Junctionのせん断特性は、Case-L1, L2, F1の3試験体を用いて設定した。

(1) 常時、暴風時およびレベル1地震時の継手のせん断耐力

Super Junctionの常時、暴風時およびレベル1地震時の継手のせん断耐力は残留変形が発生しない範囲で設定することから、最大せん断力に至るまでの特性を用いることとした。

表-4に各試験体の最大せん断力を示す。常時、暴風時およびレベル1地震時の継手のせん断耐力は3試験体の

表-4 各試験体の継手の最大せん断力

	継手の最大せん断力
Case-L1	2,695 kN/m
Case-L2	2,080 kN/m
Case-F1	2,235 kN/m

表-5 設計に用いる継手のせん断耐力

	設計用の継手のせん断耐力
常時	1,000 kN/m
暴風時およびレベル1地震時	1,330 kN/m

最大せん断力から安全側となる2,000kN/mとした。

常時、暴風時およびレベル1地震時の継手のせん断耐力は、継手の最大せん断力に従来の継手と同様に安全率を確保した値を設定し、表-5に示すように常時の継手のせん断耐力は安全率2.0で除し、1,000kN/m、暴風時およびレベル1地震時の継手のせん断耐力は安全率1.5で除し、1,330kN/mとした。

(2) レベル2地震時の継手のせん断耐力

Super Junctionのレベル2地震時の継手せん断耐力は、継手の大変形を考慮した値を設定する必要がある、せん断試験の結果から設定した。

設計で用いるレベル2地震時の継手のせん断耐力は、以下に述べる①、②の事項を踏まえ、安全側を考慮して継手の相対変形量が10mm時のせん断力とした。

①各試験のせん断力の低下は相対変形量10mm程度で収束すること。

②Super Junctionを軟弱地盤上の大規模橋梁鋼管矢板井筒基礎に適用した試験解析を数ケース実施すると、レベル2地震時の相対変形量は5mm程度であること。

表-6に各試験体における継手の相対変形量10mm時のせん断力を示す。レベル2地震時の継手のせん断耐力は、継手の相対変形量10mm時せん断力から安全側となる880kN/mと設定し、レベル2地震時の継手のせん断特性は、この設定値を上限とした最大変形量10mmのバイリニア型を設定した。

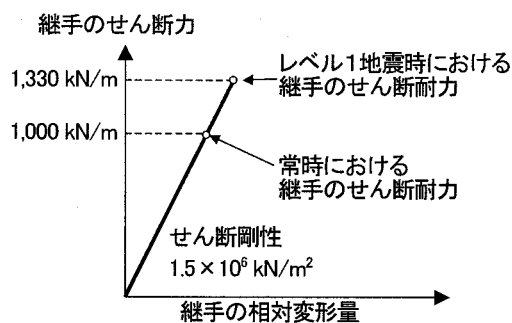


図-14 常時、暴風時およびレベル1地震時における継手のせん断特性

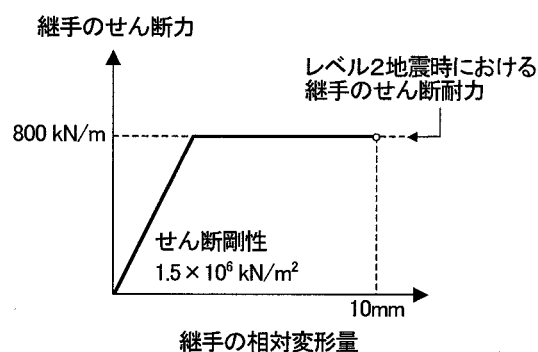


図-15 レベル2地震時における継手のせん断特性

(3) Super Junctionのせん断剛性設定の考え方

Super Junctionのせん断剛性の設定においては、常時、暴風時およびレベル1地震時は、弾性的な挙動を示す範囲で設定し、レベル2地震時は、継手の大変形を考慮して設定する必要がある。常時、暴風時およびレベル1地震時のせん断剛性は、継手の相対変形量が急増する点を降伏せん断力として判定し、原点と降伏点を結ぶ直線の傾きで設定した。各試験体のせん断剛性を表-7に示す。

また、レベル2地震時については、継手の大変形を考慮して、再び載荷する際の傾きである復元剛性を継手のせん断剛性と設定することが考えられるが、復元剛性は、常時、暴風時およびレベル1地震時せん断剛性よりも大きな値となることから、安全側を考慮しレベル2地震時も常時、暴風時およびレベル1地震時と同じせん断剛性を用いることとした。よって、Super Junctionのせん断剛性は、3試験体から安全側となる $1.5 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$ と設定した。

6. まとめ

Super Junctionのせん断特性を表-8および図-14、図-15に示す。また、表-9にP-P継手とSuper Junctionの設計定数を比較したものを示す。これより、従来継手の10倍のせん断耐力を得ることができた。その結果、図-16に示す設計例では、杭本数を69本から44本に低減できた。

表-6 相対変形量10mm時せん断力

継手の相対変形量10mm時のせん断力	
Case-L1	1,024 kN/m
Case-L2	882 kN/m
Case-F1	1,349 kN/m

表-7 各試験体の継手のせん断剛性

せん断剛性	
Case-L1	$2.21 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$
Case-L2	$2.07 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$
Case-F1	$1.45 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$

表-8 Super Junctionのせん断特性

せん断特性	
常時	せん断耐力1,000kN/m せん断剛性 $1.5 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$
暴風時および レベル1地震時	せん断耐力1,330kN/m せん断剛性 $1.5 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$
レベル2地震時	せん断耐力880kN/m せん断剛性 $1.5 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$ 継手の最大相対変形量10mm

表-9 Super Junctionの設計定数

	P-P継手		Super Junction	
	初期剛性	設計せん断耐力	初期剛性	設計せん断耐力
常時	$0.6 \times$	100kN/m	$1.5 \times$	1,000kN/m
地震時	10^6 kN/m^2	133kN/m	10^6 kN/m^2	1,330kN/m

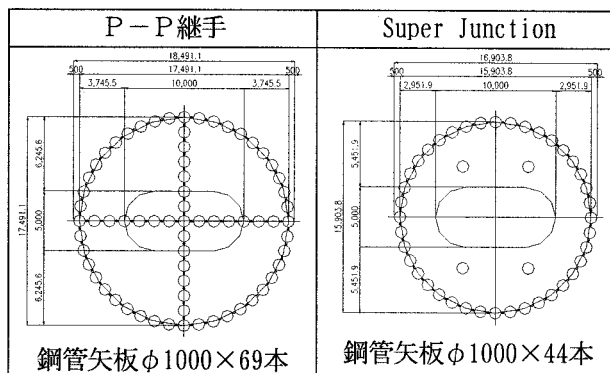


図-16 鋼管矢板基礎の設計例

7. おわりに

「Super Junction」は、新日本製鐵、JFEスチール、住友金属工業、クボタと共同開発したものであり、2007年3月に、学識経験者からなる「Super Junction」建設技術審査委員会(委員長 岡原美知夫 財団法人先端建設技術センター専務理事)の審査を合格し、建設技術審査証明書を取得した。

今後は、大規模橋梁基礎工事において積極的に活用を図りたい。

参考文献

- 青柳他、広幅高耐力継手の開発—その1施工性実証試験—、第41回地盤工学研究発表会講演概要集
- 石濱他、広幅高耐力継手の開発—その2鉛直せん断特性に関する研究—、第41回地盤工学研究発表会講演概要集