

縞鋼管高耐力継手の正負交番せん断試験

〔概要〕

鋼管矢板基礎は継手を介して多数の鋼管矢板を円形、矩形、小判形等の閉鎖形状に組み合わせて打設し、継手部にモルタルグラウトを行って一体性を高め、基礎工とするものである。基礎としての剛性や変形挙動には継手部の耐力やずれせん断特性が影響を及ぼすが、大地震等を想定したような大変形繰返し負荷時の継手特性についての知見が、必ずしも十分ではなかった。本レポートでは、近年実施した縞鋼管高耐力継手（管内面に突起を有する継手管を用いた鋼管矢板基礎用の継手）の正負交番せん断試験の結果を報告する。

なお、標準タイプの鋼管継手（P-P継手）の試験結果についても、別途レポートを作成したので、併せて参照されたい。

2016年1月



一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会
Japanese Technical Association for Steel Pipe Piles and Sheet Piles

※本資料は、協会で実施した研究活動等から広く公開することが望ましいと思われるものを選び、テクニカル・レポートとして刊行するものです。記載された内容は、実験解析等の結果を示したものであり、具体の製品の特性や性能を保証するものではありません。

本文書の複製、本文書からの引用・転載にあたっては本会からの許諾を得てください。

縞鋼管高耐力継手の正負交番せん断試験

1. 背景	2
2. 正負交番繰返しせん断試験	5
2.1 荷重パターン	5
2.2 試験体	6
2.3 試験方法	6
2.4 試験の状況	8
2.5 試験結果のまとめ	12
3. 継手せん断特性値の検討	13

1. 背景

鋼管矢板基礎とは、図 1.1 に示すように P-P 継手を有する鋼管矢板を、円形・矩形・小判形等の任意の閉鎖形状に打設し、継手部にモルタルを充填するとともに、頂版（フーチング）を築造して鋼管矢板頭部を剛結し、大きな水平抵抗、鉛直支持力が得られるようにした基礎構造物です。

その主な特長としては

- ①大水深、軟弱地盤での施工が可能
 - ②仮締め切りを兼用することにより、工期、工費の低減が可能
 - ③剛性、支持力が大きく、占有面積を小さくすることが可能
 - ④条件に応じた最適形状が選定できるので、合理的かつ経済的な設計が可能
 - ⑤支持層が深い場合でも安全確実な施工が可能
- などが上げられます。

このような特長をもつ鋼管矢板基礎ですが、継手に図 1.2 に示すような内面に突起を有する縞鋼管を用いた縞鋼管高耐力継手を用いることにより、さらに基礎の平面寸法を縮小することが可能となる場合があります。超軟弱地盤上に荷重規模の大きな長大橋が採用される場合、その橋脚基礎は水平変位の制限より平面形状が大きくなる傾向にありますが、そのような場合縞鋼管高耐力継手を用いた鋼管矢板基礎がコスト削減に有効です。

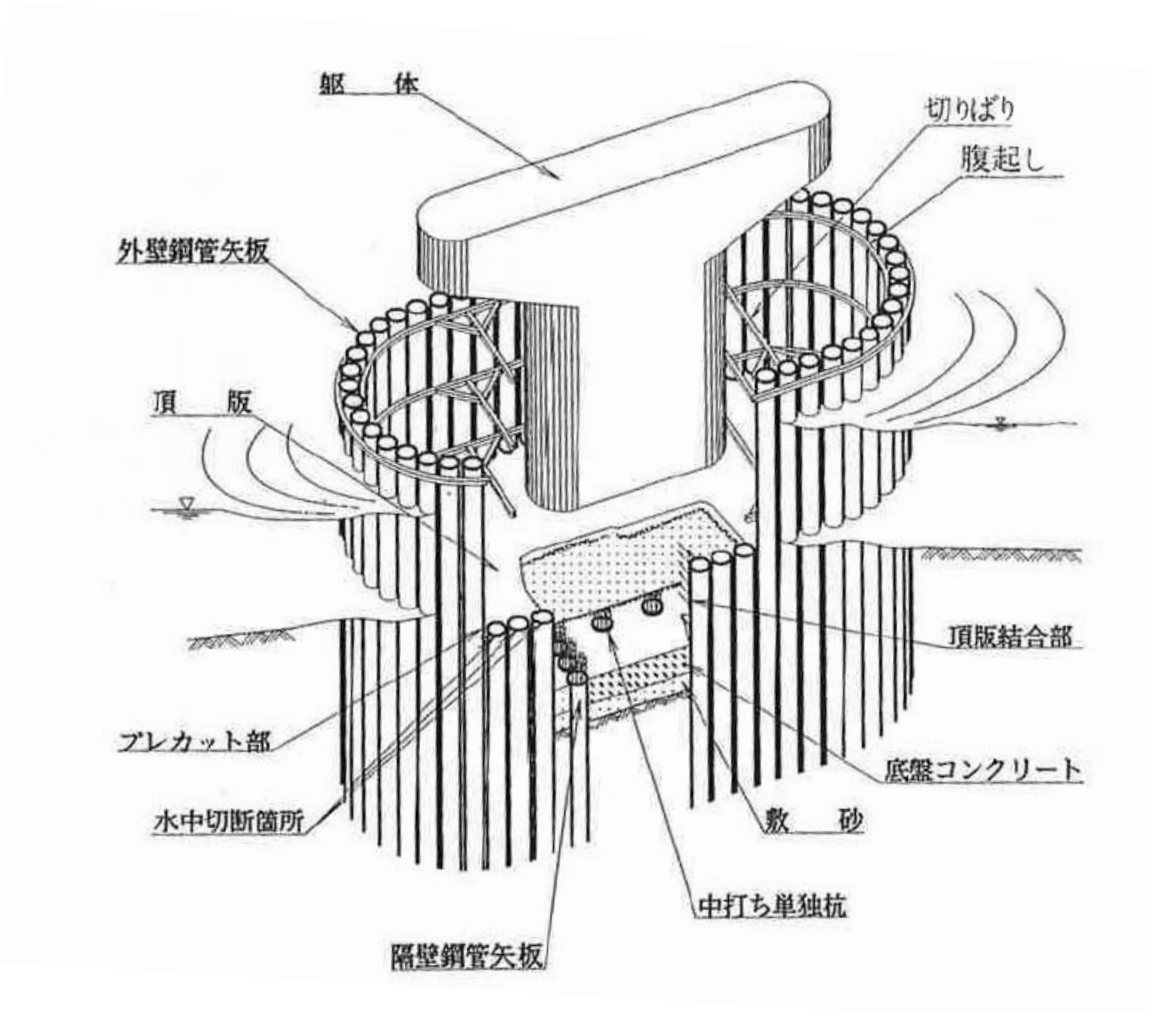


図 1.1 仮締切り兼用鋼管矢板基礎模式図



図 1.2 縞鋼管高耐力継手

鋼管矢板基礎では継手のせん断ずれを考慮した設計が行われており、縞鋼管高耐力継手を用いた鋼管矢板基礎でも同様です。レベル2地震時での設計に用いる縞鋼管高耐力継手のせん断特性はバイリニア型で、せん断剛性 $G_j=600,000(\text{kN/m}^2)$ 、せん断耐力 $q_{ju}=1150(\text{kN/m})$ 、ずれ変位の許容値は 10mm となっています。なお、継手管内に充填するモルタルは、水中打設したモルタル強度が 40MPa 以上となるようにモルタルの配合強度を定めることになっています。

このせん断特性は東京港臨海道路検討調査耐震基礎工分化会で審議され設定されました。根拠となった試験体と载荷試験のイメージを図 1.3 に、荷重ずれ関係を図 1.4 に示します。

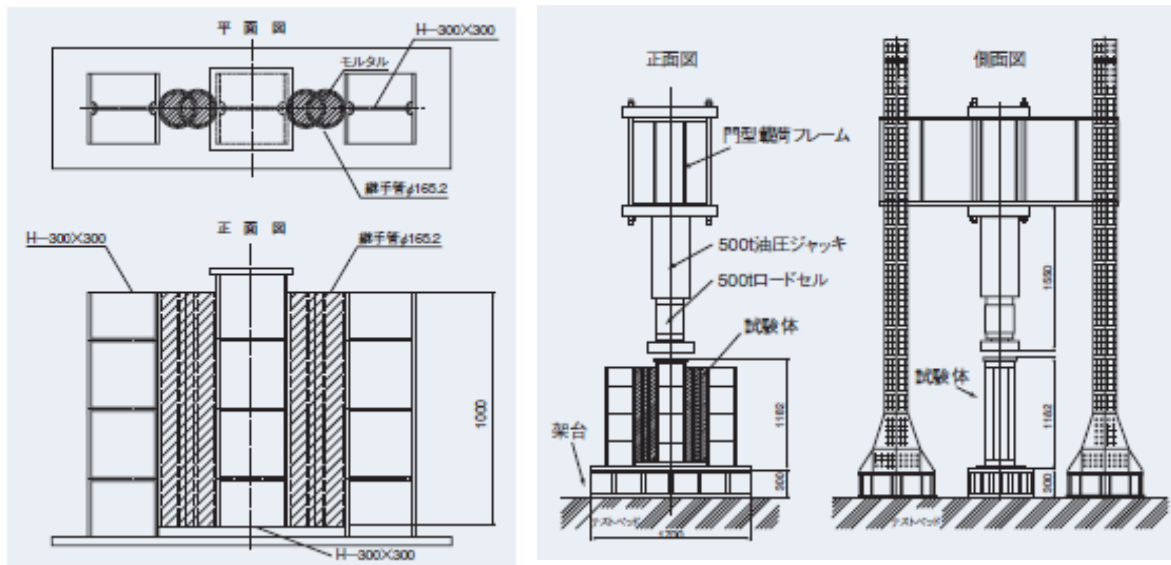


図 1.3 試験体と载荷試験のイメージ

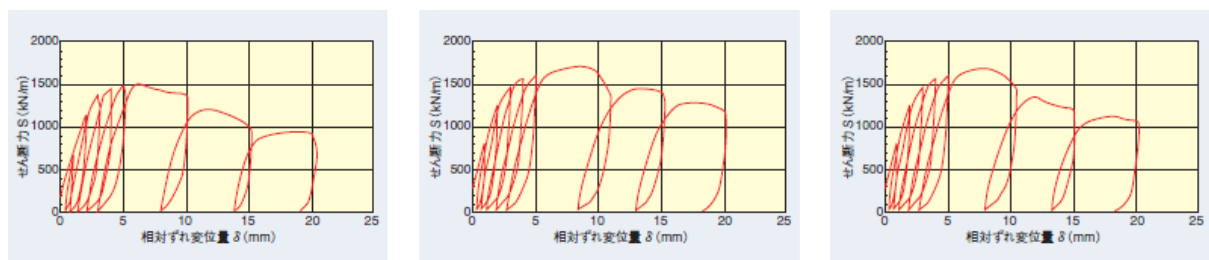


図 1.4 荷重ずれ関係

これらのは、一方向のせん断力が作用した場合の試験であり。今回は、正負の繰返しせん断力が作用した場合の挙動を確認するため、鋼管矢板継手の正負交番繰返しせん断試験を実施しました。

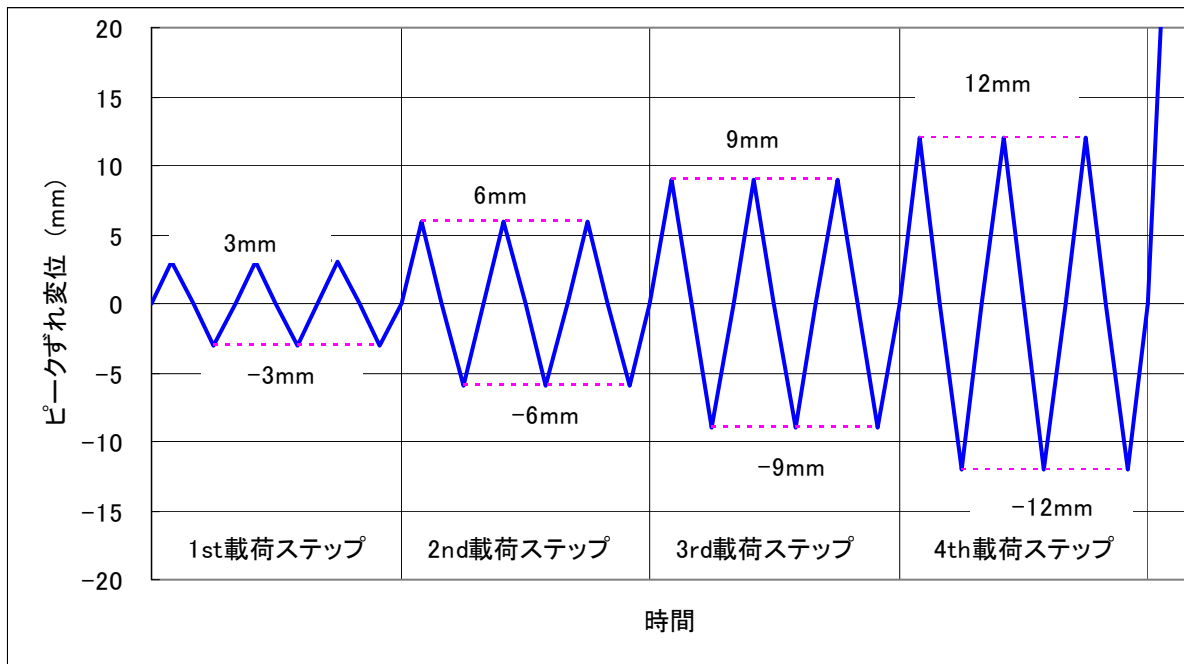
2. 正負交番繰返しせん断試験

2.1 荷重パターン

橋の耐震性能の評価に活用する実験に関するガイドライン(案)では、正負交番荷重試験において試験体に与える荷重パターンは、ピーク荷重変位を降伏変位の整数倍で漸増させ、各ピーク変位の繰返し回数を3回とするのが一般的とされています。このためここでも同様に、ピーク荷重変位を降伏ずれ変位の整数倍で漸増させ、各ピーク変位の繰返し回数を3回としました。降伏ずれ変位は、東京港臨海道路検討調査耐震基礎工分働会で審議された一方向ピーク変位漸増荷重試験の荷重ずれ関係より3mmとしました。またレベル2地震時での設計に用いる縞鋼管高耐力継手のせん断特性のずれ変位の許容値が10mmであるため、繰返しを行うピーク荷重ずれ変位の最大値は、12mm(=3mm×4)としました。4回の荷重ステップの後は正方向にこの試験システムで可能な最大ずれ変位まで荷重しました。表2.1に荷重ステップとピーク荷重ずれ変位を示します。

表 2.1 荷重ステップとピークずれ変位

荷重ステップ	1st	2nd	3rd	4th	5th
正方向のピーク荷重ずれ変位	3mm	6mm	9mm	12mm	34mm
負方向のピーク荷重ずれ変位	-3mm	-6mm	-9mm	-12mm	



2.2 試験体

試験体の概要を図 2.1 に示します。左右の 300H 鋼の支柱（反力柱①，②）に固定された縞鋼管を用いた継手管と中央部の 300H 鋼の支柱（載荷柱）に固定された縞鋼管を用いた継手管が組合された状態で継手管の内空部へモルタルグラウトを打設し試験体としました。反力柱①，②は上板および底版に溶接固定されています。載荷柱の上下部にあたる上板および底版には孔が設けられており，載荷柱の上部および下部で載荷することが可能な構造としました。載荷直前にねじ鋼棒を人力で締めることにより初期緩みをとり，その状態で水平変位拘束用治具を固定し，試験中の側方への変位を抑えるようにしました。継手中空部に打設したモルタルグラウトのテストピースの強度は，試験日で平均 43.5MPa でした。

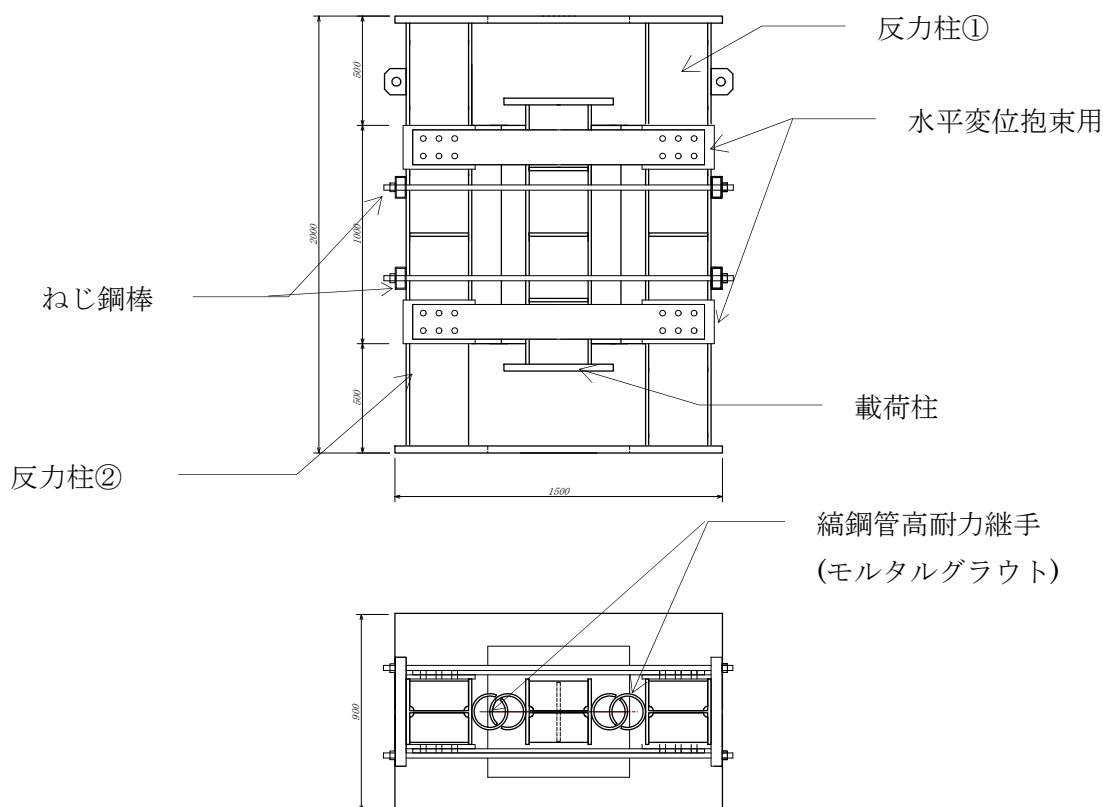


図 21 試験体の概要

2.3 試験方法

図 2.2(1)に示すように正方向の載荷は，載荷柱とその直下の油圧ジャッキ間に空間を確保した状態で載荷柱上に設置した油圧ジャッキのストロークを伸ばし構造物試験機の載荷端盤に当てた状態で構造物試験機で載荷しました。図 2.2(2)に示すように負方向の載荷は，載荷柱上に設置した油圧ジャッキと構造物試験機載荷端盤の間に空間を確保した状態で載荷柱下に設置した油圧ジャッキのストロークを伸ばし反力柱上端を載荷端盤に当てた状態で構造物試験機で載荷しました。写真 2.1 に試験体のセットアップの状況を示します。

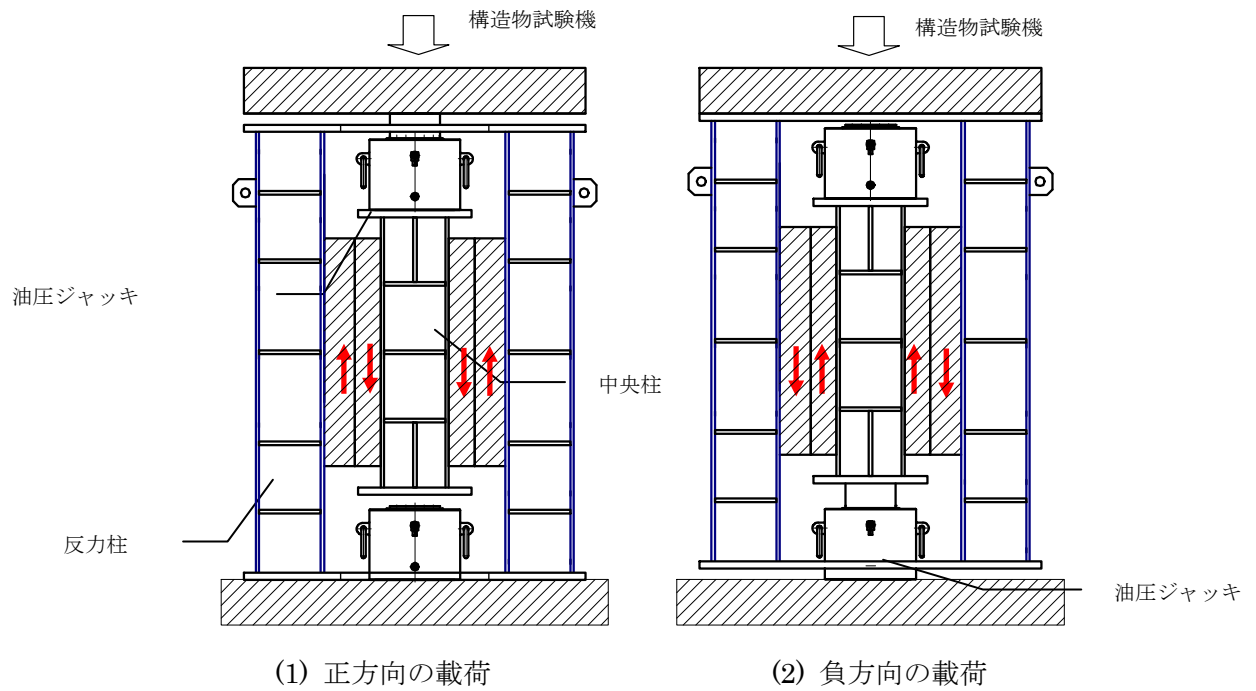


図 2.2 正負交番繰返し試験の方法



写真 2.1 試験体のセットアップの状況

2.4 試験の状況

荷重とずれ変位の履歴曲線を図 2.3 に示します。また、荷重ステップ各ループ内での最大荷重を表 2.2 に、前ループ時からの最大荷重の低下率を図 2.4 に示します。最大荷重は 1st 荷重ステップの 1 回目ループの正側ピークずれ変位時の 3842.1kN でした。履歴曲線は各荷重ステップの 1 ループ目は履歴最大のずれ変位に近くなるあたりから荷重が次第に増加し、履歴最大ずれ変位を超えてからは紡錘型を示し、2 ループ目、3 ループ目はスリップ型の形状を示しました。各荷重ステップにおいては、ループ回数が増えるに従って最大荷重は低下しますが、その低下の度合いは次第に小さくなる傾向にありました。また、最大荷重は繰り返しにより漸減されていきますが、前荷重ステップ 3 ループ目の最大荷重に比べ、次荷重ステップの 1 ループ目の最大荷重は大きな値を示しました。

継手部のモルタルグラウトは荷重にともない損傷し、写真 2.2 に示すように 1st 荷重ステップの 2 回目の正側の荷重後、モルタルグラウトの小塊が落下しているのが確認されました。その後も荷重が進むにしたがってモルタルグラウトが塊および粉体となって落下しました。試験完了後の継手上下端の状況を写真 2.3 に示します。継手下部はモルタルグラウトが詰まっていない状況が確認できます。

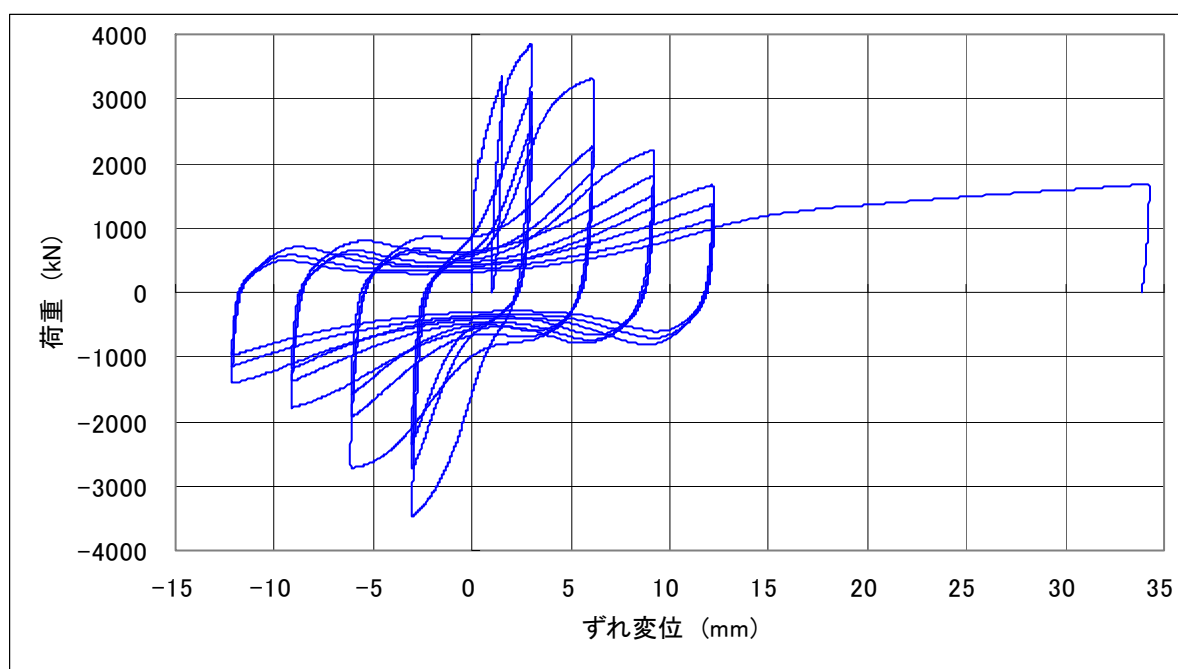


図 2.3 荷重とずれ変位の履歴曲線

表 2.2 荷重ステップ各ループ内での最大荷重(kN)

荷重ステップ	1st:		2nd		3rd		4th		last
	正	負	正	負	正	負	正	負	
ピークずれ変位 (mm)	3	-3	6	-6	9	-9	12	-12	34
1 ループ°	3842.1	-3478.7	3310.6	-2718.2	2206.0	-1884.7	1660.0	-1403.2	1675.1
2 ループ°	3101.9	-2742.4	2248.7	-1920.3	1797.0	-1373.1	1360.5	-1137.9	
3 ループ°	2563.2	-2342.0	1842.1	-1576.3	1502.9	-1181.5	1124.9	-975.2	
次荷重ステップ°の 当該ずれ変位時	2263.0	—	1618.5	—	1296.1	—	975.2	—	

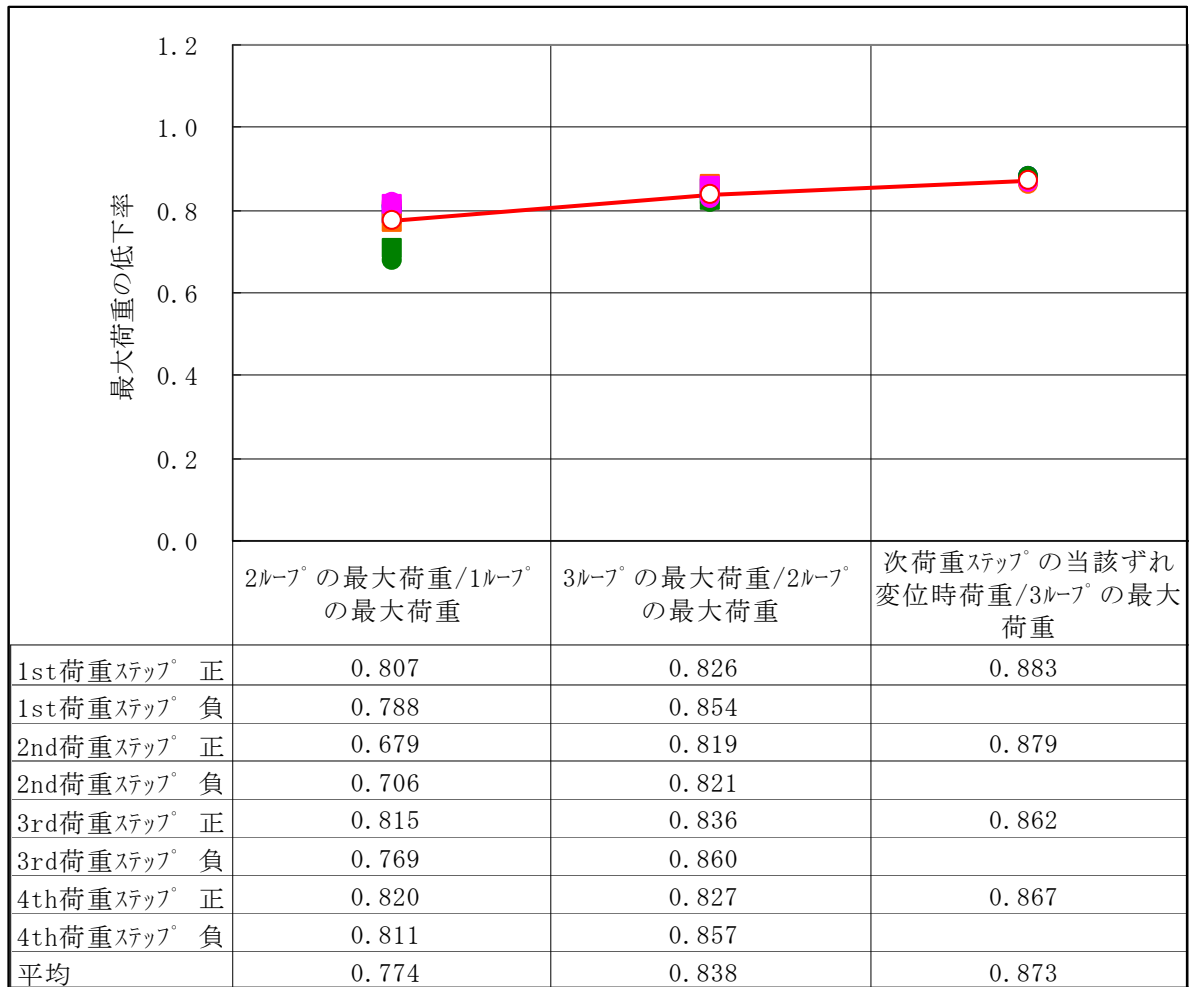


図 2.4 前ループ時からの最大荷重の低下率



写真 2.2 1stSTEP 2 回目正側載荷終了後の状況



写真 2.3 試験終了後の継手上下のモルタルグラウトの状況

試験終了後継手部を取り外し、モルタルグラウトの状況を確認しました。写真 2.4 に A 室、C 室の外側鋼板を取り外した状況を示します。写真からもわかるように、A 室、C 室のモルタルは、上下の両端部 5 cm 程度は破壊されていましたが、それ以外の部分は健全であり、縞パターンも健全で、ブレーカーでも簡単には破壊できないほど強固でした。

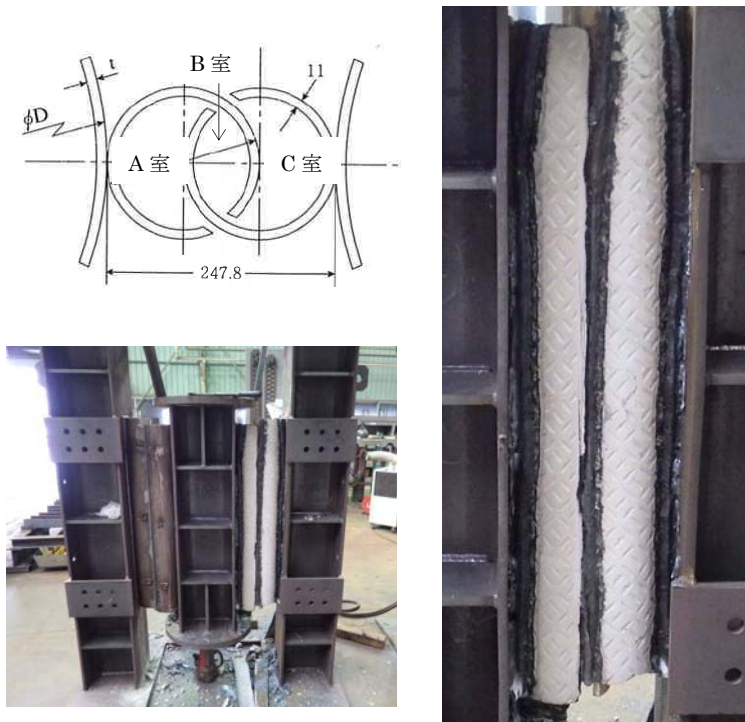


写真 2.4 A室, C室の外側鋼板を取り外した状況

B室のモルタルグラウトの状況を写真 2.5 に示します. B室のモルタルグラウトも, 両端部を除き堅固で, その表面は粗く削られた状態となっており, 鋼管内面の縞突起とモルタルグラウトの界面ですべっていることがわかりました.



写真 2.5 B室のモルタルグラウトの状況

2.5 試験結果のまとめ

縞鋼管高耐力継手を用いた鋼管矢板井筒基礎の継手部に正負の繰返しせん断力が作用した場合の挙動を確認するため、縞鋼管高耐力継手の正負交番繰返しせん断試験を実施しました。その結果次のことが分かりました。

- ①最大せん断耐力は、 $Q=3842.1\text{kN}/2.0\text{m}=1921\text{kN/m}$ を示し、現行の設計値 $Q=1150\text{kN/m}$ を上まわりました。
- ②各载荷ステップにおいて、繰返しによるせん断耐力の低下率は、約77%→84%→87%と徐々に小さくなりました。
- ③継手せん断耐力は繰返しにより漸減されていくが、前载荷ステップ3ループ目の耐力に比べ、次载荷ステップの1ループ目の耐力は大きな値を示しました。
- ④1st 载荷ステップの2回目の負側の载荷後から、継手管下部よりモルタルグラウト塊の落下がはじまり、継手下端部にはモルタルグラウトが詰まっていないところがあり正载荷と負载荷に対する試験体の抵抗モードに差異が生じたと考えられます。
- ⑤継手管内のモルタルグラウトは、上下5cm程度は破壊されていましたが、それ以外の部分は健全であり、ブレーカーでも容易に破壊できないほどの強さでした。試験終了後のモルタルグラウト有効長さは、0.9mと考えられます。

3. 継手せん断特性値の検討

設計に用いる継手せん断特性はバイリニア型にモデル化され、継手せん断剛性と継手せん断耐力の上限値およびずれ変位の制限値で定められます。この特性値を検討するため、本試験結果より、荷重 STEP 1 ではモルタルの有効長さを 1.0m、荷重 STEP 2 以降はモルタルの有効長さを 0.9m として単位長さ当たりのせん断力を算定し、ずれ変位との関係を求めました。図 3.1 にずれ変位正側の単位長さ当たりのせん断力とずれ変位の関係を示します。図 3.1 に、現行設計モデルを示します。現行設計モデルは、正負交番繰り返しせん断試験結果の正側包絡線内にほぼ収まることが分かります。

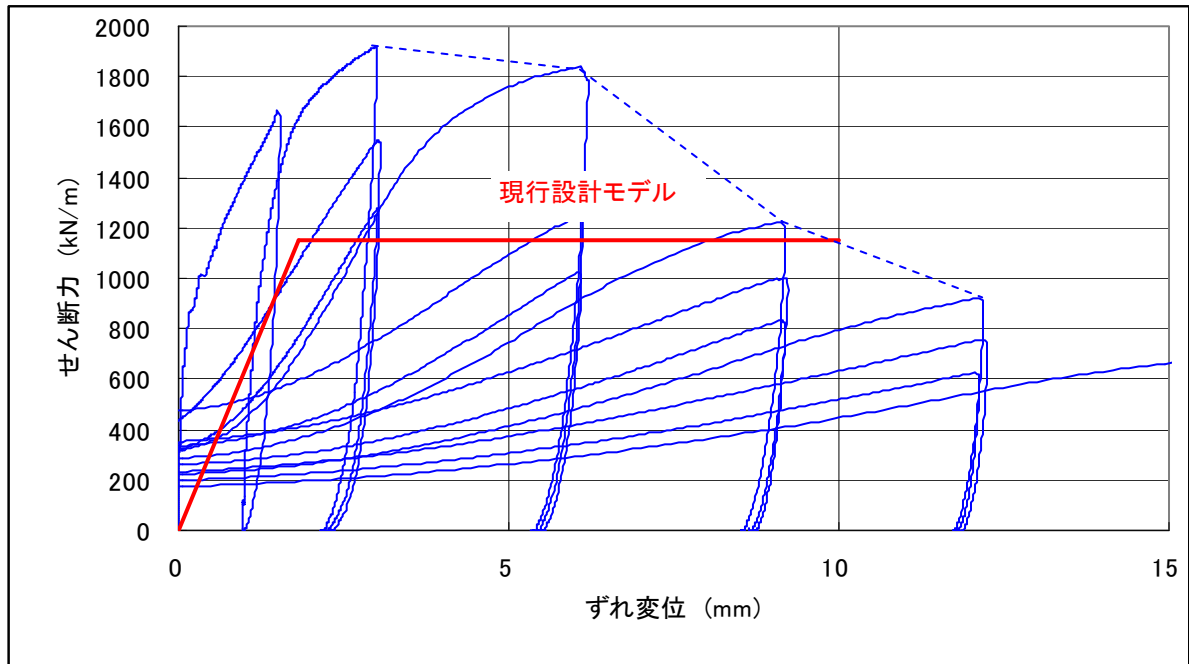


図 3.1 ずれ変位正側側の単位長さ当たりのせん断力とずれ変位の関係