

縞鋼管高耐力継手の水平せん断及び圧縮・引張試験と 鋼管矢板基礎設計への適用

服部 匡洋¹・西原 知彦²・小坂 崇²・宮崎 祐輔³・澤村 康生⁴・木村 亮⁵

¹正会員 博士(工学) 阪神高速先進技術研究所 調査研究部 (〒541-0054 大阪市中央区南本町4-5-7)

²正会員 修士 阪神高速道路 神戸建設部 (〒650-0041 兵庫県神戸市中央区新港町16-1)

³正会員 博士(工学) 京都大学大学院助教 工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

⁴正会員 博士(工学) 京都大学大学院准教授 工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

⁵正会員 博士(工学) 京都大学大学院教授 工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

1. はじめに

鋼管矢板基礎は、継手管が溶接された鋼管矢板を任意の閉鎖形状に組み合わせて設置し、継手管内にモルタルを充填し、さらにその頭部を頂版に剛結することで所定の水平抵抗、鉛直支持力が得られる基礎形式である。鋼管矢板基礎の構造上、橋脚等から伝達される水平力が作用すると、継手部の鉛直せん断方向にずれが生じるため、基礎本体の設計における構造解析ではその評価が重要となる。

道路橋における構造解析手法として、鋼管矢板基礎設計施工便覧¹⁾(以下、便覧)には、弾性床土上の有限長ばりによる解析法、継手のせん断ずれを考慮した仮想井筒ばりによる解析法、立体骨組解析の3種類の解析手法が示されている。ここで、弾性床土上の有限長ばりによる解析法、継手のせん断ずれを考慮した仮想井筒ばりによる解析法はどちらも各鋼管の挙動を重ね梁として評価する2次元解析手法であり、前者は継手の鉛直方向のせん断ずれを合成効率として便宜上鋼管の曲げ剛性を低下させることにより評価するのに対し、後者は継手における鉛直方向のせん断ずれの非線形性を直接的に評価するものである。一方、立体骨組解析は、鋼管や継手を個々にモデル化するため、井筒断面形状の変化を表現できる3次元解析手法であり、任意の基礎形状及び継手配置に対する構造解析が可能であることが特徴である。しかし、これまで実務設計においては、解析方法が簡便であり計算コストが掛からないこと、基礎の降伏の目安程度までであれば継手のせん断ずれを考慮した仮想井筒ばりによる解析法と立体骨組解析が同程度の精度を有することから、特殊な基礎形状を有する場合を除き継手のせん断ずれを考慮

した仮想井筒ばりによる解析が適用されてきたのが実状である。

著者らは立体骨組解析の適用による鋼管矢板基礎の設計・施工の合理化を目指し、立体骨組解析の精度検証のための実験及び再現解析を実施してきた²⁾。また、設計と現実の施工の整合性の観点から、モルタル充填が困難な深部の継手をあらかじめ省略した基礎構造を提案し、縮小模型に対する遠心載荷試験を行うことで、その構造の実現性について検討を行ってきた³⁾。

他方では、工費削減を目的とし、従来の継手に比べ高剛性・高耐力を有する継手(以下、高耐力継手)の開発が進んでいる⁴⁾⁵⁾。これらの継手を適用することにより基礎全体の剛性が高まり、変形が抑制されるため、基礎の構造寸法を小さくできるのが特徴である。前述の深部の継手を省略した基礎構造の場合、深部の継手を省略することにより基礎全体としての剛性が低下することが予想され、変形を抑制させるためにも高耐力継手の採用は有用であると考えられるが、立体骨組解析には従来から考慮されている継手部の鉛直せん断方向のばね定数に加え、水平せん断方向や圧縮及び引張方向のばね定数を入力する必要があり、継手種類によってはその抵抗特性が十分に明らかとされていない。

そこで、本検討では高耐力継手の一種であり、内面に突起を有する縞鋼管を用いて従来型P-P継手に比べ付着強度を高めた縞鋼管高耐力継手を対象に、継手の実物大試験体の静的載荷試験を実施し、立体骨組解析に必要なばね定数の算出を行った。また、得られたばね定数を適用した鋼管矢板基礎設計の試算を行い、深部の継手を部分的に省略した基礎構造の実現性について解析的に検討した。

2. 縞鋼管継手を対象とした載荷実験

(1) 鋼管矢板基礎の継手に関する既往研究

縞鋼管高耐力継手を対象とした試験ケースを検討するにあたり、過去に実施された鋼管矢板基礎の継手部を対象とした載荷試験について調査を行った。表-1に従来型P-P継手と縞鋼管高耐力継手を対象とした載荷実験の実施状況を示す。ここで、便覧に示されているP-P型継手を従来型P-P継手と呼ぶ。

a) 従来型P-P継手

従来型P-P継手の抵抗特性の把握を目的とした単調載荷実験はこれまで数多く実施されている。例えば、矢作ら⁷⁾は、鋼管を模した3本のH鋼を2組の従来型P-P継手により組み合わせ、その中央のH鋼を押し抜くことにより、継手部の鉛直方向のずれに対するせん断剛性及びせん断耐力を明らかにした。また、地震時に橋脚等から伝達される繰返し荷重を想定した正負交番載荷試験が実施され、繰返し荷重下においても矢作らの試験に基づき設定されたせん断剛性及びせん断耐力により安全側に評価できることが確認された⁸⁾。

また、嶋ら⁹⁾は従来型P-P継手の水平せん断方向及び圧縮方向を、稲積ら¹⁰⁾は引張方向を対象とした載荷試験を行い、鉛直せん断以外の方向の剛性及び耐力を明らかにした。一方で、水平せん断方向、圧縮・引張方向に対する正負交番載荷試験については著者が知る限り公開されていない。

b) 縞鋼管高耐力継手

西海ら¹¹⁾は縞鋼管高耐力継手の鉛直せん断方向の抵抗特性に着目し、従来型P-P継手と同様の試験方法により単調載荷試験を実施した。また、下司らは片振り繰返し載荷試験を、鋼管杭協会では正負交番繰返し載荷試験を実施し、縞鋼管高耐力継手の鉛直せん断方向の剛性及び耐力を明らかにした^{4),12)}。しかし、縞鋼管高耐力継手については鉛直せん断以外の方向に着目した試験が実施されておらず、水平せん断方向や圧縮方向、引張方向の剛性及び耐力は明らかにされていない。

(2) 試験ケース

既往研究における継手試験の実施状況を踏まえ、縞鋼管高耐力継手を対象とした試験ケースを表-2のとおり定めた。本検討では、縞鋼管高耐力継手においてこれまで試験が実施されていない圧縮方向、引張方向、水平せん断方向に対してそれぞれ3体の単調載荷試験を行った。また、地震時の繰返し荷重の影響を把握することを目的に、圧縮・引張方向について1体、水平せん断方向について1体の正負交番載荷試験を行った。

(3) 試験体概要及び試験方法

a) 圧縮試験・引張試験

図-1に圧縮試験及び引張試験用の縞鋼管高耐力継手の試験体を示す。本実験では標準的な縞鋼管高耐力継手を想定し、構造寸法、使用材料等は文献¹²⁾を参考に実物大の試験体を製作した。試験体の有効長は247.8mm、奥行き方向の長さは400mmとした。ここで、奥行き方向の長さは、試験体端部の影響が小さくなるよう載荷装置の載荷限界も鑑み可能な範囲で長く設定した。圧縮試験及び引張試験は、図-1に示すように継手部の両端にベース

表-1 継手試験実施状況

載荷方法	試験	従来型P-P継手	縞鋼管高耐力継手
単調	鉛直せん断試験	○	○
	圧縮試験	○	×
	引張試験	○	×
	水平せん断試験	○	×
正負交番	鉛直せん断試験	○	○
	圧縮引張試験	×	×
	水平せん断試験	×	×

表-2 実験ケース

載荷方法	試験	試験体数	呼称
単調	圧縮試験	3	C-1, C-2, C-3
	引張試験	3	T-1, T-2, T-3
	水平せん断試験	3	S-1, S-2, S-3
正負交番	圧縮引張試験	1	CT-1
	水平せん断試験	1	SS-1

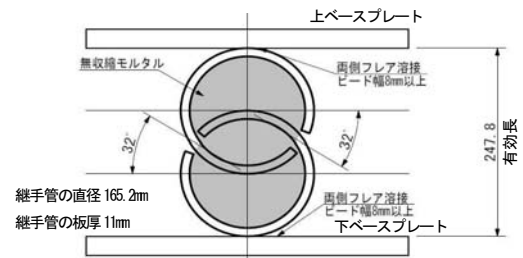


図-1 試験体概要 (圧縮・引張試験用)

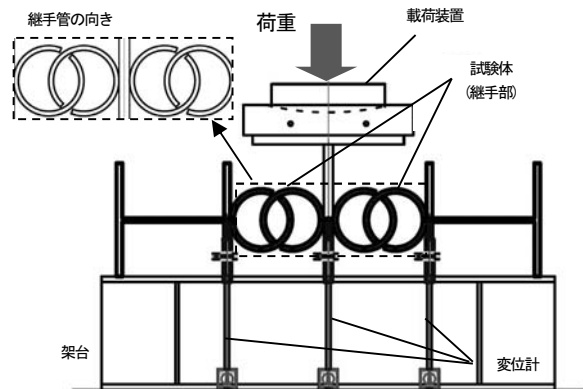


図-2 試験体概要 (水平せん断試験用)

プレートを溶接し、このベースプレートと載荷装置を固定した上で、載荷装置を上下に変位させることで試験体に圧縮荷重及び引張荷重を作用させた。

また、正負交番載荷試験では、単調圧縮試験と単調引張試験のうち、降伏変位の小さかった単調圧縮試験の降伏変位1mmを基準変位として設定し、繰返し載荷ではその基準変位の整数倍の変位を順次作用させた。なお、繰返し回数は各サイクルに対して1回とした。

b) 水平せん断試験

図-2に水平せん断試験用の試験体を示す。水平せん断試験用の試験体も圧縮試験や引張試験と同様に実物大の試験体とし、試験体の有効長は247.8mm、奥行き方向の長さは400mmとした。ここで、水平せん断試験では過去に従来型P-P継手を対象に実施された水平せん断試験を参考に1つの試験体に対して2組の継手を準備した。このとき、継手を左右対称として設置するケース、左右の継手部をどちらも同じ方向にして設置するケースが考えられたが、実構造においては後者の並べ方が標準的であることから、実構造に近い剛性及び耐力を得ることを目的に後者を採用することとした。水平せん断試験では、図-2に示すように2組の継手に溶接された中央のT型鋼を鉛直下方に押し抜くことで、継手部に水平せん断方向の荷重を作用させた。

また、正負交番載荷試験では、単調載荷試験の降伏変

位4mmを基準変位として設定した。各サイクルに対する繰返し回数は1回とした。

c) 材料試験 (モルタル強度試験)

各試験体の継手管内に充填するモルタルについては、それぞれの試験日にモルタル強度試験を実施した。材料試験の結果、モルタルの圧縮強度の平均値は44.3N/mm²であった。

(4) 単調載荷試験結果

a) 圧縮試験

図-3にC-1試験体の破壊性状及び荷重-変位関係を示す。ここで、荷重-変位関係において試験機に取り付けたロードセルにより計測された値を荷重として使用した。また、上下のベースプレート間の変位を隅角の4箇所を計測していたため、これらの平均値を変位として用いた。

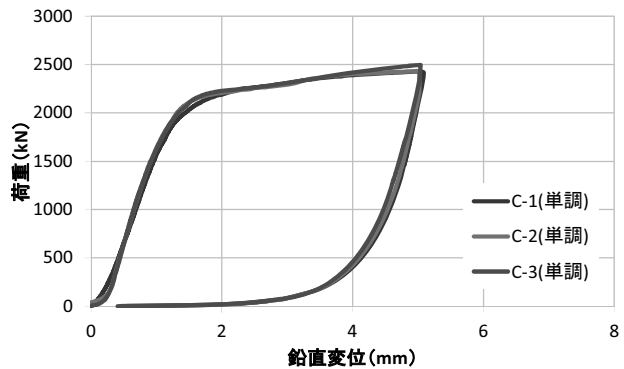
図-3(a)より、C-1試験体では継手開口部からやや内側を始点として縦方向のひび割れが発生した。このとき荷重は2000kN程度であり、それ以降荷重増加が緩やかになり鉛直変位のみが増加する挙動を示した。この挙動は他の2体の圧縮試験体でも同様であり、荷重-変位関係についてもC1~C3試験体でほとんど差異は生じなかった。

b) 引張試験

図-4にT-1試験体の破壊性状及び荷重-変位関係を示す。ここで、引張試験における荷重及び変位は試験機により

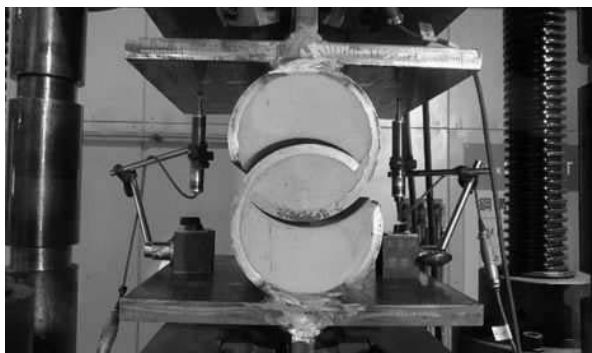


(a) 破壊性状 (C-1 試験体 : 最大変位時)

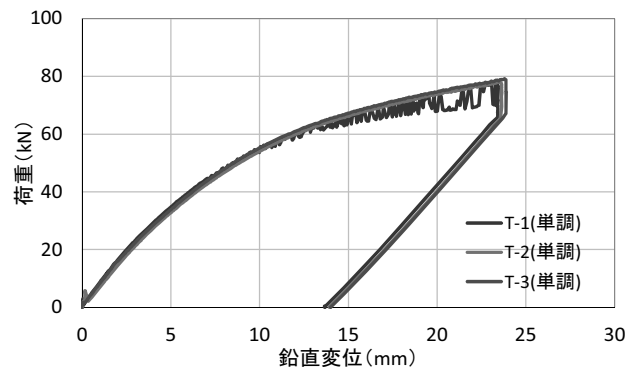


(b) 荷重-変位関係

図-3 単調載荷試験結果 (圧縮試験)



(a) 破壊性状 (T-1 試験体 : 最大変位時)



(b) 荷重-変位関係

図-4 単調載荷試験結果 (引張試験)

計測された値を使用した。

図-4(a)より、T-1試験体では、継手開口部の鋼管とモルタルの付着部分に離隔が生じたのち、継手管先端から継手管内に沿ってひび割れが発生した。それ以降は継手管とモルタルの離隔部の開口、継手管に沿ったひび割れが進展するとともに、継手管の局所的な変形が増大した。また、荷重-変位関係については、全てのケースにおいて変位が微小な段階から緩やかに剛性が低下していく傾向を示した。なお、T-1試験体では載荷装置の不具合により荷重-変位関係が鉛直変位10mm以降上下する挙動を示したが、その包絡線はT-2試験体、T-3試験体と同様であり、3体の荷重-変位関係に差異は生じなかったといえる。

c) 水平せん断試験

図-5にS-1試験体の破壊性状及び荷重-変位関係を示す。ここで、水平せん断試験体では継手を2組使用しているため、試験機に取り付けたロードセルより計測された値の1/2を荷重として使用した。また、試験体中央2箇所を鉛直変位を計測しており、このの平均値を変位として使用した。

S-1試験体では、まず図-5(a)右側の継手で下向きの継手管が開口をはじめ、荷重作用方向と直交する水平方向のひび割れが発生した。その後、荷重増加に伴い鉛直変

位が増大し、この継手管の開口や水平方向のひび割れが進展したのち、左側の継手でも同様のひび割れが発生した。また、図-5(b)より荷重-変位関係では500kN程度から剛性が低下し始め、700kNで荷重が頭打ちになった。なお、水平せん断試験においても、S-1～S-3試験体の3体で破壊性状及び荷重-変位関係にほとんど差異は生じなかった。

(5) 正負交番載荷試験結果

a) 圧縮・引張試験結果

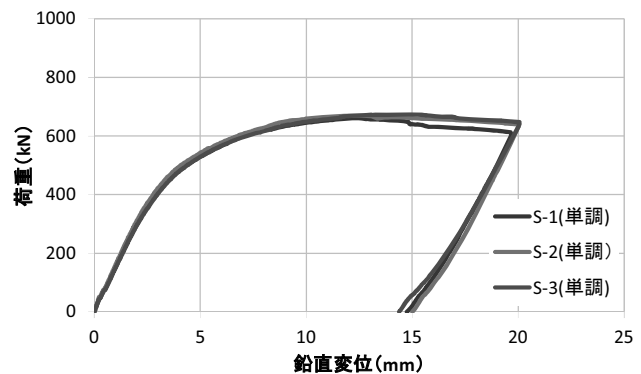
図-6に圧縮・引張方向に対する単調載荷試験及び正負交番載荷試験の荷重-変位関係の比較を示す。図-6(a)に示す圧縮側では、正負交番載荷試験より得られた荷重-変位関係と3体の単調載荷試験の荷重-変位関係はほぼ一致した。また、図-6(b)に示す引張側についても、正負交番載荷試験と3体の単調載荷試験により得られた荷重-変位関係は概ね一致した。以上より、圧縮方向及び引張方向については繰返し荷重の影響はないと考えられる。

b) 水平せん断試験結果

図-7に水平せん断方向に対する単調載荷試験及び正負交番載荷試験の荷重-変位関係の比較を示す。ここでは、鉛直下向きを正側、鉛直上向きを負側と呼び、正負交番載荷では正側、負側の順に載荷を実施した。

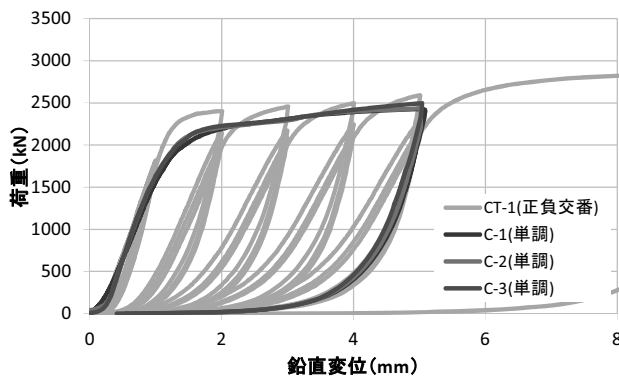


(a) 破壊性状 (S-1 試験体：最大変位時)

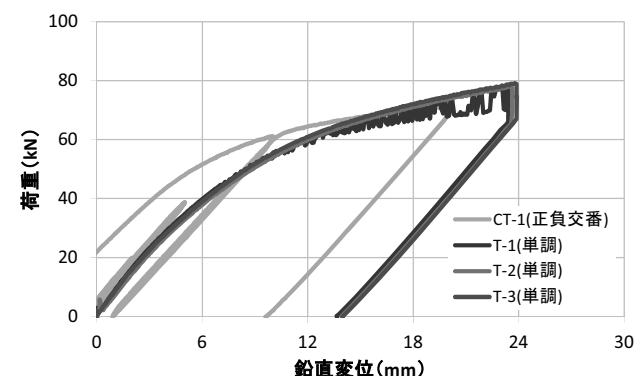


(b) 荷重-変位関係

図-5 単調載荷試験結果 (水平せん断試験)



(a) 圧縮側



(b) 引張側

図-6 単調載荷試験と正負交番載荷試験の比較 (圧縮・引張試験)

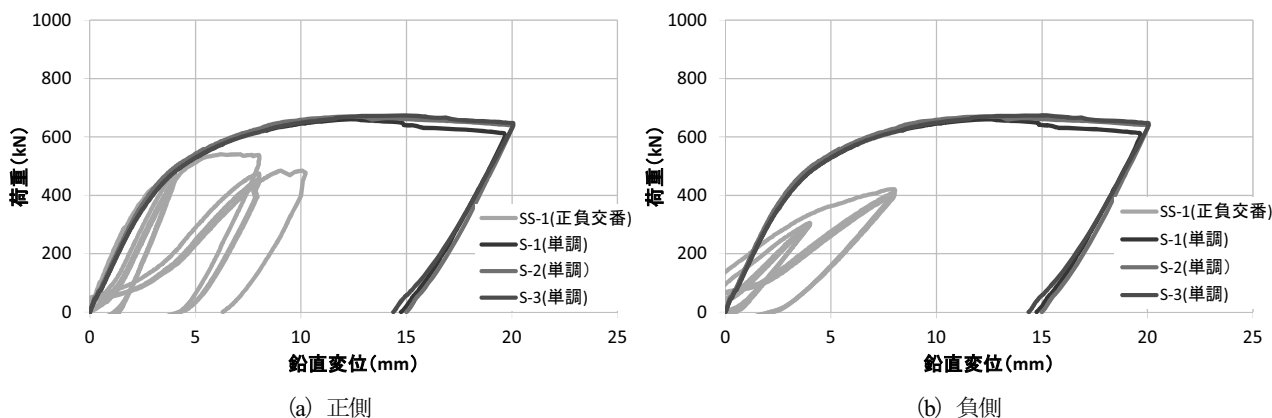


図-7 単調載荷試験と正負交番載荷試験の比較（水平せん断試験）

図-7(a)より正負交番載荷における正側の荷重-変位関係と単調載荷試験3体の荷重-変位関係を比較すると、正負交番載荷試験における正側の荷重-変位関係は単調載荷試験の荷重-変位関係を大きく下回っており、S-1試験体の最大荷重が836.9kN/mであるのに対し、正側の最大荷重は676.2kN/mであり、繰返し荷重の影響により最大荷重が約18%低下した。また、図-7(b)より正負交番載荷における負側の荷重-変位関係と単調載荷試験3体の荷重-変位関係を比較すると、正側と同様に単調載荷の荷重-変位関係に比べ大きく下回り、負側の最大荷重が525.4kN/mであることから、繰返し荷重の影響により最大荷重が約36%低下した。

以上より、水平せん断方向については繰返し荷重の影響を評価する必要があるといえる。このように圧縮・引張方向と水平せん断方向で繰返し荷重による影響に違いが現れたのは、圧縮・引張試験の圧縮方向では主に充填モルタルの割裂ひび割れが、引張方向では継手管の降伏が最大荷重に寄与すると推察され、正負交番載荷の正側と負側で抵抗メカニズムが異なるのに対し、水平せん断試験体は正側と負側で抵抗メカニズムが同様であり、先行して載荷する正側での損傷の影響が負側の載荷時に現れていると考えられる。これは、正側の最大荷重に比べて負側の最大荷重が小さいことから推察される。

3. 継手ばね定数の設定

(1) 設定方針及び設定方法

立体骨組解析には鉛直せん断方向、水平せん断方向、圧縮・引張方向の4方向の継手ばね定数の入力が必要であり、本検討では前述の実験結果に基づき縞鋼管高耐力継手の鉛直せん断以外の方向のばね定数を設定する。

各方向の非線形特性は、従来型P-P継手と同様に完全弾塑性型のバイリニアとしてモデル化することとした。また、その降伏荷重はlogP-logS法により算出した各ケー

スの降伏荷重を方向毎に平均し、この平均値に部材強度のばらつき等を踏まえた係数、繰返し荷重の影響を考慮する係数を乗じることによりばね定数を設定することとした。ここで、logP-logS法は、荷重Pとその荷重段階での水平変位Sを両対数グラフ上にプロットし、これらの試験値を結ぶ直線が急折する点を見出し、その点を弾性限界点とする方法であり、縞鋼管高耐力継手の鉛直せん断方向についても同様の手法によりばね定数が算出されている¹²⁾。図-8には本検討においてlogP-logS法を適用して降伏変位及び降伏荷重を算出した一例を示す。

部材強度のばらつきの考慮にあたっては、降伏荷重の分布が正規分布になると仮定し、試験値の5%フラクティル値が安全側に評価されるばね定数となるように係数を設定した。また、繰返し荷重の影響を考慮する係数は、実験により繰返し荷重の影響が確認された水平せん断方向にのみ考慮するものとし単調載荷試験と正負交番載荷試験から得られた降伏荷重の比率を係数として設定した。

(2) 設計に用いる継手ばね定数の設定

表-3に算出した単調載荷試験の降伏変位及び降伏荷重、各方向の平均値、変動係数を示す。また、表-4には各方向の試験結果の耐力に乘じる低減係数を示す。ここで、降伏荷重は試験で計測した荷重値を奥行き方向長さ400mmで除し正規化を行った。圧縮方向、引張方向については降伏荷重に対する変動係数がどちらも約4%であるため、文献13)の変動係数に対する抵抗係数 Φ_R の算出を参考に部材強度のばらつきを考慮する係数を0.90とした。また、水平せん断方向の降伏荷重の変動係数は約1%と、圧縮方向・引張方向と比べても非常に小さいことから、試験結果のばらつきを考慮する係数を0.95とした。さらに、水平せん断方向の降伏荷重は、単調載荷試験の平均値が734kN/mであるのに対し、正負交番載荷試験では587kN/mであり、繰返し荷重の影響により20%程度の降伏荷重が低下することを確認した。このため、繰返し荷重の影響を考慮する係数を0.80と定めた。

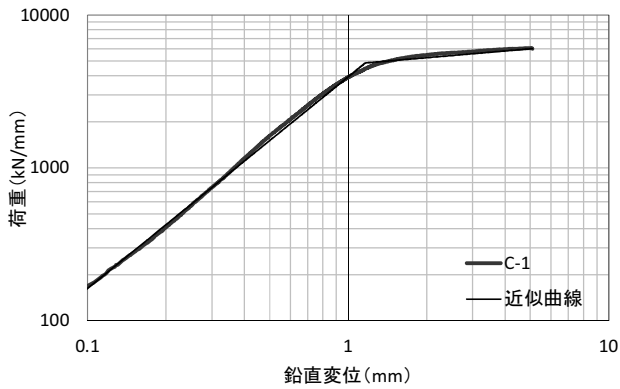


図-8 logP-logS法による降伏点算出の一例

表-4 試験結果の耐力に乘じる低減係数

	部材強度のばらつきを考慮する係数	繰返し荷重の影響を考慮する係数
圧縮	0.90	1.00
引張	0.90	1.00
水平せん断	0.95	0.80

表-5 従来型P-P継手と縞鋼管高耐力継手のばね定数の比較

荷重方向	従来型P-P継手 (設計用)		従来型P-P継手 (稲積らの実験 ¹⁰⁾)		縞鋼管高耐力継手 (本実験)		縞鋼管高耐力継手 (設計用)	
	剛性 MN/m ²	耐力 kN/m	剛性 MN/m ²	耐力 kN/m	剛性 MN/m ²	耐力 kN/m	剛性 MN/m ²	耐力 kN/m
鉛直せん断	600	200	480	81	-	-	630	1,150
圧縮	5,000	5,000	860	1,230	4,500	4,680	4,500	4,200
引張	5,000	5,000	12	144	14	150	14	130
水平せん断	50	200	-	-	150	740	150	550

表-5に従来型P-P継手と縞鋼管高耐力継手のばね定数の比較を示す。ここで、設計用ばね定数とは、試験により得られた耐力に対し、表-4に示した安全係数を乗じた値である。また、今回荷重試験を実施しなかった鉛直せん断方向のばね定数は文献¹²⁾の値を採用した。今回算出した縞鋼管高耐力継手の圧縮方向の剛性及び耐力は、従来型P-P継手の設計用ばね定数に比べわずかに小さいが、従来型P-P継手を対象とした稲積らの実験¹⁰⁾と比較すると、縞鋼管高耐力継手の剛性が5倍程度、耐力は4倍程度大きくなった。これは、充填モルタル強度の違い、縞鋼板による付着強度の違い等に起因すると考えられる。また、引張方向の剛性及び耐力については稲積らの実験¹⁰⁾と比べわずかに縞鋼管高耐力継手の方が大きくなった。さらに、水平せん断方向では、従来型P-P継手の設計用のばね定数と比べ、縞鋼管高耐力継手の方が剛性、耐力が3倍程度大きくなる結果となった。

4. 立体骨組解析による合理化構造の検討

3.での検討により縞鋼管高耐力継手の各方向のばね定数を算出したことから、縞鋼管高耐力継手を適用した鋼管矢板基礎に対する立体骨組解析を実施することで基礎

表-3 単調荷重試験における降伏変位及び降伏荷重

荷重方向	ケース	降伏変位	降伏荷重
		mm	kN/m
圧縮	C-1	1.16	4858
	C-2	1.05	4747
	C-3	0.93	4427
	平均	1.05	4677
	変動係数		0.039
引張	T-1	11.54	158
	T-2	10.14	145
	T-3	11.61	159
	平均	11.09	154
	変動係数		0.041
水平せん断	S-1	5.08	743
	S-2	4.68	734
	S-3	4.86	724
	平均	4.87	734
	変動係数		0.010

構造の合理化検討が可能となった。そこで、本章では鋼管矢板基礎設計の試算を行い、深部の継手を部分的に省略した基礎構造の実現性について検討した。

(1) 解析対象基礎

図-9に解析対象基礎の側面図を、図-10に断面図を示す。対象基礎の構造寸法は33.0m×55.7mとし、杭長は52.0mとした。また、基礎構造には直径1.5mの鋼管杭を使用し、井筒部に98本、隔壁部に62本、中間杭24本の計184本の鋼管を配置する井筒構造とした。また、縞鋼管高耐力継手を使用した。

(2) 地盤条件

表-6に地盤条件を示す。基礎構造を支持する地盤は、表層から砂質土と粘性土が交互に現れている地層を想定した。Dsc2層を支持層とし、根入れ長は5.4m(3.6D)として検討した。

(3) 解析モデル及び解析条件

図-11に解析モデルを示す。本検討における解析では、3次元鋼管矢板基礎の設計計算¹⁴⁾及びEngineer's Studio¹⁵⁾を使用した。3次元鋼管矢板基礎の設計計算の仕様は文献1)に準拠しており、個々の鋼管矢板とそれを連結する継

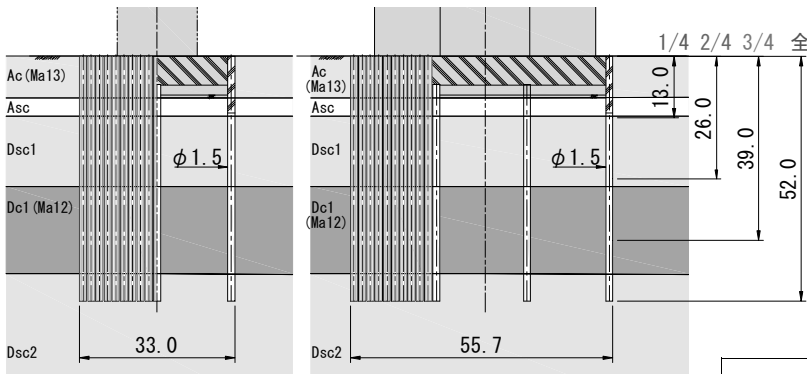


図-9 対象基礎の側面図及び地盤条件

表-6 地盤条件

地層	N値(回)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	粘着力 c (kN/m ²)	せん断抵抗角 ϕ (度)	変形係数(kN/m ²)	
Ac	粘性土	0	14	9	2600	
				16	6800	
				22	10600	
Asc	砂質土	20	19	-	31	9200
Dsc1	粘性土	15	19	245	-	41200
	砂質土	31	17	-	32	39800
	粘性土	15	19	245	-	41200
	砂質土	31	17	-	32	39800
Dc1	砂質土	9	16	195	-	141600
Dsc2	粘性土	24	18	144	-	67200
	粘性土	16	18	230	-	122000
	砂質土	48	19	-	30	134400
	粘性土	16	18	230	-	122000
	砂質土	48	18	-	34	134400

手、支持する地盤をそれぞれモデル化する立体骨組解析を適用し、鋼管は材料非線形性を考慮できるファイバー要素とした。また、継手はばね要素とし、表-5に示した縞鋼管高耐力継手のばね定数を適用した。地盤は基礎前面水平方向、基礎外周面水平方向、基礎外周面及び内周面の鉛直方向、基礎底面の鉛直方向をそれぞれバイリニア型とし、基礎底面の水平方向は線形としてモデル化した。

表-7に作用荷重を示す。本検討ではレベル2地震動に相当する作用荷重を荷重倍率1.0と位置付け、最終的にはレベル2地震動の2倍(荷重倍率2.0)に相当する荷重を作用させた。荷重は頂版下面中心に水平力、鉛直力、モーメントを作用させた。

(4) 解析ケース

鋼管矢板基礎が所定の水平抵抗特性を発揮するには、継手管内への確実なモルタル充填が重要であるが、基礎長が長くなると打設精度を確保するのが困難になり、特に深部では継手が噛み合わず十分にモルタルが充填されない可能性がある。また、継手を全範囲設置した標準的なケースにおける継手部のばね要素の降伏状況を確認したところ、基礎前面側の隔壁及び側壁近傍では水平せん

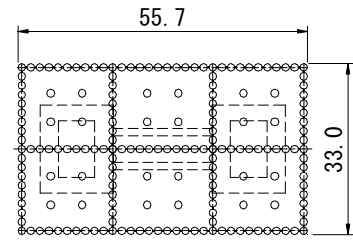


図-10 対象基礎断面図

表-7 作用荷重

	橋軸方向	橋軸直角方向
鉛直力(kN)	389,000	387,000
水平力(kN)	203,000	255,000
モーメント(kN・m)	5,680,000	2,660,000

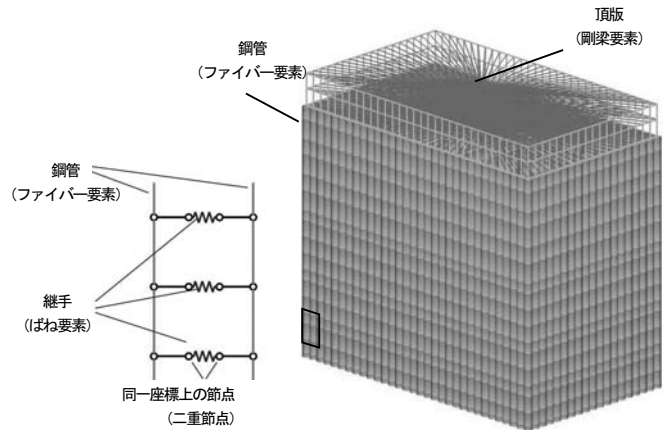


図-11 解析モデル

断方向の降伏が、側面側では鉛直せん断方向の降伏が見られたが、これらの降伏は主に地表面から約25m範囲の浅部で確認された。そこで、本検討では、図-9に示すとおり基礎長52mに対して、継手設置範囲を基礎長の1/4~3/4まで変化させ、そのときの荷重倍率-水平変位関係を比較することとした。なお、継手の省略は対象範囲の継手を表すばね要素を削除することによりモデル化した。

(5) 部分的に継手を省略した基礎構造の検討

図-12に荷重倍率-水平変位関係の比較を示す。図-12(a)に示す橋軸方向に着目すると、継手設置範囲が短くなるのに伴い、荷重倍率-水平変位関係が小さくなる、すなわち基礎全体としての剛性が小さくなる傾向が見られた。しかし、継手設置範囲を3/4、2/4(基礎長の半分)としたケースでは全範囲設置ケースに比べても剛性の低下程度は小さく、一方継手設置範囲を1/4としたケースではその他のケースに比べ剛性がかなり低下することがわかる。図-12(b)より、橋軸直角方向についても同様の傾向が確認された。

以上の結果を踏まえ、本条件においては、基礎長の1/2程度までは継手を省略したとしても所定の水平抵抗特性を確保できると考えられる。

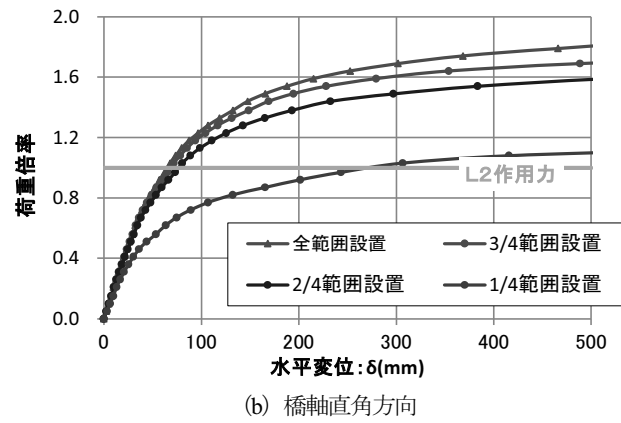
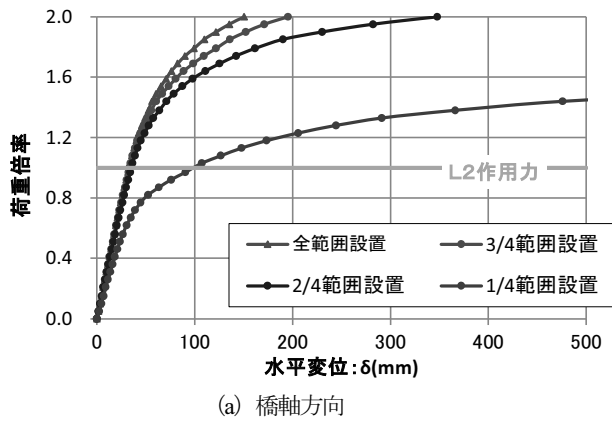


図-12 荷重倍率-水平変位関係

5. まとめ

本検討では縞鋼管高耐力継手を対象に、これまで実施されていない圧縮方向，引張方向，水平せん断方向の実物大載荷試験を実施し，立体骨組解析に必要なばね定数の算出を行った。また，得られたばね定数を適用し深部の継手を部分的に省略した基礎構造の実現性について解析的に検討した。これらの検討により得られた知見を以下に示す。

- ・単調載荷試験と正負交番載荷試験を比較した結果，圧縮方向，引張方向では耐力低下が見られず繰返し荷重の影響が小さいのに対し，水平せん断方向ではその影響により約20%耐力が低下した。
- ・logP-logS法を適用して算出した縞鋼管高耐力継手のばね定数は，既往実験で得られた従来型P-P継手と比べて，圧縮方向の剛性が5倍程度，耐力は4倍程度大きくなった。また，引張方向の剛性及び耐力は縞鋼管高耐力継手の剛性及び耐力が従来型P-P継手に比べわずかに大きくなった。
- ・得られたばね定数を適用した立体骨組解析により試算した結果，本条件ではレベル2地震動相当の作用力に対し深部の継手を基礎長の1/2程度までは省略できることが示唆された。

立体骨組解析では，地盤の非線形性や鋼管矢板基礎内部土の抵抗等について簡易的に評価するに留まっており，載荷試験やFEM解析に基づき立体骨組解析の精度向上に向けた検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：鋼管矢板基礎設計施工便覧，1997.12.
- 2) 服部匡洋，前川和彦，西海能史，小坂崇，草場翔馬，宮崎祐輔，澤村康生，木村亮：立体骨組解析の適用による鋼管矢板基礎の設計合理化に向けた基礎的検討，第54回地盤工学研究発表会，講演番号0578，2019.7.
- 3) 草場翔馬，宮崎祐輔，澤村康生，木村亮，西海能史，小坂崇，服部匡洋，前川和彦：継手形状を模擬した鋼管矢板基礎の継手部に対する力学試験および基礎の一要素に対する水平載荷試験，第54回地盤工学研究発表会，講演番号0585，2019.7.
- 4) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：縞鋼管高耐力継手の正負交番せん断試験，JASPP Technicak Report，2016.2.
- 5) 土木研究センター：ハイパーウェルSP，建設技術審査証明報告書，2004.4.
- 6) 土木研究センター：Super Junction，建設技術審査証明報告書，2007.3.
- 7) 建設省土木研究所：矢板式基礎の設計法（その1），土木研究所資料第1175号，1977.2.
- 8) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管矢板基礎継手の正負交番せん断試験，JASPP Technicak Report，2016.1.
- 9) 嶋文雄，行友浩，植木八寿彦，森川孝義：鋼管矢板井筒基礎の立体骨組構造としての設計法，橋梁と基礎，Vol. 27，No.2，pp.30-37，1982.2.
- 10) 稲積真哉，磯部公一，木村亮，三津田祐基：鋼管矢板基礎における継手部力学特性の解明と3次元骨組構造解析手法の提案，土木学会論文集C，Vol.65，No.2，pp.532-543. 2009.6.
- 11) 西海健二，山下久男：縞鋼管を用いた鋼管矢板基礎用継手のせん断特性，土木学会第58回年次学術講演会概要集，VI-243，2003.9.
- 12) 下司弘之，正岡孝，飯塚知浩，桑嶋健，才村幸生，山下久男，木俣陽一，糸井誠：鋼管矢板の縞鋼管継手のせん断耐力に関する実験，土木学会第59回年次学術講演会概要集，III-452，2004.9.
- 13) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説I共通編2016.11.
- 14) フォーラムエイト：3次元鋼管矢板基礎の設計計算，Ver.4ヘルプ
- 15) フォーラムエイト：Engineer's Studio，Ver.5.00.04 Help