

CMI 報告

防水工に関する研究

藤田 一宏・鈴木 健之

1. 防水工の現状および課題

(1) 防水工の現状¹⁾

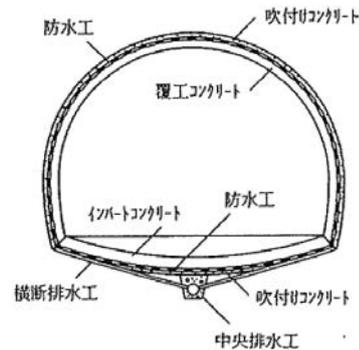
吹付けコンクリートやロックボルトなどの支保部材を主体とする山岳トンネル工法では、トンネル内への漏水を防止するために適切な防水工が施されている。

防水工は、吹付けコンクリートと覆工との間に縁切りを行うことで遮水層を形成するものである（図—1参照）。

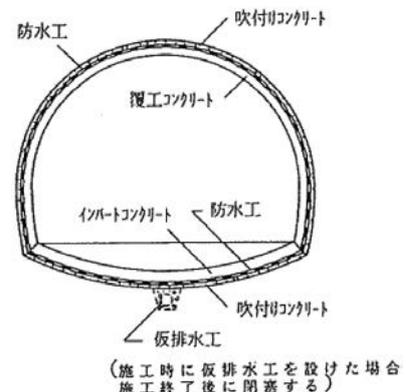
防水工の方法としては、合成樹脂の防水シートを張り付けるシート系とゴムやアスファルトなどを吹付ける吹付け系の2つの工法に大別される。一般的には工場製品であり品質のばらつきが少なく、施工が簡単であるなどを理由に、シート系の方が多用されている。

材料の要求性能としては、耐水性および耐久性の他、接合部の水密性能の信頼性、火災などに対する安全性および作業環境の確保が要求される。このほか、シート系については、吹付け面との馴染みの点で柔軟性・進展性、なおかつ覆工コンクリート打設時の引張り・引裂き力に抵抗できるだけの性質を兼ね備えたものでなければならない。これらの要求性能を満足するために、現状では厚さ0.8～2.0 mm程度が使用されている。

通常のトンネルでは、図—1のような排水型が採用され、アーチ部および側壁部に施工した防水工背面の湧水を中央排水工に導く構造が一般的である。一方で、都市部などでは図—2に示すように、地下水環境保全の目的でトンネル全周に防水工を実施してトンネル内への地下水の流入を遮断する非排水型（ウォータータイト）トンネルの施工事例も少なくない。この場合の防水シートの厚さは、2.0 mm程度を使用してコンク



図—1 排水型トンネル²⁾



図—2 非排水型トンネル²⁾

リート打設などによる損傷を受けにくくしている。

(2) 防水工の施工手順³⁾

防水工の施工手順を図—3に示す。防水工の施工に際しては、まず始めに、防水シートの施工および覆工コンクリートの打設に支障をきたさないように、湧水処理および下地処理を行う。シート展張を行った後には、隣接する防水シート間でトンネル横断方向の現場溶着を行い、シート台車を移動し、次のスパンの防水シートの展張を行う。これをトンネル全区間行った後、端末部および横断配水管との接続箇所において排水を円滑にできるように処理を行い、最後に点検を行って防水工の施工が完了となる。

(3) 防水工における課題

防水シートには、覆工への漏水を防止するという防水機能が期待されている。しかし、施工を行う上で、以下に示す要因により、防水シートの防水機能が損なわれると考えられる。

- ・下地面に極端な凹凸がある場合シート同士の溶着が困難となり、防水シートの溶着性が悪くなるとともに、覆工コンクリート打設時に背面空洞が発生し、防水シートが破損する可能性がある。
- ・吹付け面等の下地処理やロックボルトの頭部などの

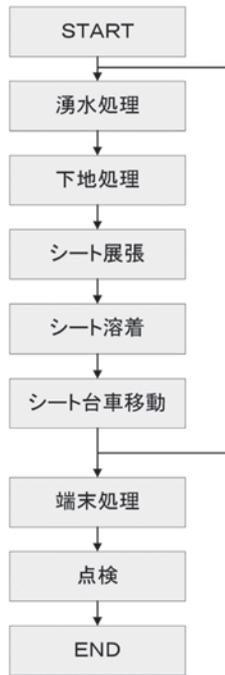


図-3 防水工の流れ

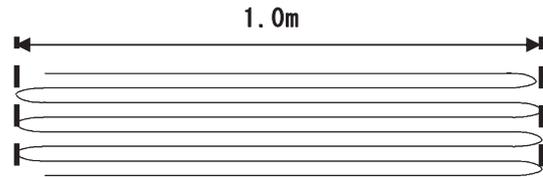


図-4 防水シート形状

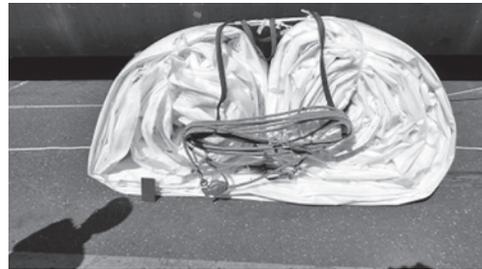


写真-1 防水シート搬入時の形状

突起物処理が不十分な場合防水シートが破損する可能性がある。

- ・防水シートの単位施工延長が短いため、溶着箇所が多く、溶着不良が発生する可能性が大きい。

2. 新しい防水工の開発

(1) 新しい防水工の提案

防水シートには、前述したような施工上の課題があるが、本報告では、防水シートの溶着不良対策および防水シートの品質向上を目的として、一般には、2.0 m である防水シートの単位施工延長を事前に工場シート溶着を行うことにより 12 m に延ばし、現場でのシート溶着作業を約 1/6 程度に縮減する方法を考案した。ただし、このような防水シートは、通常の防水シートよりボリュームがあるため、防水シートの現場への搬入方法、シート台車への設置方法および防水シートの展張方法を新たに考える必要がある。

(2) 防水シートの搬入方法・設置方法

工場溶着した防水シートは、現場での搬入がしやすいように、図-4 に示すように幅 1.0 m 程度のつづら折りにした後、写真-1 に示すようにロール状に巻いて現場へ搬入することとした。このような形状にすることで、クレーン装置付きトラックでの運搬が可能になるというメリットがある。

現場搬入後は、図-5 に示す防水台車により防水シートの設置を行うこととした。防水台車には、片側

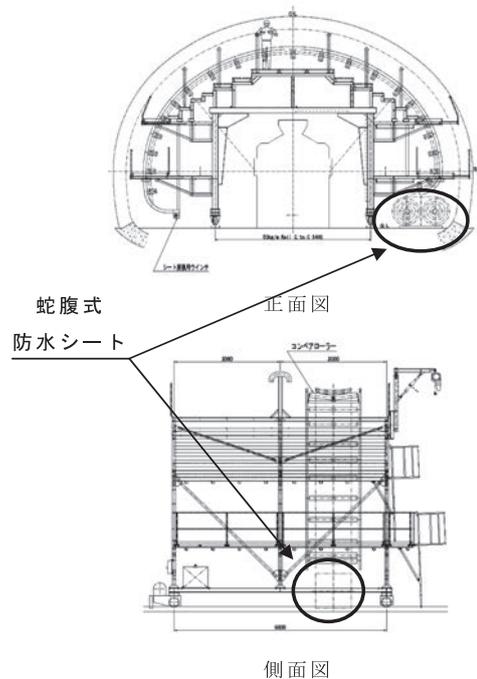
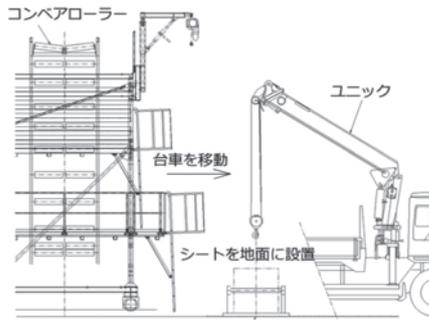


図-5 シート台車

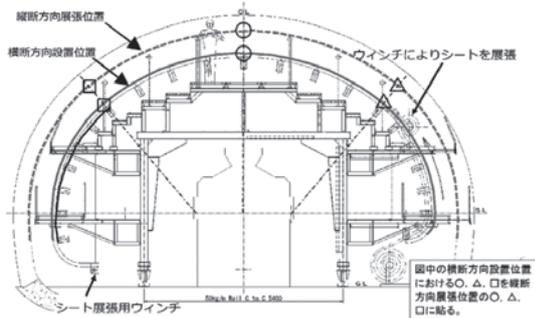
に防水シートを広げるためのウィンチとコンベアローラーおよび簡易なガイドを通常のシート台車に取り付けるのみにして費用を極力抑えるようにした。

防水シートの設置方法及び展張方法を以下に示す。

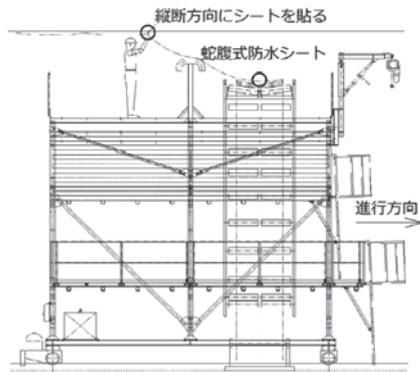
- ①防水シートを地面に置き、台車を移動することで、シート台車の所定の位置に防水シートを設置する(図-6 参照)。
- ②防水シートのロールの中央部にあるシート端部をウィンチで引張ることで、作業台車に防水シートを円周方向に設置する(図-7 参照)。
- ③台車を走行させることにより円周方向に設置した防水シートを展張済みの防水シートに溶着し、縦断方向に展張する(図-8, 9 参照)。



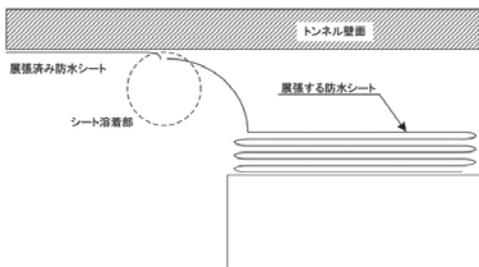
図一六 蛇腹式防水シートの展張手順①



図一七 蛇腹式防水シートの展張手順②



図一八 蛇腹式防水シートの展張手順③



図一九 蛇腹式防水シートの溶着部拡大図

3. 防水シートの展張試験

(1) 試験の目的

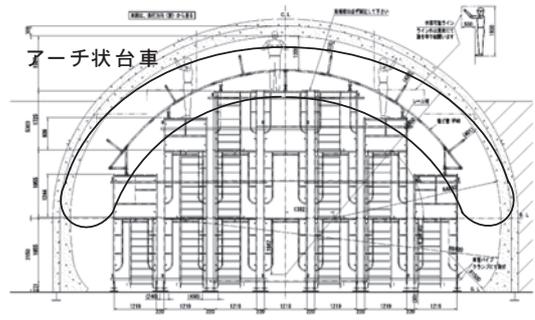
前述の方法での防水シートを展張する際の問題点として、防水シートの展張性(たるみなく展張できるか)と、防水シートとトンネル壁面との接着性が挙げられる。過去の試験で、防水シートの展張性については確認済みなので、今回の試験では、実物大の模擬トンネルの

中にシート台車のモデルを作成し、トンネル壁面とシートとの接着性、および作業性を確認することとした。

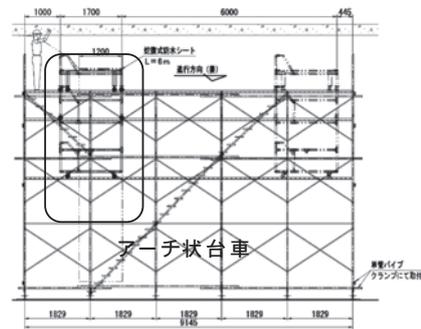
(2) 試験方法

実物大試験では、図一10に示すようにトンネル内に足場を組むことで、シート台車を模擬した。また、足場上にトンネル軸方向に移動可能なアーチ状の台車を作成し、そのアーチ部にシートを載せることで、シート台車の移動を模擬した。

本試験では、図一10のアーチ状の台車を進行方向



正面図



側面図

図一10 模擬シート台車



写真一2 試験準備状況



写真一3 試験状況

に移動し、シートをトンネル壁面に接着していくことで、防水シートとトンネル壁面との接着性および接着作業の作業性を確認するものである。なお、試験時には、トンネルの壁面にマジックテープを事前に接着させておくことで、トンネル壁面とシートを付着させることとした（写真—2, 3）。

(3) 試験結果

試験を実施した結果、以下の課題が確認された。

①防水シートをトンネル壁面と接着する際、トンネル天端から接着していくが、トンネル壁面とアーチ上の台車との離隔が1m程度ある。そのため、シートをトンネル壁面へ接着する際に、シートにかなりの張力がかかり、人力で施工することが困難であった。

②マジックテープの接着力が弱かったため、トンネル壁面にシートを接着することが困難であった。

以上の2点の課題があったが、②に関しては、シートの不織布との接着力試験を行い、接着力が強力なマジックテープを用意することで、対応することが可能である。①に関しては、トンネル天端部から肩部にかけてのシートの壁面への接着はシートの張力がかかるため、人力では困難である。そのため、トンネル壁面との離隔を狭くすることで対応することも考えられるが、図—7に示すようにロール状のシートをトンネル壁面との間を通しながら、周方向にシートを広げるため、ある程度の離隔が必要となる。そのため、一定の高さまでシートを持ち上げる機構をシート台車に備え付けることを検討することが必要である。

4. シート台車の改良

(1) 改良内容

前述のように、トンネル天端や肩部にシートを接着する際に、大きな張力がかかり、人力での施工が困難であるため、図—11に示すようにバルーンを設置し、バルーンによりシートを所定の高さまで押し上げることとした。



図—11 シート台車改良概要図



写真—4 バルーンによる押し上げ時の状況

(2) 実物大試験

セントルにバルーンを取付け、バルーンによりシートを所定の高さまで押し上げることが可能であるか確認を行った（写真—4参照）。

その結果、バルーンにブローアで空気を送り続けることでバルーンが膨らみ、所定の高さまでシートを押し上げることが可能となった。

これにより、バルーンによりシートをトンネル近傍まで近づけ、最終的に人力でシートがたるまないように天端から順番に接着させることが可能であると考えられる。

5. 今後の課題

施工性と経済性を考慮して、蛇腹式防水シート工の検討を行い、展張時のたるみとトンネル壁面への接着性およびその作業性について実験を繰り返し、防水シートの施工方法の検討およびシート台車の改良検討を行ってきた。今後は、現場において試験施工等を行うことが必要であると考えている。

JICMA

《参考文献》

- 1) (社)日本道路協会：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説，2003年11月
- 2) 日本トンネル技術協会 防水シート分科会：山岳トンネル工法における防水工指針，1996年2月
- 3) 地盤工学会：地盤工学実務シリーズ24 山岳トンネル工法の調査・設計から施工まで，2007年7月

【筆者紹介】

藤田 一宏（ふじた かずひろ）
 (社)日本建設機械化協会
 施工技術総合研究所 研究第一部
 次長

鈴木 健之（すずき たけゆき）
 (社)日本建設機械化協会
 施工技術総合研究所 研究第一部
 主任研究員