

## 拡径接合工法による鋼管継手部の性能評価

石村英明\*・長束 勇\*\*・渡嘉敷勝\*\*・森 充広\*\*・田中良和\*\*\*・中 達雄\*\*\*\*

川口周作\*\*\*\*\*・松嶋茂之\*\*\*\*\*・作本敏和\*\*\*\*\*

### 目 次

緒 言 .....	209	1 塗装・塗覆装の選定 .....	224
拡径継手工法の概要 .....	210	2 試験項目 .....	224
止水性能試験 .....	210	3 実物大予備試験供試管調査 .....	224
1 実物大予備試験 .....	210	4 長期埋設管供試管調査 .....	224
2 拡径接合構造の検討 .....	212	施工性能および品質管理 .....	225
3 実物大試験による評価.....	217	1 実証試験の概要 .....	225
4 実証試験 .....	219	2 施工性能 .....	225
通水性能試験 .....	219	3 品質管理 .....	226
1 小口径管実験 .....	219	結 言 .....	227
2 通水性能の検討 .....	221	参考文献 .....	228
3 実証試験 .....	222	Summary .....	230
防食性能試験 .....	224		

### 緒 言

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。しかしながら、近年の熟練工の高齢化による減少を背景として、溶接継手による鋼管敷設だけでは十分には対応できない可能性がある。また、コスト面からもコスト縮減に寄与できる溶接継手以外の継手工法の開発が望まれている。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径し、その機械的接触力で接合する拡径接合方式が採用されている。これらに関する研究としては、服巻ら（1998）が拡径接合方式の耐力を調べる目的で拡径接合した供試管の押し抜き試験を実施し、接合拡径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、外鋼管のみを拡径し、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、軸力載荷における拡径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。しかし、この拡径継手工法は構造性能や止水性能に課題を残しており、このまま農業用パイプラインに活用できる工法ではなかった。

そこで、筆者らは、この拡径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Fig.1の研究開発フローにより進めてきた。開発にあたっては、拡径接合法による継手部の 止水性能の評価、 通水性能の評価、 防食性能の評価、 施工性能の評価および品質確認を行った。本報は、Fig.1の研究開発フローに従って実施した実験や実証試験結果を、これらに関する論文（長束ら，2004）、（松嶋ら，2004）も含めて整理して報告するものである。

\*造構部施設機能研究室（関東農政局併任）

\*\*造構部施設機能研究室

\*\*\*水工部水路工水理研究室

\*\*\*\*水工部上席研究官

\*\*\*\*\*新日本製鐵(株)水道施設部

\*\*\*\*\* J F E エンジニアリング(株)水道技術部

\*\*\*\*\*住友金属工業(株)エネルギーエンジニアリング事業部

平成16年3月4日受理

キーワード：鋼管，拡径接合，止水性能，通水性能，防食性能，  
施工性能

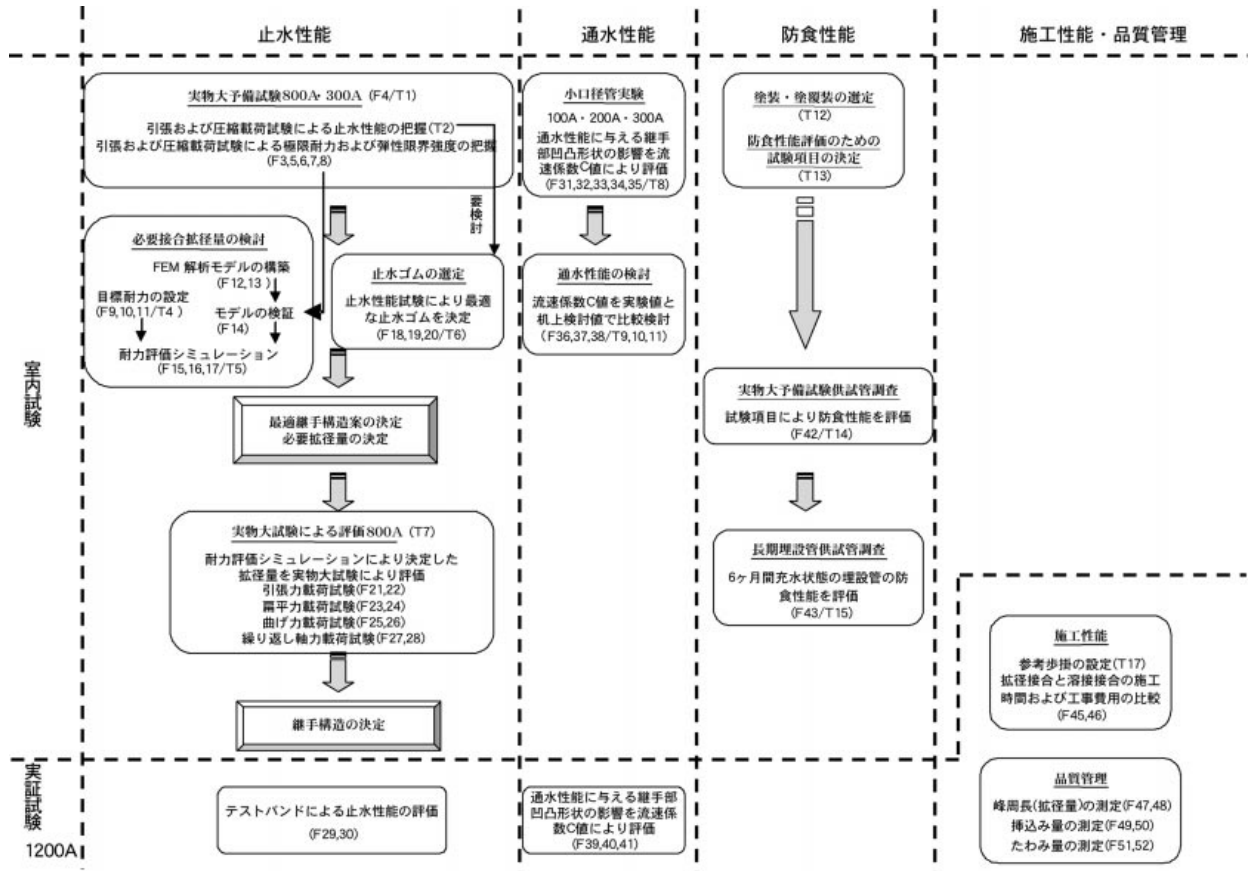


Fig.1 拡径接合工法研究開発フロー

The flow of the research of an expanded steel pipe joint method

拡径継手工法の概要

開発した拡径接合工法は、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径した鋼管（外管）に挿込み、管内に挿入した拡径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。その接合手順と拡径時モードをFig.2に示す。工場出荷時に拡径された鋼管受口（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.3に示す拡径装置を用いて部分拡径する。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）を介させた状態で拡径接合することから、止水ゴムが圧縮され、管内水を止水する。

止水性能試験

1 実物大予備試験

予備試験は、拡径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。供試管は、呼び径800mm（以降、800Aと表記）と300Aの2ケースで、それぞれ管長600mmの2

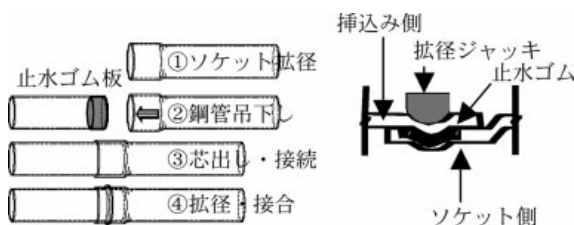


Fig.2 接合手順と拡径時モード

Joint process and method to expand



Fig.3 拡径装置

Machine for pipe end expanded joint

本の鋼管を拡径接合して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径仕様は、Table 1のとおりである。また、試験装置の概要は、Fig.4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。供試管内に水を充填する、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、所定の目標変位に達した時点および変位を0mmに戻した時点で、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、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、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、Table 2、3のとおりであった。

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

800A			
種別	項目	規格または目標値	実測値
鋼管	材質	STPY400 (t 7.1mm)	
	ヤング率	$2.10 \times 10^5$ MPa	
	降伏応力	$3.18 \times 10^2$ 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	
拡径	ソケット拡径量	10mm	11.5mm
	接合拡径量	15mm	14.7mm
	挿込み量	200mm	191.3mm

300A			
種別	項目	規格または目標値	実測値
鋼管	材質	SGP (t 6.9mm)	
	ヤング率	$2.09 \times 10^5$ MPa	
	降伏応力	$3.97 \times 10^2$ 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	
拡径	ソケット拡径量	10mm	10.4mm
	接合拡径量	10mm	8.9mm
	挿込み量	200mm	202.9mm

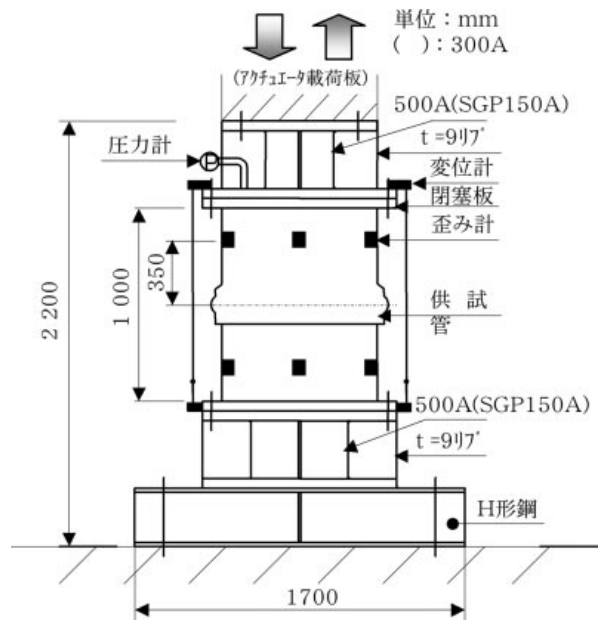


Fig.4 予備試験装置の概要  
Apparatus of pretest

Table 2の結果に付記したように、許容範囲内ではあるが漏水が発生したため、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。Table 3の引張および圧縮載荷時の耐力の相違は、外管のソケット長、拡径接合位置など本拡径接合の仕様に起因すると考えられた。これは、引張極限耐力が発生する変位時は、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時は、内管の峰部と外管のソケット拡径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。また、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

Table 2 予備試験による漏水しない最大変位量

Displacement of no leakage of water

1MPaの内水圧で漏水しない最大変位量

	70mm	
	800A	300A
抜け出し	70mm	5mm
押し込み	800A	110mm
	300A	5mm

ただし、800Aにおいて、次に示す目標変位から0mmに戻す際に許容範囲内の漏水が発生した。

抜け出し変位：5mm・10mm

押し込み変位：10mm・20mm・30mm

Table 3 予備試験による極限耐力と変位量  
Relation between ultimate strength and displacement

	800A		300A	
	極限耐力	変位量	極限耐力	変位量
引張載荷	437kN	26mm	267kN	20mm
圧縮載荷	744kN	86mm	555kN	100mm

変位量は極限耐力時の変位を示す。

(Fig.5), 圧縮 (Fig.6) 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性限界耐力を示す時点と推定された。また, 所定の変位を与え, その後変位を0に戻す繰り返し試験において, 引張耐力の弾性限界強度は, 800Aで208kN (変位量5.3mm), 300Aで180kN (変位量5.4mm) と推定でき, 圧縮耐力の弾性限界強度は, 800Aで268kN (変位量5.3mm), 300Aで273kN (変位量5.1mm) と推定できた (Fig.7,8)。

2 拡径接合構造の検討

a 必要接合拡径量の検討

予備試験により, 一定の拡径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径量を検討する必要がある。すなわち, 接合拡径量を増せば, より大きな耐力が得られると想定されるが,

接合拡径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, 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径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, との手順で必要接合拡径量を検討した。

(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, 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, 引き抜き力 (1) 式と曲がり部の背面土圧による引き抜き阻止力 (2) 式の差を継手部の必要耐力 (3) 式として求めた。

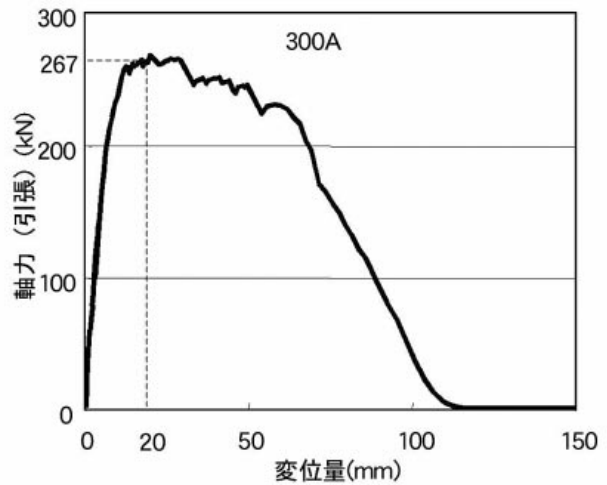
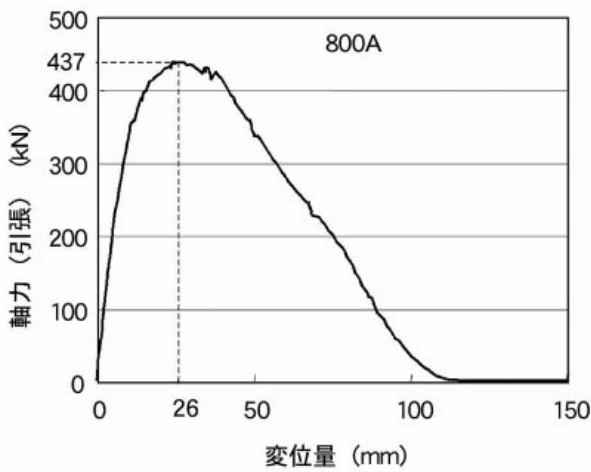


Fig.5 軸力 - 変位量 (引張力載荷試験)  
Relation between axial force and displacement

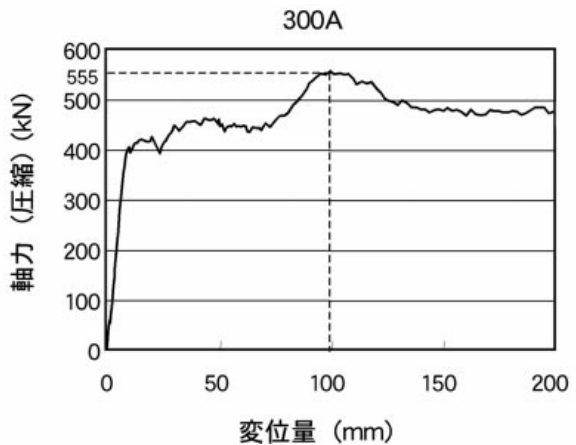
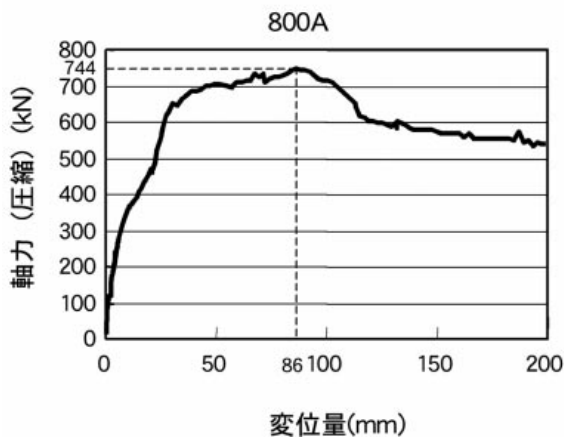


Fig.6 軸力 - 変位量 (圧縮力載荷試験)  
Relation between axial force and displacement

$$P' = 2 \left( H \cdot a_c + \frac{a \cdot w_o \cdot V^2}{g} \right) \sin \frac{\theta}{2} \quad (1)$$

$$R_h = F \cdot \frac{1}{2} w \cdot B_b \left[ H_2^2 - H_1^2 \right] \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2)$$

$$P = \left( S \cdot P' - R_h \right) \cdot \frac{1}{2} \quad (3)$$

ここで、 $P'$  (tf) : スラスト力,  $H$  (tf/m<sup>2</sup>) : 設計水圧 (静水圧 + 水撃圧),  $a_c$  (m<sup>2</sup>) : 設計水圧が作用する範囲の断面積,  $a$  (m<sup>2</sup>) : 流水断面積,  $w_o$  (1.0tf/m<sup>3</sup>) : 管内水の単位体積重量,  $V$  (m/s) : 管内平均流速,  $g$  (m/s<sup>2</sup>) : 重力の加速度,  $\theta$  (°) : 曲管の曲がり角度,  $R_h$  (tf) : 水平方向抵抗力,  $F$  (無次元) : 曲面の受働土圧の補正係数 (0.65とする),  $w$  (tf/m<sup>3</sup>) : 土の単位体積重量,  $B_b$  (m) : 管背面の幅,  $H_2$  (m) : 地表面から管底面までの深さ (土被り1.5mとする),  $H_1$  (m) : 地表面から管頂面までの深さ (土被り1.5mとする),  $\tan^2 (45^\circ + \phi/2)$  (無次元) : 受働土圧係数,  $\phi$  (°) : 土の内部摩擦係数 (30°とする),  $P$  (tf) : 必要な対スラスト力,  $S$  (無次元) : 安全率 (1.5とする), である。

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径接合仕様では、引張極限耐力 (437kN) で対抗する場合は曲がり角度45°以下、引張弾性限界耐力 (208kN) 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、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 Fig.9の軟弱地盤条件とTable 4の地震波 (レベル1) を前提条件として、地盤挙動から管体歪みの発生位置を Fig.10と考へ、継手部を弾性バネと仮定した Fig.11のモデル化を行い、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  $K$  を (6) 式により、地震力を受けた際に必要な継手部の耐力  $P$  を (7) 式により、算定した。

$$G_{-max} = G \quad (4)$$

$$d = G_{-max} \times l \quad (5)$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{k'} + \frac{1}{E \cdot A \cdot 1/2} + \frac{1}{E \cdot A \cdot 1/2} \quad (6)$$

$$P = K \times d \quad (7)$$

ここで、 $G_{-max}$  (無次元) : 最大地盤歪み,  $G$  (無

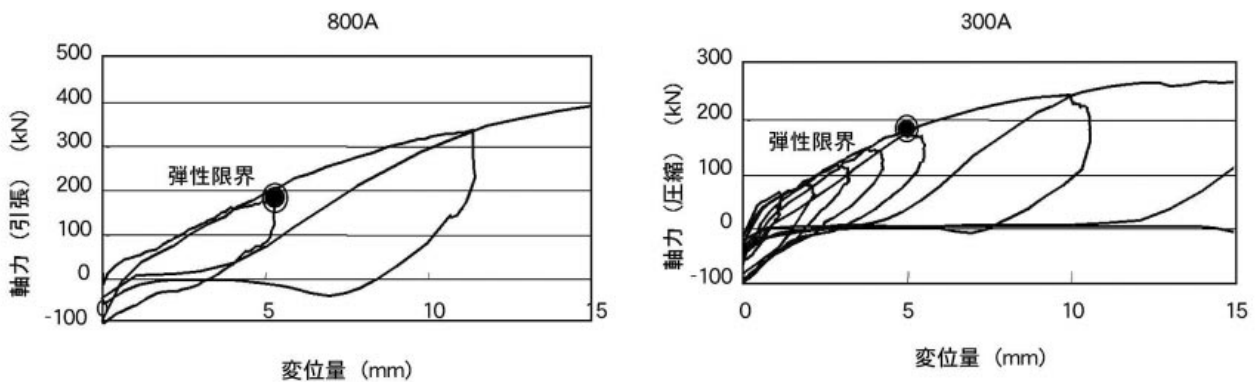


Fig.7 軸力 - 変位量 (引張力繰返し载荷試験)  
Relation between axial force and displacement

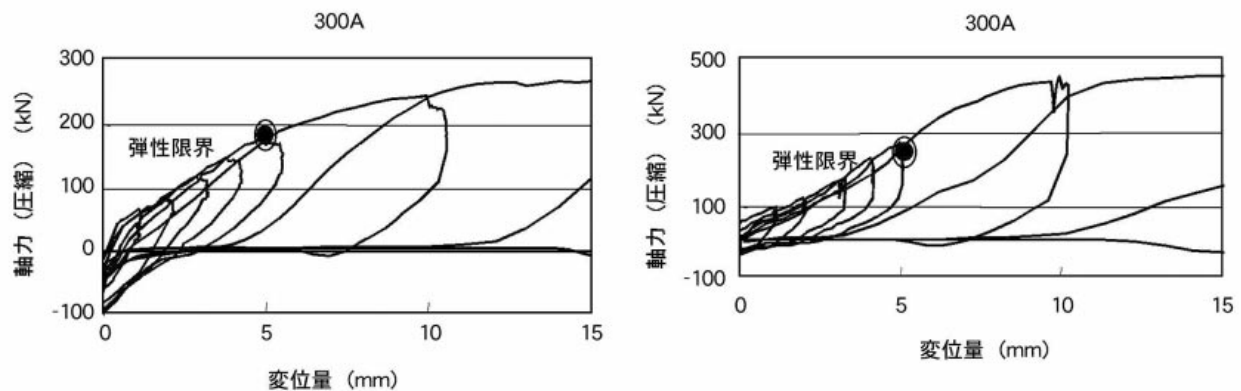


Fig.8 軸力 - 変位量 (圧縮力繰返し载荷試験)  
Relation between axial force and displacement

次元) : 地盤歪み,  $d$  (mm) : 変位量,  $l$  (mm) : 単管長,  $K$  (N/mm) : 全体バネ係数,  $k$  (N/mm) : 継手バネ係数,  $E$  (N/mm<sup>2</sup>) : ヤング率,  $A$  (mm<sup>2</sup>) : 断面積,  $P$  (N) : 軸力, である。

レベル1の地震力を受けた場合, 800Aで209kN, 300Aで75kNの軸力が発生すると試算された。予備実験における拡径接合仕様では, ほぼ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, 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, 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。

(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, 多数の試験を通して経験的に評価する方法, 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, この方法は, 試験所要時間, 試験経費の面で制約がある。そこで, この方法により目標極限耐力を満足できる拡径量を追求することにした。

本拡径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.12のとおりであり, ローラ支承の条件は鋼管の半径方向 (拡径方向) のみ自由で, 他の軸方向, 周

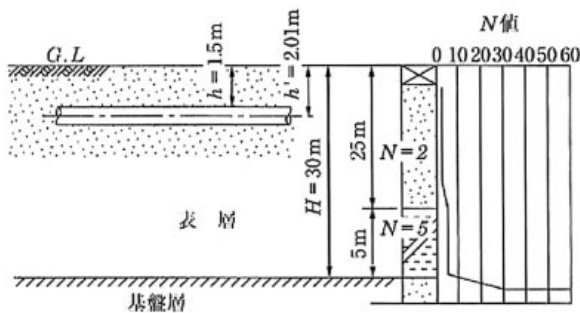
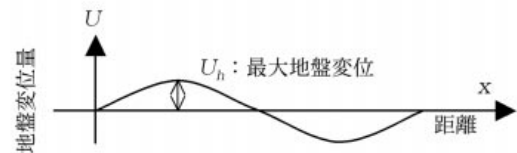


Fig.9 軟弱地盤モデル (社団法人日本水道協会, 1997) Model of soft ground

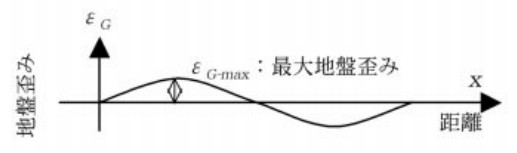
Table 4 レベル1地震波の前提条件  
Prior condition of level 1 earthquake motions

		800A	300A
地震波	波長L(m)	200	70
	振幅U <sub>h</sub> (mm)	37.2	4.4
地盤変動	地盤歪み $\epsilon_G$	0.0005	0.00019
鋼管	単管長l(mm)	12000	12000
	ヤング率E(N/mm <sup>2</sup> )	206000	206000
	断面積A(mm <sup>2</sup> )	18000	17500
継手	初期長さl <sub>0</sub> (mm)	0	0
	バネ係数k (N/mm)	39250	45420

レベル1地震動の仮定



地盤歪みの算定



管体歪み

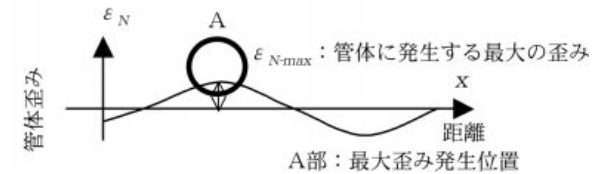


Fig.10 地盤挙動から管体歪みの発生モデル

Occurrence model from ground behavior to pipe strain

方向, 回転は固定とした。解析における荷重方法は Fig.13に示した, ソケット拡径: ソケット拡径シュー (幅200mmの剛体) に与える半径方向の強制変位 (800A: 11.5mm, 300A: 10.4mm), 接合拡径: 接合拡径シュー (半径100mmの剛体) に与える半径方向の強制変位 (800A: 14.7mm, 300A: 8.9mm), 引張または圧縮の軸力荷重: 内管端に与える強制変位, の手順とした。

Fig.14は, 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, 800Aと300Aの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 2. a. (1) で設定した800Aの目標極限耐力を満足する拡径量を見出すため, 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 5

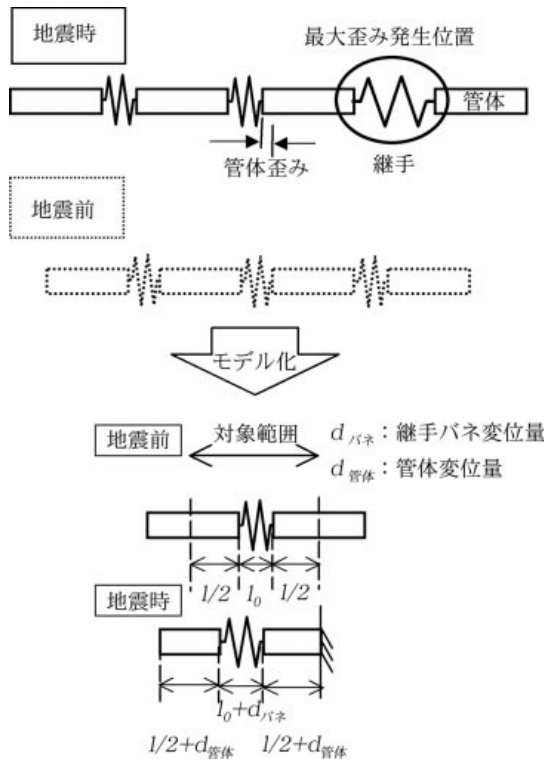


Fig.11 管体歪みの発生モデル  
Occurrence model of pipe strain

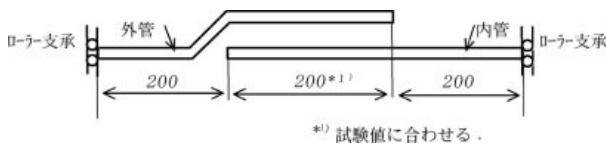


Fig.12 解析の範囲および境界条件  
Domain and boundary condition of analysis

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、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.15 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.16 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.17 は、弾性耐力発生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

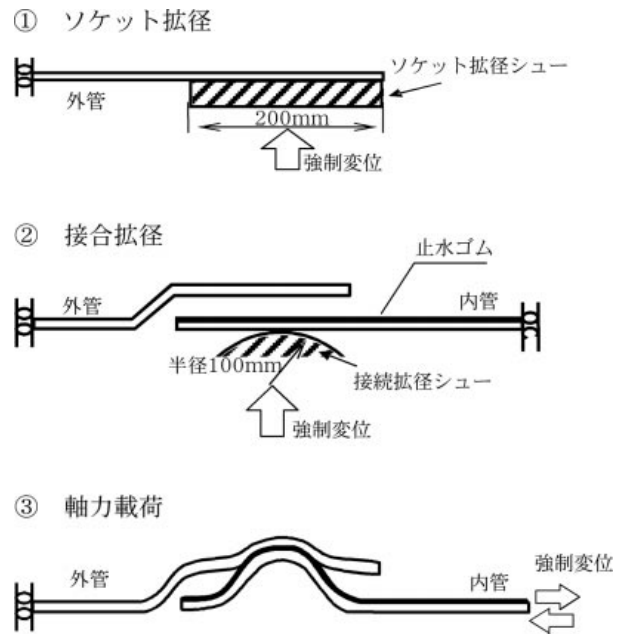


Fig.13 解析における荷重方法  
Loading method in analysis

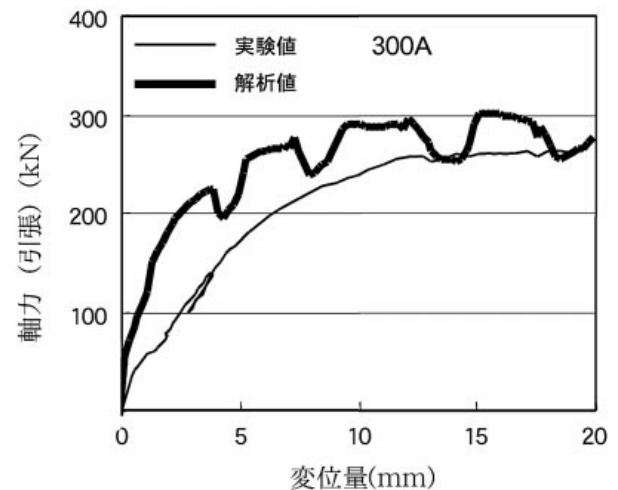
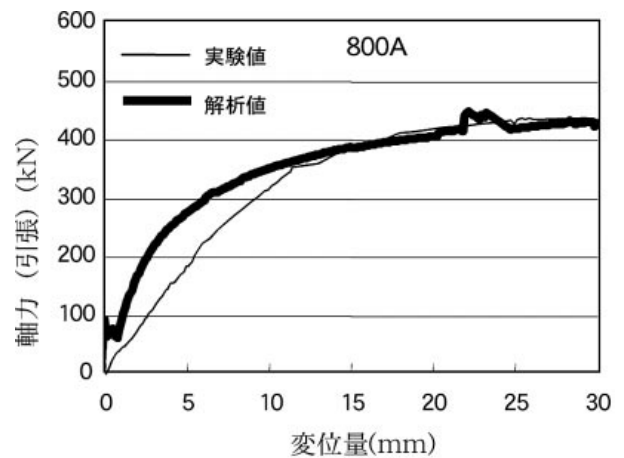


Fig.14 解析結果と予備試験結果の比較  
Results of analysis and pretest

Table 5 耐力評価シミュレーション結果  
Simulation results of strength

	800A解析ケース		
曲がり角度 (°)	22.5	45	90
目標値 (kN)	418	453	948
拡径仕様接合拡径量 (mm)	8	15	35
挿込み量 (mm)	200		300
解析結果 (kN)	245	450	700

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た。

b 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、メーカーに総合評価を依頼したところ、Table 6に示す EPDM, SBR, CR, BR, NBR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。その結果は、Fig.18に示すように、材料種別の耐摩耗性は、SBR, EPDM, CRの順である、硬度については、EPDMとCRは60±5の方が優れるが、SBRは50±5, 60±5がほぼ同等である、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。

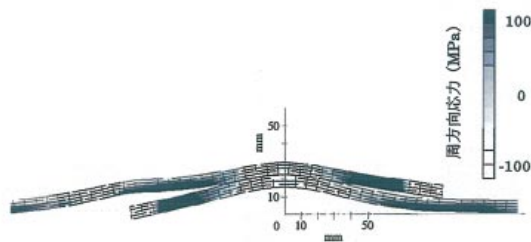


Fig.15 接合拡径後の変形形状および周方向応力分布 (接合拡径量15mm)  
Deformation and circumferential stress distribution after expanding joint

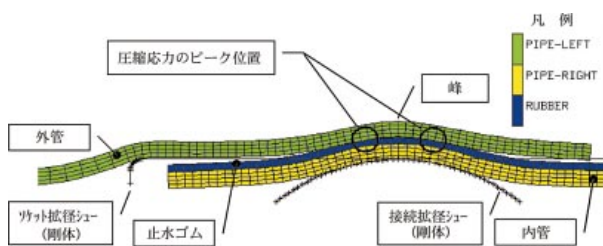


Fig.16 接合拡径模式図  
Typical deformation of expanded joint

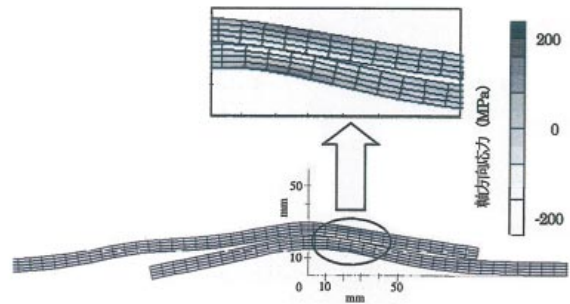


Fig.17 弾性耐力発生時の変形形状および軸方向応力分布  
Deformation and axial stress distribution on elastic stage

Table 6 水道用ゴムメーカーの総合評価  
Synthetic evaluation of rubber manufacturer for water service.

	EPDM	CR	SBR	NBR	BR
耐塩素(耐オゾン)	1	2	3	5	4
耐摩耗性	4	3	1	5	2
乾湿繰り返し	1	5	2	3	4
耐用年数(長期シール性)	1	2	3	4	5
経済性	3	4	1	5	2
流通性	すべて同じ				
メーカーの総合評価	1	3	2	5	4

表内の数字は性能の優劣を示す (1:優 ← → 5:劣)

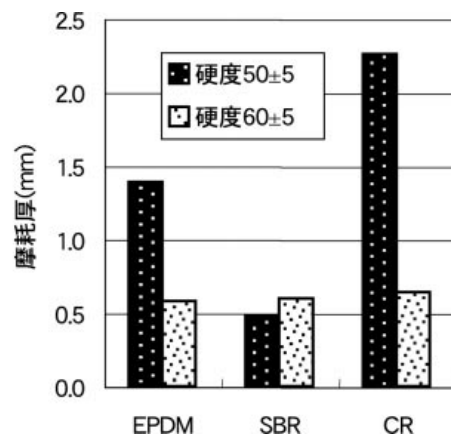


Fig.18 定荷重ウィリアムス摩耗試験 (JIS K 6264) の結果  
Results of abrasion test

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 ( Fig.19に示すC領域の最大値) を止水ゴムに作用させる。 繰り返し加圧試験：Fig.20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 ( Fig.19に示すD点) 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の各水圧段階を5分間維持する水圧負荷を3回繰り返し、漏水の有無を確認する。 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、 1mm厚



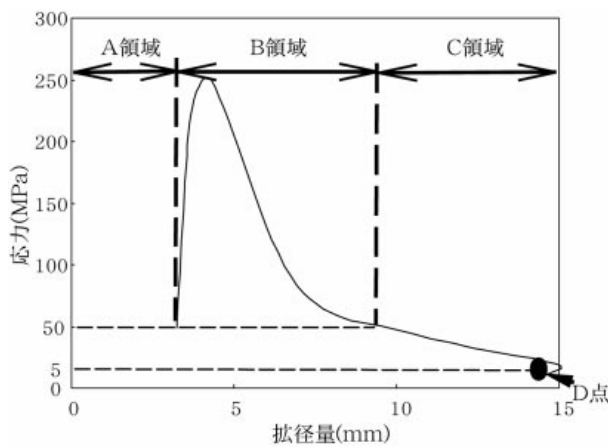
さでは繰り返し水圧負荷により漏水が発生するケースがある、最大耐圧は、1mm厚さは0.8~1.3MPa、3mm厚さは1.2~2.1MPa、6mm厚さは2.6~3.0MPaである、ことが分かった。

以上の結果から、材料の汎用性も考慮し、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。

3 実物大試験による評価

a 実物大試験における供試管仕様

前節 2.(a)で選定した拡張接合の耐力、止水性能を調べるため、800Aの鋼管を用いて実物大試験を行う



A領域：内管と外管が接触していない状態  
 B領域：極微小領域が接触している状態  
 C領域：接触領域が飽和している状態  
 D点：拡張接続後



Fig.19 FEM解析による内管と外管間に作用する応力  
 Stress to act between inside pipe and the outside pipe by F.E.M.analysis

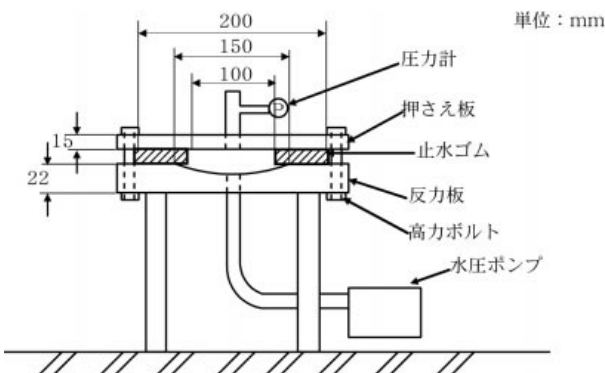


Fig.20 止水試験装置の概要  
 Apparatus of watertight test

Table 7 実物大試験における供試管仕様  
 Material specification and expanding condition of expanded joint in full-scale test

単位：mm

試験種別	ワット 拡張量	挿込 み量	接合 拡張量	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
引張り 载荷試験	(12.1 <sup>1)</sup> ) 12.4	200	(17.5) 18.9	無塗装		3
扁平力 载荷試験	(14.5 <sup>2)</sup> ) 14.5	200	(17.5 <sup>3)</sup> ) 18.1	0.7	0.7	3
曲げ力 载荷試験	(14.5 <sup>2)</sup> ) 15.3	200	(17.5 <sup>3)</sup> ) 18.5	0.7	0.7	3
繰り返し軸 力载荷試験	(14.5 <sup>2)</sup> ) 15.1	200	(17.5 <sup>3)</sup> ) 18.7	0.7	0.7	3

拡張量欄の上段( )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、挿込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。試験種別は、引張り载荷試験、扁平力载荷試験、曲げ力载荷試験、繰り返し軸力载荷試験である。各試験における供試管仕様を、実物大予備試験と対比してTable 7に示す。

b 引張り载荷試験

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载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载荷、40mmを超えた以降は単純増加载荷とした。Fig.21は、荷重と変位量の関係を示したものであり、Fig.22は、継手に作用した軸力と変位量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。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。

c 扁平力载荷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.23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%になるまで载荷した。载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

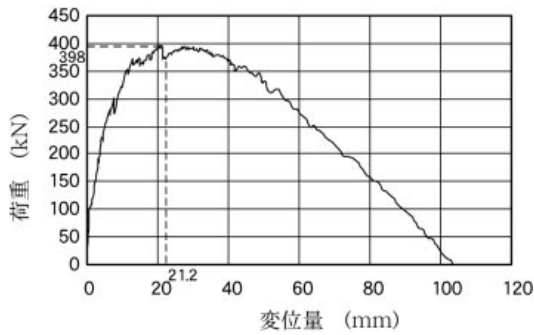


Fig.21 荷重 - 変位量 (引張力載荷試験)  
Relation between load and displacement

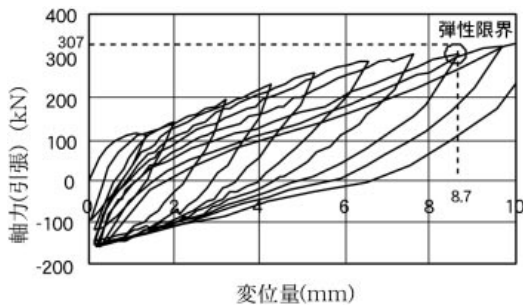


Fig.22 軸力 - 変位量 (引張力載荷試験)  
Relation between axial load and displacement

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.24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。

d 曲げ力載荷における止水性能試験

拡径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.25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。載荷中は内水圧が常に0MPaとなるように開放弁を開いた状態にした。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

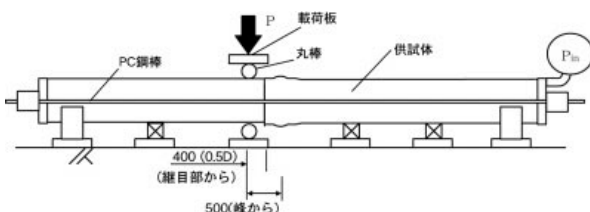


Fig.23 扁平力載荷試験の概要  
Apparatus of compressive loading test

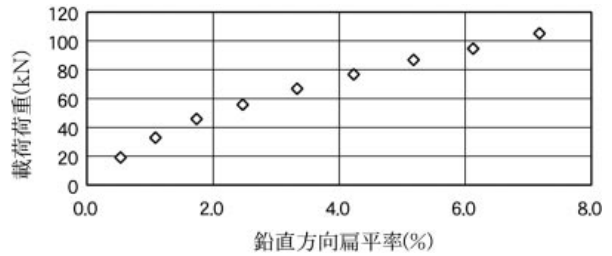


Fig.24 扁平率 - 荷重 (扁平力載荷試験)  
Relation between compression rate and load

分間負荷した。

相対曲げ角度 $2^{\circ}$ 、 $3^{\circ}$ 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 $10^{\circ}$ においても漏水は観察されなかった。なお、拡径接合部に発生した曲げモーメントと相対曲げ角度の関係はFig.26に示したとおりであり、相対曲げ角度 $6.5^{\circ}$ において最大曲げモーメント $144\text{kN}\cdot\text{m}$ が発生した。これは、本拡径接合の曲げ剛性は相対曲げ角度 $1^{\circ}$ レベルにおいて、溶接継手の1/30、ダクトイル鑄鉄管継手の40倍であると試算された。

e 繰り返し軸力載荷における耐力・止水性能試験

拡径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は、2.a.(1)で算出した軸力 $209\text{kN}$ を継手のバネ係数 $39,250\text{N}/\text{mm}$ で除した値

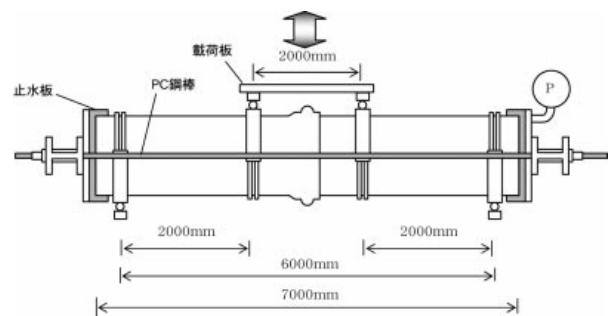


Fig.25 曲げ力載荷試験の概要  
Apparatus of flexural loading test

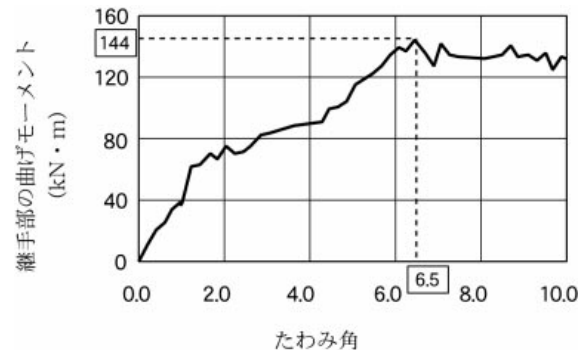


Fig.26 曲げモーメント - 相対曲げ角度 (曲げ力載荷試験)  
Relation between bending moment and relative angle of bend

の5.3mmであり、試験における荷重方法は、荷重中に内水圧が常に0MPaとなるように開放弁を開き、Fig.27に示したように、 $\pm 0.5$ 、 $\pm 1.0$ 、 $\pm 1.5$ 、 $\pm 2.0$ を各々50サイクルずつ荷重し、その後 $\pm 2.5$ と $\pm 3.0$ を1サイクルずつ荷重する変位制御による繰り返し荷重とした。繰り返し回数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、 $\pm 0.5$  から  $\pm 3.0$  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 $\pm 5.3$ 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.28は試験の結果の一例として $\pm 2.0$ 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管、同様の試験方法（ただし、継手変位は $\pm 2.0$ 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。

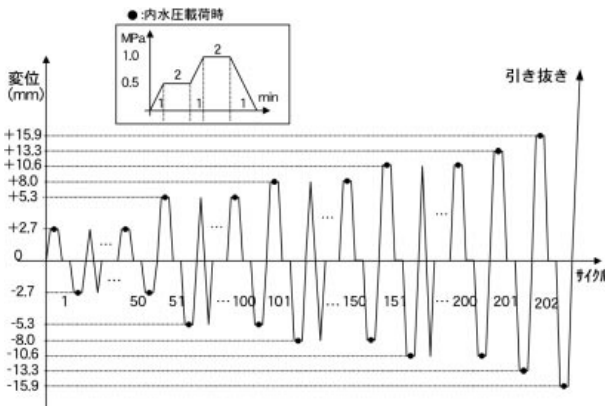


Fig.27 繰り返し軸力荷重の方法  
Cyclic pattern of axial force loading

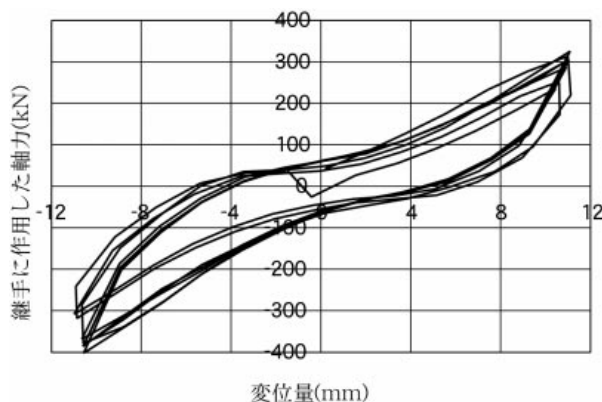


Fig.28 変位量 - 軸力履歴（繰り返し軸力荷重試験）  
Relation between displacement and hysteresis of axial load

#### 4 実証試験

実証試験の概要は後述する 1に示すとおりである。この実証試験で用いた拡張接合法による鋼管継手部の止水性能を確認するために、管布設後にFig.29に示す水圧試験機（以降、テストバンド）を用いて全継手について継目試験を行った。

テストバンドの仕様は、適応口径：1,200A、許容試験水圧：0.5MPa、シール方式：ゴムリング加圧方式、装置寸法：1,125×L1,400、通過可能角度：水平22.5 鉛直11.25、である。

試験方法は土木工事施工管理基準の継目試験（農林水産省構造改善局建設部設計課、1999）のとおり実施し、その手順は、接続拡張後、テストバンドを用いて継手部に試験水圧を5分間負荷する、5分経過後に初期水圧の80%以上を保持できれば合格、であった。また、試験水圧は設計水圧0.05174MPaに余裕を見込んで0.1MPa以上とした。

試験結果はFig.30のとおり、はじめに水圧が一旦下降してからほぼ一定値を示したが、すべての継目において合格基準を満足しており、実証試験においても止水性は保たれることが確認できた。なお、水圧の下降はテストバンドの構造上抜くことのできない空気溜まりの影響と考えられる。

#### 通水性能試験

##### 1 小口径管実験

本実験は、拡張接合継手ならびに溶接継手を用いた供試管における水理学的損失（鋼管の管摩擦損失と継手部

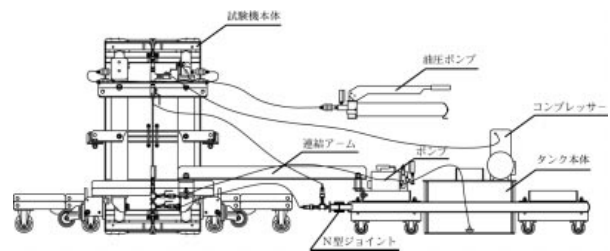


Fig.29 テストバンド概略図  
Apparatus of joint test

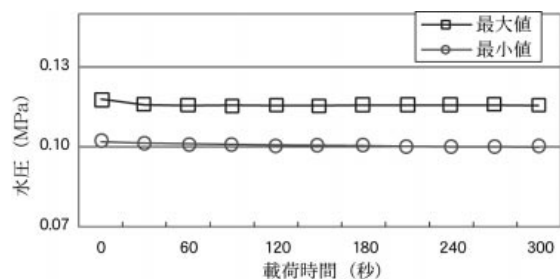


Fig.30 継目試験結果  
Results of joint test

の形状損失との総和)をそれぞれ実測,比較することにより,溶接継手に対する拡径接継手の形状損失の度合いを相対的に評価することを目的とする。

a 実験装置

供試管の概略をFig.31に示す。口径ならびに供試継手を変更する都合上,1本の供試管は,対象となる供試継手の他にフランジ継手2カ所と溶接継手2カ所を含んでいる。実験装置の概要をFig.32に示す。供試管は全9本で,供試管1から供試管9の区間距離は44mである。なお,当該区間の供試継手(溶接継手あるいは拡径継手)は8カ所であるが,前述の通りフランジ継手8カ所と溶接継手16カ所を含んでいる。

b 実験条件

口径は,流送設備ならびに測定機器の能力から,流速が2.0m/sec程度までとなる100A,200A,300Aの3ケースとし,それぞれの口径に対してFig.33に示す3種類の供試継手で,流速を可能な範囲内(概ね1.0~2.0m/sec)で変化させて測定を行った。なお,拡径継手の差込量,拡径量等の各部寸法は,2a(2)において決定した800Aの目標拡径仕様を基本とし,各口径で幾何学的に相似となるように設定した。また,測定項目は,静圧:実験管路最上流の供試管の圧力タップ1点で圧力変換器により静圧を測定,差圧:最上流の圧力タップと各供試管の圧力タップとの差圧を差圧変換器により測定,流速:実験管路最下流に設置する流量堰(全幅堰)ならびに超音波流量計(日本パナメトリクス社PT868型)にて管路を流れる水の流速を測定,水温:流量堰に熱電対を設置し水温を測定,とした。

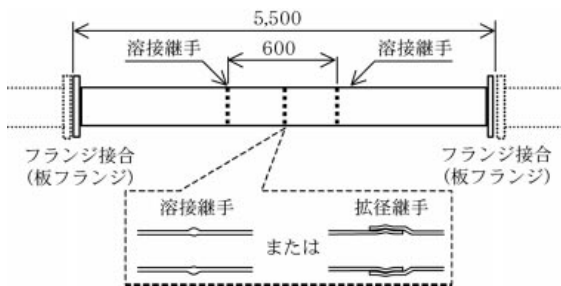


Fig.31 供試管概略図  
Schematic diagram of test pipes

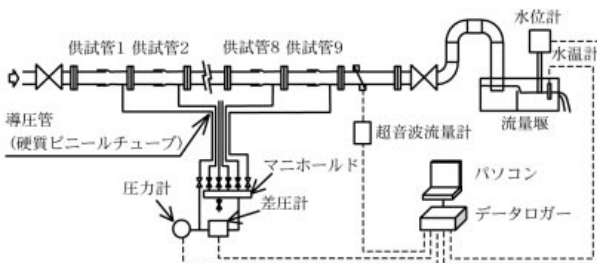


Fig.32 実験装置概略図  
Experimental apparatus

c 実験結果

摩擦損失係数 は差圧測定値を用いて(8)式,流速係数Cは(9)式に示すHazen-Williams式,摩擦損失係数 とレイノルズ数Reの関係を示す理論式は(10)式に示すColebrook-White式により算出した。

$$h_f = \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \tag{8}$$

$$C = \frac{V}{0.355 \cdot D^{0.63} \cdot I^{0.54}} \tag{9}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.74 - 2 \log \left[ \frac{2e}{D} + \frac{18.7}{Re \cdot \sqrt{f}} \right] \tag{10}$$

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \tag{11}$$

ここで,  $h_f$  (mAq): 摩擦損失水頭, (無次元): 管摩擦損失係数,  $L$  (m): 管路の長さ,  $D$  (m): 管の内径,  $V$  (m/sec): 管内流速,  $g$  (9.8m/sec<sup>2</sup>): 重力の加速度,  $C$  (無次元): 流速係数,  $I$  (無次元): 動水勾配,  $e$  (m): 絶対粗度,  $Re$  (無次元): レイノルズ数,  $\nu$  (m<sup>2</sup>/sec): 動粘性係数である。

Fig.34より明らかなように,各口径および各継手に対するレイノルズ数 $Re$ と管摩擦損失係数 との関係は,(10)式により算出した理論曲線と実測値によりプロットした点がよく一致している。このことは,各継手が水理的になめらかな状態と完全に粗い状態との中間の粗滑遷移領域にあるものと判断できる。

また,拡径継手供試管の通水性能は,(12)式に示す溶接継手供試管に対する相対的な通水性能 $Cr$ として評価した。 $Cr$ の値は, $Ce = Cw$ のときは0%,+のときは $Ce > Cw$ , -のときは $Ce < Cw$ ,となる。

$$\text{相対的通水性能} : Cr = \frac{(Ce - Cw)}{Cw} \times 100 \tag{12}$$

ここで,  $Ce$  (無次元)は拡径継手供試管の流速係数,  $Cw$  (無次元)は溶接継手供試管の流速係数である。

Fig.35に各口径の相対的通水性能の結果を示すように,拡径継手供試管の順送と逆送の相違による流水抵抗の差は全口径においてほとんど認められなかった。また,継手方式の相違による流水抵抗の差は,100A供試管では拡径継手供試管の流水抵抗が溶接継手供試管よりも若干大きく,200Aおよび300Aでは拡径継手供試管の流水抵抗が溶接継手供試管よりも約10%程度小さいという

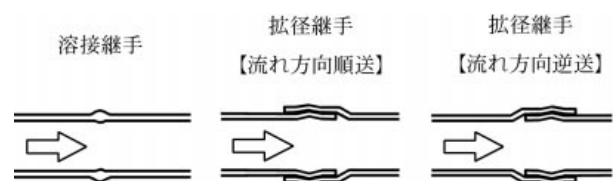


Fig.33 供試継手模式図  
Pipe joint and flow direction

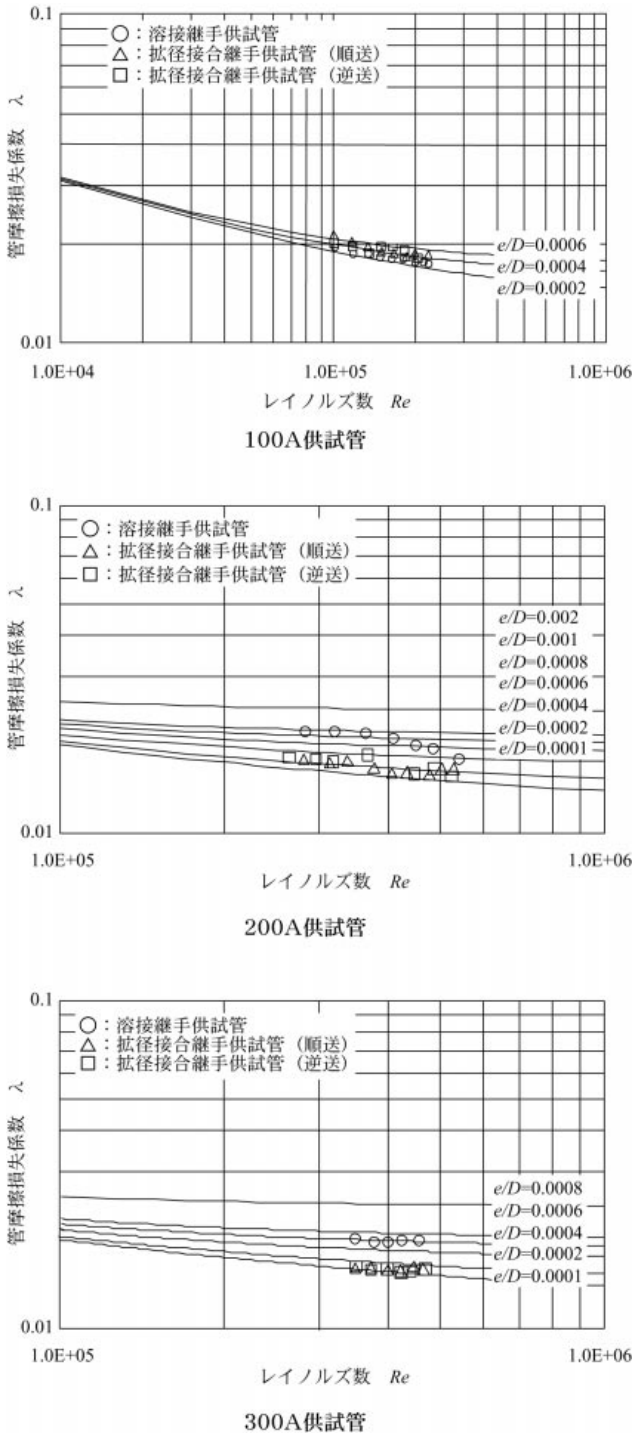


Fig.34 レイノルズ数と管摩擦損失係数  
Friction factor of test pipes

結果になった。このように継手方式の相違により流水抵抗が、各口径で異なる傾向となった一因としては、Table 8に示すように、幾何学的相似により決定した目標寸法と実績値の差が100A供試管は他口径供試管よりも大きい、すなわち凹凸が大きかったことが想定される。

## 2 通水性能の検討

拡径継手ならびに溶接継手の通水性能を既往の公式に

より机上検討し、実験結果と比較した。机上検討では、管摩擦損失を、実験終了後に測定した管内径ならびに継手各部寸法を用い、流速係数を溶接鋼管の基準値 ( $C=130$ ) としてHazen-Williams式により求めた。さらに溶接継手、フランジ継手、ならびに拡径継手による形状損失を求めて合算し、全損失を算出した。継手部における形状損失については、管内面の凹凸をそれぞれ「漸拡」「漸縮」「急拡」「急縮」に分類し、各部での形状損失を算定後、合算した。算定には、以下に示す断面急拡の(13)式、断面急縮の(14)式、断面漸拡の(15)式、断面漸縮の(16)式を用いた。

$$h_{se} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = \frac{v_1^2}{2g} \cdot \left\{ 1 - \left( \frac{A_1}{A_2} \right) \right\}^2$$

$$= f_{se} \cdot \frac{v_1^2}{2g} \quad (13)$$

ここで、 $h_{se}$  (mAq)：急拡による損失水頭、 $v_1$  (m/sec)：急拡前の平均流速、 $v_2$  (m/sec)：急拡後の平均流速、 $A_1, A_2$  (m<sup>2</sup>)：急拡前後の管断面積、である。 $f_{se}$  (無次元)は急拡損失係数であり、急拡前後の直径比 $D_1/D_2$ によりTable 9 (日本水道鋼管協会、1990)のとおりとなる。

$$h_{sc} = \frac{v_2^2}{2g} \cdot \left( \frac{1}{C_C} - 1 \right)^2 = f_{sc} \cdot \frac{v_2^2}{2g} \quad (14)$$

ここで、 $h_{sc}$  (mAq)：急縮による損失水頭、 $v_2$  (m/sec)：急縮後の平均流速、 $C_C$  (無次元)：縮流係数、である。 $f_{sc}$  (無次元)は急縮損失係数であり、急縮前後の直径比 $D_1/D_2$ によりTable 10 (日本水道鋼管協会、1990)のとおりとなる。

$$h_{ge} = f_{ge} \cdot \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = f_{ge} \cdot f_{se} \cdot \frac{v_1^2}{2g} \quad (15)$$

ここで、 $h_{ge}$  (mAq)：漸拡による損失水頭、 $v_1$  (m/sec)：漸拡前の平均流速、 $v_2$  (m/sec)：漸拡後の平均流速、である。 $f_{ge}$  (無次元)は漸拡損失係数であり、Fig.36 (農林水産省構造改善局、1998)による。

$$h_{gc} = f_{gc} \cdot \frac{v_2^2}{2g} \quad (16)$$

ここで、 $h_{gc}$  (mAq)：漸縮による損失水頭、 $v_2$  (m/sec)：漸縮後の平均流速、である。 $f_{gc}$  (無次元)は漸縮損失係数であり、Fig.37 (農林水産省構造改善局、1998)による。

平均流速を2.0m/secとして損失を算出した例をTable 11に示す。

机上検討により求めた換算C値と実験により求めた換算C値の比率とを相対的通水性能 $Cr$ として各口径で比較すると、Fig.38のとおりとなる。

いずれの口径ならびに流速条件でも、実験結果より求めた換算C値は机上検討値を大きく上回る結果となった。これは、机上検討における形状損失の推定式が拡径継手などの微少な内壁面形状の変化に適応するものでな

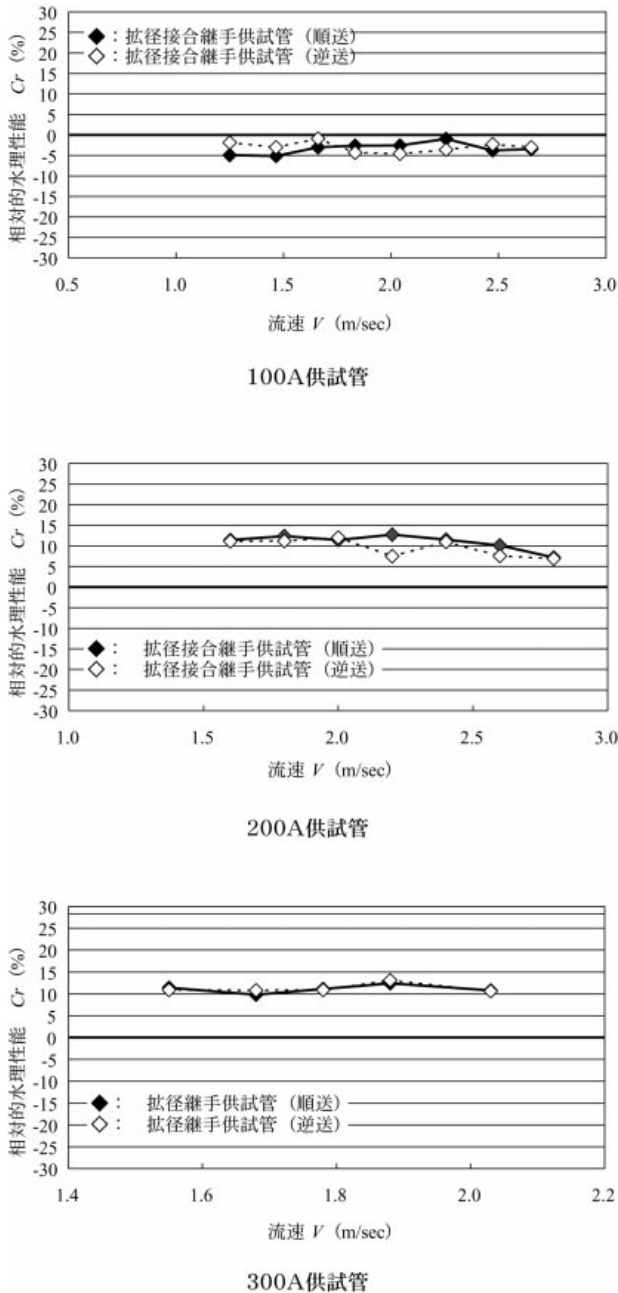


Fig.35 拡径接合継手供試管の相対的通水性能  
Hydraulic performance of test pipes

く、本来は口径変更などの大局的な形状変化に適応するものであり、継手部の形状損失を過大に評価しているためと考えられる。また、机上検討では拡径継手の順送条件と逆送条件とで有意な差が確認されるが、実験結果からは特に有意な差は認められなかった。この結果からも、全損失に占める形状損失の割合が、実際は机上検討よりも小さい、即ち机上検討では形状損失を過大に評価しているものと考えられ、通水性能の評価には実験が不可欠であることが認められた。

3 実証試験

実証試験の概要は後述する 3 に示すとおりである。本試験は、実水路において拡径継手の通水性能を流速係

Table 8 内面寸法測定結果 (各20断面の平均値)  
Internal dimension of test pipes

	100A	200A	300A
A (実績値)	2.1	4.1	5.8
(目標値)	1.9	3.8	5.7
(目標に対する割合%)	109.7	107.5	102.2
B (実績値)	2.7	4.2	4.5
(目標値)	1.5	2.5	3.5
(目標に対する割合%)	181.5	169.0	128.9
L <sub>1</sub>	12.8	22.1	35.6
L <sub>2</sub>	12.8	23.1	38.8
L <sub>3</sub>	12.1	28.0	33.1
内径 D <sub>i</sub>	99.3	200.98	303.25
余盛り高さ H	1.2	1.7	1.9
余盛り幅 L	7.3	7.5	7.9
内径 D <sub>i</sub>	99.3	200.98	303.25

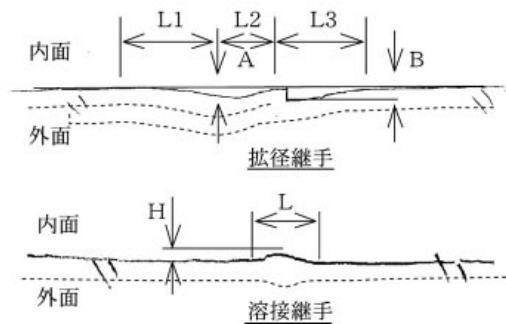


Table 9 急拡損失係数  
Head loss factor of pipeline expansion

D <sub>1</sub> /D <sub>2</sub>	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
f <sub>se</sub>	0.98	0.92	0.82	0.70	0.56	0.41	0.26	0.13	0.04

Table 10 急縮損失係数  
Head loss factor of pipeline contraction

D <sub>1</sub> /D <sub>2</sub>	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
f <sub>sc</sub>	0.50	0.49	0.49	0.46	0.43	0.38	0.29	0.18	0.07

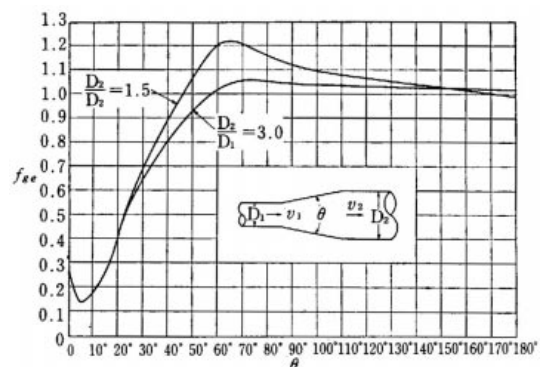


Fig.36 漸拡損失係数 (Gibsonの実験値)  
Head loss factor of pipeline expansion

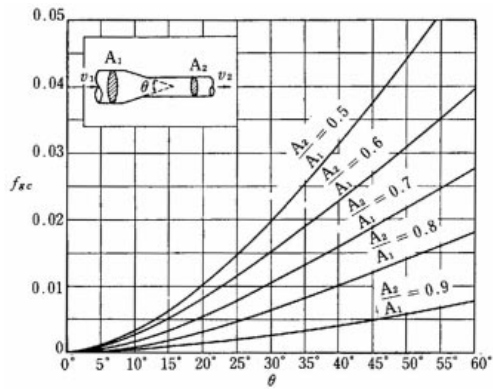


Fig.37 漸縮損失係数 (Gardelの係数)  
Head loss factor of pipeline contraction

数C値を用いて定量的に把握するものである。

a 試験概要

試験管路ならびに試験装置の概要をFig.39に示す。管路の口径は1200A，管路延長は約170mで現地施工継手34カ所をすべて拡径接合法により施工した。なお，流れの向きはすべて順送方向とした。

b 試験結果

試験は非かんがい期の一定流量が得られる時期に実施し，試験流速は，供用流速の約1.3 m/secと，角落とし

Table 11 損失の机上検討結果 (V = 2.0m/secの例)  
Estimated head loss of test pipes (Exp.)

	溶接継手 供試管	拡径継手供試管	
		順送条件	逆送条件
平均流速 (m/s)	2.0	2.0	2.0
管路延長 (m)	44.0	44.0	44.0
フランジ継手数 (カ所)	8	8	8
溶接継手数 (カ所)	24	16	16
拡径継手数 (カ所)	0	8	8
流速係数 (無次元)	130	130	130
<b>100A供試管</b>			
管摩擦損失 (mmAq)	1982	1982	1982
フランジ部形状損失 (mmAq)	209	209	209
溶接継手部形状損失 (mmAq)	193	128	128
拡径継手部形状損失 (mmAq)	0	36	142
全損失 (mmAq)	2384	2355	2461
<b>200A供試管</b>			
管摩擦損失 (mmAq)	869	869	869
フランジ部形状損失 (mmAq)	69	69	69
溶接継手部形状損失 (mmAq)	154	103	103
拡径継手部形状損失 (mmAq)	0	29	118
全損失 (mmAq)	1090	1070	1159
<b>300A供試管</b>			
管摩擦損失 (mmAq)	537	537	537
フランジ部形状損失 (mmAq)	32	32	32
溶接継手部形状損失 (mmAq)	126	84	84
拡径継手部形状損失 (mmAq)	0	21	93
全損失 (mmAq)	695	674	746

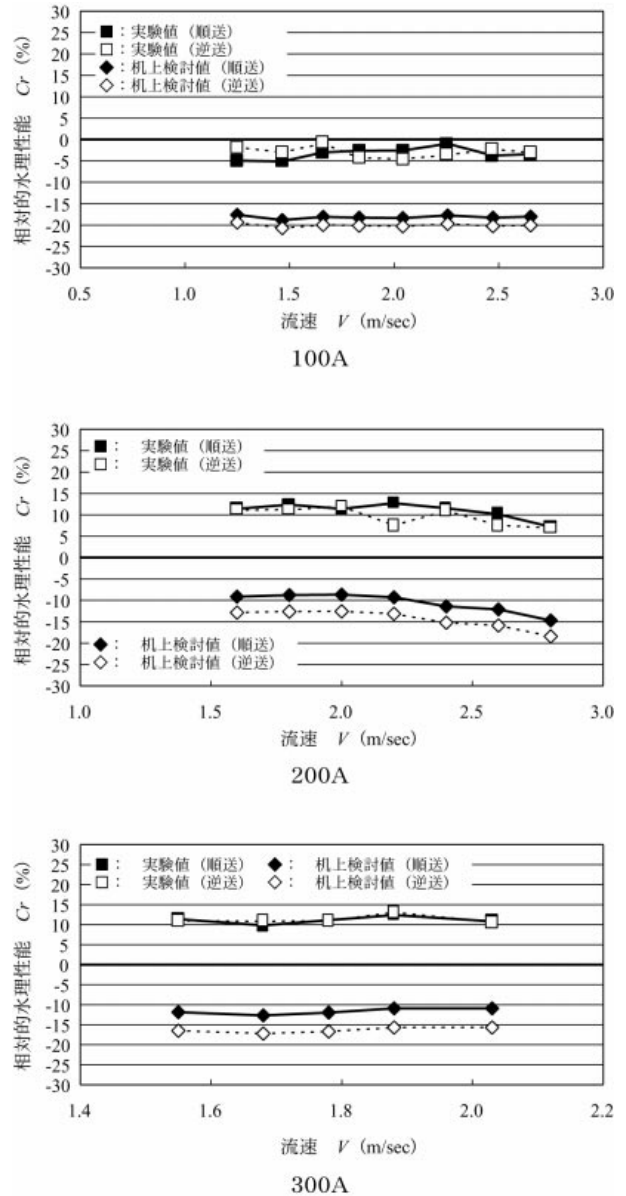


Fig.38 相対的通水性能の実験値と机上検討値の比較  
Comparison of experimental and estimated values

の操作により調整した1.1 m/secの2ケースとした。測定結果より動水勾配を求めると，Fig.40に示す  $l = 0.00083$  ( $V = 1.3$  m/sec),  $0.00060$  ( $V = 1.1$  m/sec) となり，流速係数Cを逆算すると，それぞれ  $C = 150$ ， $154$ となる。管摩擦損失係数 を求めるとFig.41のとおりとなり，本供試ラインはほぼNikradseの式に近く，“水理学的になめらかな管”に近い状態であると言える。したがって，本供試ラインの流速係数は概ね  $C = 150$  となり，設計基準で示す溶接鋼管の基準値  $C = 130$  よりも若干水理抵抗が小さい結果となった。このことは，拡径接合法による鋼管管路の水理計算では，流速係数 (C値) として溶接鋼管の基準値と同じ値 ( $C = 130$ ) を用いれば，少なくとも安全側の水理設計が可能であると考えられる。

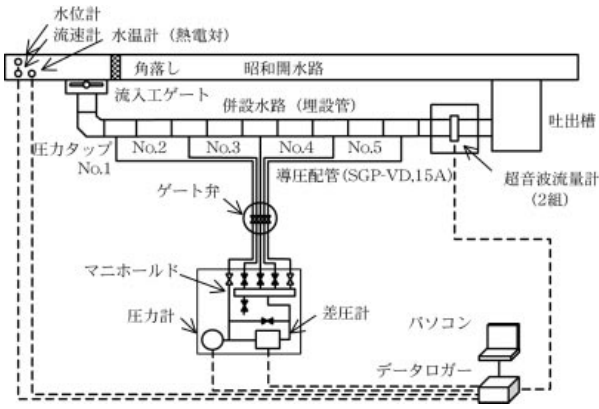


Fig.39 試験実験装置概略図  
Experimental apparatus

防食性能試験

鋼管の塗装および塗覆装は、拡径継手部において曲げに対する追従性、圧縮に対する耐力が必要となる。したがって、拡径後の塗装および塗覆装の防食性能を評価した。

1 塗装・塗覆装の選定

通常使用される内面塗装は、エポキシ樹脂塗装（以降、EP）・タールエポキシ樹脂塗装（以降、TE）・ガラス

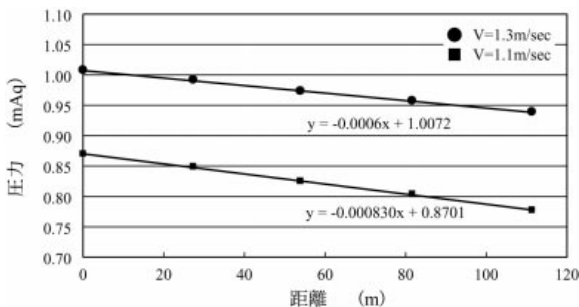


Fig.40 動水勾配  
Experimental head loss

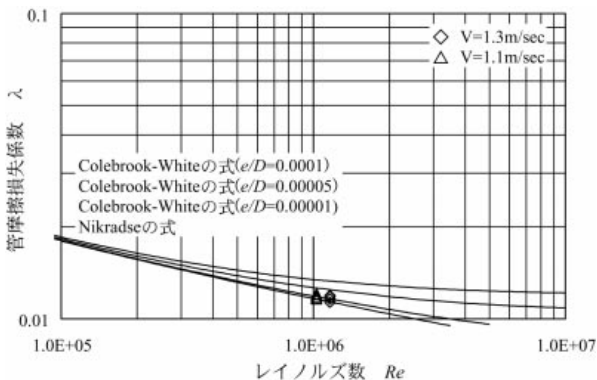


Fig.41 レイノルズ数と管摩擦損失係数  
Friction factor

フレーク配合タールエポキシ樹脂塗装（以降、GF/TE）であるが、TEは水道用の塗装として使用が認められていない、GF/TEは予備試験において塗膜が硬くもろいため、割れや剥離が発生し拡径時に追従しない、ことからTEとGF/TEは検討塗装から除いた。また、外面塗覆装は、ポリウレタン被覆（以降、PU）・ポリエチレン被覆（以降、PE）・アスファルト塗覆装（以降、AV）・コールタールエナメル塗覆装（以降、CE）が通常使用されるが、AVとCEは物性において耐曲げ性および耐圧縮性に劣るため検討塗覆装から除いた。したがって、選定した塗装・塗覆装仕様は、Table 12となった。

2 試験項目

試験項目は、外観、ピンホール、膜厚、絶縁抵抗、付着強度（碁盤目試験、プルオフ法、ピール強度）、海水浸漬、遅れ破壊とした。試験の規格と評価基準は、Table 13に示す。

3 実物大予備試験供試管調査

1 実物大予備試験で使用した800A供試管について防食性能を調査した結果をTable 14に示す。調査結果では、外観およびピンホールの項目で、拡径による接触部の内管外面と外管内面に管端面による傷が見られた。これは極限耐力まで引き抜き、押し込みを繰り返したことによるものと考えられる。したがって、設計上考慮したレベル1地震動では問題ないものと想定できたが、安全のため実施工においては、内管を外管に挿し込む際に管端面で損傷を与えないように管端保護ゴムFig.42を設置することにした。なお、挿し込み完了後、管端保護ゴムは撤去する。

4 長期埋設管供試管調査結果

Fig.43に示した800A埋設管を充水状態で6ヶ月間埋設し、防食性能を調査した。Table 15に示したように異状が認められず、充水状態での長期埋設においても十分な防食性能を有することが明らかになった。

Table 12 塗装・塗覆装仕様  
Specification of coating of test pipes.

( ) は塗装厚

		拡径継手部	拡径継手部以外
内管	内面	EP(0.5mm以上)	
	外面	EP(0.5mm以上)	PUまたはPE (2.0mm以上)
外管	内面	EP(0.5mm以上)	
	外面	PUまたはPE (2.0mm以上)	

なお、製造上の制約によりPEは多量製造時に使用する塗装仕様であり、今回の実験では少量製造となるためPUによる塗装仕様とした。



Table 13 試験方法と評価基準  
Test method and standard for evaluation.

	EP	PU
外観	JWWA K 135	JWWA K 151
ピンホール	JWWA K 135 2~2.5kV	JWWA K 151 10~12kV
膜厚	JWWA K 135 0.3mm以上	JWWA K 151 許容差 - 0.5mm
絶縁抵抗	10 m以上	
碁盤目試験	JWWA K 135 JIS K 5400	-
ブルオフ法	JWWA K 151準用 2.0MPa以上*	JWWA K 151 JIS K 5400 3.0MPa以上
ピール強度	-	-
海水浸漬	実海水に6ヶ月間浸漬し、発錆状況を調べる。	
遅れ破壊	拡径による被膜中の残留応力の影響を調べるため、6ヶ月放置し割れ、剥離等の状況を調べる。	

\*はANSI-N-512に示される1.42MPaに安全を見て2.0MPa以上とした。

Table 14 供試管拡径部調査結果  
Investigative results of test pipes

項目	内管		外管	
	内面	外面	内面	外面
引張载荷	EP	EP	EP	PU
外観			1	
ピンホール			x 1	
膜厚	(0.52mm)	(0.61mm)	(0.52mm)	(2.67mm)
絶縁抵抗				
碁盤目試験				-
ブルオフ法	(2.9MPa)	(3.0MPa)	(2.8MPa)	(4.7MPa)
ピール強度	-	-	-	(56.4N/10mm)
海水浸漬				
遅れ破壊	-	-	-	
圧縮载荷	EP	EP	EP	PU
外観		x 1	x 1	
ピンホール		x 1	x 1	
膜厚	(0.51mm)	(0.60mm)	(0.50mm)	(2.61mm)
絶縁抵抗				-
碁盤目試験				-
ブルオフ法	(2.8MPa)	(2.7MPa)	(3.0MPa)	(5.0MPa)
ピール強度	-	-	-	(53.9N/10mm)
海水浸漬				
遅れ破壊	-	-	-	

備考 :良好, :ほぼ良好, :局部的不良, x:不良

1 引張载荷・圧縮载荷により、強制的に押し込んだためできた管端面による傷

施工性能および品質管理

水資源機構が管理する香川用水の昭和開水路併設水路工事を拡径継手の実証試験工事とし、施工性能の評価および品質確認を行った。

1 実証試験の概要

布設する管路は、昭和開水路の補修用のバイパスである。口径1,200Aの水輸送用塗覆装鋼管で管本数35本、継手数34箇所、流入口から吐出槽までの布設延長168.7mを拡径継手法により施工を行なった。管厚は土被りの相違により、6.0mmおよび7.0mmの箇所があり、曲がり部は、流入口の90°曲がり部を除けば、Fig.44に示すように22.5°が最大となる。この他に現地での1.28°の曲げ配管を行った。その設計概要は、Table 16に示すとおりである。

2 施工性能

班編成を特殊作業員1人、普通作業員3人として、拡径継手34箇所すべてを対象として、作業項目毎の作業時間を計測した結果、サイクルタイムはTable 17に示すとおりである。

a 参考歩掛

1日当たりの稼働時間を7時間とし、サイクルタイムを72分/本とすると、1日当たり標準施工本数は、5.8本/日となる。

したがって、歩掛は

特殊作業員 1人/日 ÷ 5.8本/日 ÷ 0.9 (稼働率)

0.19人/本

普通作業員 3人/日 ÷ 5.8本/日 0.52人/本、となる。

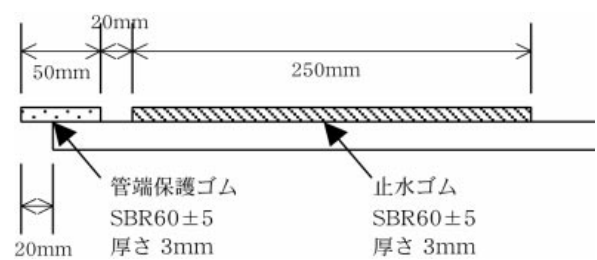


Fig.42 管端保護ゴム  
Pipe end protection rubber.

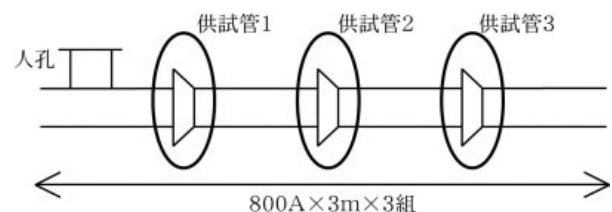


Fig.43 長期埋設管の概要  
Schematic diagram of long-term laying underground pipes

Table 15 供試管拡径部調査結果  
Investigative results of test pipes

試験項目	内管		外管	
	内面	外面	内面	外面
供試管1	EP	EP	EP	PU
外観				
ピンホール				
膜厚	(0.93mm)	(0.76mm)	(0.84mm)	(4.0mm) 1
絶縁抵抗				
碁盤目試験				
ブルオフ法	(3.4MPa)	(2.7MPa)	(2.7MPa)	(4.5MPa)
供試管2	EP	EP	EP	PU
外観				
ピンホール				
膜厚	(0.93mm)	(0.98mm)	(0.84mm)	(4.69mm) 1
絶縁抵抗				
碁盤目試験				
ブルオフ法	(3.0MPa)	(2.1MPa)	(3.0MPa)	(3.1MPa)
供試管3	EP	EP	EP	PU
外観				
ピンホール				
膜厚	(0.78mm)	(0.88mm)	(0.91mm)	(4.64mm) 1
絶縁抵抗				
碁盤目試験				
ブルオフ法	(2.9MPa)	(2.7MPa)	(2.6MPa)	(3.8MPa)

備考 :良好, :ほぼ良好, :局部的不良, x:不良

1 外管外面の塗覆装厚は熱収縮シートの膜厚も含む。

なお、新工法であることから特殊作業員に稼働率0.9を適用し、普通作業員は他作業との兼用が可能であることから稼働率は適用しないことにした。

b 施工時間の比較

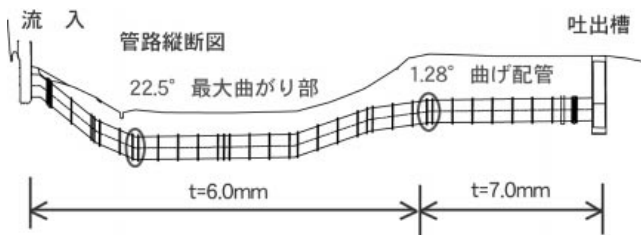


Fig.44 実験概要図  
Longitudinal section of pipeline

Table 16 設計概要  
Design condition

口径	1,200A
設計流量	2.2m <sup>3</sup> /sec
設計水圧	0.05174MPa
管路延長	168.653m
拡径継手箇所	34箇所

全継手34箇所を拡径方式と溶接方式で施工時間を比較した。溶接方式は、溶接工2人で作業を行ったとしてサイクルタイム330分と設定し、1日当たり標準施工本数を1.27本とした。したがって、全継手の施工日数は、34継手÷1.27本/日 27日、となった。

一方、拡径方式は、

34継手÷5.8本/日÷0.9(稼働率) 7日、となった。

Fig.45に示す施工時間比較から、拡径方式は溶接方式に比べて約1/3に施工日数を短縮できることが明らかになった。

c 工事費用の比較

設定した歩掛をもとに溶接方式と拡径方式で直接工事費用の比較を行った。結果はFig.46に示すように、拡径方式は溶接方式に比較して材料費、塗装費で若干コスト高になるものの、布設費、接合費で大幅にコスト縮減でき、直接工事費全体で12%のコスト縮減となった。

3 品質管理

品質管理項目として、峰周長、挿込み量、たわみ量の測定を行った。

a 峰周長の測定

接合拡径量は、管継手としての構造および止水性能を保持するための管理項目である。ここでは、接合拡径量の施工管理を峰周長の測定によって行うこととした。これは、峰周長の測定対象となるソケット拡径部の外径は、工場でソケット拡径装置により精度良く拡径され、ほぼ設計値どおりとなる、現場における拡径接合は、

Table 17 作業時間計測結果  
Time required for every piping process

単位：分

計測項目	平均作業時間
配管位置調整	7
拡径装置挿入	4
拡径装置位置合せ	5
テフロンシート取付	5
真円保持拡径	
止水・管端保護ゴム取付	3
新管吊卸し	15
新管挿込み	22
接続拡径	5
周長測定	3
挿込み量測定	1
縮径	2
拡径装置移動・取出し	5
サイクル時間平均	72

接続拡径後の周長測定から拡径装置移動・取出しまでの作業が重複するため、合計時間から周長測定と挿込み量計測の時間を差し引いた時間をサイクル時間平均とした。

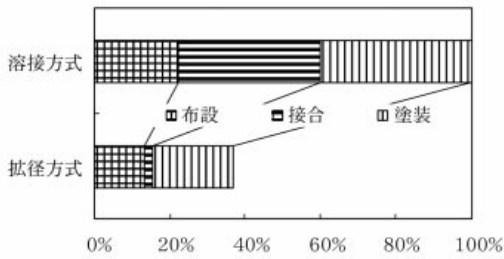


Fig.45 継手方式別施工時間の比較  
Comparison of execution time.

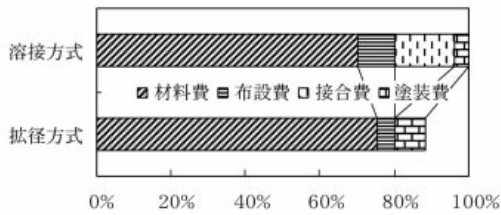


Fig.46 継手方式別工事費用の比較  
Comparison of execution cost

峰周長の設計値  $\{ \text{内管の外径} + 2 \times (\text{内管塗装厚} + \text{止水ゴム厚} + \text{外管塗装厚} + \text{外管管厚} + \text{接合拡径量}) \} \times \pi$  を目標とし、拡径装置を制御する、の施工方法から決定したものである。測定は、Fig.47の拡径継手部の峰中央を全周にわたって測定する。また、峰周長は管厚によって異なることから、管厚6.0mmでは4,032mm ± 19mm、管厚7.0mmでは4,037mm ± 19mmとした。Fig.48の測定結果から、拡径後の峰周長は許容値 ( ± 19mm ) の40%以内に収まっていることが確認できる。

b 挿込み量の測定

挿込み量は、管継手としての必要な軸耐力を得るための管理項目である。測定は、Fig.49の挿込み量を円周方向45°ごとに8点について、外管の管端から規定の位置にマーキングした白線と内管の端部との距離を測定した。Fig.50に示した接続拡径後の測定結果から、挿込み量が規格値の300mm ± 25mm内に収まっていることが確認できる。

c たわみ量の測定

たわみ量は、土木工事施工管理基準（農林水産省構造改善局建設部設計課，1999）の規格値である管中心半径の5%以内に収まっているかどうか確認を行った。測定位置は、Fig.51に示した垂直・水平方向とし、布設後、

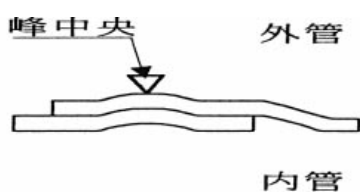


Fig.47 峰周長の測定位置  
Measurement position.

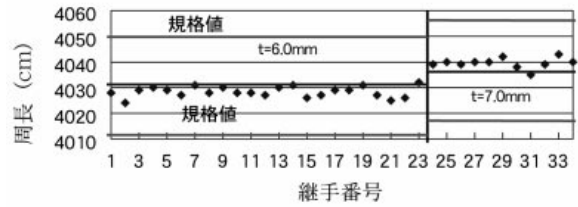


Fig.48 峰周長の測定結果  
Measurement result.

埋戻し半ば、埋戻し完了後、通水後の計4回行った。

Fig.52に示したように「布設後」から「埋戻し半ば」の間に、自重により偏平していた管体が、逆に縦長の楕円に変形する傾向にある。これは、管側を埋戻す際の側土圧による影響であり、とう性管に一般的に見られる挙動である。「埋戻し半ば」から「埋戻し完了後」の間では、鉛直土圧が作用することにより再び偏平化する傾向にあるが、当初に縦長変形量大きい管では埋戻し完了後も縦長の形状となっている。「埋戻し完了後」から「通水後」間でも、変形量は小さいものの概ね偏平化する傾向が見られる。しかし、いずれの場合も規格値を満足している。

結言

鋼の延性・韌性およびゴムの弾性を活用した鋼管の拡径接合法による継手部の止水性能、通水性能、防食性能、施工性能および品質について評価を行った。それらの結果は、以下のとおりである。

止水性能については、800Aと一部300Aの実物大供試管を用いて室内試験を行った。その結果、800Aの

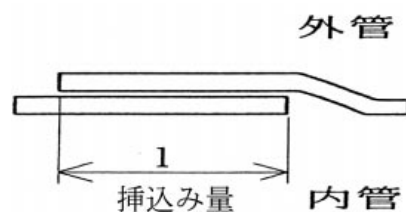


Fig.49 挿込み量の測定位置  
Measurement position.

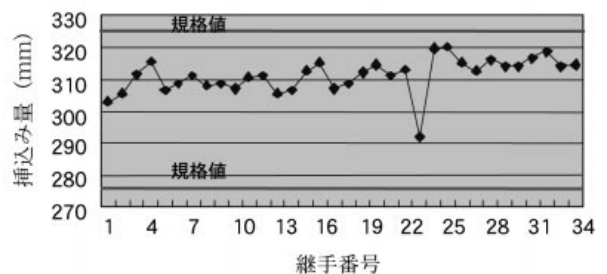


Fig.50 挿込み量の測定結果  
Measurement result.

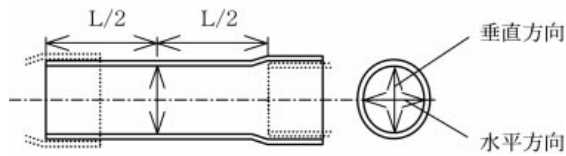


Fig.51 たわみ量の測定位置  
Measurement position.

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倍となる繰り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ことが確認できた。また、実証試験において継目試験を行い止水性能を確認できた。

通水性能については、小口径および実証試験において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、溶接継手と同等の通水性能を有すること、また、流速係数Cは鋼管の溶接継手と同様の130で算定しても問題ないことが明らかになった。

防食性能については、塗装・塗覆装が拡張時においても十分追随し、充水状態で長期埋設しても防食性能を有することを確認できた。

施工性能については、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、施工費用が12%減となることが明らかになった。また、品質管理結果については、峰周長、挿込み量、たわみ量の測定を行い、規格値内に収まっていることを確認できた。

なお、本研究開発は農林水産省の官民連携新技術研究開発事業の採択を受け、平成11年度から平成14年度までの4年間に農業工学研究所（施設機能研究室・水路工水理研究室）と新技術研究開発組合（民間3社）とが共同で実施したものである。また、共著者の川口は実物大構造実験の実施を、松嶋は小口径水理実験の実施を、作本は防食性能試験の実施をそれぞれ担当した。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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,

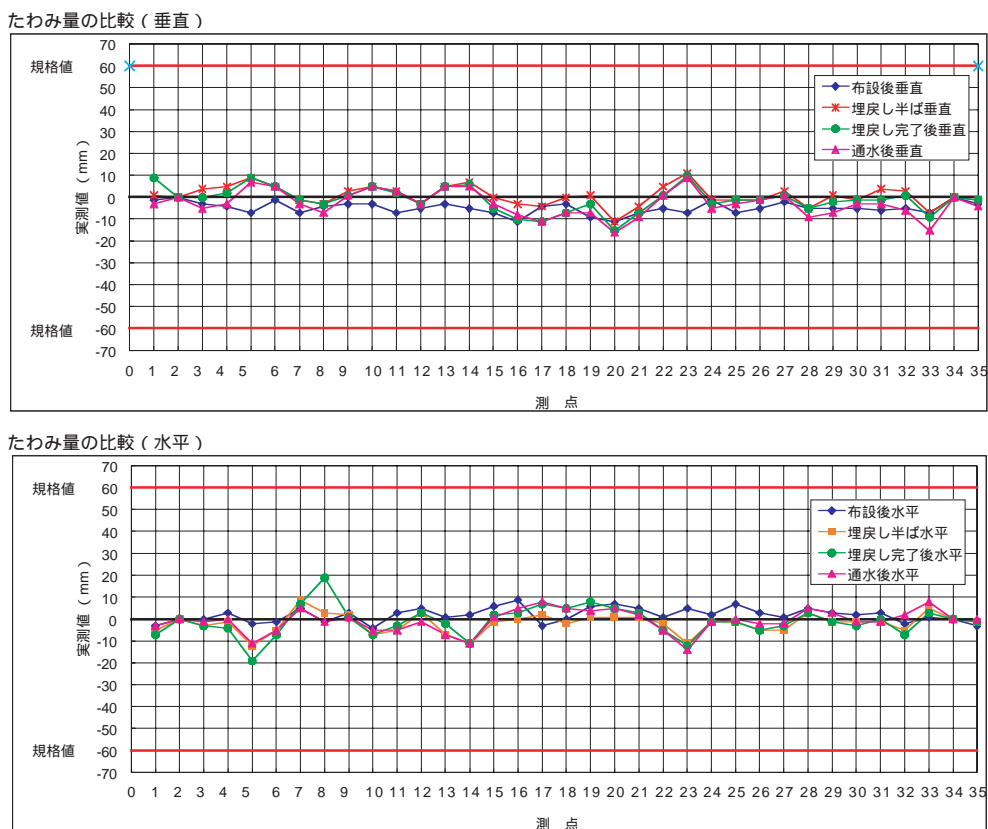


Fig.52 たわみ量の測定結果  
Measurement result.

- 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集，6，  
p.340-341.
- 3) 松嶋茂之，今井俊雄，田中良和，中 達雄  
(2004)：拡径接合工法による鋼管継手部の水理性能の評価，農業土木学会論文集，232，p.83-88.
- 4) 長束 勇，石村英明，渡嘉敷勝，森充広，川口周作，  
羽上田裕章(2004)：拡径接合工法による鋼管継手部の耐力と止水性能の評価，農業土木学会論文集，  
230，p.115-122.
- 5) 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)：鋼管の拡径接合継手構造，特願  
2002-58436.
- 6) 日本水道鋼管協会(1990)：水道用鋼管ハンドブ  
ック，p.72.
- 7) 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.168-174，p.179-181，  
p.319-320.
- 8) 社団法人日本ガス協会(1982)：ガス導管耐震設  
計指針，p.31.
- 9) 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.
- 10) 社団法人農業土木事業協会(1999)：土木工事施  
工管理基準，p.152-153.

## Performance of Expanded Steel Pipe Joints

ISHIMURA Hideaki, NATSUKA Isamu, TOKASHIKI Masaru, MORI Mitsuhiro,  
TANAKA Yoshikazu, NAKA Tatsuo, KAWAGUCHI Shusaku,  
MATSUSHIMA Shigeyuki, and SAKUMOTO Toshikazu

### Summary

An expanded steel pipe joint method, which applies the ductility and tenacity of steel and the elasticity of rubber, was evaluated for quality control and performances of still water, hydraulics, anticorrosion and operations.

The results of the watertight performance using full-scale steel pipes 800 mm in nominal diameter were as follows: (1) the expanded joint withstood both thrust force with a bent pipe angle of 45 degrees and level 1 earthquake motions, (2) the watertight performance was more than 1.0 MPa with a compression loading rate of 7 %, flexural loading at an angle of 10 degrees and cyclic axial loading twice the seismic displacement. In addition, the watertight performance was more than 0.1 MPa in the practical test using steel pipe 1200 mm in nominal diameter.

In small caliber and practical tests, equal hydraulic performances were observed when the insertion of the inside pipe was in both the upper and lower reaches direction. The coefficient of velocity "C" of the expanded joint was also shown to be equal to the weld joint of the steel pipe.

A coating of the expanded joint maintained an anticorrosive performance for a long time even under flooding conditions.

As for the expanded steel pipe joint method, execution time was reduced to about 1/3 and execution costs decreased 12% in comparison to welded joints as seen in the practical tests. As for quality control, the perimeter of peak, length of insertion and deflection were confirmed to be standard values.

**Keywords :** steel pipe , expanded joint , watertight performance , hydraulic performance , anticorrosive performance , operational performance