

拡張接合法による鋼管継手部の耐力と止水性能の評価

長束 勇* 石村英明* 渡嘉敷 勝* 森 充広* 川口周作** 羽上田裕章**

* (独) 農業工学研究所, 〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6

**新日本製鐵株式会社, 〒100-8071 東京都千代田区大手町 2-6-3

要 旨

鋼管敷設の大幅な施工性の向上を目的として、鋼の延性・靱性およびゴムの弾性を活用した構造を特長とする拡張接合法を考案した。そこで、呼び径 800mm の実物大供試体を用いて、本工法による継手部の耐力と止水性能を評価するための室内試験を行った。試験に用いた供試体の拡張接合量は、FEM 解析による耐力評価シミュレーションにより 17.5mm とし、介在させる止水ゴム厚さは、平板止水性能試験の結果から 3mm とした。選定した仕様の拡張接合継手部は、曲がり角度 45° のスラスト力、レベル 1 の地震力に対抗できる耐力を有し、扁平率が 7% となる扁平力载荷、曲げ角度が 10° となる曲げ力载荷、地震時変位の 2 倍となる繰返し軸力载荷の各状態においても、1.0MPa 以上の止水性能を有するものであった。

キーワード：鋼管、拡張接合、耐力、止水性能、FEM 解析

1. はじめに

農業用パイプラインとして使用されている鋼管の接合方式は、配管全体を一体化させる溶接継手が一般的である。その継手部の耐力や止水性などの品質確保のためには、据付、溶接、非破壊検査、塗覆装といった所要の工程、工期が必要であり、さらに、溶接や非破壊検査には熟練した技能者が必要である。また、雨天や強風時には、溶接のための防護策を取らなければならない。一方、都市部での道路下埋設管の保護管として先行埋設される鞘管などでは、即日復旧を目的として、鋼管端部を重ね合わせた状態で重複部の円周を押し広げて拡張し、その機械的接触力で接合する拡張接合方式が採用されている。しかし、仮設の保護管としての機能はあるものの、止水性が確保できないという問題点がある。

そこで、服巻ら (1998) は、この鋼管の延性・靱性を活用した拡張接合方式の耐力を調べる目的で、外鋼管 (内径 116.3mm, 外径 124.5mm) と内鋼管 (内径 105.3mm, 外径 114.3mm) を同時に拡張した供試体の押し抜き試験を実施し、接合拡張量と最大耐力の関係を明らかにしている。また、止水性能を付与する目的で、外鋼管のみを拡張し、内鋼管との隙間部に膨張性モルタルを注入する工法を提案している。さらに、羽上田ら (1998) は、軸力载荷における拡張接合部の挙動を調べることを目的として、非線形性を取り入れた FEM 解析により軸耐力と軸方向変位の関係をシミュレーションしている。これらの一連の研究により、簡易な作業で現場施工能率を高めた接合構造が確立されている。しかし、この接合構造は、継手部の止水性を膨張性モルタルの膨張圧に依存しているため、膨張性モルタルの品質管理が重要となるとも

に、モルタルの強度発現に数時間を要する課題がある。

筆者らは、この拡張接合方式にゴム円筒を装着する工夫 (長束ら, 2002) を加え、止水性を確保できる工法とするための研究開発を進めてきた。本稿では、開発した拡張接合法による継手部の耐力および止水性能の評価を目的として行った室内試験結果を報告する。

2. 拡張接合法の概要と予備試験

2.1 開発した拡張接合法

開発した拡張接合法は、端部に所定幅のゴム円筒を装着した挿込み側の鋼管 (内管) を、装着したゴム円筒の外径よりわずかに大きく端部をソケット状に拡張した鋼管 (外管) に挿込み、管内に挿入した拡張装置を用いて重ね合わせ部を所定の突出高に塑性変形させて接合するものである。その接合手順と拡張時模式を Fig.1 に示す。工場出荷時に拡張された鋼管受口 (ソケット) とゴム円筒が装着された鋼管挿口とを現場で挿し込み、管内面から Fig.2 に示す拡張装置を用いて部分拡張する。その結果、内管外面と外管内面が比較的小さな曲率の曲面で接触し互いを拘束するため、継手部の抜け出し、押し込みの双

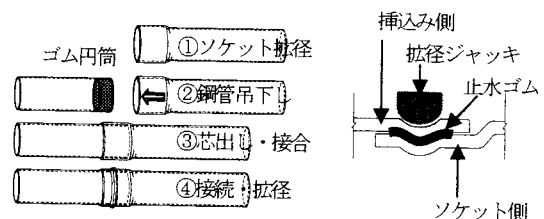


Fig.1 接合手順と拡張時模式
Joint process & Method to expand

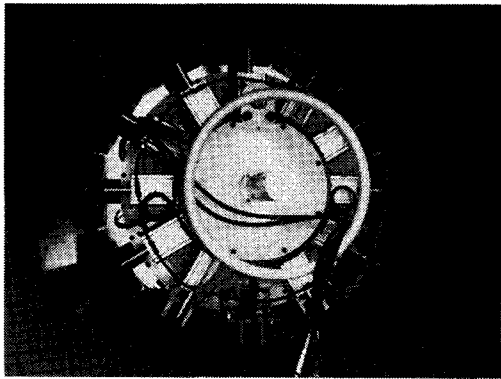


Fig.2 拡張装置
Machine for pipe end expanded joint

方を防止する軸耐力が生じる。また、その接触面となる内管外面に装着した止水用のゴム円筒（以降、止水ゴム）を介在させた状態で拡張接合することから、止水ゴムが圧縮され、管内水を止水する。

2.2 実物大予備試験

予備試験は、拡張接合部に軸力を作用させ、引張耐力、圧縮耐力、および引張または圧縮による継手部の変位時における止水性能に関する基礎データを取得する目的で実施した。供試体は、管長 600mm、呼び径 800mm（以降、800A と表記）の 2 本の鋼管を拡張接合して 1,000mm としたものであり、鋼管、止水ゴムの材料仕様および拡張仕様は、Table 1 のとおりである。また、試験装置の概要は、Fig.3 のとおりである。なお、止水性能を確認するための内水圧の上限は、土地改良事業計画設計基準 設計 パイプライン（以降、設計基準）において示された継手の水密性能の目安（農林水産省構造改善局，1998）を参考として、1.0MPa に設定した。

試験の手順は、次のとおりとした。①供試体内に水を充填する、②アクチュエータにより変位制御方式で引張荷重または圧縮荷重を与え、抜け出し変位または押し込み変位が 30mm に達するまでは、順次、1、2、3、4、5、10、20、30mm の各目標変位を生じさせた後に変位を 0mm

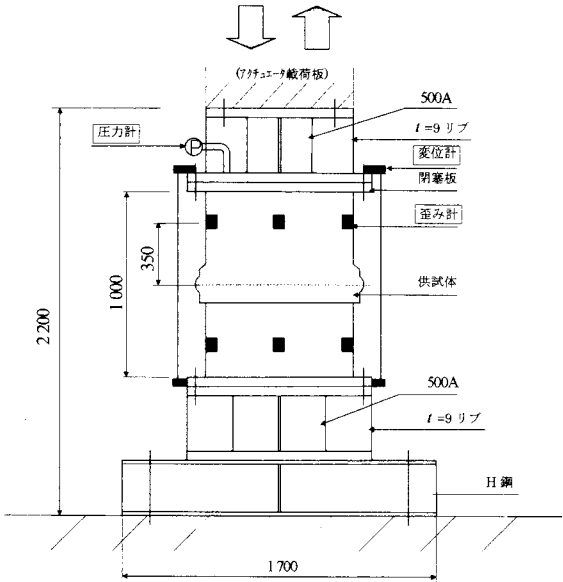


Fig.3 予備試験装置の概要
Apparatus of pretest

に戻す漸増繰り返し載荷、その後は目標変位を順次 20mm 増とする単純増加載荷を行う、③所定の目標変位に達した時点で、変位を保持した状態で、内水圧を 0.5、1.0MPa と 2 段階に昇圧負荷し、各 2 分間の保持時間をおく、④漏水が認められた場合は、内水圧を一定に保持した上で、漏水を脱脂綿に吸水させ漏水量を測定する、⑤単純増加載荷は、耐力のピーク、内水圧保持限界が確認できるまで継続する。

予備試験の結果は、次のとおりであった。①内水圧 1.0MPa を負荷しても漏水が生じない変位量は、抜け出し変位で 70mm、押し込み変位で 110mm であった。ただし、抜け出し変位の場合は目標変位 5mm、10mm から変位を 0mm に戻す際に、押し込み変位の場合は目標変位 10mm、20mm、30mm から変位を 0mm に戻す際に、許容漏水量程度の漏水がみられた。したがって、止水ゴムの仕様については検討が必要であることが判明した。②引張耐力、圧縮耐力のピーク（以降、極限耐力）は、前者は変位量 26mm において 437kN、後者は変位量 86mm において 744kN であった。この両者の耐力の相違は、外管のソケット長、拡張接合位置など本拡張接合の仕様に起因すると考えられた。引張極限耐力が発生する変位量 26mm 時は、内管の峰部と外管の峰部が接触して軸力伝達が行われている状態と考えられるのに対し、圧縮極限耐力が発生する変位量 86mm 時は、挿込み量は 200mm でその中間の 100mm の位置で拡張接合していることから峰部での接合は外れ、内管の峰部と外管のソケット拡張最奥部が接触して軸力伝達が行われている状態と考えられた。③継手部に作用した軸力と変位量の関係を示す履歴曲線は、引張、圧縮のいずれの場合も、極限耐力のほぼ 1/2 の軸力載荷時点までは直線的で軸力と変位量が比例関係にあるが、それ以降は極限耐力時点を頂点とする上に凸の放物線状であった。したがって、極限耐力のほぼ 1/2 の軸力載荷時点が弾

Table 1 鋼管、止水ゴムの材料仕様および拡張仕様
Material specification and expanding condition of expanded joint

種 別	項 目	規格または目標値	実測値
鋼管	材質	STPY400 (7.1mm)	
	ヤング率	$2.10 \times 10^5 \text{MPa}$	
	降伏応力	$3.18 \times 10^2 \text{MPa}$	
塗覆装	内管外面	エポキシ厚さ 0.5mm	0.7mm
	外管内面	エポキシ厚さ 0.5mm	0.7mm
止水ゴム	材質	NBR、硬度 60±5	
	厚さ	1mm	
拡張	ソケット拡張量	10mm	11.5mm
	接合拡張量	15mm	14.7mm
	挿込み量	200mm	191.3mm

性限界耐力を示す時点と推定された。

3. 拡張接合構造の検討

3.1 必要接合拡張量の検討

予備試験により、一定の拡張接合仕様条件における継手部の軸耐力を把握した。本工法を農業用パイプラインに適用するためには、種々の敷設条件に応じた必要接合拡張量を検討する必要がある。すなわち、接合拡張量を増せば、より大きな耐力が得られると想定されるが、①接合拡張量の増による内管端部の内折れ現象（服巻ら、1998）を防止するためには挿込み量を増す必要があり、不経済となること、②工場で既に施されている鋼管用の塗覆装材料の引張強さを超える変形は塗覆装を傷め、現場での再塗装が必要となること、といった問題が発生するため、必要最小限の接合拡張量とすべきであるという背景がある。そこで、予備試験データをもとに、目標耐力を設定し、耐力評価シミュレーションを行う、この手順で必要接合拡張量を検討した。

3.1.1 目標耐力の設定

農業用パイプラインの継手部に要求される軸方向の外力として、スラスト力、地震力を算定し、これらのうち大きい方を弾性限界耐力内で対抗できるよう、目標耐力を設定することとした。

スラスト力に関しては、 $(\text{内水圧}) \times (\text{受圧投影面積})$ で表される引き抜き力と曲がり部の背面土圧による引き抜き阻止力の差を継手部の必要耐力とし、設計基準に示されたスラスト力の検討（農林水産省構造改善局、1998）に準じて求めた。800Aにおいて、目標とする内水圧が1.0MPaの場合の必要耐力は、曲がり角度が22.5°では94kN、45°では226kN、90°では474kNと算出された。予備実験における拡張接合仕様では、引張弾性限界耐力で対抗する場合は曲がり角度45°以下、引張弾性限界耐力で対抗する場合は曲がり角度22.5°以下で、安全率1.5以上を確保できるとの結果となった。

地震力に関しては、継手部を弾性バネと仮定し、継手部および管体部から構成される管路の全体バネ係数（継手部バネ係数の逆数と鋼管のヤング率から算出されるバネ係数の逆数の和が、全体バネ係数の逆数になる）を算定することにより検討した。具体的には、水道施設耐震工法指針・解説に計算例（社団法人日本水道協会、1997）として示された軟弱地盤条件と地震波（レベル1）を前提条件として、（地盤の最大ひずみから算定される管路の変位量） $\times$ （全体バネ係数）により算出される軸力を、地震力を受けた際に必要な継手部の耐力とした。800Aにおいて、レベル1の地震力を受けた場合、209kNの軸力が発生すると試算された。予備実験における拡張接合仕様では、引張弾性限界耐力で対抗できるとの結果となった。

以上の検討結果を踏まえ、さらに、①現地に敷設されたパイプラインには繰り返してスラスト力が作用すること、②数度の地震力を受けること、を考慮し、接合構造

にはスラスト力および地震力に弾性限界耐力で対抗する耐力が要求されるものと設定した。したがって、800Aの場合、各曲がり角度22.5°、45°、90°における目標極限耐力は、それぞれ418kN、453kN、948kNに設定した。

3.1.2 耐力評価シミュレーション

継手部の耐力を評価する方法としては、①多数の試験を通して経験的に評価する方法、②妥当な解析法を構築し評価する方法、が考えられる。しかし、①の方法は、試験所要時間、試験経費の面で制約がある。そこで、②の方法により目標極限耐力を満足できる拡張量を追求することにした。

本拡張接合の構造解析においては、材料の非線形性、境界の非線形性（接触・剥離）、および大変形問題を内在することから、理論解を積み上げていく方法は困難が予想された。そこで、近年、発達が著しいFEM解析を用いて耐力評価シミュレーションを行うことにした。また、その解析の妥当性については、予備試験結果を再現できるか否かにより評価することにした。

FEM解析に用いた解析ソルバーは汎用有限要素法プログラムMARC（バージョンK7.3）であり、プレポスト処理にはMENTATを用いた。また、鋼管の材料モデルは移動硬化弾塑性体とし、降伏条件はVon-Misesの条件とした。止水ゴムの材料モデルは歪弾性体とし、内管-外管間に摩擦力を導入した。解析の範囲および境界条件は、Fig.4のとおりであり、ローラ支承の条件は鋼管の半径方向（拡張方向）のみ自由で、他の軸方向、周方向、回転は固定とした。解析における载荷方法はFig.5に示した、①ソケット拡張：ソケット拡張シュー（幅200mmの剛体）に与える半径方向の強制変位（11.5mm）、②接合拡張：接合拡張シュー（半径100mmの剛体）に与える半径方向の強制変位（14.7mm）、③引張または圧縮の軸力载荷：内管端に与える強制変位、の手順とした。Fig.6は、大気中の硬鋼と硬質ゴムの乾燥摩擦係数（機械設計便覧編集委員会、1973）を参考として、摩擦係数を0.3とした場合の継手部変位量と引張力の関係について、解析結果を予備試験結果と合わせて示したものである。弾性域の挙動、耐力値、耐力発生時の変位を概ね再現できていると判断された。

そこで、前項3.1.1で設定した目標極限耐力を満足する拡張量を見出すため、構築したFEM解析による耐力評価シミュレーションを行った。Table 2に解析ケースおよびその解析結果を示す。曲がり角度22.5°の場合、目標極限耐力が地震時の耐力から設定されていることに起因し、接合拡張量が8mmでは満足できない結果となった。また、

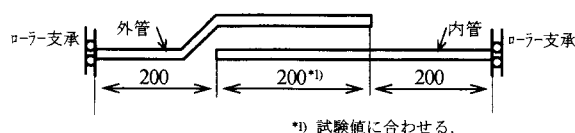
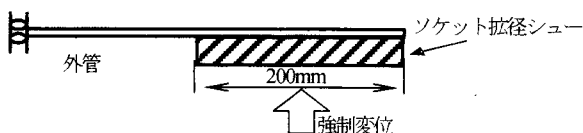
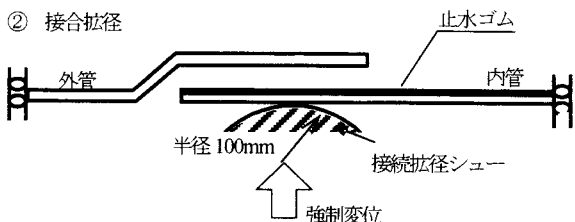


Fig.4 解析の範囲および境界条件
Domain and boundary condition of analysis

① ソケット拡張



② 接合拡張



③ 軸力载荷



Fig.5 解析における载荷方法
Loading method in analysis

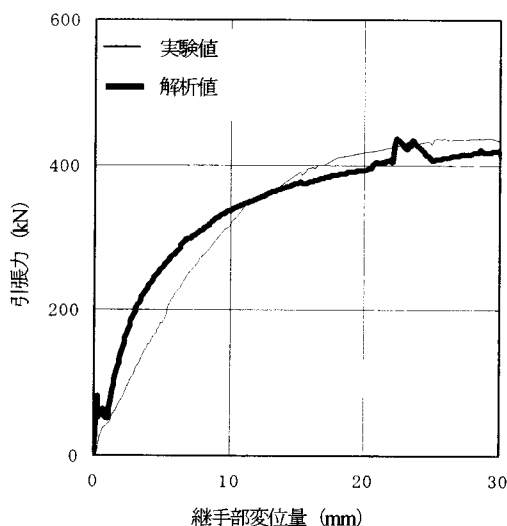


Fig.6 解析結果と予備試験結果の比較
Results of analysis and pretest

45° では接合拡張量が15mmでほぼ満足できること, 90° では接合拡張量が35mmでも満足できない結果となった。なお, Fig.7 は, 解析結果の一例として接合拡張量15mmの場合について, 接合拡張後の変形形状および周方向応力分布を示したものである。この接合拡張後の応力分布から, 接合拡張の峰の両側に圧縮応力のピークが現れ, 止水ゴムはこの二つのピーク位置に挟まれた状態になることが分かった (Fig.8 の模式図を参照)。このことが, 止水性の発現機構になっていると考えられた。

Fig.9 は, Fig.7 に示した接合拡張量15mmの場合について, 弾性耐力発生時 (極限耐力 450kN の 1/2 である

Table 2 耐力評価シミュレーション結果
Simulation results of strength

		解析ケース		
曲がり角度 (°)		22.5	45	90
目標値 (kN)		418	454	948
拡張仕様	接合拡張量 (mm)	8	15	35
	挿込み量 (mm)	200		300
解析結果 (kN)		245	450	700

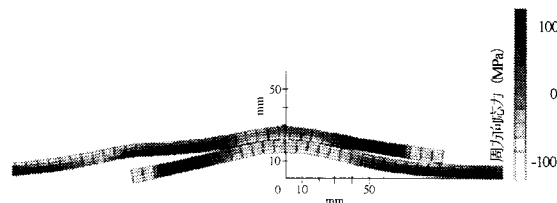


Fig.7 接合拡張後の変形形状および周方向応力分布
(接合拡張量15mm)
Deformation and circumferential stress distribution
after expanding joint

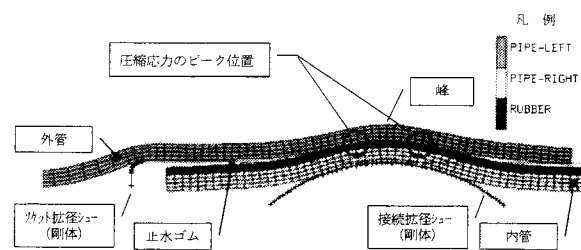


Fig.8 接合拡張模式図
Typical deformation of expanded joint

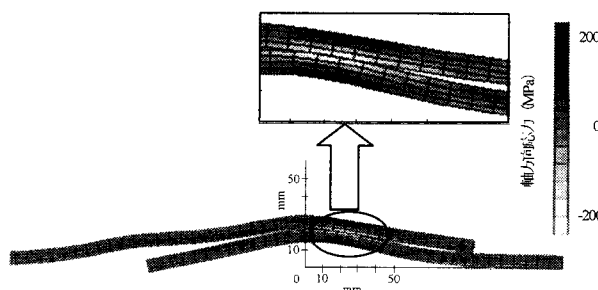


Fig.9 弾性耐力発生時の変形形状および軸方向応力分布
Deformation and axial stress distribution on elastic stage

225kN となる解析ステップ時) の変形形状および軸方向応力分布を示したものである。内管と外管の接触部分となる外管内面と内管外面に圧縮応力, 外管外面と内管内面に引張応力が発生し, どちらの発生応力度も鋼管の許容応力度 ($\sigma_a=170\text{N/mm}^2$: 材質 STW400) 以内であることが分かった。また, その圧縮応力により止水ゴムが十分に圧縮され, 止水性に寄与していると考えられる。

3.2 止水ゴムの選定

水道用ゴムの材料は、JIS K 6353 において、スチレンブタジエンゴム (SBR)、アクリロニトリルブタジエンゴム (NBR)、ブタジエンゴム (BR) クロロプレンゴム (CR)、エチレンプロピレンゴム (EPDM) を主原料とする合成ゴムを推奨している。そこで、耐摩耗性、耐乾湿繰り返し、長期止水性、経済性、流通性などを評価項目としてメーカに総合評価を依頼したところ、①EPDM、②SBR、③CR、④BR、⑤NBR の順となった。この評価を受けて、上位 3 材料の 2 種のゴム硬度 (硬度 50 ± 5 , 60 ± 5) について、JIS K 6264 による定荷重ウィリアムス摩耗試験を実施した。その結果、①材料種別の耐摩耗性は、SBR, EPDM, CR の順である、②硬度については、 60 ± 5 の方が優れる、ことが判明した。

止水ゴムの厚さに関しては、1, 3, 6mm 厚さの平板供試体を用いて、次の手順で止水性能試験を行った。①先行圧縮: 2,000kN の万能試験機を用いて、接合拡径時に作用する圧縮応力 50MPa (前節 3.1 の FEM 解析結果) を止水ゴムに作用させる。②繰り返し加圧試験: Fig.10 に示す止水試験装置にセット替えし、高力ボルトを用いたトルク制御により拡径接合後の圧縮応力 5MPa (前節 3.1 の FEM 解析結果) を止水ゴムに作用させた状態になるよう挟み込む。その後、0, 0.05, 0.5, 1.0MPa の各水压段階を 5 分間維持する水压負荷を 3 回繰り返し、漏水の有無を確認する。③最大耐圧確認試験: 0.1MPa ずつ昇圧するごとに漏水の有無を確認しながら、漏水が確認されるまで昇圧する。その結果、①1mm 厚さでは繰り返し水压負荷により漏水が発生するケースがある、②最大耐圧は、1mm 厚さは 0.8~1.3MPa, 3mm 厚さは 1.2~2.1MPa, 6mm 厚さは 2.6~3.0MPa である、ことが分かった。

以上の結果から、SBR の硬度 60 ± 5 を止水ゴムの材料に選定し、厚さについては 3mm を仕様とした。

4. 拡径接合工法の実物大試験による評価

4.1 実物大試験における供試体仕様

前章 3. で選定した拡径接合の耐力、止水性能を調べる

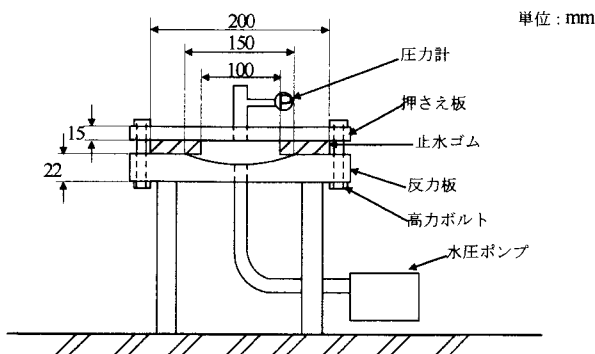


Fig.10 止水試験装置の概要
Apparatus of watertight test

Table 3 実物大試験における供試体仕様
Material specification and expanding condition of expanded joint in full-scale test

試験種別	カット 拡径量	挿入 み量	接合 拡径量	塗覆装厚		止水 ゴム厚
				内管 外面	外管 内面	
実物大 予備試験	(10.0) 11.5	200	(15.0) 14.7	0.7	0.7	1
引張力 載荷試験	(12.1 ¹⁾ 12.4	200	(17.5) 18.9	無塗装		3
扁平力 載荷試験	(14.5 ²⁾ 14.5	200	(17.5 ³⁾ 18.1	0.7	0.7	3
曲げ力 載荷試験	(14.5 ²⁾ 15.3	200	(17.5 ³⁾ 18.5	0.7	0.7	3
繰り返し軸 力載荷試験	(14.5 ²⁾ 15.1	200	(17.5 ³⁾ 18.7	0.7	0.7	3

拡径量欄の上段 () は目標値、下段は実績値を示す。

- 1) 実物大予備試験の実績値に比べて、止水ゴム厚 2mm 増、無塗装 1.4mm 減
- 2) 実物大予備試験の実績値に比べて、止水ゴム厚 2mm 増、挿入み工程の施工性を上げるため 1mm 増
- 3) 実物大予備試験の実績値に比べて、2)の増分約 3mm 増

ため、800A の鋼管を用いて実物大試験を行った。試験種別は、引張力載荷試験、扁平力載荷試験、曲げ力載荷試験、繰り返し軸力載荷試験である。各試験における供試体仕様を、実物大予備試験と対比して Table 3 に示す。

4.2 引張力載荷試験

試験装置は、予備試験と同様である。引張側の軸力の片振幅載荷は変位制御で行い、抜け出し変位が 14mm までの 1mm 刻みの目標変位、および 20, 40mm の目標変位においては、目標変位後に変位を 0mm に戻す漸増繰り返し載荷、40mm を超えた以降は単純増加載荷とした。Fig.11 は、変位量と荷重の関係を示したものであり、Fig.12 は、変位量と継手に作用した軸力の関係を示したものである。ただし、図中の弾性限界は、ヒステリシスカーブにおいて、滑り挙動が確認される直前の軸力とした。すなわち、拡径接合構造の場合、軸力載荷により外管と内管の継手部の峰形状が崩れ (ゆるみ) 始めるとすべりによる非弾

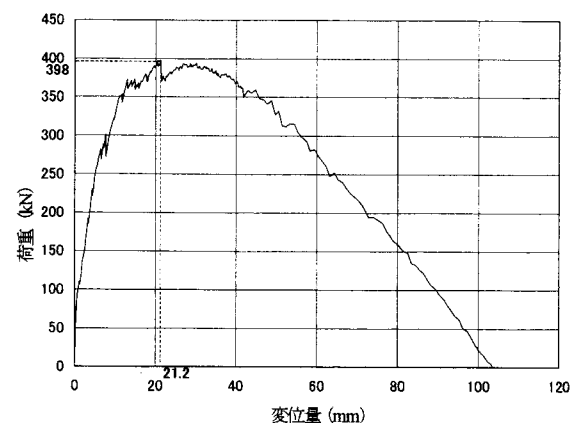


Fig.11 変位量-荷重 (引張力載荷試験)
Relation between displacement and load

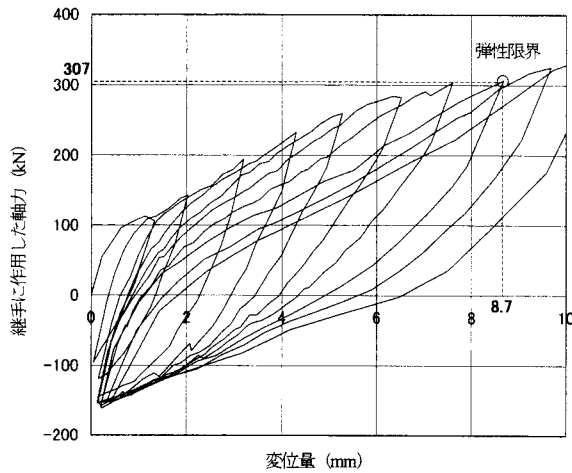


Fig.12 変位量-軸力 (引張力荷重試験)
Relation between displacement and axial load

性状態になると考え、この峰形状の崩れの開始に着目した。具体的には、荷重がゼロになる除荷時の軸力 0kN 前後におけるヒステリシスカーブの接線勾配が変化するか否かで判断した。この判断によれば、変位量 8.7mm の次のサイクルから接線勾配が変化している。したがって、本試験結果による引張側の弾性限界耐力は 307kN (変位量 8.7mm の時点) であり、これは地震動レベル 1 相当の軸力に抵抗するために要する弾性限界強度 209kN を上回り、想定する地震力にも十分耐えられる構造であることが確認できた。また、曲がり角度 45° のスラスト力 226kN に対しても耐えられる構造であることが確認できた。

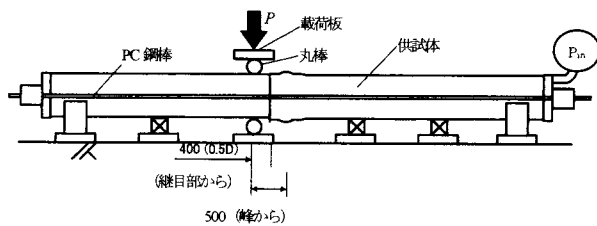


Fig.13 扁平力荷重試験の概要
Apparatus of compressive loading test

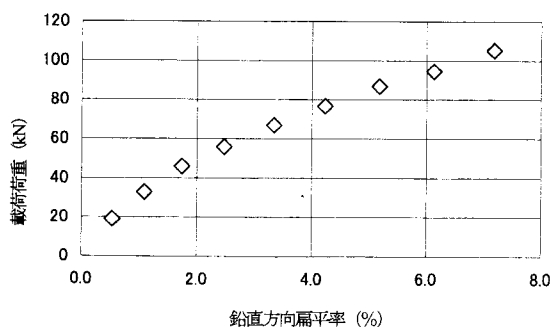


Fig.14 扁平率-荷重 (扁平力荷重試験)
Relation between compression rate and load

4.3 扁平力荷重における止水性能試験

拡張接合部近傍に局所的な荷重が作用し扁平力が働いた状態の止水性能を調べるために実施した。試験の概要は Fig.13 に示したとおりであり、アクチュエータにより扁平荷重を加えた。試験は変位制御で行い、鉛直方向の扁平率が設計基準に示された許容たわみ率の標準 (農林水産省構造改善局, 1998) の 5% に 2% を上乗せした 7.0% になるまで載荷した。載荷中は内水圧が常に 0MPa となるように解放弁を開いておき、扁平率が 1% 増すごとに扁平量を保持した状態で解放弁を閉じ、0.5, 1.0MPa の内水圧をそれぞれ 2 分間負荷した。

鉛直扁平量と載荷荷重の関係は Fig.14 に示したとおりである。目標扁平率の 7% においても漏水は観察されなかった。

4.4 曲げ力荷重における止水性能試験

拡張接合部に曲げ荷重が作用した状態の止水性能を調べるために実施した。試験の概要は Fig.15 に示したとおりであり、アクチュエータにより相対曲げ角度 (以降、引き上げを-, 押し下げを+と表示) を制御しながら荷重を加えた。載荷により変位させた相対曲げ角度および回数は、 $-1^{\circ} \sim +1^{\circ}$ を 6 サイクル、 $-2^{\circ} \sim +2^{\circ}$ を 3 サイクル、 $-3^{\circ} \sim +3^{\circ}$ を 3 サイクルであり、途中の $+2^{\circ}$ 、 $+3^{\circ}$ の最初のサイクルで 0.5, 1.0MPa の内水圧をそれぞれ

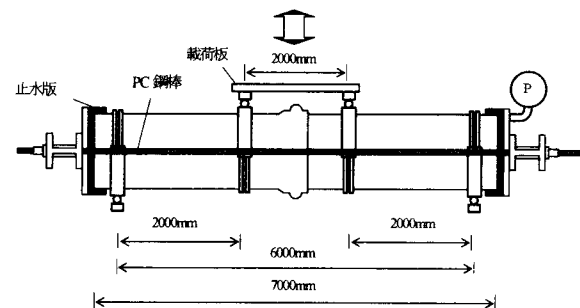


Fig.15 曲げ力荷重試験の概要
Apparatus of flexural loading test

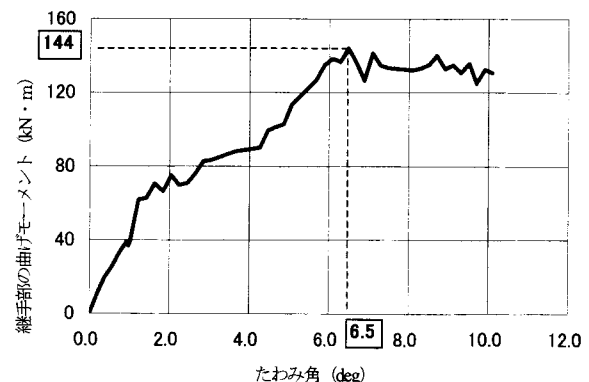


Fig.16 相対曲げ角度-曲げモーメント (曲げ力荷重試験)
Relation between relative angle of bend and bending moment

れ 2 分間負荷した。その後引き続いて、 $+4^\circ$ 、 $+5^\circ$ 、 $+7.5^\circ$ 、 $+10^\circ$ と順次、相対曲げ角度を増し、0.5、1.0MPa の内水圧をそれぞれ 2 分間負荷した。

相対曲げ角度 2° 、 3° の小さな曲げ角の水圧負荷時に許容減水量を大きく下回る微量の水滴が確認されたものの、曲げ角度 10° においても漏水は観察されなかった。なお、拡張接合部に発生した相対曲げ角度と曲げモーメントの関係は Fig.16 に示したとおりであり、相対曲げ角度 6.5° において最大曲げモーメント $144\text{kN}\cdot\text{m}$ が発生した。なお、本拡張接合の曲げ剛性は相対曲げ角度 1° レベルにおいて、溶接継手の 1/30、ダクタイル鋳鉄管継手の 40 倍であると試算された。

4.5 繰り返し軸力載荷における耐力・止水性能試験

拡張接合部に繰り返し軸力を載荷し、地震時の耐力および止水性能を調べた。試験装置は予備試験と同様である。与えた変位の基本量 δ は、3.1.1 で算出した軸力 209kN を継手のバネ係数 $39,250\text{N/mm}$ で除した値の 5.3mm であり、試験における載荷方法は Fig.17 に示したように、 $\pm 0.5\delta$ 、 $\pm\delta$ 、 $\pm 1.5\delta$ 、 $\pm 2\delta$ を各々 50 サイクルずつ載荷し、その後 $\pm 2.5\delta$ と $\pm 3\delta$ を 1 サイクルずつ載荷する変位制御

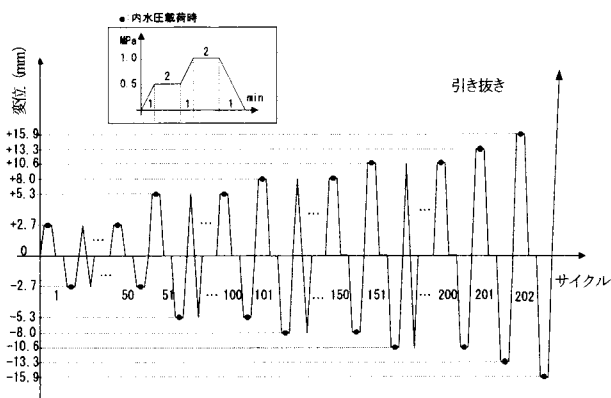


Fig.17 繰り返し軸力載荷の方法
Cyclic pattern of axial force loading

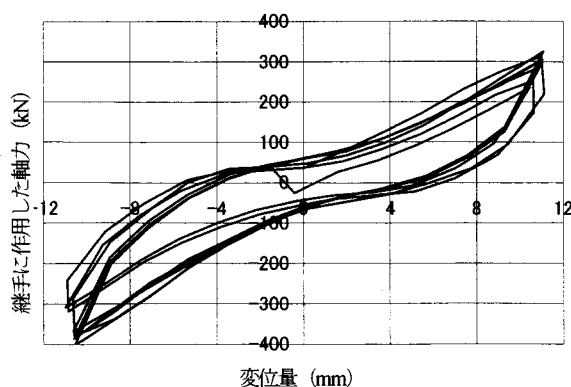


Fig.18 変位量-軸力履歴 (繰り返し軸力載荷試験)
Relation between displacement and axial load

による繰り返し載荷とした。繰り返し回数の 50 サイクルは、ガス導管設計指針に示された、地震動によって生じる最大ひずみ振幅の等価繰り返し回数（社団法人日本ガス協会、1982）である。また、止水性は図中の黒丸の時点で 0.5、1.0MPa の内水圧をそれぞれ 2 分間負荷して確認した。

試験結果は、 $\pm 0.5\delta$ から $\pm 3\delta$ まで、いずれの振幅でも内水圧 1.0MPa の止水性は保たれ、レベル 1 地震動相当の $\pm 5.3\text{mm}$ の変位を大きく超えて止水性が保持できることを確認した。また、Fig.18 は試験の結果の一例として $\pm 2\delta$ における変位量-軸力履歴を示したものであり、目標とするレベル 1 地震動相当時の軸力 209kN に対し、十分な必要耐力を有することが確認できた。

なお、本試験は上記と同様の仕様で作製した供試体、同様の試験方法（ただし、継手変位は $\pm 2\delta$ まで）で実施した、内水圧 1.0MPa を 2 分間負荷後に 2.0MPa へ昇圧して 5 分間負荷する追加試験においても、止水性は保たれることが確認できた。

5. おわりに

鋼の延性・韌性およびゴムの弾性を活用した鋼管の拡張接合法による継手部の耐力と止水性能を評価するため、呼び径 800mm の実物大供試体を用いて室内試験を行った。その結果、接合拡張量 17.5mm 、止水ゴム厚 3mm とした仕様の継手部は、曲がり角度 45° のスラスト力、レベル 1 の地震力に対抗できる耐力を有し、扁平率が 7% となる扁平力載荷、曲げ角度が 10° となる曲げ力載荷、地震時変位の 2 倍となる繰り返し軸力載荷の各状態においても、1.0MPa 以上の止水性能を有することが確認できた。

なお、本工法による継手部の水理機能の評価については、内管の挿込み方向が上流方向、下流方向のいずれであっても、溶接継手と同等の水理性能を有することを、松嶋ら（2003）が報告している。また、施工性の評価については、呼び径 1,200mm の鋼管による管路延長 168.7m の実証試験の結果、拡張接合法は溶接継手による場合に比較して、作業時間が約 1/3 と大幅に短縮できたことを、長谷川ら（2003）が報告している。

引用文献

- 羽上田裕章，柳本速雄，矢野嘉孝，服巻健二，高崎健太郎，出光 隆，山崎竹博（1998）：拡張構造を用いた鋼管継手構造の軸耐力評価に関する検討，土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集，6，p.342-343.
- 長谷川延広，飯柴博久，森 充広，山口克博（2003）：鋼管の拡張式接合継手工法の開発その 3-実証試験-，農業土木学会大会講演要旨集，p.574-575.
- 服巻健二，出光 隆，山崎竹博，羽上田裕章，柳本速雄，矢野嘉孝（1998）：鋼管拡張と膨張性モルタルを併用した鋼管継手工法に関する実験的研究，土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集，6，p.340-341.
- 機械設計便覧編集委員会（1973）：新版機械設計便覧，丸善，p.1879

松嶋茂之, 今井俊雄, 中 達雄, 田中良和, 山口克博 (2003):
鋼管の拡張式接合継手工法の開発その 2—継手部の水利機能
の評価—, 農業土木学会大会講演要旨集, p.572-573.

長束 勇, 中 達雄, 藤本直也, 直江次男, 森 充広, 森山英
樹, 澤田義弘, 山田 昇, 辻村 修, 笠井隆司 (2002): 鋼管
の拡張式接合継手構造, 特願 2002-58436.

農林水産省構造改善局 (1998): 土地改良事業計画設計基準 設
計 パイプライン 基準書・技術書, p.58-89, p.120-121,
p.319-320.

社団法人日本ガス協会 (1982): ガス導管耐震設計指針, p.31.

社団法人日本水道協会 (1997): 水道施設耐震工法指針・解説,
p.295-299.

[2003. 10. 23.受稿, 2004. 2. 16.閲読了]

[この研究論文に対する公開の質疑あるいは討議(4,000字以内,
農業土木学会論文集編集委員会にて)は, 2004 年10月24日まで
受け付けます。]

Strength and Watertight Performance of Expanded Steel Pipe Joint

NATSUMA Isamu*, ISHIMURA Hideaki*, TOKASHIKI Masaru*, MORI Mitsuhiro*,
KAWAGUCHI Shusaku** and HAJIOTA Hiroaki**

*National Institute for Rural Engineering, 2-1-6 Kannondai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8609, JAPAN

**Nippon Steel Co., Ltd., 2-6-3 Ohte-machi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8071, JAPAN

Abstract

An expanded steel pipe joint method, which applies the ductility and tenacity of steel and the elasticity of rubber, has been developed to improve the workability of steel pipe construction. In this study, the strength and watertight performance of expanded joints were investigated using full-scale steel pipes 800 mm in nominal diameter. The results showed: (1) the expanded joint withstood both the thrust force with a bent pipe angle of 45 degrees and level 1 earthquake motions, (2) the watertight performance indicated more than 1.0 MPa with a compression loading rate of 7 %, a flexural loading at an angle of 10 degrees and a cyclic axial loading twice the seismic displacement.

Key words: Steel pipe, Expanded joint, Strength, Watertight performance, FEM analysis