

下水道内面被覆工法の開発と実用化

山村 康夫*1・千々岩 三夫*2

概 要

下水道シールドトンネルの二次覆工をタフシート($t \approx 2.5\text{mm}$)で防食ライニングする工法を開発し、普及展開している。このたび、新赤坂幹線工事(雨水貯留幹線、仕上がり内径 $\phi 2,700\text{mm}$ 、路線延長 $L=732.65\text{m}$)において、曲線部($R=30\text{m}$)を含む約 84m を、タフシート内面被覆工法で施工した。

考案した貼付装置・照射装置・足場等を使用して、順調に作業を進めることができ、効率的に高品質の防食被覆を形成できることが確認できた。

本報告では、工法の概要と実施工の結果および今後の改良点について報告する。

キーワード：タフシート、内面被覆、下水道、FRP、防食、セグメント

Development and practical application of an inner lining technique for sewers

Yasuo YAMAMURA*1 Mitsuo CHIDIWA*2

Abstract

A technique has been developed for corrosion-resistant secondary linings for shield-driven sewer tunnels, using TUF Sheet (about 2.5 mm thick). The application of this technique is spreading rapidly. The Shin-Akasaka trunk sewer project (stormwater storage tank 2,700 mm in finished inner diameter, 732.65 meters long) used 84 meters of this TUF Sheet inner lining including a curved part (30 m in radius).

By the use of newly developed equipment including application devices, radiation devices and scaffolds, we completed the project, and confirmed that the technique effectively formed the high-quality corrosion-resistant lining.

This paper describes the overview of the technique, results of application, and points to be improved further.

Keywords: TUF Sheet, inner lining, sewer, FRP, corrosion-resistant, segment

*1 Construction Technology Group, Engineering Technology Center, Engineering Division

*2 Manager, Construction Technology Group, Engineering Technology Center, Engineering Division

下水道内面被覆工法の開発と実用化

山村 康夫*1・千々岩 三夫*2

1. はじめに

従来、下水道管渠にはトンネルの蛇行修正、止水性の向上、管渠内面の防食などの目的から、一次覆工となるシールドトンネルの内面に厚さ150～300mmのコンクリート二次覆工を施工している。特に近年では、施工技術の進歩により、防食性能の向上のみを目的として施工するケースが増えているが、従来のコンクリート二次覆工では、硫化水素に起因するコンクリートの腐食に対して、十分な防食機能を期待できないことが明らかになってきている。そのため、コンクリート二次覆工のかわりにセグメントの内面に薄肉の防食ライニングを施す「内面被覆工法」が注目されており、施工例も増加しつつある。

当社では、平成10年度よりタフシート(紫外線硬化型FRPシート)を用いた内面被覆工法の技術開発を進めており、平成14年度(財)下水道新技術推進機構とゼネコン6社による共同研究に参加し、その成果として技術資料を発行している。

今回、新赤坂幹線工事(雨水貯留幹線、仕上がり内径 ϕ 2,700mm、路線延長L=732.65m)において、曲線部(R=30m)を含む約84m区間を、タフシート内面被覆工法で施工した。

以下に、工法の概要と実施工の結果および今後の改良点について報告する。

表-1 内面被覆用タフシートの仕様

樹脂の種類	エポキシアクリレート
硬化の方式	紫外線硬化
補強材	耐酸ガラスチョップドストランドマット
ガラス含有率	27.0～33.0 wt%
厚さ	約2.5～2.9mm
重量	約3.8 kg/m ²

2. タフシート内面被覆工法の概要

タフシート内面被覆工法は、表-1に示す厚さ2.5mmのGFRP(ガラス繊維強化プラスチック)シートを内面に貼付けて、トンネルの防食性・防水性・内面の平滑性などを向上させる工法である。

二次覆工の薄肉化を図ることで、図-1に示すように内空断面を確保しつつ掘削外径を縮小できるので、掘削土量の減量化やセグメントの縮小化となり、全体工事費の低減と工期短縮を図ることができる。

タフシート内面被覆工法は、次のような特長がある。

- ① 想定耐用年数50年以上の高い耐薬品性と優れた耐摩耗性。
- ② 外水圧0.5MPa以上の高い耐水圧性能²⁾。
- ③ 硬質塩化ビニル管と同程度の内面の平滑性。
- ④ 施工性に優れ、施工速度が速い。
- ⑤ シートは工場製品なので品質が安定しており材料の無駄も少ない。
- ⑥ 樹脂の飛散が少なく作業環境が良い。
- ⑦ 硬化後の二次積層が可能で部分補修等のメンテナンスが容易。

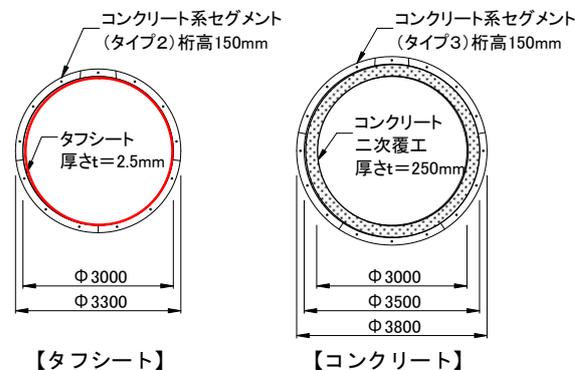


図-1 施工断面の比較

*1 エンジニアリング本部 技術センター 施工技術グループ

*2 エンジニアリング本部 技術センター 施工技術グループリーダー

3. 新赤坂幹線工事

3.1 工事概要

本工事は、東京都下水道局発注の工事で、第二溜池幹線と一ツ木公園立坑を結ぶ延長732.65mの雨水貯留幹線である。仕上がり内径はφ2,700mmで、直線部は防食対応の二次覆工省略型RCセグメントを用い、R=30mの曲線部は鋼製セグメントとコンクリート二次覆工で施工している。このうち、**図-2**に示す発進立坑(上流側)に近い83.78m区間(施工数量：約710m²)をタフシート内面被覆工法で施工した。

3.2 施工概要

図-3にタフシートの施工概要を示す。施工順序は、**図-4**に示すように、(1)下地処理、(2)墨出し、(3)貼付けプライマー塗布、(4)タフシート貼付け、(5)タフシート硬化、(6)仕上げの順に行った。以下に各内容を示す。

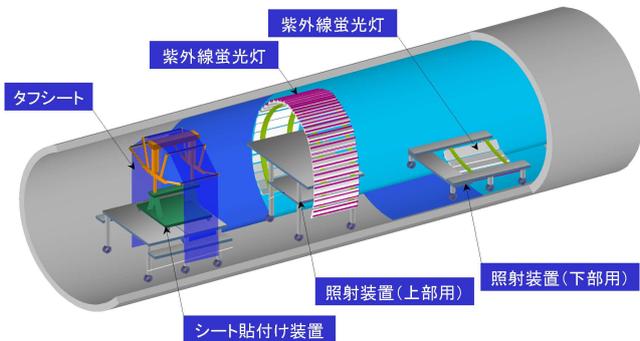


図-3 施工概要

(1) 下地処理

本工事では、施工面がセグメントではなく現場打ちコンクリート面となるため、下地処理をどの程度行う必要があるかを確認するために、事前に下地処理の程度を変えて付着試験を実施した。その結果、表面の汚れや油分などをアセトンで拭き取って脱脂する程度の簡易な処理で、平均2.88MPaと十分な付着力(基準値:1.5MPa以上)を確保できることが確認できた(**写真-1**参照)³⁾。

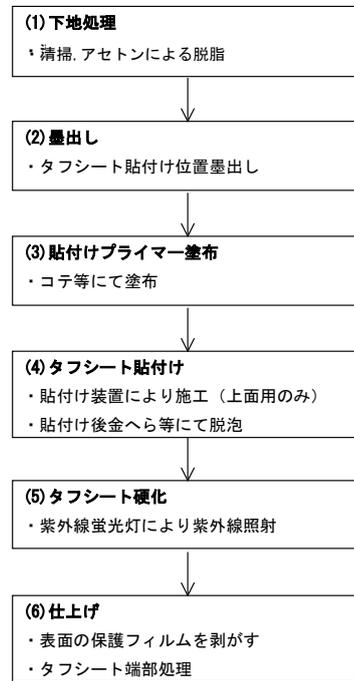


図-4 施工フロー

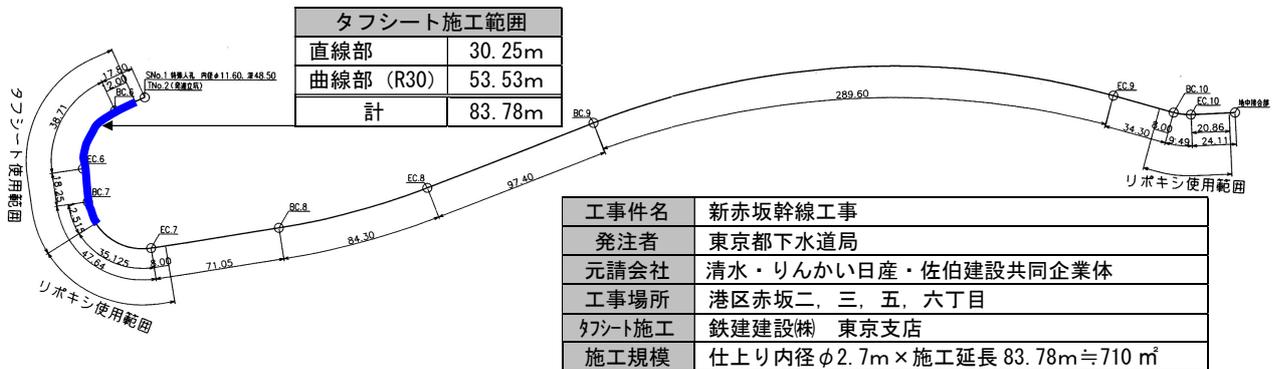


図-2 工事概要

(2) 墨出し

図-5に示す割付図に従ってタフシート貼付け位置および上部中心ラインの墨出しを行った。特に、曲線区間は、継手部の重ね代が50mmを下回らないように、外周側を基準にして位置出しを行った。

(3) 貼付けプライマー塗布

貼付けプライマーは、2液混合の熱硬化型樹脂で、主材となる樹脂に硬化剤を現場で調合した。塗布する面のコンクリートの表面含水率が8.0%以下であることを確認した後、写真-2に示すように、金コテ、ゴムベラ等で塗布した。塗布量は、直線区間は0.6kg/m²、曲線区間は0.8kg/m²を標準とした。

(4) タフシート貼付け

シートの貼付けは、図-6に示すように、周長約8.5mを、上側6.0m、下側2.5m(シート長さは、継手部の重ね代を含めて2.65m)の2分割で施工し、継手部分を左右2箇所にした。縦断方向は、幅1.0mのシートを、継手部の端部が流水の抵抗とならないように下流側から上流側に向けて順次貼付けて行った。このとき、円周方向の継手が重ならないように、200mmずつ千鳥にずらして施工した。

また、上部用のタフシートを貼付ける際は、施工効率の向上と、正確な位置合わせを行うために、図-7に示す貼付け台車を使用した。写真-3、4に貼付け状況を示す。



写真-1 付着強度の事前確認状況



写真-2 貼付けプライマー塗布状況

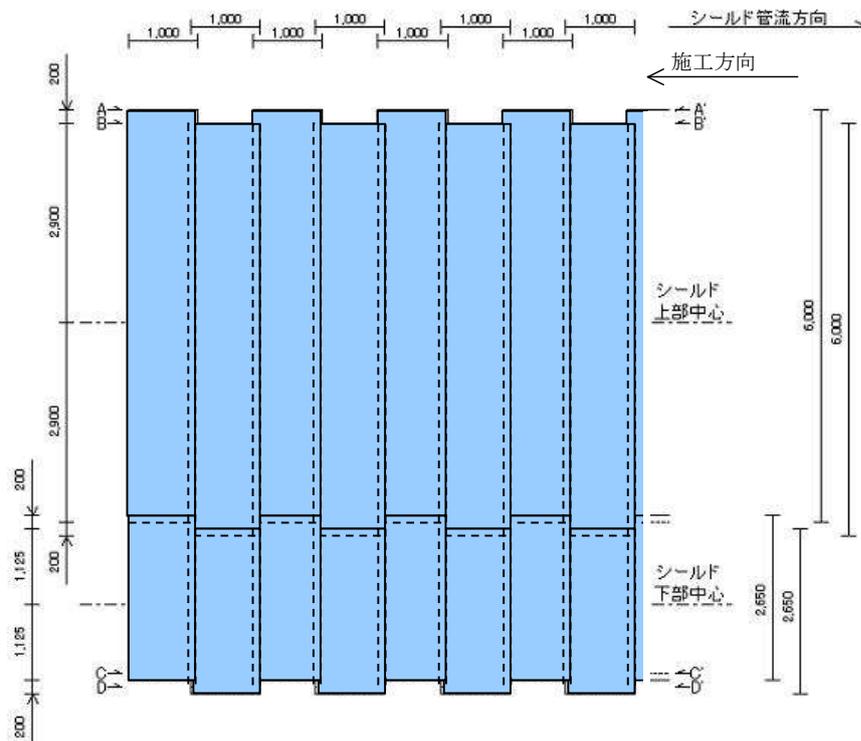


図-5 タフシートの割り付け

(5) タフシート硬化

タフシート貼付け後、図-8、図-9に示す紫外線照射装置を使用して紫外線を照射した(写真-5、6参照)。照射時間は、紫外線強度 $2,000 \mu W/cm^2$ 以上で20分とし、照射完了後、JIS K 5400 8.4「鉛筆硬度試験」により硬化の確認を行った。



写真-3 タフシート貼付け状況 (上部)



写真-4 タフシート貼付け状況 (下部)

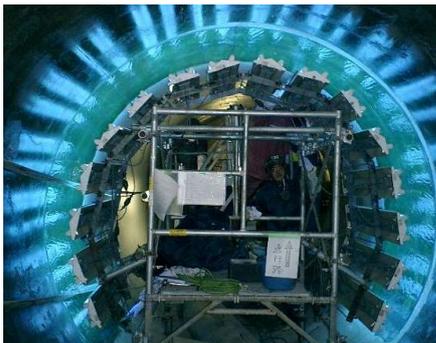


写真-5 紫外線照射状況 (上部)

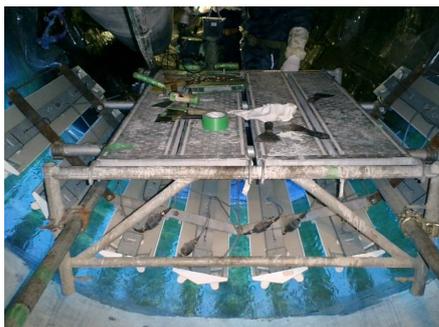


写真-6 紫外線照射状況 (下部)

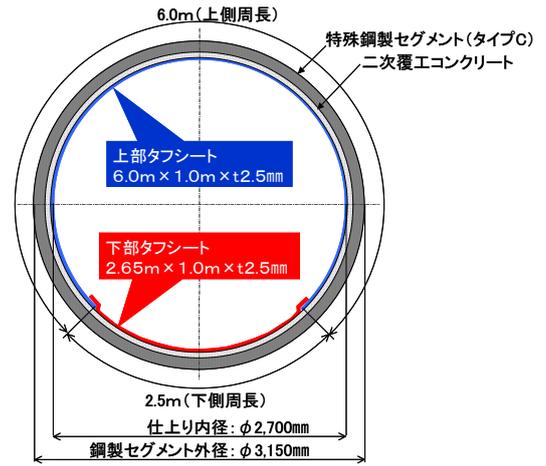


図-6 施工断面図

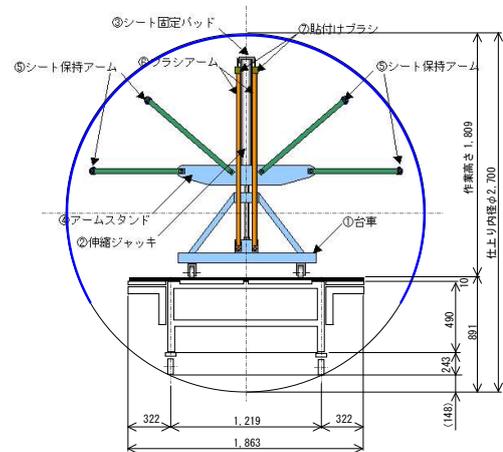


図-7 シート貼付け台車 (上部用)

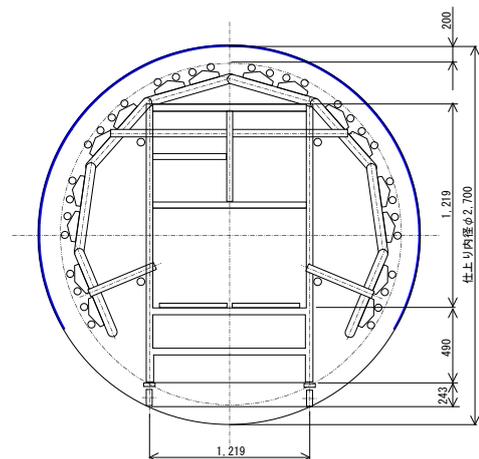


図-8 紫外線照射装置 (上部用)

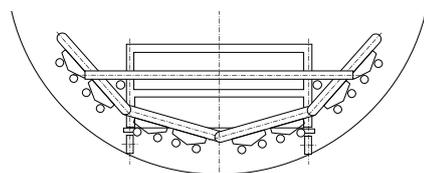


図-9 紫外線照射装置 (下部用)

(6) 仕上げ

タフシート硬化後、表面の保護フィルムを剥がし、端部のバリなどを金ベラ等で除去し内面を平滑に仕上げた。なお、坑内通行等で下面が汚れやすいので、保護フィルムは区間全体の貼付けが完了するまで残しておき、最後に一括して剥がすこととした(写真-7, 8参照)。

3.3 施工結果と今後の改良点

今回の施工により、次の点が確認できた。

(1) 品質

直線区間、曲線区間ともに、品質管理計画で規定した基準値内に収めることができ、流水を阻害するような大きなしわやよれはなく、良好な仕上がりであった。シートの分割数も少なかったため、段差となる継手部も少なかった。また、半透明というタフシートの利点を生かし、貼付け後に下地の状態が目視確認できることも確認できた。

図-10に示すように下地の施工目地に当たる屈曲部においては、シート幅を1.0mから50mm程度に狭くすることにより、端部のしわ

やよれを低減でき、曲線区間の仕上がりをさらに向上させることができると思われる。

(2) 施工性

上部シートの貼付け長さを可能な限り大きく取ることにより、施工速度の向上を図ったが、シート1枚当たりの重量が約30kgとなり持ち運びに苦労した。

今後は、図-11に示すようにシート長さを6.0mから3.0m程度に短くし、3分割/リングとすることにより、貼付けの枚数が増えるが、運搬や位置決めがしやすくなり、施工性が向上するものと思われる。

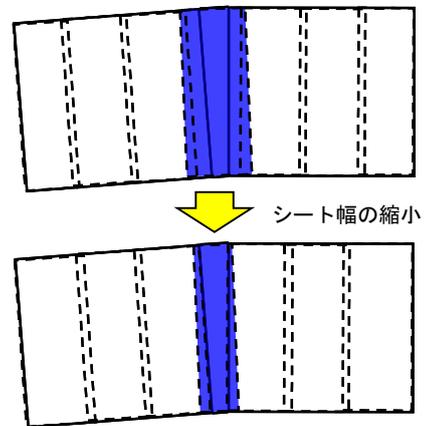


図-10 曲線区間の屈曲部の施工案



写真-7 保護フィルム剥がし状況



写真-8 施工完了状況

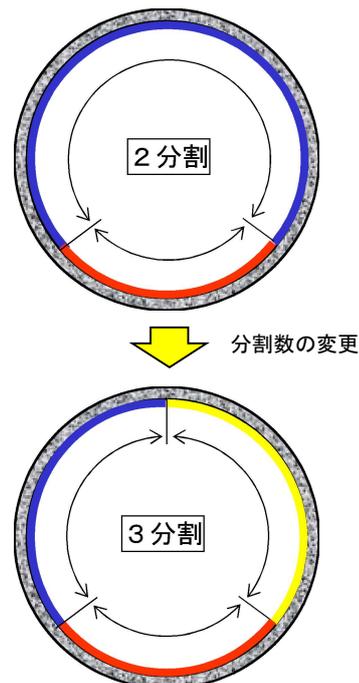


図-11 シート割付けの変更案

(3) 施工工程

表-2 に計画工程，表-3 に実績工程を示す。当初，昼夜2方で合計36方(約20m²/方)で施工する計画としていたが，実績では合計25方(約28.5m²/方)で施工できた。気象条件による作業中止や作業待機，他の作業との競合など厳しい制約の中であったが，約30%の工期短縮を果たすことができた。

(4) 施工サイクル

図-12，図-13に上部および下部シートの1工程当たりの平均サイクルタイムを示す。本工事では，上部と下部は各々別の班で施工し，1サイクル当たりの施工時間は上部が約55分，下部が約45分であった。今回は，特に継手部の端部が流水の抵抗とならないように留意して，下流側から上流側に向けて1リングずつ順に施工したために，紫外線照射時間21分が作業待機時間となってしまった。

今後，さらに施工効率の向上を図るためには，複数班で同時施工することが有効であるが，その場合，継手部の端部が流水の抵抗となるのを

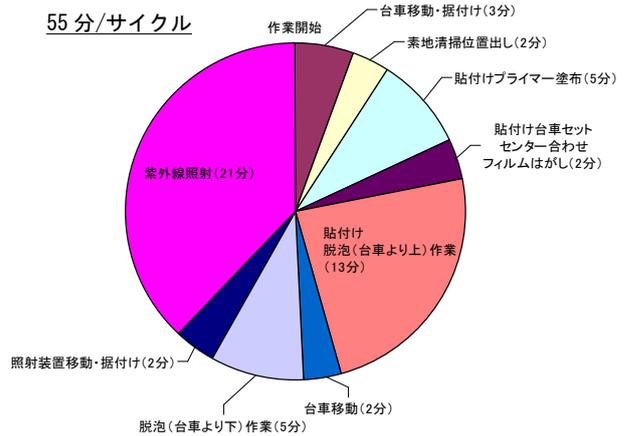


図-12 平均サイクル (上部)

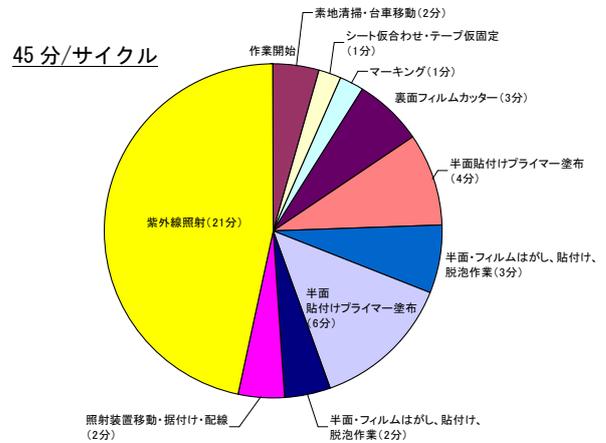


図-13 平均サイクル (下部)

表-2 計画工程 (710.7 m²/18日/2方=約20 m²/方)

延べ日数(日)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
足場・照射装置組立、解体	■					■						■			■
下地処理、墨出し	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
上部シート施工		1方あたり9枚貼付け													
下部シート施工								1方あたり12枚貼付け							

表-3 実績工程 (710.7 m²/12.5日/2方=約28.5 m²/方)

延べ日数(日)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
足場・照射装置組立、解体	■					■								■
下地処理、墨出し	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
上部シート施工		■	■	1方あたり7~11枚貼付け			■	■	■	■	■	■	■	■
下部シート施工			■	■	■	1方あたり5~12枚貼付け				■	■	■	■	■

防ぐために、図-14に示すように、あらかじめ合わせ面になる箇所に帯状のシートを貼付けておき、継手部分を突き合わせ継手とすることによって対応できると考えられる。

4. まとめ

本工事により、以下の点が確認できた。

- ① 考案した貼付装置・照射装置・足場等を使用して、計画した手順に従って順調に作業を進めることができた。
 - ② 品質管理計画に基づく施工管理を実施し、基準値範囲内に収めることができた。
 - ③ 曲線区間を含め流水を阻害するような大きなしわやよれがなく、良好な仕上がりであった。
 - ④ 降雨予報による作業中止や他作業との競合という厳しい制約がある中で、昼夜2方で施工し、所定の工期内に完成させることができた。
- 今後は、これらの結果をもとに「建設技術審査証明」を取得し、本工法の確立と普及発展に努めたい。

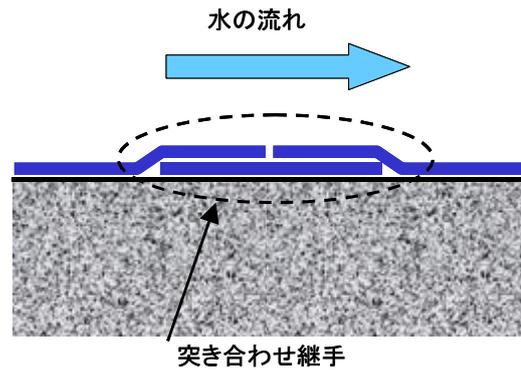


図-14 突き合わせ継手の構造案

参考文献

- 1) 財団法人下水道新技術推進機構：下水道シールドトンネルの内面被覆工法 技術資料，pp.44-45，2002.3
- 2) 山村康夫ほか：鉄建技術研究報告 No.14，pp.72-79，2000
- 3) 日本下水道事業団：下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術指針・同マニュアル，pp.17，45，2002.12