

遮水リング付推進工法用U S形ダクトイル鋳鉄管の開発

Development of Jacking Pipe with Impervious Ring

上田隆司* 先崎康人** 高木啓介** 國實誉治*

Takashi Ueda, Yasuhito Senzaki, Keisuke Takagi, Takaharu Kunizane

樋門・樋管（以下、樋門と称す）とは、河川堤防を貫通して設置される函渠構造物であり、洪水時に河川水が堤内に侵入することを防ぐとともに、取水・排水機能を担う重要な施設である。

従来、樋門は支持杭などを用いて強固な地盤に支持される「支持方式」が用いられてきたが、主に軟弱地盤を対象とした樋門については「支持層に頼らない柔構造・柔支持方式」へと大きく設計方針が転換された。

また、公共事業のコスト縮減が叫ばれている現在、推進工法による樋門の構築が注目されている。

The sluice is a culvert crossing a river bank. It is an important structure for holding back flood water as well as for intaking or draining water. The conventional practice is to support the sluice by hard ground with piles or the like. However, the concept is remarkably changed to an elastic structure or an elastic support method mainly for sluices installed in soft ground. The non-excavation method for constructing sluices is drawing attention these days when reduction of public construction costs is demanded seriously.

1. まえがき

従来、ダクトイル管路はその主な特徴として優れた柔構造的および大きな離脱防止力を持つ耐震性能が挙げられ、阪神・淡路大震災ではその優れた耐震性能が実証された。

柔構造樋門は、原則として継手部の変形により、樋門本体の不等沈下や地震などの影響から発生する函体の損傷を防止するための「函軸たわみ性」が要求され、ダクトイル鋳鉄管の優れた柔構造的・耐震性が「柔構造・柔支持樋門」の構造材料として適するものの一つとして評価されている。

また、最近、建設コスト縮減の具体的施策の一つとして注目されている「樋門を推進工法にて布設する」ことにより仮設工（仮締切工、付替え道路工など）を縮小することができ、経済性の他にも「工期の短縮」および「施工中の安全性向上」などの施工の効率化が可能となる。

一方、樋門を推進工法にて構築する際の課題として、従来の開削工法において設けられていた堤体中央付近の鉄筋コンクリート製遮水壁を、推進工法の場合に如何に構築するか（構築方法）、および、函体の遮水壁貫通部構造の開発が挙げられていた。

そのような状況を踏まえ、遮水壁本体の構築方法および函体の遮水壁貫通部構造についての研究を行い、その一つの結果として、「遮水リング付推進工法用U S形ダクトイル鋳鉄管」の開発を行ったので、その概要を報告する。

2. 開発の経緯について

従来の剛構造樋門では、函体と堤体との接触面に沿う浸透流の影響（ルーフィング）による、堤防の安全性が

脅かされることを防ぐ目的で、一般に堤体の中央部付近に、遮水壁および遮水矢板を設置してきた（図1参照）。

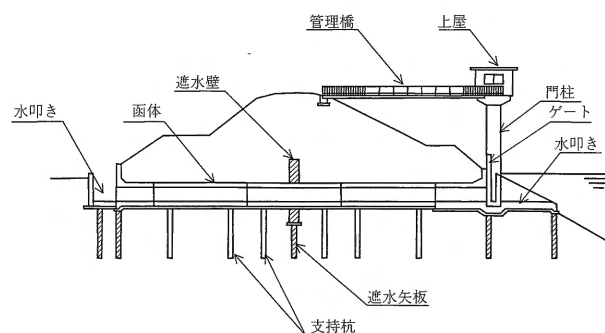


図1 従来の樋門の部材構成

Fig.1 Structure of conventional sluice

前述のとおり、推進工法による樋門の構築は、施工面で種々の利点があるが、従来、設けられていた遮水壁および遮水矢板をいかに構築するかが課題とされていた。

平成7年3月、建設省関東地方建設局江戸川工事事務所では、その初めての試みとして、堤体中央部付近に遮水壁本体（従来の遮水壁および遮水矢板）を高圧噴射攪拌工法により築造する樋門工事を実施した（技術活用パイロット事業）。

しかしながら、本工法はこれまでに事例がないこと、また、本施工結果の良否が今後、推進工法にて樋門を構築する際の是非に直結するため、その性能に関して、種々の検証が行われた。

その結果、上記工事の施工手順は、まず始めに中央遮水壁本体の構築を高圧噴射攪拌工法などによる地盤改良で行い、その後、推進工法により樋門本体の布設工事を行うものであるため、「遮水壁と函体の間に推進工法特有の隙間（余掘分）が生じ、その隙間が函体と堤体との

* 鉄管事業部 鉄管エンジニアリング部 西部設計グループ

** 鉄管事業部 鉄管エンジニアリング部 東部設計グループ

論文・報告

接触面に沿う浸透流を惹起する可能性がある」ということが判った。

また、推進工法では予定の推進工が完了した後、管内より、推進工法により生じた隙間をグラウト充填することを標準としているが、図2に示すとおり「充填したグラウトが遮水壁部より流出し、止水上、最も重要な部分である遮水壁と函体の接触面が完全に止水できない」ことが懸念された。

上記課題の解決のため、筆者らは遮水リング付推進管の開発を行い、信頼性の高い遮水壁の構築方法についての研究を行った。

すなわち、遮水壁を堤体中央付近にて設ける場合、次に示す手順により、信頼性の高い遮水壁の構築が可能となる。

- 1) 高圧噴射攪拌工法などにより遮水壁本体を築造する。その際、現場の条件によっては、斜め下向きに遮水壁本体を築造することが可能な地盤改良工法もある（図3の(イ)、(ロ)参照）。
- 2) 遮水壁の築造後、推進した直後の状態では遮水壁と推進管の間に若干の隙間（余掘分）が余儀なく形成されるため、予め推進管に装着された複数の遮水リングが

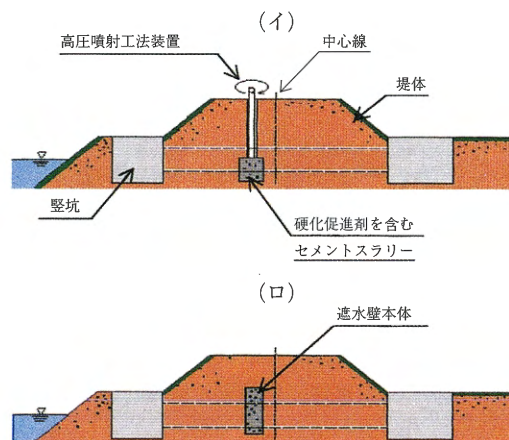


図3 遮水壁構築の手順

Fig.3 Process of constructing impervious wall

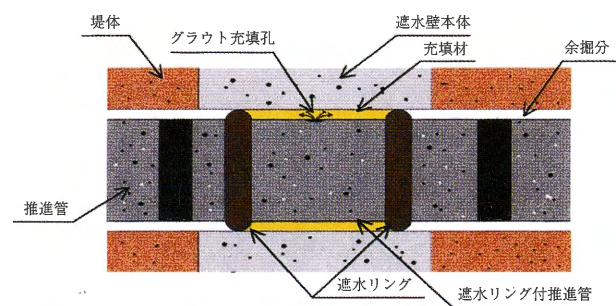


図4 遮水リング付推進管における効果のイメージ図

Fig.4 Result of jacking pipe with impervious ring(Image)

3. 遮水リングの構造

3.1 遮水リング付推進管の構造

一般に用いられる開削工法用ダクティル鉄管の継手

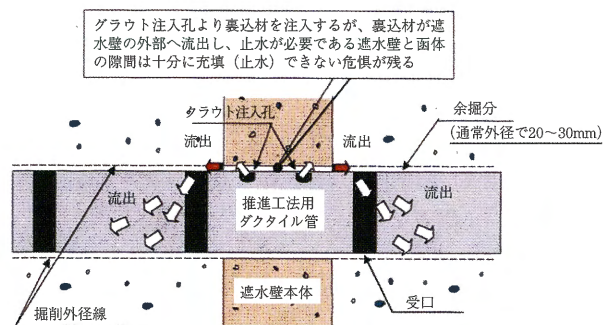
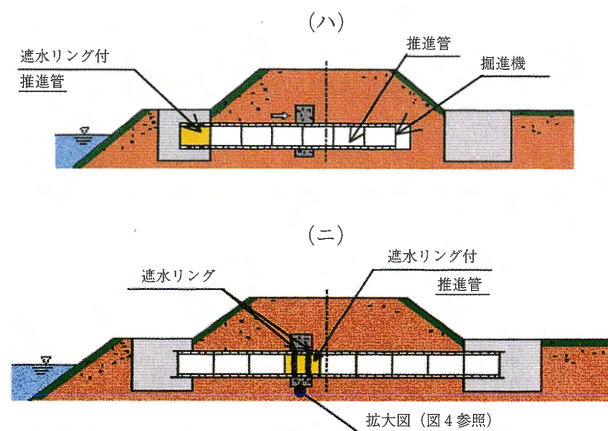


図2 推進工法による樋門構築における課題

Fig.2 Problem of constructing sluice by pipe jacking method

遮水壁本体の壁厚内に位置するように推進管のスパン割りおよび配管順序の決定を行い、推進工法にて函体の布設を行う（図3の(ハ)参照）。

3) 予定の推進工が完了した時点で、その遮水リングを膨張拡大することにより、遮水壁本体と推進管の隙間部より、裏込材が壁の外部へ流出しないようにした上、さらにリング間をグラウト充填することで、信頼性のある遮水壁の構築が可能となる（図3の(ニ)、図4参照）。



部構造は、メカニカル継手であり、受口（ソケット）を有し、その受口部が最大外径となっている（図5参照）。

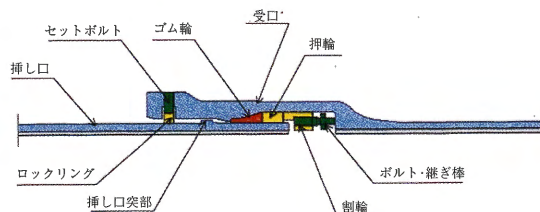


図5 US形継手構造

Fig.5 Structure of type US

このため、推進工法用ダクティル鉄管は、推進時の抵抗を抑える目的で、その外径差の部分に鉄筋コンクリート（以下、外装コンクリートと称す）を施し、標準

管体部の外径を、最大外径である受口部外径に合わせている（外装コンクリートの厚さは、口径により異なるが約70～95mm）。

また、推進力の伝達は、受口端面と挿し口（受口のない管端側）に設けられるフランジとの接触面にて円滑に行われ、管単体内では、鉄部の強度だけで耐え得る構造となっている（図6参照）。

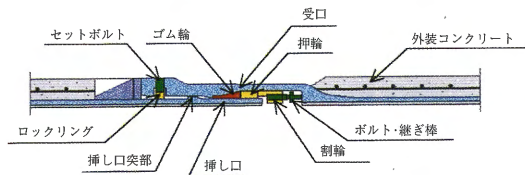


図6 US形推進工法用ダクタイル鋳鉄管構造図
Fig.6 Structure of type-US for jacking method

従って、外装コンクリートは円滑に推進工が行えるために施されるものであって、管体の強度として外装コンクリートに期待しているものではない。よって、この外装コンクリート部分に遮水リングをセットするため、溝状に外装コンクリートの一部を欠落させたとしても、強度上何ら問題はなく、合理的に設置することができる。ただし、そのため遮水リングの高さは、約70～95mm以内とする必要があった。

今回、開発した遮水リングの形式は、

- ①ゴムリングタイプ
- ②チューブリングタイプ

の2形式とした。

3.2 ゴムリングタイプ

ゴムリングタイプは、管内からボルトをねじ出しすることで、押し板を介してゴムリングを管外周方向に拡大させることにより、遮水壁本体と推進管との隙間部の止水性を確保するものである（図7参照）。

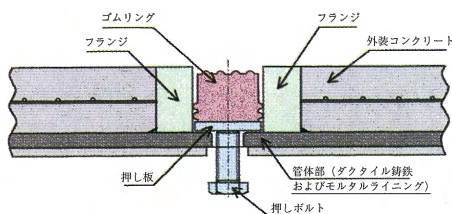


図7 ゴムリング部構造図
Fig.7 Structure of rubber-ring

遮水リングに使用するゴムリングは、CR製のスプリング硬さ（硬度）55度および70度の2種類を準備した。また、ゴムリングの幅は50mm、100mm（50mm幅のものを2個使用）として、この4タイプのゴムリングについて確認試験を行い、最適なゴムの幅と硬度を探った。

また、推進工法により貫通された遮水壁の表面は、工法の種類によっては、かなりの凹凸が生じることも考えられるので、ゴムリングの表面に図8に示すような突起を設け、ゴムリングがその遮水壁の凹凸に馴染み易くなるようにした。また、ゴムリングの側面とフランジの接触面で水が染み出ることを防ぐために、ゴム側面にも突起を設けた。その外観を図9に、取り付け状況および取り付け後のゴムリングの外観を図10および図11に示す。

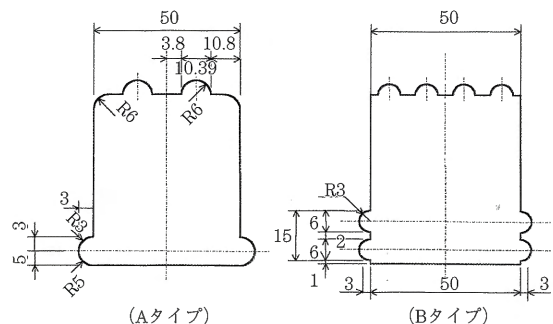


図8 ゴムリング断面図
Fig.8 Section of rubber-ring



図9 供試推進管φ1800（ゴムリングタイプ）
Fig.9 Externals of pipe φ1800 (Type rubber-ring)

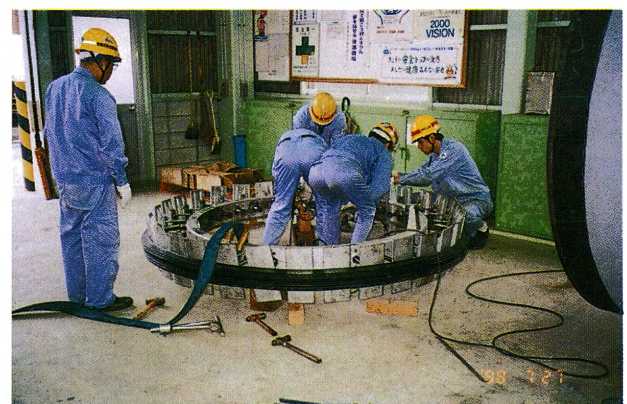


図10 ゴムリングの取り付け状況
Fig.10 State of installing rubber-ring



図11 取り付け後のゴムリング
Fig.11 Rubber-ring

3.3 チューブリングタイプ

チューブリングタイプは、チューブ状に形成されたリングに、グラウト材を適度な圧力で充填することで、チューブリングを膨張・拡大させ、グラウト施工範囲を限定することにより、遮水壁本体と推進管との隙間部へのグラウト充填の確実性を高めるものである。

また、チューブリングタイプは、膨張性能に柔軟性があることから、遮水壁と推進管の水みち防止のみならず、土砂部においてこれを用いることで、他所にグラウトが流出することを防ぎ、グラウト施工の確実性を高める方法としても効果的であると考えられる（図12参照）。

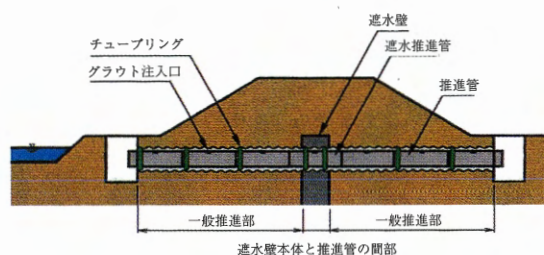


図12 チューブリングタイプの特徴
Fig.12 Characteristic of type tube-ring

チューブの材質はポリエステルを使用し、チューブリングは、このポリエステルの布をφ150mmの円筒状に縫合した後、八角形に繋いでリング状にして用いた。

本ポリエステル布は、空気と水を通過させるが、グラウト材は通さない性質を持ち、従って、エア・溜まりが生じることなく、チューブ内全体へグラウト材を確実に充填させることができる。

また、チューブリングの外側には、推進時にチューブリングを傷つけないための保護用ゴムカバーを取り付けた。この保護用ゴムカバーは、チューブリングが膨張する際にチューブの膨張の妨げにならないような素材・形状にする必要があった。図13にチューブリングの概略の構造を示す。

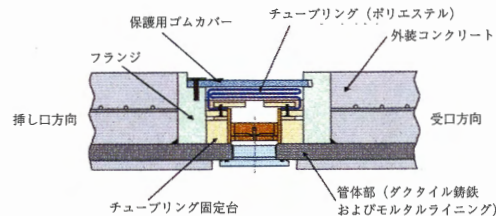


図13 チューブリングタイプ
Fig.13 Type tube-ring

4. 性能確認試験

遮水リング付推進管における遮水リングの性能確認試験として、「牽引試験」と「止水性能確認試験」を行った。なお、供試推進管は、採用の引合いのあったφ1800US形推進工法用ダクトイル鋳鉄管・4種管（図14参照）を用い、両タイプとも4本の遮水リングをセットした。

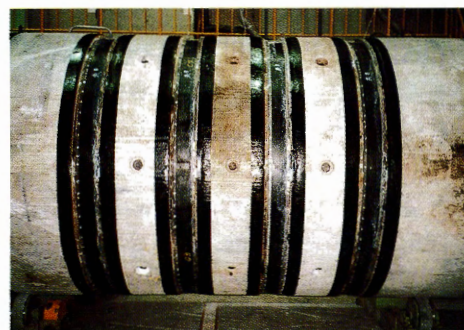


図14 供試推進管φ1800（チューブリングタイプ）
Fig.14 Externals of pipe φ1800(Type tube-ring)

4.1 牽引試験

遮水リング付推進管では、推進時に地盤との摩擦などにより、遮水リングが損傷するようでは、その機能が発揮できない。したがって、推進時に地盤との摩擦などによって、遮水リングが損傷を受けないことを確認する必要があった。

4.1.1 試験方法

推進時に遮水リングが受ける外力の影響を確認するには、実際に推進工を行うことで検証することが望ましい。しかしながら、今回は、ブルドーザを用いて供試推進管を牽引することで、推進時の管外周底面に作用する摩擦力などの外力を発生させ、損傷の有無の確認を行った。

溝表面には碎石および玉石など（最大径20cm）を敷くことで、遮水リングに過酷な条件を設定した上、各供試管を約200mの距離を牽引した。また、掘削断面を想定した円弧状の溝を、推進管と溝との支持角が90°になるよう造成した。

4.1.2 ゴムリングタイプの牽引試験

ゴムリングタイプでは遮水リング付推進管に、損傷を受けやすいと考えられる硬度の低い55度のゴムリングを取り付け、牽引試験を行った。ゴムリングの幅は50mm、

100mmの2種類について確認した。牽引試験状況を図15に示す。



図15 牽引試験状況 (ゴムリングタイプ)
Fig.15 Tractive test (Type rubber-ring)

4.1.3 チューブリングタイプの牽引試験

チューブリングタイプでは、チューブリングを保護する保護用ゴムの機能確認、つまり保護用ゴムの材質・形状を如何にすれば、牽引試験時すなわち推進時において、チューブリングに損傷がないかを確認することが重要となる。一方、保護用ゴムは、チューブリングの膨張時に、その膨張を妨げることをない材質・形状とする必要性もあり、表1に示す種々の材質・形状のゴムについて確認した。

表1 保護用ゴムの材質形状
Table 1 Rubber plate for covering tube-ring

材質	形状	
	板厚 (mm)	*スリット数 (1リング当たり)
CR製ゴム板	5	4
	5	8
	5	12
ナイロン繊維入り ゴム板	6	8
	8.5	8

注) チューブリングタイプのリング幅は、グラウトの充填性を考慮して100mmとした。

*: チューブリングの膨張の妨げにならないよう、ゴム板(管軸方向)に切り込みを入れた。

4.2 止水性能確認試験

止水性能確認試験の目的は、高圧噴射攪拌工法などで構築した遮水壁内で、遮水リングを膨張拡大させた後、遮水壁と推進管との隙間部を確実にグラウト充填し、さらに、その充填によって確実な止水性が確保できるかを確認することにある。

4.2.1 試験方法

一般的な推進工での余掘(オーバカット)による隙間量は、20~30mmとされている。しかしながら、今回の止水性能確認試験では、現場の不確定要素を鑑み、安全性を確保する目的で、隙間の大きさが最大57mmという

過酷な条件にて、止水性の確認を行った(図16参照)。

すなわち、遮水壁を想定した内径が2060mmで、その内面を粗仕上げした特注の鉄筋コンクリート管内に供試推進管(最大外径2003mm)を挿入し、遮水リングを膨張拡大させ、その止水性能を調べた。また、その際の試験水圧は、一般的な堤体樋門の場合、河川のH.W.L.と函体底面との水頭差は5.0m程度が多いことより若干の安全率を見込み、水頭差を10mすなわち $9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$ { 1.0 kgf/cm^2 }とした。

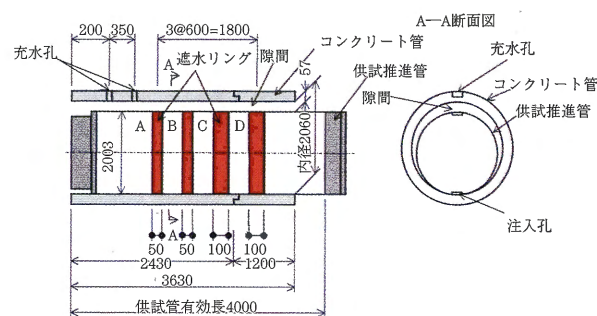


図16 試験装置の概要
Fig.16 Hydrostatic load test

4.2.2 ゴムリングタイプの止水性能確認試験

実験に用いたゴムリングは、硬度55度でゴム幅が50mmおよび100mm、硬度70度でゴム幅が50mmおよび100mmの計4種類とし、止水性能確認試験を行った。

図16に示すように、鉄筋コンクリート管内に遮水リング付推進管を挿入した後、それぞれのゴムリングを管の内面からボルトをねじ出すことによって押し広げ、鉄筋コンクリート管と遮水リング付推進管との隙間部を止水する。その後、推進管のゴムリング間に取り付けられたグラウト充水孔から水圧 $9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$ { 1.0 kgf/cm^2 }を負荷し、漏水の有無を確認した。

なお、現場における施工管理基準の確立の目的で、ボルトの最適締め付けトルクのデータ収集を併せて行うこととした。

水圧は、水圧テストポンプを用いて負荷する方式と水頭差による高置水槽方式の2種類で負荷した。



図17 水圧テストポンプ
Fig.17 Pressure pump

論文・報告

1) 水圧テストポンプでの止水性能確認試験

大口径ダクトイル鉄管の継手部における止水性能確認に使用される水圧テストポンプを使用した。水圧が数値的に設定できるので高水圧の場合や短期間の止水性能の確認に適している。

以下、水圧テストポンプ（図17参照）による止水性能の確認を「短期止水性能試験」と呼ぶ。

2) 高置水槽による止水性能確認試験

内径80mmの亚克力製透明パイプを利用した有効高 $H=2.0\text{m}$ の高置水槽を供試遮水壁（鉄筋コンクリート管）の底面より10mの位置に設置し、長期止水性能の確認に用いた。仮に遮水リングの隙間より漏水があった場合、その位置などの確認に役立つ。

以下、高置水槽による止水性能確認試験を「長期止水性能試験」と呼ぶ。

4.2.3 チューブリングタイプの止水性能確認試験

チューブリングタイプでは、複数のチューブリングを膨張させた後、そのリング間にグラウトを充填することで止水性が確保できるかの確認を行った。

チューブリング内に充填するグラウト材は、流動性が良くかつ速硬化のある水ガラス系モルタル樹脂を使用し、遮水リング間に充填するモルタル材についてはチューブリング内に充填するグラウト材と同様の水ガラス系モルタル樹脂材と弾性ウレタン系樹脂材を使用した。

1) チューブリング膨張試験

チューブリングが円滑に膨張するかの確認、チューブリングが膨張した際の保護ゴムの追従性確認、および注入圧力、膨張時間の調査のため、図18に示す鋼製治具を用いて予備試験を行った。

この治具は遮水壁の掘削断面に合わせた鋼製の半円形リングであり、これを供試推進管の半周を覆うように取り付けた。その後、チューブリング内にグラウト材を充填しチューブリングを膨張させた後、この鋼製治具を取り外しチューブリングの膨張やグラウトの充填具合などから、チューブリングの膨張を妨げない保護ゴムの形状およびスリット数を決定した。

2) チューブリング止水性能確認試験



図18 チューブリング膨張試験

Fig.18 Expansion test(Type tube-ring)

止水性能確認試験については、ゴムリングタイプで用いた高置水槽による長期止水性能試験を、図19のとおり行った。

まず、供試推進管に取り付けられている4本のチューブリング内に水ガラス系グラウト材を充填し、チューブリングを膨張拡大させた。次に、鉄筋コンクリート管と推進管との隙間部分のA～B間およびC～D間については、チューブリング内へ充填したものと同一、水ガラス系グラウト材を充填し、B～C間については、安全性を高めるため、より止水性能の優れる弾性ウレタン系樹脂材を充填した。また、鉄筋コンクリート管端部については、防水処理（端部閉塞工）を行ない、各充填材および防水処理の養生は24時間とした後、グラウト充填部と防水処置をした管端部の間に、高置水槽を用いて水圧を負荷した。

試験水圧についてはゴムリングタイプと同様に、高置水槽を供試遮水壁の底面より10mの位置に設置し水頭差 $=10.0\text{m}$ 、すなわち試験水圧を $9.8 \times 10^4 \text{Pa}$ $\{1.0 \text{kgf/cm}^2\}$ に設定した。

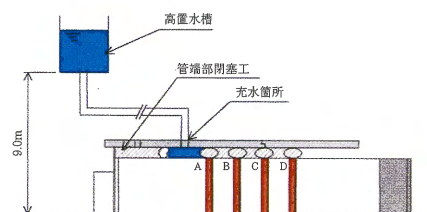


図19 試験状況の概略図

Fig.19 Hydrostatic load test

5. 試験結果

5.1 牽引試験の試験結果

5.1.1 ゴムリングタイプの牽引試験結果

牽引試験の結果、推進管の外装コンクリート表面には、礫などにより多数の深い傷が付いていたが、取り付けられた全てのゴムリング（硬度55度のゴム幅50mmおよび100mm）には損傷が確認されず、推進時に受ける摩擦力などの外力に十分耐え得るだけの強度を有した構造であることを確認した（図20参照）。



図20 牽引試験後のゴムリング

Fig.20 Surface condition after tractive test

5.1.2 チューブリングタイプの牽引試験結果

牽引試験の結果は、保護用ゴムの材質・形状により、表2に示すとおりであった。なお、保護ゴムをナイロン繊維入りゴム板としたチューブリングについては、試験後、保護用ゴムカバーを取り外し、ポリエステル製チューブリングの損傷の有無を確認したが、異常は認められなかった。

表2 牽引試験結果
Table 2 Result of tractive test

材質	形状		牽引結果
	板厚 (mm)	*スリット数 (1リング当たり)	
CR製ゴム板	5	4	損傷
	5	8	〃
	5	12	〃
ナイロン繊維入り ゴム板	6	8	問題なし
	8.5	8	〃

*: 表1に準ずる

5.2 止水性能確認試験の試験結果

5.2.1 ゴムリングタイプの試験結果

1) 水圧テストポンプによる短期止水性能試験結果

表3に水圧テストポンプによる試験結果を示す。

表3 水圧テストポンプによる短期止水性能試験結果
Table 3 Result of short-term hydrostatic load test

ゴムリング		トルク値N・cm [kgf・cm]	漏水の 有無	水圧負荷 状況	備考
幅 50mm	Hs=55度	39.20 [400]	有	試験水圧 $P=9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$ [1.0kgf/cm ²]	ボルトの締付けトルク値がこれ以上増えなかった
		39.20 [400]	微量	試験水圧 $P=9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$ [1.0kgf/cm ²]	〃
幅 100mm	Hs=70度	49.00 [500]	極微量	試験水圧 $P=9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$ [1.0kgf/cm ²]	染み出る程度の漏水
		52.92 [540]	無	試験水圧 $P=9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$ [1.0kgf/cm ²]	時間経過に伴う水圧低下*が割合大
		58.80 [600]	無	試験水圧 $P=9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$ [1.0kgf/cm ²]	10分経過後 $P=7.84 \times 10^4 \text{ Pa}$ [0.8kgf/cm ²]に低下*
		62.72 [640]	無	試験水圧 $P=9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$ [1.0kgf/cm ²]	水圧低下*がトルク値 58.80N・cm [600kgf・cm]時より大
		62.72 [640]	無	試験水圧 $P=9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$ [1.0kgf/cm ²]	

*: 水圧低下の原因について

水圧低下の原因は、試験後に供試管を引き抜いた際の状況より判断すると、下記の状況が推測される。すなわち、ゴムリングの背面に極微量の水が回ることにより、水圧が低下したものと考えられる(図21参照)。

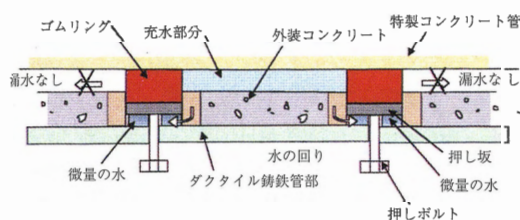


図21 ゴムリング背面への水回り

Fig.21 Cause of reducing water pressure

また、試験状況の概略を図22に、試験状況写真を図23に示す。

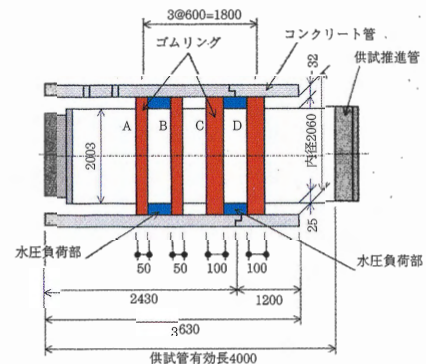


図22 試験状況の概略図

Fig.22 Hydrostatic load test

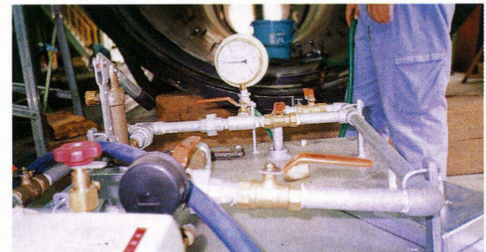


図23 ゴムリング硬度70度、幅B=100mm、ボルト締付けトルク58.80N・cm {600kgf・cm}の試験状況

Fig.23 Picture of hydrostatic load test

また、硬度H_s=70度、幅B=100mmのゴムリングを、押しボルトの締付けトルク値58.80N・cm {600kgf・cm}で行った場合については、負荷水圧を $29.4 \times 10^4 \text{ Pa}$ {3.0kgf/cm²}まで上げたが、漏水は皆無であった。

2) 高置水槽による長期止水性能試験結果

短期止水性能試験結果より、最適締付けトルクは58.80N・cm {600kgf・cm}程度と考えられたので、以下の試験は、ゴムリング硬度70度、ゴム幅B=100mmでボルトの締付けトルク58.80N・cm {600kgf・cm}前後で行った。

以下、押しボルトの締付けトルクの条件を54.88N・cm {560kgf・cm}、58.80N・cm {600kgf・cm}、62.72N・cm {640kgf・cm}としたときの試験結果を表4に示す。

表4 高置水槽による長期止水性能試験結果
Table 4 Result of long-term hydrostatic load test(1)

ゴムリング	締付けトルク N・cm [kgf・cm]	漏水の 有無	高置水槽の減水量
Hs=70度 ゴム幅100mm	54.88 [560]	無	14時間後、約95cm (4500cc)の減水
	58.80 [600]	無	15時間後、約42cm (2000cc)の減水
	62.72 [640]	無	15時間後、約64cm (3200cc)の減水

論文・報告

また、高置水槽における水位低下（減水量）の時間経過を図24に示す。

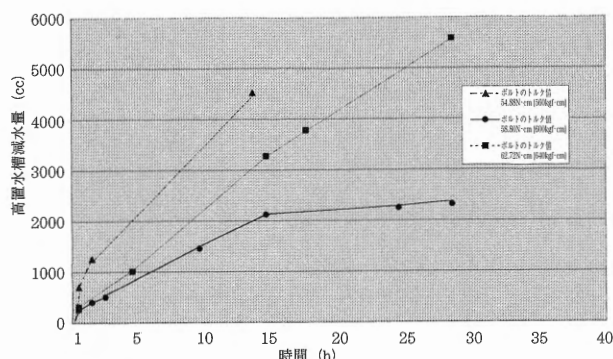


図24 高置水槽による長期止水性能試験結果
(減水量の推移)

Fig.24 Result of long-term hydrostatic load test(2)

5.2.2 チューブリングタイプの試験結果

1) 膨張試験結果

膨張試験結果は、表5および表6に示すとおりであった。

表5 膨張試験結果(1)

Table 5 Result of expansion test(1)

材質	形状		膨張試験結果
	板厚 (mm)	スリット数 (1リング当たり)	
ナイロン繊維入り ゴム板	6	8	問題なし
	8.5	8	保護ゴムにおけるスリット 部の追従性に問題有り*

*：チューブ膨張時、隙間量の小さい（約2.5mm）部分で、スリット部の背面に貼り付けた土砂流入防止ゴム板が原因となり、鋼製治具内面と保護ゴム板との間にクリアランスが生じていた。

表6 膨張試験結果(2)

Table 6 Result of expansion test(2)

材質	形状		注入圧力10 ⁴ Pa [kgf/cm ²]		注入時間
	板厚 (mm)	スリット数 (1リング当たり)	膨張時	*完了時	
ナイロン繊維 入りゴム板	6	8	9.5 [1.0]	9.8 [1.0]	1'15"
	8.5	8	10.8 [1.1] 11.8 [1.2]	29.4 [3.0] 39.2 [4.0]	0'59" 1'01"

*：数度の膨張試験の結果、いずれも9.8×10⁴Pa [1.0kgf/cm²] 前後の注入圧力でチューブが充満状態になり、確実に膨張することを確認している。

チューブリングへのグラウト充填後、0.1mm隙間ゲージをチューブリングと鋼製治具間に差し込み、隙間の有無を確認したが、隙間は認められなかった。

このことから、チューブリングはチューブリング間に止水材を充填するときの遮へい機能（グラウト充填時の型枠機能）が十分期待できると考えられる。

2) 止水性能確認試験結果

図19に示す試験装置を用いて、最大水頭10mを負荷した止水性能確認試験を行った結果、充填されたグラウト部からの漏れは皆無であった（保護ゴムの厚さは牽引試験および膨張試験の結果が良好であったt=6.0mmを用いた）。

次に、高置水槽の水量が時間の経過と共に、減水したので、減水量の経時変化を図25に示す。この減水は、充填したグラウト、コンクリート、供試管の外装コンクリート部などの吸水によるものと推定される。

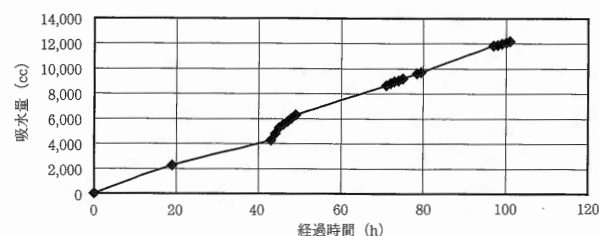


図25 高置水槽における減水量の経時変化

Fig.25 Result of long-term hydrostatic load test

6. 考察

6.1 ゴムリングタイプについて

ゴムリングタイプの遮水リングについては、「牽引試験」ではゴム幅の違いによる、性能の差異が認められず、機能上全く問題がなかった。

しかし、「止水性能確認試験」の結果は、表3に示すとおり、ゴムの形状・材質により顕著な機能の差異が認められた。

まず、ゴムの硬度については、今回設定したオーバカット量およびゴムリングの全高にも関連すると思われるが、硬度の高い70度のゴムリングの方が止水性能に関して良好であることが判った。さらに、ゴム幅については、牽引試験の結果、問題がなかったゴム幅100mmが止水性能に優れ、ゴムリングとして採用でき得る結果となった。

また、押しボルトの締付けトルクは、ゴムの面圧に直接関係する要素であり、今後の施工管理の基準ともなる重要なデータであるが、短期止水性能試験の結果（表3参照）および長期止水性能試験の結果（表4、図24参照）とも、締付けトルク58.80N・cm {600kgf・cm} が最も止水性能に優れることが判った。

しかしながら、今回の実験では、遮水壁を模擬化するため、その内面を粗仕上げした鉄筋コンクリート管を用いたが、現場での推進工法による、遮水壁貫通部の内面

の状態が未確定要素として挙げられ、今後さらに鉄筋コンクリート管内面の表面状態を、悪条件とした追加実験を行いたい。

6.2 チュープリングタイプについて

チュープリングタイプについては、牽引試験で問題がなかった「ナイロン繊維入りゴム板」の内、膨張試験および止水性能確認試験結果が良好であった $t=6.0\text{mm}$ （スリット数8個／1リング当たり）が最適であることが判った。

また、膨張試験の結果より、チュープリングへのグラウト注入圧が $9.8 \times 10^4 \text{Pa}$ $\{1.0 \text{kgf/cm}^2\}$ 程度で、チュープリングは充満状態になることが確認できたが、現場での充填の確実性を確保するため、現場における注入完了時の圧力管理は $19.6 \times 10^4 \text{Pa}$ $\{2.0 \text{kgf/cm}^2\}$ とすることとした（ポリエステル製のチュープリングの耐圧強度は $78.4 \times 10^4 \text{Pa}$ $\{8.0 \text{kgf/cm}^2\}$ ）。

今後、チューブ材質、チューブ内に充填する材料、施工性・経済性などを考え、さらに研究を進めたい。

7. まとめ

これらの性能確認試験結果より、遮水リングとして、ゴムリングタイプおよびチュープリングタイプとも、推進工法により生じた隙間部を確実にグラウト充填することが可能であり、遮水壁貫通部における遮水壁と管体の接触面を完全止水することで、信頼性の高い遮水壁の構築が可能であると判断される。

また、ゴムリングタイプの遮水リングは、チュープリングタイプで用いた弾性ウレタン樹脂材をリング間に充填することによって、より信頼性の高い止水性能が得られる。さらに、遮水壁と推進管の隙間を樹脂材特有の弾力性を活かして、遮水壁と函体とのある程度の挙動差（沈下差など）を吸収することも可能となる。

チュープリングタイプの遮水リングの特徴は、前述のとおり、遮水壁と推進管との間の水みち防止のみならず、土砂部における裏込充填がより確実に行えることにあ

る。さらに、推進工法の内、人力で掘削を行って推進する「刃口推進工法」の際、遮水壁の貫通部内面の凹凸に柔軟に追従する点が挙げられる。

なお、現在、チュープリングタイプの遮水リング付推進工法用US形ダクトイル鋳鉄管を、建設省関東地方建設局利根川上流工事事務所殿および同九州地方建設局大分工事事務所殿にてご採用いただいている。

参考文献

- 1) (財)国土開発技術研究センター編「柔構造樋門設計の手引き」、平成10年11月30日発行

執筆者

上田隆司

Takashi Ueda

平成元年入社

ダクトイル鋳鉄管の配管設計に従事



先崎康人

Yasuhito Senzaki

昭和51年入社

ダクトイル鋳鉄管の配管設計に従事

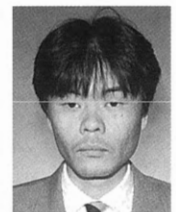


高木啓介

Keisuke Takagi

平成元年入社

ダクトイル鋳鉄管の配管設計に従事



國實 営治

Takaharu Kunizane

平成9年入社

ダクトイル鋳鉄管の配管設計に従事

