

耐震管用さや管内配管工法の開発

Development of Pipeline Construction Method by Insertion for the Earthquake-Proof Joints

山本吉彦* 下保哲二*

Yoshihiko Yamamoto, Tetsuji Shitabo

河川、軌道の横断および市街地における管路布設に推進工法は必要不可欠な手段となっている。

推進工法には供用管を直接推進する直押し工法と、予めさや管を推進しておき、この中に供用管を挿入するさや管内配管工法があり、水道事業においても広く採用されている。また、管路の耐震化は今後の管路構築の重要課題であり、推進工法においてもS形やNS形などの耐震継手を採用することが望ましい。しかし、これらの耐震管は継手が伸縮し、地震による地盤変動を柔軟に吸収する特性を有しているがゆえに、推進工法に適用すると圧縮側の伸縮代が推進力によって縮まってしまうという問題があった。

そこで、EPS（発泡ポリスチレン樹脂）材料の圧縮変形特性に着目し、推進時には変形せず、地震時にはEPSが圧壊するという機構を用いて、規定の継手圧縮代を保持しながらさや管内に耐震管を布設する工法を開発した。

Pipe-thrusting method of construction for piping serves as an indispensable means, and is widely adopted as the pipeline construction in crossing of a city area, river and a track in the waterworks.

In pipe-thrusting method, there is one method of construction, which pushes directly distribution main, and another method of construction, which inserts distribution main into a casing pipe which had been installed beforehand.

Moreover, earthquake-proof of a pipeline is the important problem of future pipeline construction, and it is desirable to adopt earthquake-proof joints, such as S-type and NS-type, in pipe-thrusting method.

However, these earthquake-proof pipes have a merit, which a joint expands and contracts and absorbs distortion of ground by the earthquake flexibly. For this reason, when the earthquake-proof pipe was applied to pipe-thrusting method, there was a problem that thrusting force will shorten the compression length of a joint.

Then, we developed the method of construction which lays an earthquake-proof pipe in casing pipe, holding the regular compression length of joint using the mechanism in which EPS is compressed, paying attention to the compression transformation characteristic of EPS (Expanded PolyStyrene resin) material, when inserting into a casing pipe, and it does not compress but the earthquake arise.

1. 諸言

有数の地震多発国である日本において、ライフラインの耐震化は非常に重要な課題であり、水道管路においても地震に強い管路構築が進められている。

また、都市部での管路布設においては交通渋滞や工事費の増大を避けるため、推進工法は必要不可欠になってきており、鉄筋コンクリート管や鋼管などのさや管を推進した中に本管のダクタイル管を挿入する「さや管内配管工法」が広く採用されている。

ところが、従来の工法で耐震管（S形、NS形）をさや管内に挿入すると、継手に設けられた圧縮代が挿入力によって縮んでしまい、所期の伸縮性能を活かすことができないという問題があった。

さらに、今後の南海・東南海地震への備えを考慮すると、推進工法で布設する管路においても圧縮側の伸縮代を確保したより安全な管路にしておくことが望ましい。

このような背景、要望に応え、耐震管の継手性能を阻害せずにさや管内に挿入でき、施工性にも優れた工法を開発したので報告する。

2. 工法の概要

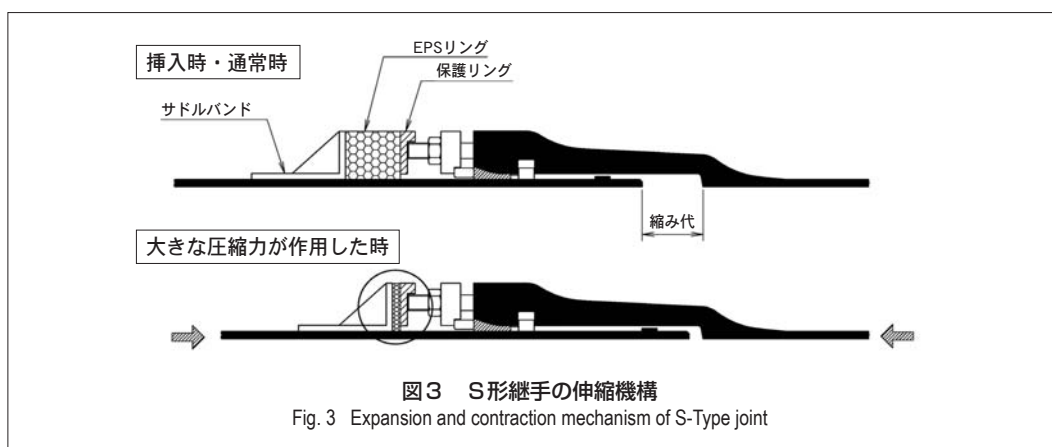
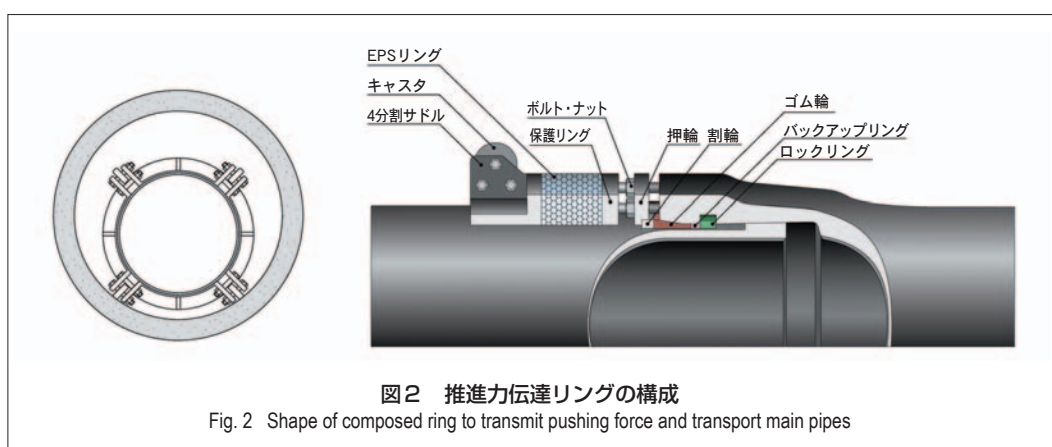
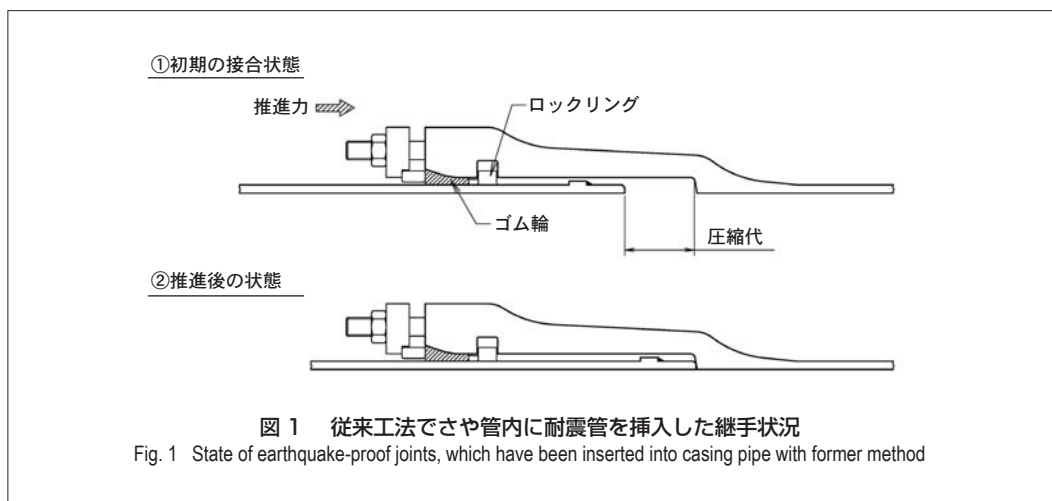
2.1 推進力伝達リングの特徴

耐震管を通常手順で接合して推進すると、ゴム輪の摩擦力を超える推進力が負荷された時点で、圧縮側の伸縮代として隙間を空けていた部分に挿し口が入り込む。この状態では、せっかく設けた圧縮代が無くなり、耐震性を十分に発揮できなくなる。（図1）

そこで、推進力伝達リングと称する部材を挿し口の所定の位置に取り付け、EPSリングを介して推進力を伝達する方法を開発した。

EPS（発泡ポリスチレン樹脂）材は成型時の密度調整により所要の圧縮強度が得られる材料で、圧縮強度を上回る荷重がかかると塑性変形が進み、最終的に内部の気泡が潰れて圧壊するという変形特性を有している。この性質を利用することで、推進中にはほとんど圧縮せず、地震などにより圧縮強度を超える力が作用するとEPS材が圧壊して継手が圧縮され、地盤歪に追従できるという機能を発揮させることができる。

* 鉄管事業部 鉄管研究部



2.2 推進力伝達リングの構成および機能

推進力伝達リングは、①サドルバンド、②これらを締結するボルト・ナット、③締結部に取付けるキャスト、④EPSリング、⑤保護リングから構成される。

挿入力は、挿し口→サドルバンド→EPSリング→保護リング→継手接合ボルト→受口の順に伝達される。

キャストの軸受に特殊ベアリングを使用したことで転がり抵抗が極めて小さくなり、挿入力を低減することができた。これによりEPSのような発泡材でも十分推進力を伝達することが可能となった。

また、EPSリングは若干の弾性を備えており、継手の屈曲に追従すると共に、荷重が一点に集中することを防止する効果がある。

なお、S形管用の保護リングは、継手接合ボルトにEPSリングが直接接して損傷することを防止すると同時に、継手接合ボルトに対して均等に推進力を伝達する機能を果たす。

図3に推進時および平常時に圧縮代が保持された状況と、地震時の継手伸縮機構を示す。

2.3 適用範囲

適用呼び径および継手形式は以下の通りである。

N S 形：75～450 mm

S 形：500～900 mm

3. 基礎試験

3.1 試験項目

- ・サドルバンドの滑り抵抗試験
- ・キャストの転がり摩擦係数測定試験
- ・E P S 圧縮試験
- ・軸圧試験
- ・ローリング後の水密性試験

3.2 試験結果

3.2.1 サドルバンドの滑り抵抗試験

3ないし4個に分割されているサドルバンドは、ボルト・ナットでリング状に締結し、挿し口に拘束する。このため、サドルバンドが管軸方向に力を受けると、摩擦抵抗力を超えた時点で滑りが生じる。ここでは滑りが生じない限界の力を滑り抵抗力と称し、どの程度の挿入力に耐えるかを試験した。

なお、単純な摩擦係数であればボルト・ナットの締め付け力と铸铁の摩擦係数から理論的に求めることも可能であるが、管およびサドルバンドはともに铸铁で铸肌を有し、この計算には当てはまらない。

このため、N S 形、S 形それぞれ実験によって滑り抵抗力を求めた。

試験状況を図4に、試験結果を表1に示す。

表1 サドルバンドの滑り抵抗試験

Table 1 Resistant force of saddle bands

継手形式	呼び径 (mm)	滑り抵抗力 (kN)
NS 形	75 ~ 150	25
	200,250	35
S 形	500	58
	600	72
	700	85
	800	91
	900	98

3.2.2 キャスタの転がり摩擦係数測定試験

キャスト軸受けに装着しているベアリングの転がり摩擦係数はメーカー公表値で $\mu = 0.024$ であるが、実際の施工における諸条件によりこの数値は悪化することが予想された。即ち、

- ①キャストの軸受けに加わる荷重は軸に垂直ではなく、転がり摩擦係数は増加する。
- ②管のローリングにより転がり摩擦係数は変化する。
- ③さや管は殆どの場合が鉄筋コンクリート管（下水道推進工法用鉄筋コンクリート管 [JSWAS A-2]）であり、キャストが管内面のペースト層を押し潰しながら転がることによる抵抗が生じる。

これらを考慮して転がり摩擦係数を求めるため、実際に鉄筋コンクリート管内においてキャストに加わる荷重やローリングによるキャストの接触角度を変化させて転がり摩擦係数を測定した。

試験状況を図5に、試験結果を表2に示す。



図4 滑り抵抗試験状況

Fig. 4 Resistant performance test of saddle bands axial shearing force

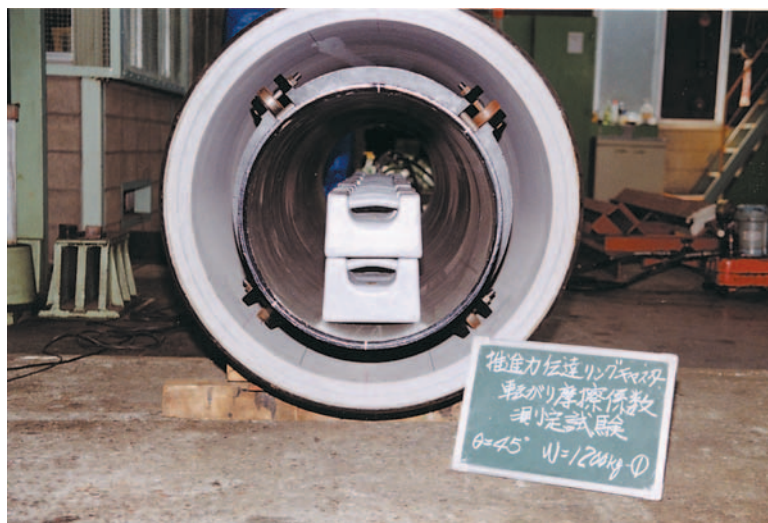


図5 転がり摩擦係数測定状況
Fig. 5 Measurement of coefficient of rolling friction

表2 キャスタの転がり摩擦係数
Table 2 Coefficient of rolling friction in various states of casters

キャストの 接地状態	供試管重量 kN (kgf)			
	6.86 (700)	8.83 (900)	11.8 (1200)	13.7 (1400)
0°	0.0254	0.0274	0.0303	-
22.5°	0.0295	0.0337	0.0383	-
45.0°	0.0300	0.0359	0.0417	0.0423

3.2.3 EPS圧縮試験

さまざまな圧縮強度のEPS材を用い、圧縮変形特性を求めた。

EPS材の圧縮変形特性をまとめると以下のようになる。

①弾性変形領域：荷重を増加すると一定の割合で変形する。通常5%以下のひずみ領域が弾性範囲で、5%のひずみが生じるときの応力を圧縮強度と称す。

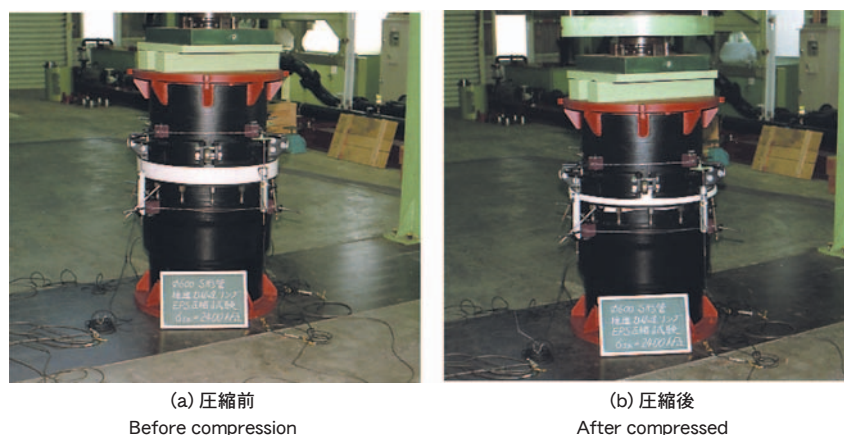
②塑性変形領域：圧縮強度を超える荷重を負荷すると、急激に変形が進行する。

③圧壊領域：荷重を増加しても殆ど変形しなくなる。

このように、管の挿入時には①の弾性変形領域を使用し、継手の圧縮代の吸収に②の塑性変形領域を利用する。

図6にEPSリングの圧縮試験状況を示す。

また、EPS材の圧縮特性の一例として、図7にS形600mm($\sigma_a = 1\text{MPa}$)の荷重－変位曲線を示す。



(a) 圧縮前
Before compression
(b) 圧縮後
After compressed

図6 EPSリングの圧縮試験状況
Fig. 6 Experiment state of compression test of EPS Ring

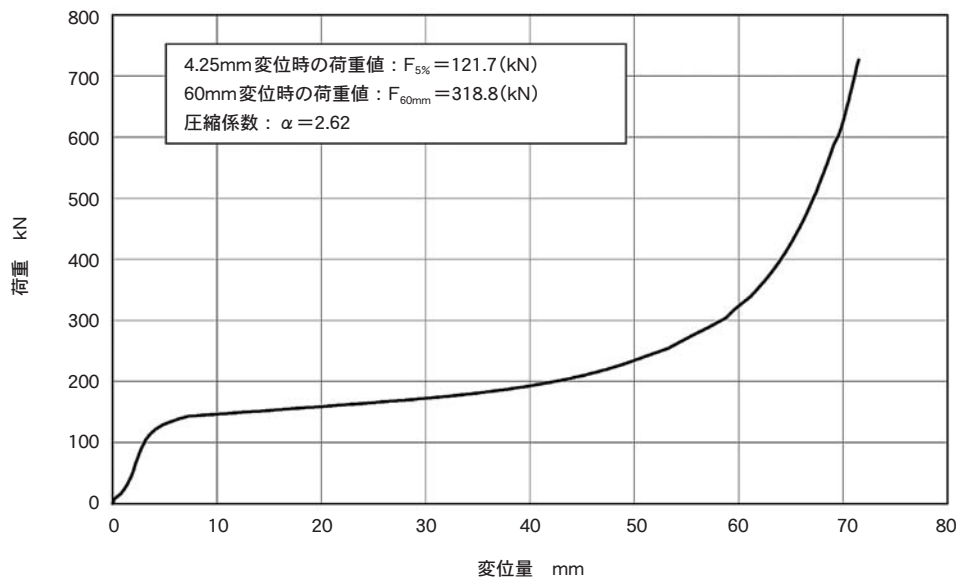


図7 EPS材の荷重-変位曲線 (1MPa)
Fig. 7 Load-transformation diagram of EPS material ($\sigma_0 = 1\text{MPa}$)

3.2.4 軸圧試験

S形においては、挿入力が継手接合ボルトを介して伝達されるため、特に曲線区間での挿入力の伝達に対する安全性を確認しておく必要がある。

そこで、挿入力に対してボルトが受ける荷重条件が最も厳しい呼び径600mmの供試管により曲げ軸圧試験をおこなった。

各ボルトには継手を屈曲させる平面と平行にひずみゲージを貼付し、ボルトの発生ひずみを計測した。

1) 試験条件

- ① EPSの圧縮強度：2.4MPa(現仕様で最高強度)
- ② 荷重：カーブ内側のEPSリングが60mm(6m管の1%)圧縮するまで徐々に荷重を加える。
- ③ 継手曲げ角度：S形600mmの許容曲げ角度($2^\circ 50'$)より若干大きい 3° とした。

2) 試験結果

- ① ボルトに発生した圧縮応力は耐力($\sigma = 520\text{ N/mm}^2$)に比較し、十分小さかった。
 - ② 荷重(挿入力)の増加に応じて全周に荷重分担領域が分散し、最大荷重負荷時点でボルトに加わる最大荷重は全荷重の11%であった。
- 試験方法、試験状況をそれぞれ図8、図9に示す。
また、試験結果を表3に示す。

3.2.5 ローリング後の水密性試験

さや管内に本管を挿入する際、必ずローリングが発生する。4章のフィールドテストで述べるS字管路の施工実験において、カーブの方向が反転する部分において約 10° のローリングが生じた。

この現象に対する水密性を確認するため、以下に示す条件で試験をおこなった。

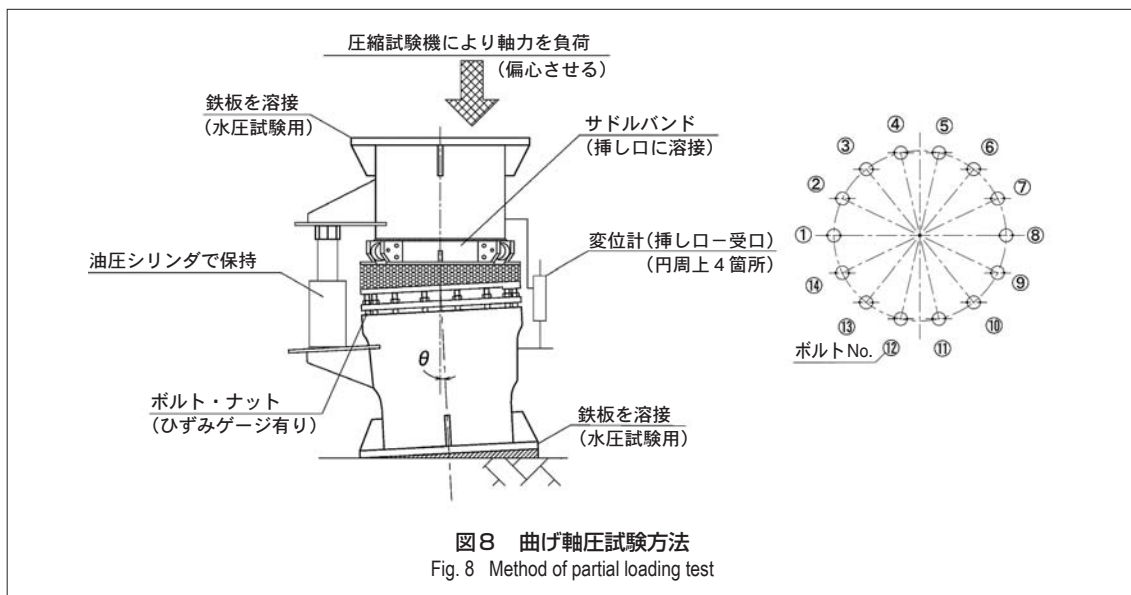


図8 曲げ軸圧試験方法
Fig. 8 Method of partial loading test



図9 試験状況
Fig. 9 Experiment state

表3 ボルトの発生応力と荷重分散率
Table 3 Stress generated in each bolt, and those rates of distribution

		圧縮応力 (N/mm ²)			荷重分散率 (%)		
荷 重 (kN)		80	200	475	80	200	475
E P S 圧縮量 (mm)		5	24	60	5	24	60
ボ ル ト No.	①	-68	-78	-153	36	14	11
	②	-51	-70	-137	27	12	10
	③	-10	-72	-122	5	13	9
	④	-2	-63	-90	1	11	7
	⑤	-1	-24	-88	1	4	7
	⑥	-1	-3	-66	1	1	4
	⑦	0	-1	-76	0	0	6
	⑧	-1	-2	-71	1	0	5
	⑨	-3	-5	-73	2	1	5
	⑩	-2	-7	-71	1	1	5
	⑪	-2	-35	-70	1	6	5
	⑫	-3	-79	-109	2	14	8
	⑬	-4	-61	-107	2	11	8
	⑭	-42	-68	-131	22	12	10
計		—			100	100	100

- ・ローリング角度：22.5°
- ・反転回数：10往復
- ・試験水圧：1.3 MPa
- ・試験回数：3回

試験条件は、実際に起きた現象2倍の角度を10回繰り返す過酷なものであったが、3回の試験結果いずれも水密性には全く異状はなかった。

ローリング装置を図10に示す。また、水圧試験の状況を図11に示す。

4. フィールドテスト

実験室での基礎的試験結果と実管路との差を検証し、設計に要する諸数値を得るため、工場敷地内において大規模試験管路を構築し、施工試験をおこなった。

4.1 試験管路

① S形用

本 管：S形600mm

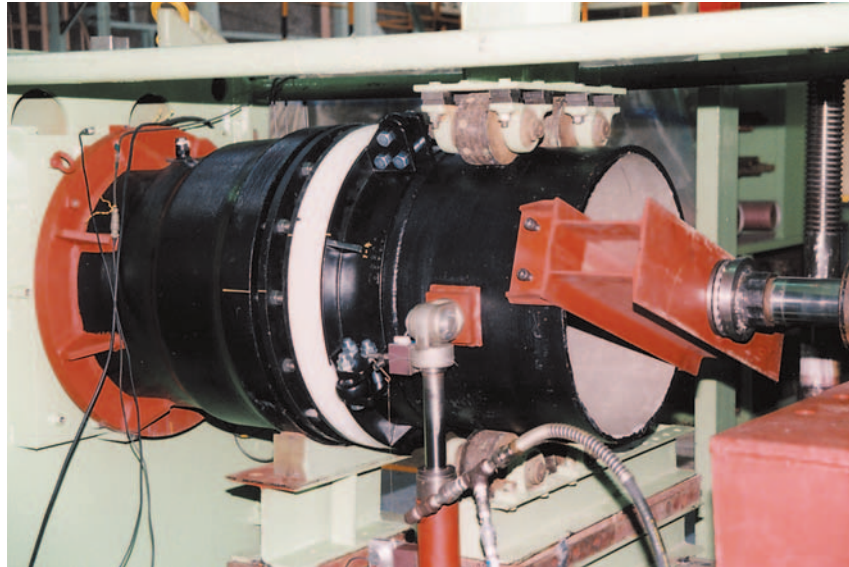


図10 ローリング試験装置
Fig. 10 Experiment equipment of rolling test

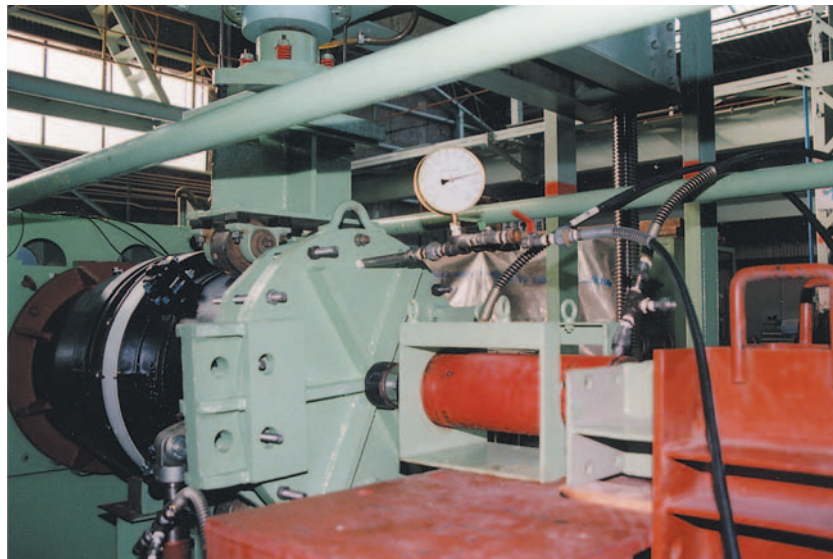


図11 水圧試験(1.3MPa)
Fig. 11 State of water pressure test (at 1.3MPa)

さや管：鉄筋コンクリート管900mm
線形：直線、レベル 100m
S字カーブ(150R 折り返し)、レベル 100m
②NS形用
本 管：NS形200mm
さや管：鉄筋コンクリート管400mm
線 形：直線、レベル 100m

NS形それぞれ転がり摩擦係数を求めた。
これを表4に示す。

表4 フィールドテストにおけるキャストの転がり摩擦係数
Table 4 Coefficients of rolling friction of caster in the field test

継手形式	転がり摩擦係数	以後の設計値
NS形	0.052	0.05
S形	0.057	0.06

4.2 試験結果

4.2.1 キャスタの転がり摩擦係数

直線管路で計測した挿入長と挿入力の関係からS形、



図12 直線試験管路
Fig. 12 Piping for straight line test



図13 S字カーブ管路での施工試験 (S形)
Fig. 13 Construction test into S-curve casing pipeline (S-type joint)



図14 直線管路での施工試験 (NS形)
Fig. 14 Construction test into straight line casing pipeline (NS-type joint)

4.2.2 挿入後の継手胴付間隔

S形600mmにおいては実際に管の中に入り胴付間隔を測定した。また、NS形200mmは自走式管内カメラを挿入して胴付間隔を測定した。

この結果、S形、NS形ともに規定胴付間隔から平均して1mm程度少なくなっていた。これは、EPSリングが僅かに圧縮されたためと考えられるが、いずれにおいても圧縮率は十分確保されていた。

4.2.3 さや管(鉄筋コンクリート管)の継手開口部で生じる抵抗力

S形管を挿入する800mm以上の鉄筋コンクリート管の継手部は、施工後にモルタル目地を詰めるための隙間が空いている。この部分をキャストが通過するときに抵抗力が生じる。フィールドテストにおいては最悪条件を考慮すべく、鉄筋コンクリート管の継手をすべて30mm開口して接合した。

この条件で挿入力を測定した結果、開口部の抵抗力は挿入力に関係し、挿入力の0.4倍程度見込んでおく必要があることが判った。

また、NS形を挿入する700mm以下の鉄筋コンクリート管には目地詰め用の隙間はないが、同様に最悪状態を考慮して試験をおこなった。この結果、考慮すべき抵抗力は挿入力の0.3倍程度であった。

4.2.4 ローリング

本管は管1本毎にキャスト2点で支持して挿入されるが、わずかなバランス変化でローリングし始める。直線管路の場合どちらにローリングするか、またローリング角度がどの程度になるか明確ではないが、曲線管路の場合には曲がっていく方向にローリングする(ex.発進側から見て、右カーブであれば右回りに回転する)ことが明らかになった。

また、Sカーブ管路における管挿入後のローリング角度測定の結果、変曲点通過後にローリングの方向が反転し、管と管の相対的なローリング角度は最大で約10°であった。

5. 挿入力設計式

5.1 実験式

フィールドテストの結果に鉄筋コンクリート管の内径許容差から生じる継手段差の抵抗力(理論計算)を加味し、実験式は以下ようになった。

$$F = \mu w L \kappa S + \gamma \quad (1)$$

ここに、

F : 所要挿入力(kN)

μ : 転がり摩擦係数(S:0.06、NS:0.05)

w : 管の単位長さあたり重量(kN/m)

L : 挿入長(m)

κ : 継手開口部の抵抗係数(S:1.4、NS:1.3)

S : 安全率(1.2とする)

γ : さや管段差抵抗力(本管の口径、管長、管種による)

5.2 現在の設計式

現在では、数多くの実施工での挿入力測定結果に基づき、実験式に盛り込んでいた開口部の抵抗係数や段差抵抗力が不要であることが明らかになり、縦断勾配も考慮して以下に示す設計式に修正した。

なお、曲線区間の設計式は、挿入力と壁面摩擦力の伝達を考慮した理論計算式に安全率と勾配を加味した。



図15 Sカーブ管路到達側のローリング角度測定
Fig.15 Measurement of rolling angle at the end of S-curve casing pipeline

①直線

$$F = w L (\mu S + i) \quad (2)$$

ここに、

- F : 所要挿入力(kN)
w : 管の単位長さあたり重量(kN / m)
L : レベル区間長(m)
 μ : 転がり摩擦係数(S形0.06、NS形0.05)
S : 安全率(1.2)
i : 勾配

②曲線(S形のみ)

$$F_c = w L_p (\mu S + i) \cdot \frac{(1 - \alpha^n)}{\alpha^n (1 - \alpha)} \quad (3)$$

ここに、

- F_c : 曲線区間の所要挿入力(kN)
w : 管の単位長さあたり重量(kN / m)
 L_p : 切管長(m)
 μ : 転がり摩擦係数(0.06)
S : 安全率(1.2)
i : 勾配
 α : 挿入力伝達率($= \cos \theta - \mu \cdot \sin \theta$)
 θ : 継手曲げ角度($= 2 \cdot \sin^{-1} \frac{L_p}{2R}$)
R : 曲率半径(m)
n : 曲線区間の管の本数($= C_L / L_p$)
 C_L : 曲線区間長(m)

6. 施工事例

S形管のさや管内配管工法を急曲線区間を含む線形に適用した事例を紹介する。

6.1 施工条件

- ・本管：500mm S形管
- ・さや管：1000mm鉄筋コンクリート管
- ・挿入延長：273m

- ・曲率半径：R = 45m
 - ・曲線長： $C_L = 38.5$ m
 - ・本管管長：直線部L = 4 m、曲線部L = 1.3m
- 図16に本物件の平面線形を示す。

6.2 急曲線に対する検討項目

①曲線区間の管長

継手曲げ角度がS形管の許容曲げ角度の1/2以下となるよう管長をL=1.3mとした。

②設計挿入力の算定

理論式にフィールドテスト(Sカーブ150R)の結果を加味して導いた実験式を用い設計挿入力を算定した。

③E P Sリングの圧縮強度

曲線開始点の最大挿入力(曲げによるE P Sリングの耐荷力減少率[0.67]を考慮)と、元押し最大挿入力を比較検討し、圧縮強度を決定した。

6.3 施工結果

①挿入力

図17に挿入力の測定結果を示す。

挿入力はE P Sリングの耐荷力を十分下回っており、設計値よりかなり低かった。この原因は、本件施工時点では施工実績が少なく、抵抗力を大きめに見積もっていた(実験式)ことと、キャスト径を大きくしたことによる転がり摩擦の低減によるものと考えられる。

②継手胴付間隔

施工完了後に管内カメラにより継手の胴付間隔を測定した。この結果、曲線区間を含む全ての継手の胴付間隔は規定値(75mm ± 5mm)の範囲に入っていた。

また、曲線区間の全31箇所における継手屈曲角度は、3箇所において許容曲げ角度の1/2をわずかに上回っていたが、他の28箇所は許容曲げ角度の1/2以下に収まっていた。

図19に曲線区間の継手屈曲角度を、図20に自走式管内カメラによる継手胴付間隔の測定状況を示す。

このように、R = 45mという急曲線でも、なんら問題なく、短工期で施工を完了できた。

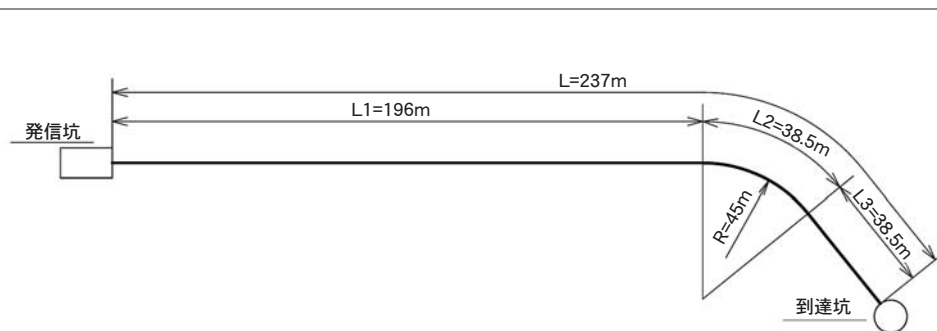


図16 急曲線を含む平面線形
Fig. 16 Horizontal alignment containing a sharp curve

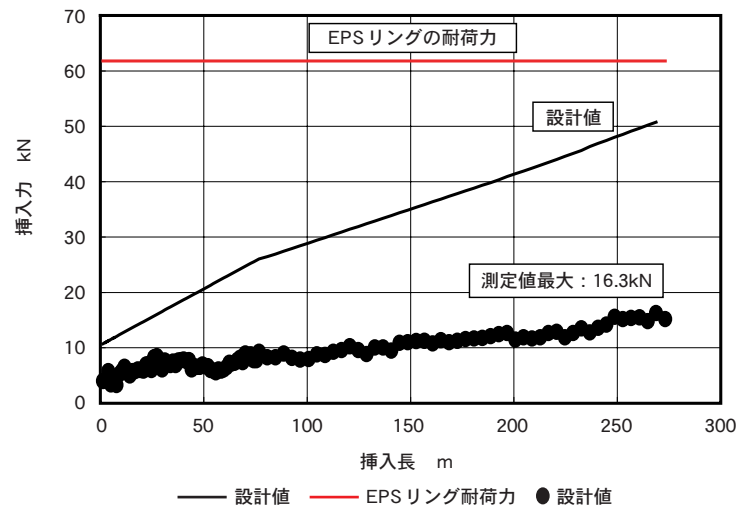


図17 挿入力測定結果
Fig. 17 Measurement result of insertion force



図18 発進立坑における施工状況
Fig. 18 situation of the construction in launching vertical shaft

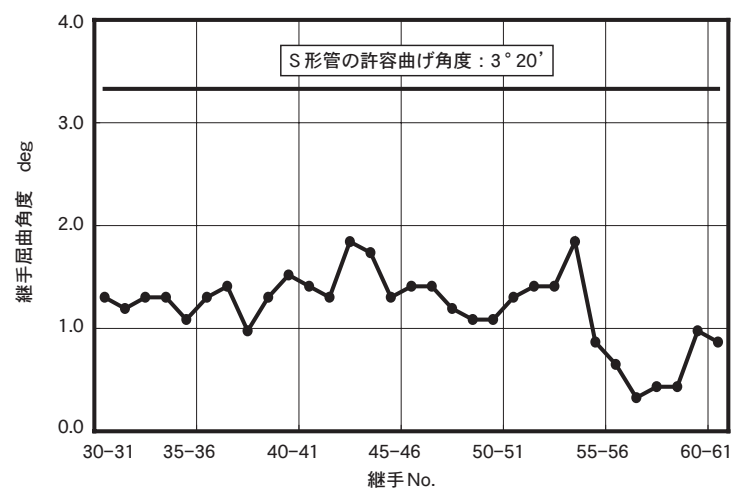


図19 曲線区間の継手屈曲角度
Fig. 19 joint angle of the curved section



図20 管内カメラによる胴付間隔測定状況

Fig. 20 Measurement situation of the contraction length of joints by using the inside investigation camera

7. 結言

現在の推進技術の進歩には目を見張るものがあり、より長距離化・急曲線化が進んできている。これに対応できるよう本さや管内配管工法も改良を進めており、1000m以上の長距離挿入も線形によっては十分可能である。

本稿では、施工実績の一部を紹介したが、すでに全国の事業体に30件以上の施工実績があり、現在800mの最長工区の施工を控えている。

今後はさらなるコスト低減、施工設備の充実を図り、より経済性、施工性に優れた工法に発展させるよう努める所存である。

執筆者

山本吉彦

Yoshihiko Yamamoto

昭和59年入社

ダクタイル管の研究・開発に従事



下保哲二

Tetsuji Shitabo

平成4年入社

ダクタイル管の研究・開発に従事

