

論文 膨張モルタルを併用した鋼管拡幅継手工法の開発に関する研究

高崎 憲太郎*1・出光 隆*2・山崎 竹博*3・羽上田 裕章*4

要旨：一般に水圧を受ける鋼管の接合には、溶接やボルトの締付け圧力を利用した継手が用いられている。これらの継手工法では現場環境によって施工の難易度が異なり、施工性に影響を受け易い。そこで作業環境に影響を受けにくい工法として膨張モルタルを用いた無溶接継手工法を検討してきた。本研究では更に継手の耐力向上、急速施工等を目的として、鋼管を重ね合わせた状態で重複部を円周方向に拡幅し、その機械的接触力で接合する工法と、それに加えて外鋼管のみを拡幅して隙間部を設け、そこに膨張モルタルを注入する鋼管拡幅継手工法についても検討した。

キーワード：鋼管継手、無溶接継手、膨張モルタル、止水性、鋼管拡幅

1. はじめに

近年、都市の生活基盤として各種用途のパイプラインが普及し、地震時のライフライン保全の観点からその力学的特性や施工法の改善などが検討されている。一般に鋼管の接合には溶接やボルト連結などの工法が用いられている。しかし溶接工法では熟練技能者や機器を要し、現場での電力やガスの供給、施工空間の確保、天候などによって施工性に影響を受け易い。またボルト工法では継手部の加工やねじ部の保護、気密性の確保などの労を要する。そこで、作業環境に影響を受けにくい無溶接継手工法として、膨張モルタルを注入した継手工法²⁾に加えて、鋼管を拡幅させ機械的接触力で接合させる鋼管拡幅継手工法を検討した。

膨張モルタルの化学反応は現場での温度に左右され易く高温の時に高い膨張圧力が発生することがある。このような場合でも外鋼管の降伏によって本管の座屈を回避できるよう設計した。

2. 鋼管拡幅継手工法

鋼管拡幅継手工法は重ね合わせた鋼管を円周方向に拡幅し、内鋼管と外鋼管との機械的接触力によって外力に抵抗させる工法である。その気密性と摩擦力を加える方法として、外鋼管のみを拡幅し、内鋼管との隙間部に膨張モルタルを注入硬化させた。

このような継手では、継手部の耐力が拡幅部の機械的接触力及び膨張モルタルと鋼管との摩擦力に依存するため、地震時の過大な荷重や変形に対して継手部の伸縮で対応できる。

本定着工法の概略を図-1に示す。拡幅状況は写真-1のように拡幅球根を所定の位置まで移動させ、球根片をくさびの原理で広げた。

本工法では、種々の管厚や管径および2つの拡幅部で所要の機械的接触力および膨張圧に伴う摩擦力を得ることが重要である。機械的接触力および摩擦力はモルタルの膨張性および鋼管の拡幅量に影響を受ける。

そこでまずモルタル注入間隙と膨張圧の関係、鋼管拡幅量と機械的接触力との関係を調べるため、図-2, 3に示す1ヶ所のみ継手を設けた

*1 九州工業大学大学院 工学研究科設計生産工学専攻 (正会員)

*2 九州工業大学教授 工学部建設社会工学科 工博 (正会員)

*3 九州工業大学助教授 工学部建設社会工学科 工博 (正会員)

*4 新日本製鐵(株) エンジニアリング事業本部開発推進部構造開発グループ (非会員)

単独継手を作製し、拡幅量の相違による膨張圧特性と軸方向耐力を調べた。その結果をもとに両継手を併用した併用継手の供試体を作製し、膨張圧特性と軸方向耐力を実験的に検討した。またゲージ添付状況を図-2, 3に同時に示す。

3. 実験概要

3.1 供試体の種類

本実験で使用する外鋼管と内鋼管を表-1に示す。また、鋼管拡幅量はそれぞれ5, 10, 15mmとした。

3.2 膨張モルタルの配合

膨張モルタルは水、膨張材、無収縮グラウト材からなる。膨張圧を一定に保ち、高い流動性を確保するため、膨張モルタルには始発時間20分程度の無収縮グラウト材と石灰系膨張材とを混合して用いた。表-2に示す膨張モルタルの配合は、外鋼管が降伏しない程度の膨張圧(10N/mm²程度)が得られるように定めた。ただし、施工性を改善するため無収縮グラウト材は粗粒子を1.2mmフルイで除去した。また膨張材率 E_p (vol.%)は膨張モルタル全容積に対する膨張材の容積を百分率で表している。また水比 W/Ms (wt.%)は膨張材(密度:3.21g/cm³)と無収縮グラウト材(密度:2.88g/cm³)を加えたモルタル固形分に対する水の重量比である。

表-1 供試体種類

	外鋼管	内鋼管
内径 (mm)	116.3	105.3
外径 (mm)	124.5	114.3
板厚 (mm)	4.1	4.5
長さ (mm)	250	310
材質	STKM-13A	SGP
ポアソン比	0.3	0.3
弾性計数	2.1E6	2.1E6
降伏応力 (kgf/cm ²)	2812	3142
隙間 (mm)	1.0 mm (片側)	

表-2 実験配合

膨張材率 E_p (vol.%)	水比 W/Ms (wt.%)	膨張材 E(g)	水 W(g)	無収縮グラウト材 G(g)
24	22.4	321	370	1328

軸方向耐力=機械的接触力+モルタルの摩擦力

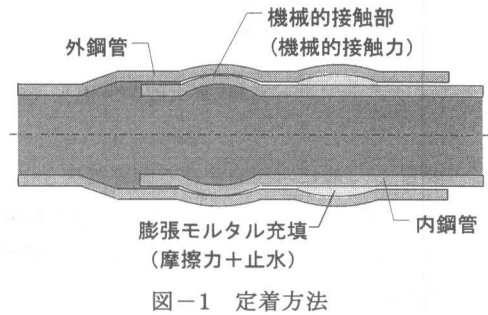


図-1 定着方法

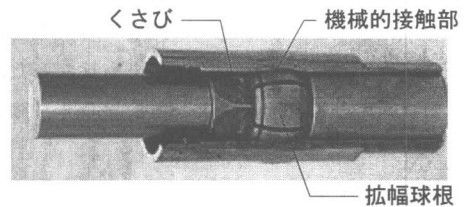


写真-1 鋼管拡幅状況

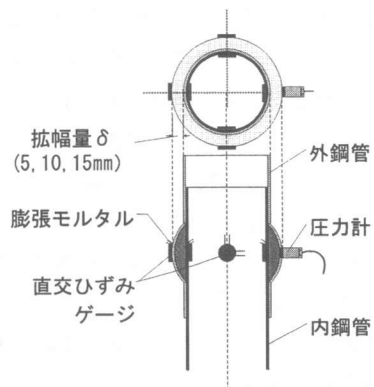


図-2 膨張モルタル注入継手

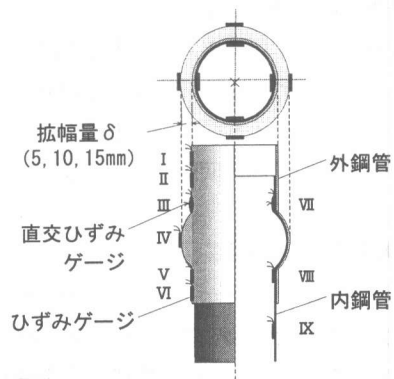


図-3 機械的接触継手

3.3 膨張圧の測定

膨張圧は圧力計及び図-2の位置に添付したゲージの測定値から式(1), (2)に示す厚肉円筒理論を用いて算出した¹⁾。

外管法は外鋼管の、内管法は内鋼管の円周および軸方向ひずみを用いて膨張圧を算出する方法である。

$$(外管法) \quad P = \frac{E_S \cdot (K^2 - 1)}{2 \cdot (1 - \nu_S^2)} (\epsilon_\theta + \nu_S \cdot \epsilon_z) \quad (1)$$

$$(内管法) \quad P = -\frac{E_S \cdot (K^2 - 1)}{2 \cdot (1 - \nu_S^2) \cdot K^2} (\epsilon_\theta + \nu_S \cdot \epsilon_z) \quad (2)$$

ここに P: 膨張圧(MPa)

E_S : 鋼管の弾性係数 = 2.1×10^6 (MPa)

ν_S : 鋼管のポアソン比 = 0.3

K: 鋼管の内外径比(外径/内径)

ϵ_θ : 円周方向ひずみ

ϵ_z : 軸方向ひずみ

膨張モルタルは膨張材と無収縮グラウト材を空練りした後、水を加えてハンドミキサーで90秒間十分に練り混ぜた。図-4に膨張モルタル注入方法を示す。内鋼管と外鋼管の接触部はモルタルの漏れを防ぐために隙間テープで防ぎ、隙間下部の注入口から約2mのヘッドで注入した。なお供試体は気温20℃の室内で養生した。

3.4 押抜き試験

膨張モルタル注入継手供試体および機械的接触継手供試体の軸方向耐力を調べるため、最も危険な座屈破壊に対し、図-5に示す要領で押抜き試験を実施した。前者については膨張圧を測定した後、材齢10~14日で押抜き試験を実施した。

4. 実験結果および考察

4.1 拡幅量と膨張圧

拡幅量と膨張圧の関係を調べるため、表-2の配合を用いて、それぞれ拡幅量5, 10, 15mmの供試体における膨張圧を測定した。膨張圧の測定値は、半球状に加工した外鋼管のひずみ値から算出した場合、面外曲げひずみが生じ不安定な値となることが判った。そこで膨張圧を内

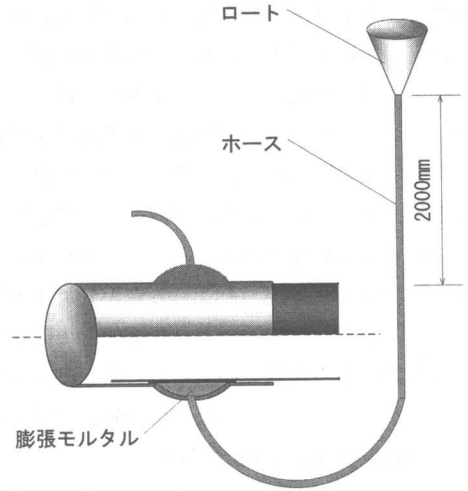


図-4 膨張モルタル注入方法

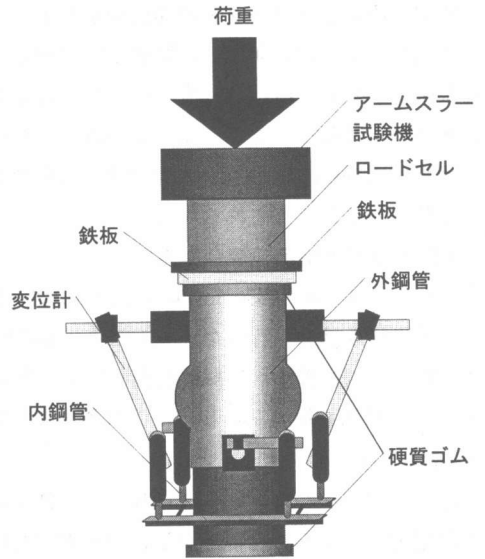


図-5 押抜き試験

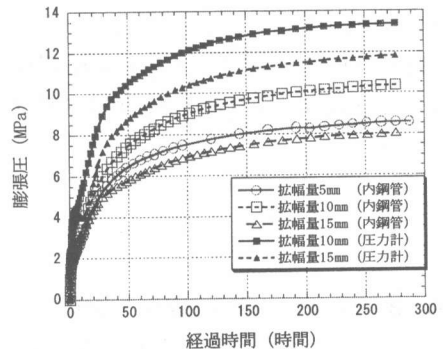


図-6 膨張圧の経時変化

鋼管ひずみ及び圧力計の値から測定した。その結果を図-6に示す。同図では圧力計で測定した膨張圧は、拡幅量によらず 10 N/mm^2 以上であることが判った。しかし式(2)による内管法では、内鋼管の全表面に圧力が作用する場合の値が計算され、本供試体のように内鋼管の一部分に圧力が作用する場合には圧力計の値より小さい値を示す結果となった。そこであらかじめ圧力計による膨張圧と内管法による膨張圧との関係を求めれば以後、内鋼管ひずみから膨張圧を求めることが可能になる。ちなみに内管法の値と圧力計の値の比は $1 : 1.3$ であった。

継手の耐力向上の他に膨張モルタルの注入効果として止水作用があげられる。

既報の直管とスリーブとの間に膨張モルタルを使用した継手部の曲げ漏水試験では 7 MPa の膨張圧に対して、曲げ角 2 度、水圧 2 MPa 下で漏水は見られなかった²⁾。本工法ではモルタルの膨張圧は $8 \sim 13 \text{ MPa}$ となっており、止水効果は十分であると考えられる。

4.2 膨張圧と継手の接合耐力

材齢 $10 \sim 14$ 日で膨張圧が安定した後、図-5に示す押抜き試験を行った。その結果、継手耐力と膨張圧(内管法)の関係を図-7に、荷重と変位の関係を拡幅量の相違ごとに図-8~図-10にそれぞれ示す。

図-7の関係から、膨張圧増加に伴い継手耐力が増加していることが分かる。その中でも特に拡幅量 10 mm の供試体は膨張圧・継手耐力共に高くなった。そのため本供試体の例では拡幅量 10 mm 程度が適しているといえる。

今膨張モルタル注入長さを l_m とすれば管の摩擦係数 μ は式(3)のように表され平均値は 0.32 となった。

$$\mu = \frac{\text{荷重}}{l_m \cdot P \cdot \pi \cdot D} \quad (3)$$

図-8~図-10の荷重と変位の関係から、一度すべりが生じた後も荷重は 0 とならず、約 40 kN の耐力を有していることが判る。

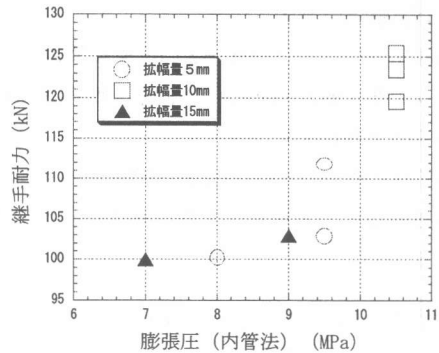


図-7 継手耐力と膨張圧の関係

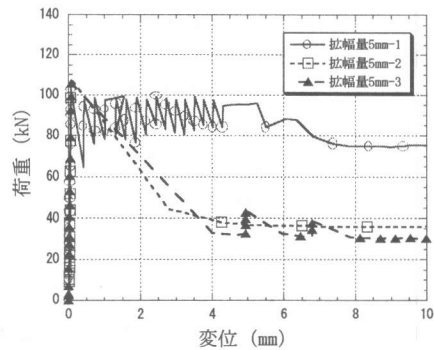


図-8 荷重と変位の関係 (拡幅量 5 mm)

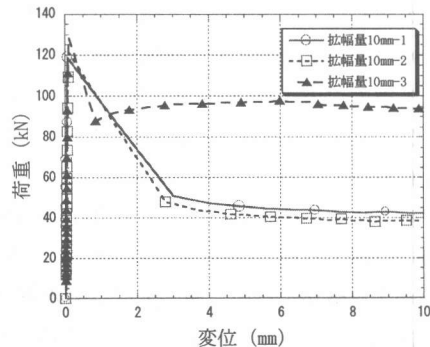


図-9 荷重と変位の関係 (拡幅量 10 mm)

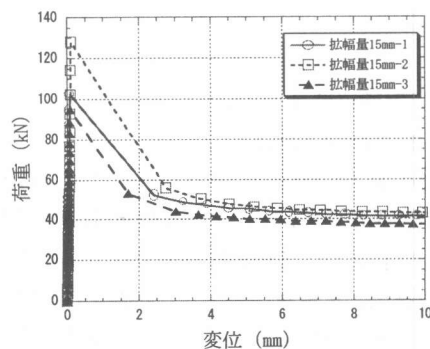


図-10 荷重と変位の関係 (拡幅量 15 mm)

4.3 膨張モルタル注入継手部の軸力伝達状態

膨張モルタル注入継手部の軸力伝達状態を測定するため、図-3 のゲージ添付位置における荷重ごとのひずみ分布を測定し、継手に作用する軸力を求めた。その中から拡幅量 10 mm の例を図-11 に示す。同図より外鋼管から内鋼管へ軸力はスムーズに伝達されていると考えられる。

4.4 拡幅量と機械的接触継手部の接合耐力

機械的接触継手部の押抜き試験結果より得られた荷重と変位の関係を図-12 に示す。同図から継手部の最初の変位はある荷重レベルまで微小であり、それ以上のレベルでは急激にずれを生じる。ずれ発生後の荷重は鋼管の拡幅量の大きいもの程大きく、拡幅量 5 mm で 60 kN、10 mm で 200 kN、15 mm では 300 kN に達した。ずれ発生後鋼管は徐々にずれを生じながら最大荷重、拡幅量 5 mm で 100 kN、10 mm で 210 kN、15 mm で 320 kN に達した。このとき、鋼管単体の軸方向耐力は 549 kN であり、拡幅継手部はその 58% 程度の耐力をもつことが分かる。

継手の拡幅量が大きい程耐力が大きくなる原因として、拡幅部の機械的接触力が大きくなることあげられる。但し拡幅量 15 mm では内鋼管の継手下側が座屈により破壊した。そのため機械的接触継手部では、必要以上に拡幅量を大きくしないことが肝要であり、本供試体の例では拡幅量 10 mm 程度が望ましいといえる。

4.5 機械的接触継手部の軸力伝達状態

膨張モルタル注入継手部の軸力伝達状態の測定と同様に、各荷重ごとのひずみ分布を測定し継手に作用する軸力を求めた。それらの中から拡幅量 10 mm、15 mm の例を図-13 及び図-14 に示す。継手部の接触が均一であれば内鋼管から外鋼管へと軸力はスムーズに伝達されると考えられるが、上部からの距離 10 cm (拡幅開始点 III) でいずれの結果も軸力が作用荷重よりも大きくなっている。これは、鋼管の拡幅部に生じた塑性曲げ圧縮ひずみを用いて軸力を計算したことに起因する。このことから拡幅量は必要

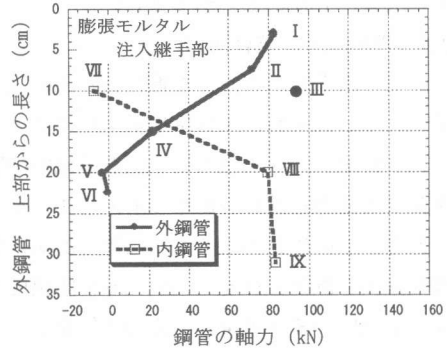


図-11 軸力伝達状態 (拡幅量 10 mm)

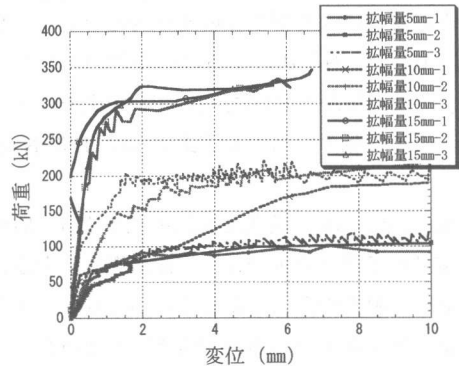


図-12 荷重と変位の関係

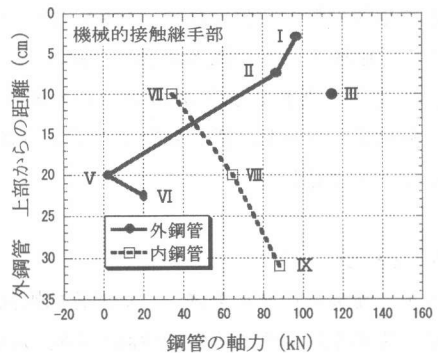


図-13 軸力伝達状態 (拡幅量 10 mm)

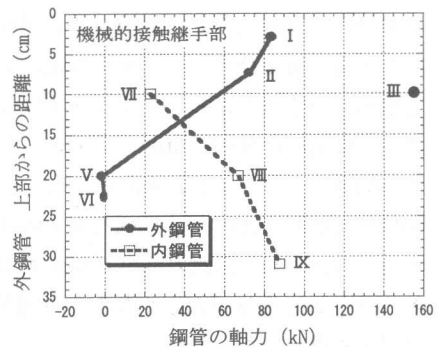


図-14 軸力伝達状態 (拡幅量 15 mm)

以上に大きくしないことが望ましい。

4.6 併用継手の接合耐力

一般に、力学問題では力の重ね合わせの原理が成立する。図-1 に示す併用継手の供試体の耐力は、膨張モルタル注入継手部と機械的接触継手部の各耐力を重ね合わせで求めることが可能である。その確認のため、拡幅量 10 mm の供試体で押抜き試験を行った。図-15 に膨張圧の経時変化、図-16 に荷重と変位の関係を示す。図-6 の単独継手の膨張圧の経時変化では圧力計と内管法による膨張圧の経時変化を示したが、図-15 では内管法による経時変化のみを示した。その結果から式(3)を用いて、膨張モルタル注入継手部軸方向耐力を算出すれば 105kN となる。

次に、図-16 の荷重と変位の関係より、機械的接触継手部と膨張モルタル注入継手部を重ね合わせた軸方向耐力を得ることができる。その結果、平均軸方向耐力は 333 kN となった。今回、図-12 から得られた拡幅量 10 mm の機械的接触継手部の軸方向耐力は約 210kN であることから、膨張モルタル注入継手部の軸方向耐力 105kN と足しあわせると 315kN となり図-16 の実験結果と符合し、重ね合わせの原理が成立することを確認した。

5. まとめ

以上、膨張モルタルを併用した鋼管拡幅継手工法の実用化に関する実験的検討から得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 既報の曲げ漏水試験では 7MPa の膨張圧に対して曲げ角 2 度までは、水圧 2Mpa 下でも漏水はみられなかった。本工法ではモルタルの膨張圧は 8~13 Mpa が得られており、止水効果は十分であると考えられる。
- (2) 機械的接触継手部では、拡幅量が 5 mm 増加するにつれて軸方向耐力が約 100kN 増加する。ただし拡幅量が大きくなると内鋼管が座屈する場合もあった。
- (3) 機械的接触継手部では一度すべりが生じた

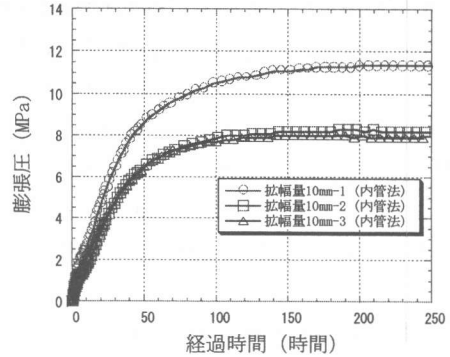


図-15 膨張圧の経時変化

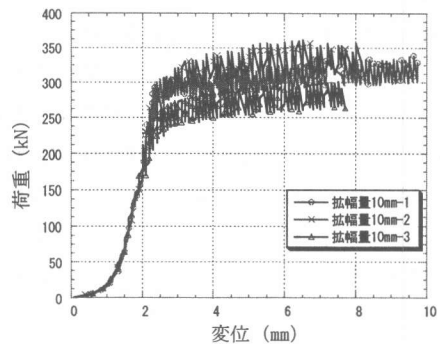


図-16 荷重と変位の関係

後も荷重は 0 とならず、じん性が高く耐震型の継手であるといえる。

- (4) 膨張モルタル注入継手部の軸方向耐力は、拡幅量 5 mm の機械的接触継手部のそれとほぼ同等であった。
- (5) 併用継手の供試体においては機械的接触継手部の軸方向耐力と膨張モルタル注入継手部の軸方向耐力において、重ね合わせの原理が適用できることが確認できた。

【参考文献】

- 1) 原田哲夫・出光隆・渡辺明：静的破砕剤を用いたコンクリートの解体に関する基礎的研究，土木学会論文集，第 360 号，pp.61-70，1985
- 2) 山崎竹博・出光隆・渡辺明・蔵重勲：膨張モルタル注入式耐圧性鋼管継手工法の開発に関する研究：コンクリート工学論文集，Vol.20, No.3, pp217-222, 1998