

鋼管矢板基礎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、近年実施した標準タイプの鋼管継手（P-P継手）の正負交番せん断試験の結果を報告する。

なお、管内面に突起を有する継手管を用いた高耐力継手（縞鋼管継手）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。

鋼管矢板基礎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	7
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, 写真 1.1 に示すような継手を有する鋼管矢板を現場で円形, 矩形, 小判形等の任意な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うとともに, 頂版 (フーチング) を築造することにより頭部を剛結し, 大きな水平抵抗, 鉛直支持力が得られるようにした, 図 1.2 のような基礎構造物です.

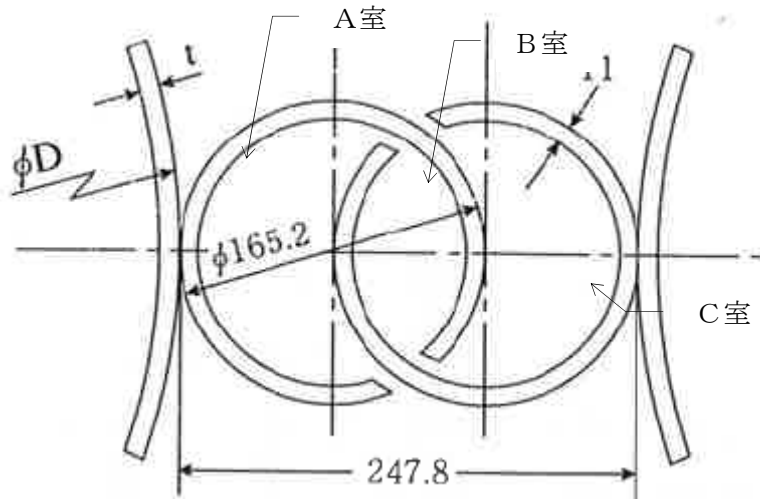


図 1.1 鋼管矢板継手形状例

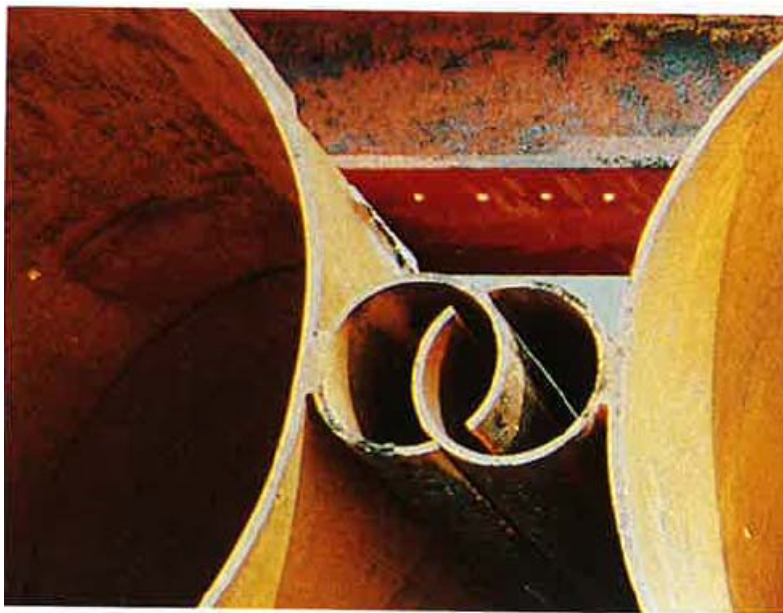


写真 1.1 鋼管矢板継手形状例

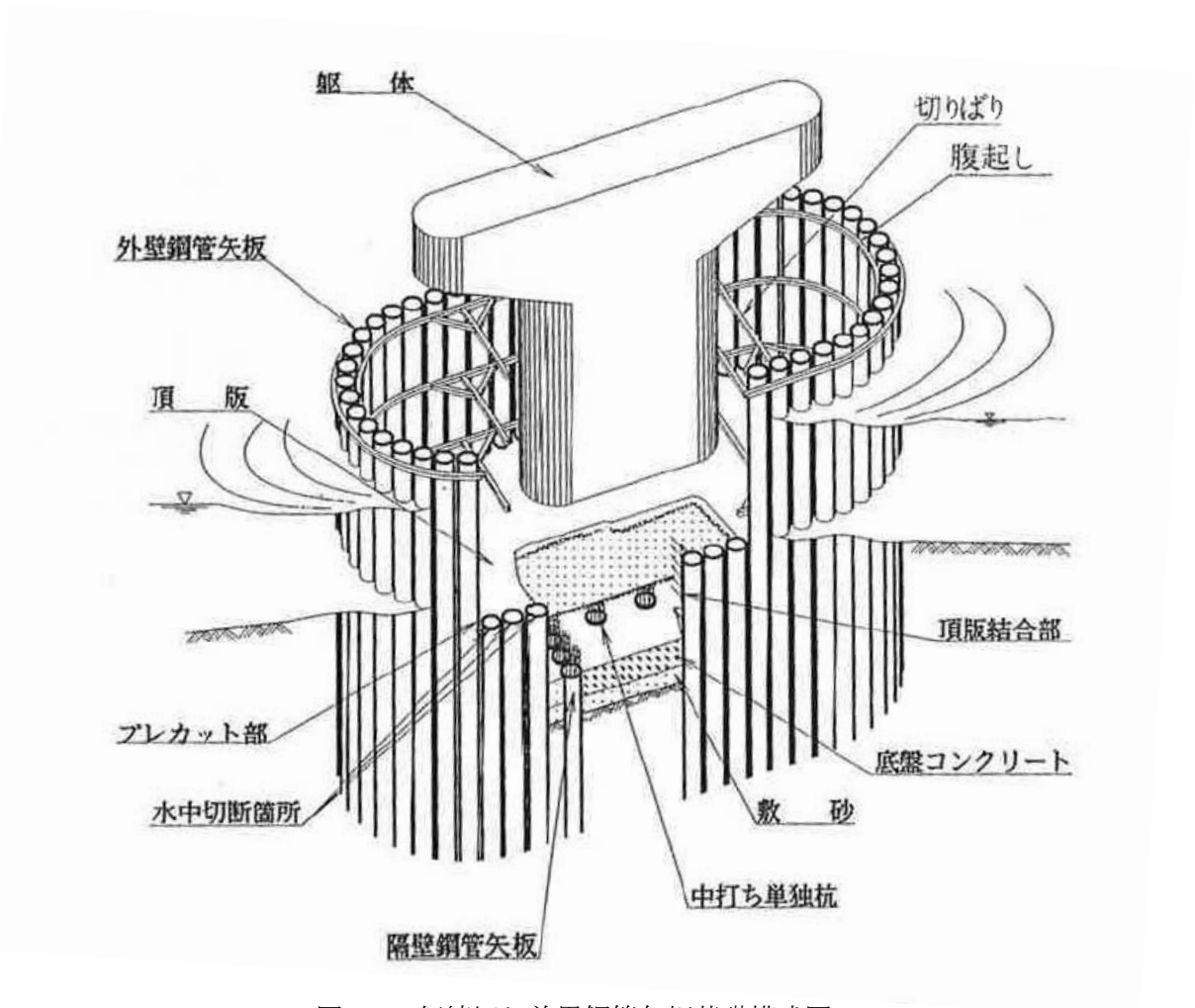


図 1.2 仮締切り兼用鋼管矢板基礎模式図

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います。設計に用いる継手管のせん断特性はバイリニア型で、常時、レベル 1 地震時では、せん断剛性 $G_j=600,000(\text{kN/m}^2)$ 、せん断耐力 $q_{ju}=100.0 (\text{kN/m})$ 、 $133.0 (\text{kN/m})$ 、レベル 2 地震時では、せん断剛性 $G_j=1,200,000(\text{kN/m}^2)$ 、せん断耐力 $q_{ju}=200.0 (\text{kN/m})$ となっています。

このせん断特性は建設省土木研究所で、「継手の押し抜き試験」(土木研究所資料 矢板式基礎の設計法 (昭和 52 年 2 月)) で、確かめられています。図 1.3 に試験体のイメージ、図 1.4 に荷重ずれ関係を紹介します。

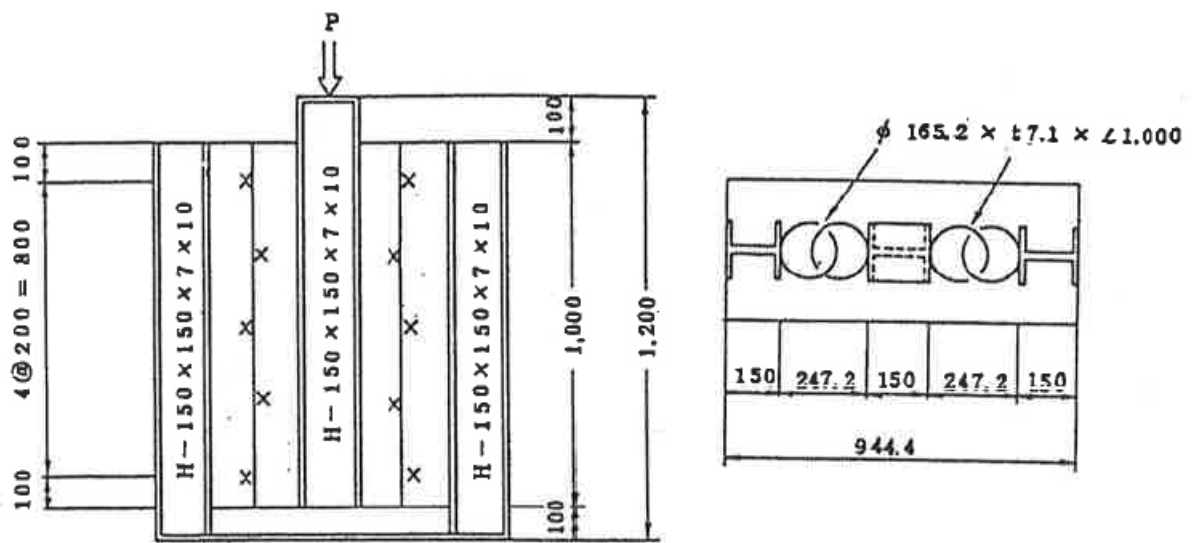


図 1.3 試験体のイメージ

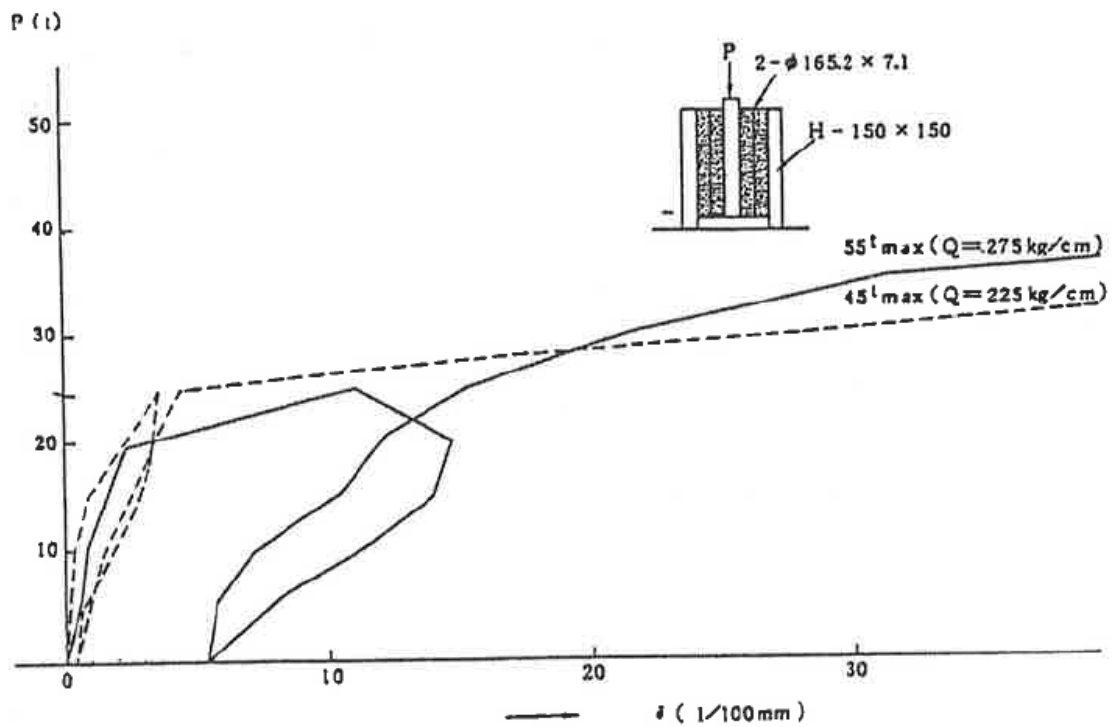


図 1.4 荷重ずれ関係

「継手の押し抜き試験」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。

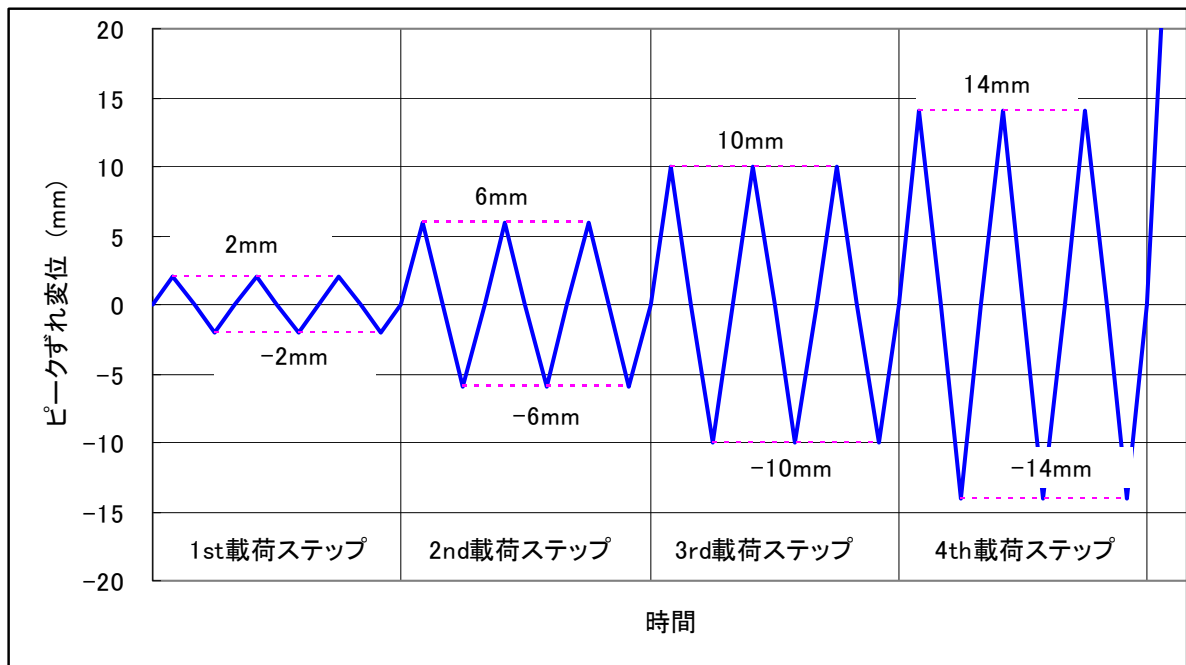
2. 正負交番繰返しせん断試験

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。しかしながら、鋼管矢板基礎継手の降伏ずれ変位を実験的に定めることは難しく、また設計上の降伏ずれ変位もレベル2地震時で0.167mm (=200kN/m/1200000kN/m)と非常に小さく制御不能なことから、ここでは降伏ずれ変位に変わる規準ずれ変位を決め、ピーク荷重ずれ変位を規準ずれ変位の1倍、3倍、5倍、7倍としました。規準ずれ変位は、抵抗モードが付着から摩擦へ移行したと考えられるずれ変位量として2mmを採用しました。なお継手のせん断ずれを考慮した仮想井筒はりによる地震時保有水平耐力法による過去の設計例の調査より、最大ずれ変位の最大値が10mm以内であることから、ピーク荷重ずれ変位の最大値を14mmとしました。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。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 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	2mm	6mm	10mm	14mm	31mm
負方向のピーク荷重ずれ変位	-2mm	-6mm	-10mm	-14mm	



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）に固定された継手管と中央部の 300H 鋼の支柱（載荷柱）に固定され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取り，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 23.4MPa でした。

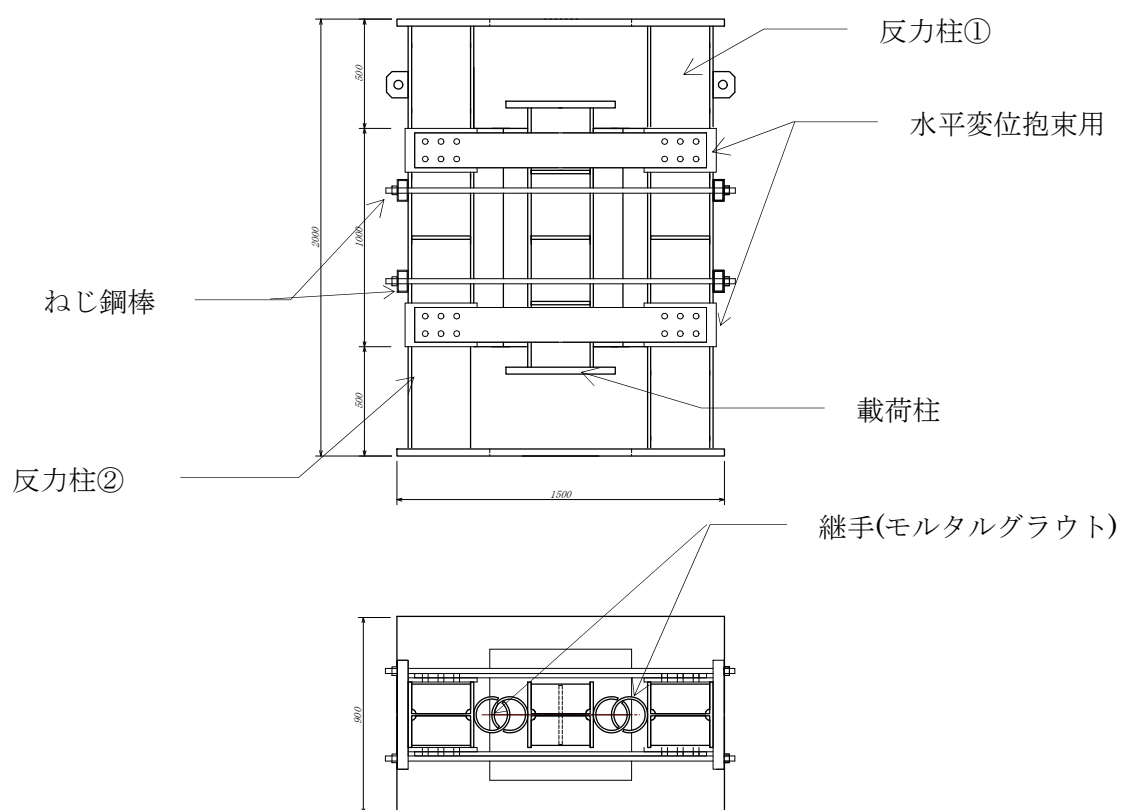


図 21 試験体の概要

2.3 試験方法

図 2.2(1)に示すように正方向の荷重は、荷重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荷重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荷重端盤に当てた状態で構造物試験機で荷重しました。図 2.2(2)に示すように負方向の荷重は、荷重柱上に設置した油圧ジャッキと構造物試験機荷重端盤の間に空間を確保した状態で荷重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荷重端盤に当てた状態で構造物試験機で荷重しました。写真 2.1 に試験体のセットアップの状況を示します。

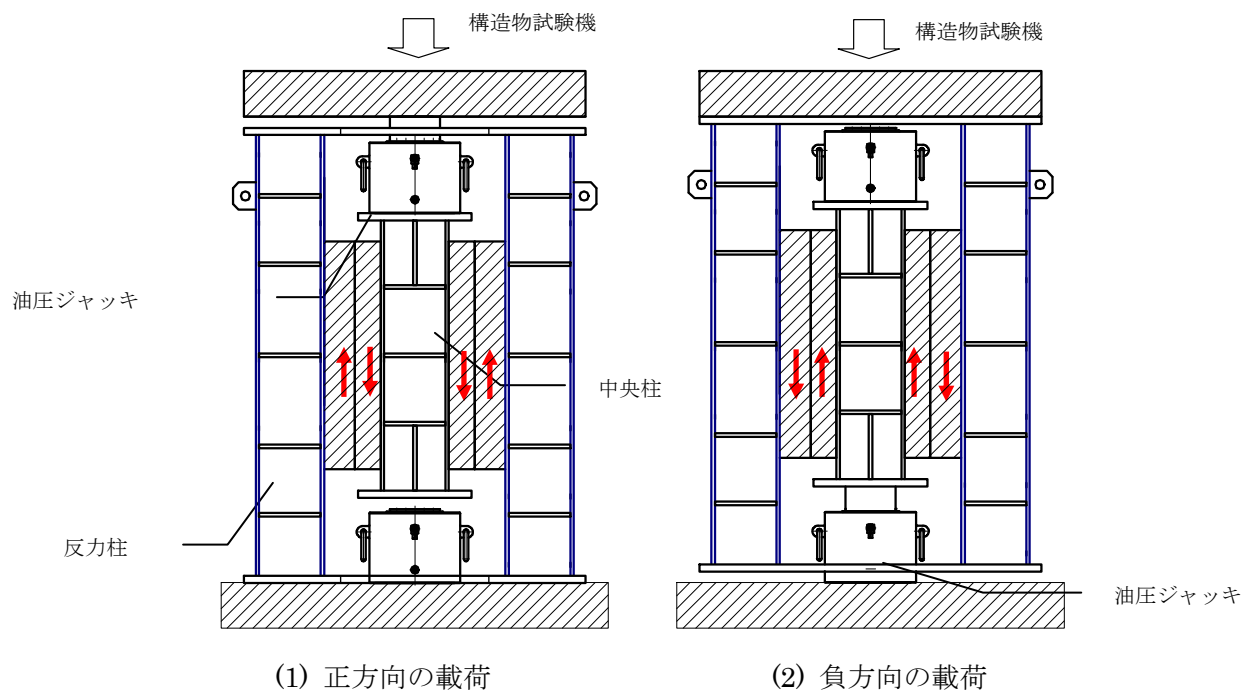


図 2.2 正負交番繰返し試験の方法



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、荷重ステップ各グループ内での最大荷重を表 2.2 に、前グ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 ステップの 1 回目ループの正側載荷ずれ変位 1.42mm 時で 1234.6kN でした。以降の荷重とずれ変位の履歴曲線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形状を示しました。各載荷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、平均の低下率で 79%→89%→94%と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、前載荷ステップ 3 ループ目の最大荷重に比べ、次載荷ステップの 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載荷にともない損傷し、写真 2.2 に示すように 1st 載荷ステップの 2 回目の負側の載荷後、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。その後も載荷が進むにしたがってモルタルグラウトの塊が落下し、継手の下部にはモルタルグラウトが詰まっていない状態となっていました。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。

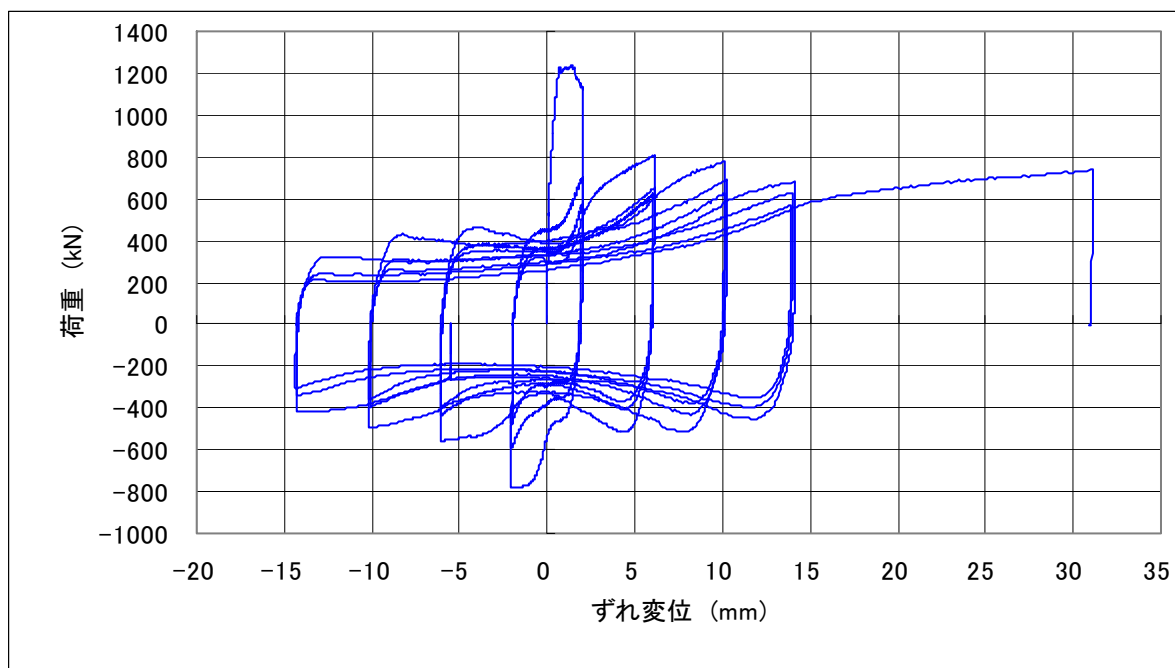


図 2.3 荷重とずれ変位の履歴曲線

表 2.2 荷重ステップ各グ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	正
ヒークずれ変位 (mm)	2	-2	6	-6	10	-10	14	-14	31
1 ループ	1234.6	-784.4	806.0	-558.6	780.0	-494.1	681.5	-417.3	736.2
2 ループ	702.4	-586.4	653.0	-434.2	689.3	-393.6	628.4	-342.6	
3 ループ	581.0	-475.9	622.4	-401.5	629.5	-357.4	567.3	-303.8	
次荷重ステップの 当該ずれ変位時	517.2	—	595.0	—	575.4	—	556.1	—	

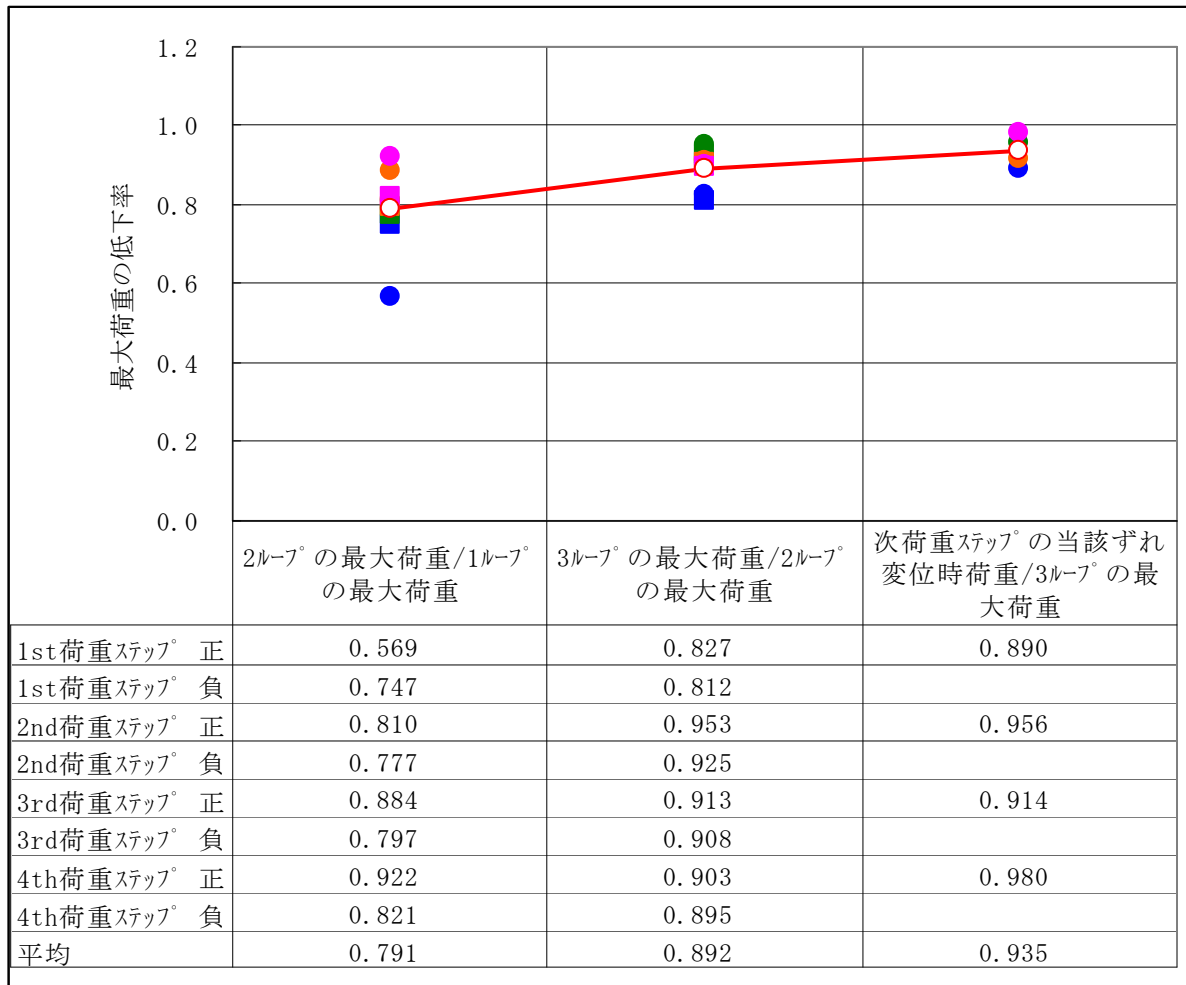


図 2.4 前ループ時からの最大荷重の低下率



写真 2.2 1stSTEP 2 回目負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解体してモルタルグラウトの状況を確認しました。写真 2.4 に A 室の外側鋼管を取り外した状況を示します。この写真からわかるように A 室、C 室のモルタルは、上下の両端部 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、ブレーカーでも簡単には破壊できないほど強固でした。

B 室のモルタルグラウトの状況を写真 2.4 に示します。B 室のモルタルグラウトは、水平方向にいくつかの塊に分解されていますが、それぞれの塊は強固でその表面は滑面となっており、鋼管とモルタルグラウトの界面ですべてていることがわかりました。



写真 2.4 A 室のモルタルグラウトの状況



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

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、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。その結果次のことが分かりました。

①最大せん断耐力は $Q=1234.6\text{kN}/2.0\text{m}=600\text{kN/m}$ を示し、現行の設計値 $Q=200\text{kN/m}$ を上回りました。

②各載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79%→89%→94%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きますが、前載荷ステップ3ループ目の耐力に比べ、次載荷ステップの1ループ目の耐力は大きな値を示しました。

④1st 載荷ステップの2回目の負側の載荷後から、継手管下部よりモルタルグラウト塊の落下がはじまり、継手管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載荷と負載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、ブレーカーを使用して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の有効長さは、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、すれ変位との関係を求めました。図 3.1 に示します。

現行の設計に用いる継手せん断特性を図 3.1 に合わせ示します。継手せん断耐力の上限値は図 3.1 よりわかるようにすれ変位の大きい範囲まで現行設計値の 200kN/m は十分確保できます。このことより 現行設計の継手のせん断特性は、正負の繰返しせん断力が作用した場合においても、安全な評価であることが分かります。

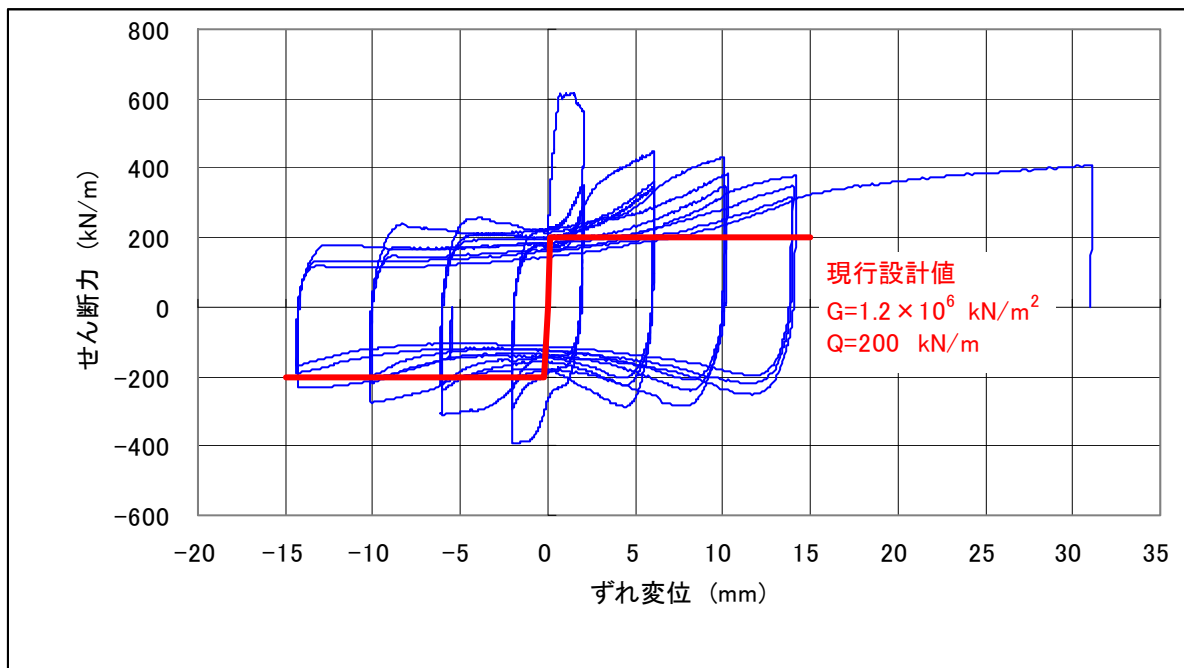


図 3.1 せん断力とすれ変位