

リング間に鋼管挿入式継手 を用いたセグメントの実用化 に関する研究

1. 研究目的

従来、セグメントの継手としては、ボルト継手（短ボルト＋鋼板）を用いていることが多い。しかし、近年シールド工事のコスト縮減を目指した、セグメント価格の低減および組立時間の短縮が可能な各種の継手が開発され、実用化されている。しかし、これらの継手を用いたセグメントは継手部品数が多く、構造が複雑といった課題があることから、本研究ではセグメントに埋め込まれた雌金物（内径44mm）へ径の大きい雄金物（外径45mm）を押し込むことで、セグメントリング間の接合を可能とする鋼管挿入式継手に着目した（図-1参照）。

リング間に用いるこの継手はシールドジャッキの推力のみで締結が可能で、施工の省力化、高速化、自動化に適しており、また構造が単純であることからセグメント製作コストの低減も期待できる。さらに、セグメント間にボルトレスタイプの継手を選定することにより、セグメント内側に露出金物がなく内面が平滑となるため、二次覆工省略型セグメントとしての利用も期待できる。

平成11年度の研究では、性能確認試験を通じて、継手の基本性能と施工性を確認し、またこの継手を用いたセグメントの評価、設計・施工における実用化に向けた検討を行った。平成12年度では、実証施工を通じて実用化の検討を行うとともに、二次覆工省略型セグメントへの適用性も検討することで、下

水道シールド工事のコスト縮減に資することを目的とした。

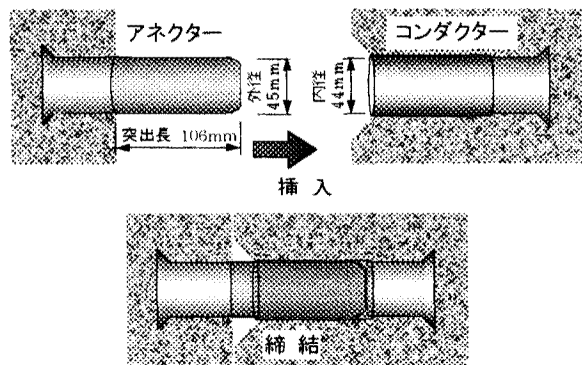


図-1 鋼管挿入式継手

2. 研究体制

本研究は、(財)下水道新技術推進機構、大成建設(株)、石川島建材工業(株)、(株)ケー・エフ・シーの4者で共同研究を実施した。

3. 研究内容

平成11年度から2箇年にわたり実施してきた共同研究の内、平成12年度の主な研究内容は以下のとおりである。

- (1) 設計に関する検討

- ・ 粉体塗装の剥離実験
- ・ 継手の腐食に関する検討
- (2) 施工性の検討 (実証施工)
 - ・ 製作加工性の検討
 - ・ リング継手の性能確認
 - ・ 組立施工性の検討
 - ・ 施工管理に関する検討
 - ・ 施工歩掛りの検討
- (3) 応用検討
 - ・ 実証施工による二次覆工省略への適用性

4. 研究成果の概要

4.1 設計に関する検討

4.1.1 粉体塗装の剥離実験

鋼管挿入式継手のアネクターに施されている粉体塗装には以下の機能がある。

- ① 締結時の鋼管の焼き付き防止
- ② 安定した挿入力, 引抜力の確保
- ③ 防錆の効果

本継手はセグメント端面から突出しており, セグメントの取り扱いの不具合で塗装が剥離する可能性がある。そこで, 塗装が剥離した場合を想定して, 剥離面積と挿入引抜力の関係を求めた (図-2 参照)。

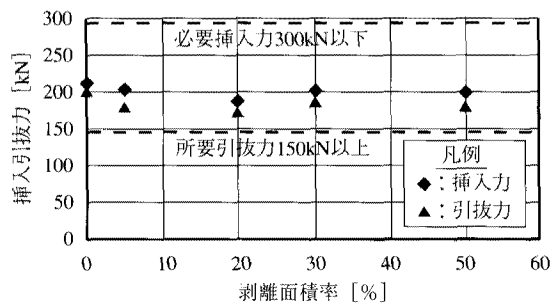


図-2 粉体塗装剥離面積と挿入引抜力の関係

結果として, 50%を剥離させた場合においても, セグメント組立時のシールドジャッキの推力を考慮して定めた必要挿入力300kN以下, シールド材の反発力に安全率1.5を確保した所要引抜力150kN以上を満足し, 継手の性能として支障がないことを確認した。ただし, 挿入引抜力の安定性確保および防錆効果の維持のため, 剥離した場合は補修が必要である。

4.2 施工性の検討 (実証施工)

4.2.1 実証施工工事概要

鋼管挿入式継手型セグメントの実証施工を下記工

事の直線部で行った。

工 事 件 名：第二浅草幹線その2工事

発 注 者：東京都下水道局

工 法：泥水式シールド工法, ϕ 4,450mm

セグメント仕様：外径 ϕ 4,300mm

桁高200mm, 幅1,000mm

実証施工数量：100リング

リ ン グ 継 手：鋼管挿入式継手

セグメント継手：コンクリート突合せ継手
(ガイダンスロッド)

土 被 り：約30m

土 質：砂礫層 (東京礫層)

なお, セグメント継手がコンクリート突合せ継手であるため, 組立ボルトを1ピース当たり2本設置し, セグメント組立時の安定を図った。

4.2.2 製作加工性の検討

鋼管挿入式継手型セグメントは, 従来のボルト継手型セグメントとは異なり, リング間にボルトボックスがなく, 配筋上の制約が少ないため, セグメント製作加工性の向上が期待できる。ここでは, セグメントの製作工程を比較し, 製作加工性の検討を行った。また, 継手性能および施工性に影響する継手の製作精度および設置精度について測定を実施し, 必要精度が確保されているか否かを確認した。

(1) 製作工程での比較

セグメントの製作工程の中で, 鋼管挿入式継手が従来のボルト継手と大きく異なる作業内容は以下のとおりである。

- ・ 型枠への設置では, 継手の設置後に鉄筋かごのセットができる。
- ・ 脱型では, ボルトボックス抜型の取り外し, ボックス付近の点検清掃が無い。

また, 鋼管挿入式継手型セグメントの製作性の特徴を表-1に示す。

表-1 製作性の特徴

製作工程	長 所	短 所
鉄筋かごの製作	継手の構造が単純で, 配筋の加工・組立の簡素化が可能	
型枠への設置	型枠へのセット時間の短縮が可能	アネクター, コンダクターの取り扱いに留意が必要
脱 型	ボルトボックス付近の点検・清掃の作業工程の省略が可能	アネクターの突出部に留意が必要
保管場所への移動	防錆対策が不要	アネクターの突出部に留意が必要
搬送車への移動		継手を利用した移動が不可

以上より、アネクターの突出部に留意する必要があるものの、配筋加工・組立が簡素化でき、型枠へのセット時間や脱型時の省力化が図れ、製作加工性の向上が期待できることを確認した。

(2) 製作精度の確認

継手単体金物の製作精度は、アネクターとコンダクターとも形状寸法は許容誤差（外径・内径±0.3mm）範囲に収まり、粉体塗装の外観等にも問題が無いことを確認した。また、設置精度については、継手ピッチおよび突出長とも許容誤差±1.0mm以内となっていた。

このことから、鋼管挿入式継手型セグメントは製作上、継手性能および施工性において要求される精度を満足できると言える。

4.2.3 リング継手の性能確認

継手の性能は、単体試験およびコンクリートブロックに継手を設けた供試体での試験（直材試験）により目標とした挿入力300kN/本以下および引抜力150kN/本以上、せん断耐力108kN/本を既に確認しているが、今回実証施工で使用する実セグメントを用いて鋼管挿入式継手の性能確認試験を再度実施した。

(1) 挿入引抜試験

挿入引抜試験は、A型セグメントを3分割し、中央に継手を1箇所設けた供試体を使用して実施した。

挿入試験では230kN/本で供試体が接触状態となり、必要挿入力が300kN/本以下であることを確認した。

このときの荷重-変位の関係を図-3に示す。一方、引抜試験では166kN/本で供試体にクラックが発生したが、継手引抜耐力は所要引抜力150kN/本以上を満足した（図-4参照）。

(2) せん断試験

リング継手せん断試験は、挿入引抜試験と同様な供試体を用い、せん断耐力が直材試験より設定した必要せん断耐力108kN/本以上を満足することを確認するために行った。

試験では図-5に示すように、111kN/本以上のせん断耐力を確認した。

4.2.4 組立施工性の検討

鋼管挿入式継手は、コンダクター側のセグメントに設けられているテーパ部がガイドの役割（調芯機能）を果たすため、位置決めが簡単であり、シールドジャッキの

推力のみで締結が可能なことから、組立時間の短縮が期待できる。そこで、従来のボルト継手型セグメントと鋼管挿入式継手型セグメントの組立時間を比較し施工性について検討を行った。

セグメント組立作業の各要素に要した時間を図-6に示す。なお、鋼管挿入式継手型セグメントの組

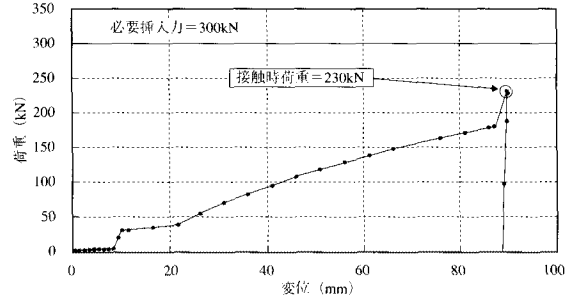


図-3 挿入試験結果

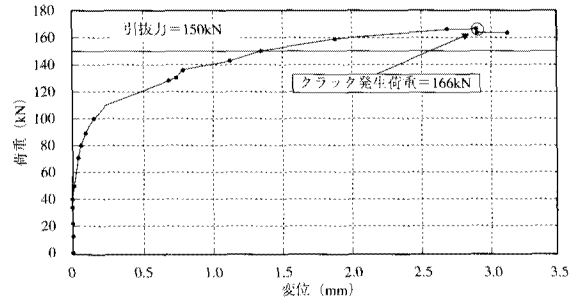


図-4 引抜試験結果

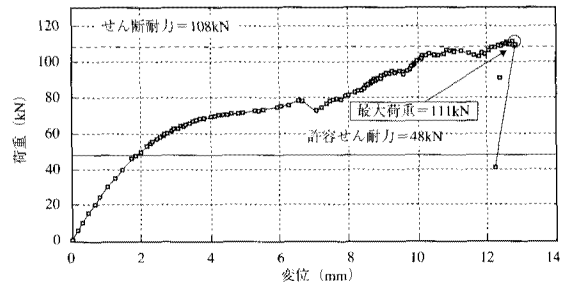


図-5 せん断試験結果

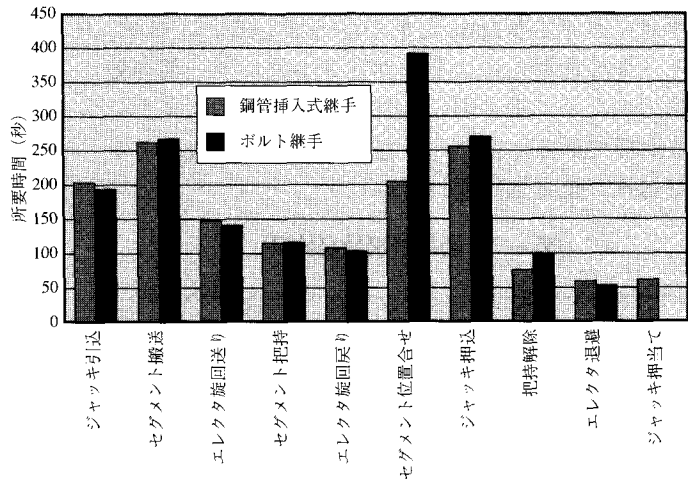


図-6 セグメント組立時間の比較

立時間は後半8リングの平均値としている。また、ボルト継手型セグメントの位置合わせ時間にはボルト締結の時間が含まれている。

組立時間の比較結果は、以下のとおりである。

- ① 鋼管挿入式継手で1,509秒、ボルト継手で1,658秒と約9%の短縮が可能
- ② セグメント位置合わせ時間は約40%の短縮
- ③ 本継手に適したシールドジャッキの配置（ジャッキ位置と継手位置との一致により、締結時未使用ジャッキの押し当て時間の短縮が可能）により約13%の短縮が可能

4.2.5 施工管理に関する検討

セグメント組立完了後、内空変位、目違い、目開き、外観について、計測および観察を行った。

(1) 真円度

真円度の計測結果を表-2に示す。

表-2 最終出来形結果

		鋼管挿入式継手	ボルト継手
鉛直径	最大値	+3.0	+3.0
	最小値	-6.0	-7.0
	平均値	-1.0	-2.0
水平径	最大値	+1.0	+4.0
	最小値	-5.0	-7.0
	平均値	-2.0	-3.0

鉛直、水平方向ともボルト継手に比べ鋼管挿入式継手を用いたセグメントのほうが、セグメント内径規格値に近く、またバラツキも小さく、真円度が向上していることを確認した。

(2) 目開き

セグメント1リング当たりの平均目開き量の結果を表-3に示す。ボルト継手の目開き量がセグメント間0.6mm、リング間0.7mmに対して、鋼管挿入式継手はそれぞれ0.3mm大きくなっている。これは、ジャッキの片押しによるセグメントコーナー部の破損防止のために継手面に貼付され緩衝材の反発力による影響である。ただし、目開き量は許容値内となっており、止水問題は無い。

表-3 目開き量計測結果

位置	鋼管挿入式継手型セグメント	ボルト継手型セグメント	許容値
セグメント間	0.9	0.6	2.0
リング間	1.0	0.7	2.0

(3) 目違い

セグメント間およびリング間の1リング当たりの

平均目違い量を表-4に示す。鋼管挿入式継手はボルト継手に比べ目違い量が半分以下となっている。これは、組立精度が向上したことを示している。

表-4 目違い量計測結果

位置	鋼管挿入式継手型セグメント	ボルト継手型セグメント	許容値
セグメント間	0.2	0.7	3.0
リング間	0.5	1.1	3.0

(4) 外観

実証施工区間100リングにおいて、本継手が原因となるクラックや漏水は確認されなかった。

4.2.6 施工歩掛りの検討

セグメントの組立施工性の検討結果より、セグメントの組立時間を1,500秒（25分）として施工サイクルを設定し、施工歩掛りを算定した。ただし、平均施工サイクルは、従来の作業効率の実績から実測値の75%とした。その結果、平均日進量はボルト継手では7.5m/日に対し、鋼管挿入式継手では7.9m/日となった。

4.3 応用検討

4.3.1 継手の腐食に関する検討

シールドトンネル供用開始後、地震による残留変位が生じ、リング間に目開きが発生すると、粉体塗装が剥離したアネクターが露出する。二次覆工を省略する場合、露出部分は耐食性が低下し、トンネル内側からの水や硫化水素により腐食が促進する可能性があるため、腐食対策が必要となる。そこで、二次覆工省略時の腐食対策について継手部とトンネル内面の2ケースに分けて検討を行った。

(1) 継手部腐食対策

腐食対策は、継手に耐食性を確保するのではなく、セグメント間に目開きが生じた場合においても継手部に腐食促進物を浸入させないこととした。具体的には、図-7のように継手周囲にリング状に止水シール材を配置し、内面側からの浸入水による腐食を

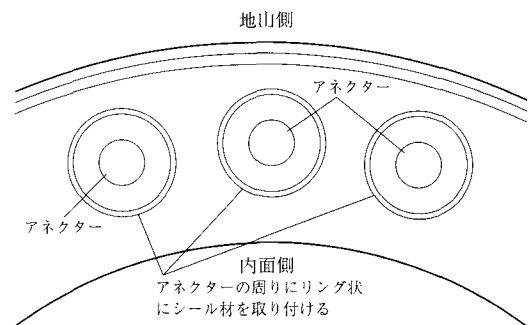


図-7 継手部腐食対策

防止する。ただし、汚水幹線のように硫化水素が発生する場合は、シールド材の腐食が想定されるので、トンネル内面の腐食対策が必要となる。

(2) トンネル内面腐食対策

二次覆工省略を汚水幹線に適用する際には、セグメント本体の腐食対策が必要となる。耐食性セグメントの場合は目地のコーキング，通常のセグメントの場合はセグメント内面に薄肉のライニングを施すこととなる。トンネル内面を防食材で被覆することで、継手部への硫化水素の浸入も阻止できるため、継手部の腐食防止が可能となる。

4.3.2 実証施工による二次覆工省略への適用性

シールド工法で下水道管渠を築造する場合，通常現場打ちコンクリートで二次覆工を行う。しかし，最近ではシールド技術の向上およびコスト縮減の流れを受け，本来二次覆工が有する機能を一次覆工に負担させ，二次覆工を省略する施工実績が増えてきている。鋼管挿入式継手は，ボルトボックスがなく，内面が平滑であり，金物がセグメント内面に露出せず防錆処理が不要なことから，二次覆工省略に適した継手と考えられる。そこで，実証施工結果を受けて，本継手が二次覆工省略に適しているか否か再評価した。

(1) 内面の平滑性

実証施工における一次覆工完了時の状況（写真-1参照）を，鋼管挿入式継手型セグメントとボルト継手型セグメントを比較して示す。また，セグメント1リング当たりのボルトボックス数を比較すると以下のようなことになる。

- ・ボルト継手型セグメント 合計56箇所
〔リング間：32箇所，セグメント間24箇所〕
- ・鋼管挿入式継手型セグメント 合計12箇所
〔リング間：0箇所，セグメント間12箇所（組立ボルト用）〕

このように，鋼管挿入式継手型セグメントはボルトボックス数がボルト継手型セグメントの約1/5と少なく，大きさも組立ボルト用で小さいことから，内面平滑性の向上が一次覆工完了状況からも確認できる。

(2) 二次覆工省略への適用性

本継手を用いたセグメントは内面の凹部が非常に少なくまた小さいことから，内面平滑化のための充填工が著しく低減できる。また，今回の実証施工で使用したコンクリート突合せ継手で，さらに組立ボルトを省略することにより，ボルトボックスを全くなくすることができる。一方，実証施工の結果，組立



(1)ボルト継手型セグメント



(2)鋼管挿入式継手型セグメント

写真-1 一次覆工完了状況

精度（真円度，目違い）がボルト継手型セグメント以上であることが確認されており，本継手は二次覆工省略型セグメントの継手として適していると判断できる。

4.4 建設コストの低減

今回の実証施工現場をケーススタディとして，二次覆工を省略した場合のコスト低減効果を以下の条件で試算した。

- 1) 施工延長1,000m
- 2) セグメント外径 ϕ 4,300mm，桁高200mm
- 3) 一次覆工時の日進量7.9m（ボルト継手の場合7.5m）
- 4) 二次覆工省略はボルトボックスの穴埋め費用の有無を考慮（掘削断面縮小は考えない）
- 5) 検討ケース

ケース①：組立ボルト2本/ピース

ケース②：組立ボルトなし

以上の条件で試算した結果をボルト継手型セグメントと比較すると以下のようなことになる。

- ・セグメント単価はケース①で約6%増，ケース②

で約2%減となる。

- ・一次覆工費はケース①で約4%増、ケース②で約2%減となる。
- ・二次覆工省略の場合はケース①で約6%、ケース②で約13%減となる。

5. まとめ

本研究では、シールド覆工の高速化・省力化を目的に開発された鋼管挿入式継手に着目し、継手の基本性能を整理するとともに、実証施工を通じて、セグメントの組立時間の短縮、製造コストの低減、日進量の改善、さらに二次覆工省略型セグメントへの適用性を踏まえ、建設コストの縮減の可能性について研究してきた。

以下に本年度の主な研究成果の概要をまとめる。

1) 粉体塗装の剥離実験

アネクターの粉体塗装が50%剥離した場合でも必要挿入力300kN/本以下、所要引抜力150kN/本以上を満足する挿入引抜力が得られた。

2) 製作加工性の検討

本継手を用いたセグメントは、アネクターの突出部に留意が必要となるが、製作加工性の向上が期待できる。また継手性能と施工性から要求される精度は製作上満足できることを確認した。

3) リング継手の性能確認

実証施工で使用するセグメントを用いた性能確認試験で、挿入引抜力およびせん断耐力とも目標値を満足する結果となった。

4) 組立施工性の検討

セグメント組立時間は、ボルト継手に比べ約9%の短縮が可能である。また、本継手に適したジャッキの配置により約13%の短縮が可能となる。

5) 施工管理に関する検討

セグメント組立後の真円度および目違い量は、ボルト継手の場合に比べ有利となるが、目開き量はセグメント破損防止用の緩衝材の反発力によりセグメント間およびリング間とも0.3mm大きくなった。

6) 施工歩掛りの検討

日進量は約5%向上し、作業効率を考慮した場合7.9m/日となる。

7) 継手の腐食に関する検討

継手部の腐食対策にはリング状の止水シール、硫化水素等が発生する汚水幹線に対しては、薄肉ライニング工等のトンネル内面被覆で対応が可能である。

8) 実証施工による二次覆工省略への適用性

鋼管挿入式継手型セグメントは、実証施工で内面平滑性および組立精度の向上が確認されており、二次覆工省略に適したセグメントである。

9) 建設コストの低減

実証施工現場をケーススタディとし、二次覆工省略時のコストを試算すると、組立ボルトがある場合で約6%減、また、組立ボルトがない場合で約13%減となる。

以上のように、リング間に鋼管挿入式継手を用いたセグメントは、実証施工においてもセグメント組立の作業性の向上、時間の短縮、出来形の向上が図れること、さらに二次覆工省略に適したセグメントであることが確認できた。

今後増加が予想される二次覆工省略に対して、本セグメントの適用は非常に有効であると考ええる。今後の課題としては、組立ボルト省略等によるセグメント製作コストの低減に向けた検討、実施工による省力化および曲線区間への適応性の確認、二次覆工省略への適用に向けた詳細検討などが必要となる。

●この研究に関するお問い合わせは

研究第二部長	中里 卓治
研究第二部総括主任研究員	野村 宜彦
研究第二部研究員	田中 孝
研究第二部研究員	加藤 雅治