

42. 防水膜吹付工法の開発と施工の自動化

(株)鴻池組：国松 勝一・近藤 道男
 ＊松生 隆司・蔵野 彰夫

1. はじめに

NATMによる山岳トンネル工事における防水・アイソレーション工には、防水シート工が一般に採用されている。防水シート工は、ポリ塩化ビニル等の防水シート単体もしくは不織布との複合材を1次覆工面に釘で仮留めした後、2次覆工コンクリートの打設を行う工法であるが、シートの貼付時あるいは覆工コンクリート打設時にシート破断や巻き込みによるトラブルがしばしば発生し、これが漏水の原因となっている。また、シートの貼付やジョイント部の接合作業を機械化することは容易でなく、これらの作業は人力に依存した苦渋・危険作業となっているのが現状である。ここで、この問題を解決するための新しい防水・アイソレーション工として、2液混合瞬結タイプの薬液を1次覆工面に吹付け、防水・アイソレーションの機能を持つ防水膜を形成させる防水膜吹付工法を開発した。本報告では、防水膜吹付工法の概要と、実施工に適用した自動化施工システムについて述べる。

2. 防水膜吹付工法の概要

防水膜吹付工法は、アクリル酸塩水溶液を主成分とする主剤を2分して、一方に酸化剤を、他方に還元剤を加えた2種の薬液を作製し、この2液を混合しながら1次覆工コンクリート面に吹付けることにより、防水およびアイソレーションの機能を持った膜（以下、防水膜と称す）を形成する工法である。薬液は、吹付け時の飛散（発霧）と反応途上の生成ゲルの垂れ下がり防止のために、5000cp前後に増粘し、さらに、両薬液を等量に混合した後の反応ゲルタイムが、3～5秒になるよう薬剤を調合している。反応途上の形成物は1次覆工面に対し十分な付着力を持ち、湿潤した壁面であっても密着した膜を形成することができる。また、反応後の防水膜は微細な独立気泡が混在する緊密な海綿状となるため、弾力性に富むアイソレーション機能と優れた遮水機能を有する材質が得られる。防水膜の物性値を表-1に、防水膜の形成フローを図-1に示す。

表-1 防水膜の物性値

試験項目	試験方法	試験結果
引張試験	建築外装材の引張試験方法に基づき引張試験機でダンベル2号試験片の破断荷重を測定する (JIS K 8301 参照)	引張強度 10.0kgf/cm ² 伸び率 500%
引裂試験	建築外装材の引裂試験方法に基づき引裂試験機でダンベルB型試験片の破断荷重を測定する	引裂強度 5.2kgf/cm ²
繰り返し疲労試験	亀裂の入ったスレート板(75×150mm)に厚み3mmの膜を吹き付け、両端を3mm幅で6000回伸縮させる	亀裂が入らなかった伸縮回数 6000回以上
透水試験	土質工学会・土質試験法の透水試験器を用いて3kgf/cm ² の水圧をかけ透水係数を測定する	透水係数 10 ⁻¹² cm/sec以下

本工法の特徴は以下のとおりである。

- ①吹付けコンクリート面に凹凸があり、かつ湿潤状態にあっても、継目のない防水膜が形成できる。
- ②吹付作業を自動化することにより、作業の効率化および品質の安定化が図れる。
- ③吹付けコンクリート面からアンカー筋等が突出していても防水工自体の作業性の低下は少ない。
- ④複雑な形状部の施工にも容易に対応できる。



図-1 防水膜の形成フロー

3. 防水膜吹付機械の概要

本工法においては専用の吹付機械を用いることで施工の自動化が行え、高品質の安定した防水膜を形成することができる。吹付機械のシステム構成は、図-2に示すように、薬液供給装置と吹付装置からなる。

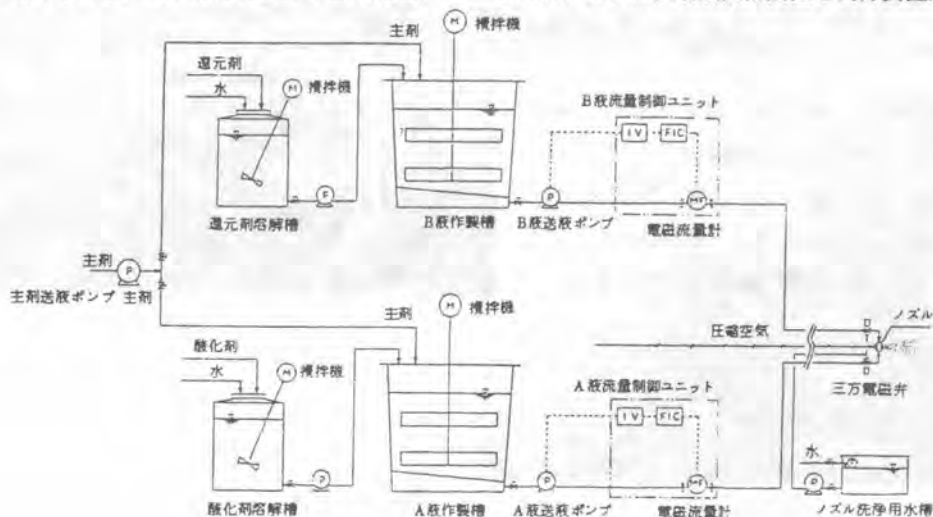


図-2 防水膜吹付機械のシステムフロー

(1) 薬液供給装置

薬液供給装置は、2種の薬液の作製、吹付装置の吹付ノズルへの薬液の定量供給、吹付ノズル閉塞時の洗浄等を行う機能を持ち、一連の操作はシーケンス制御により自動的に行われる。本装置は移動台車に載り、トンネル軸方向に移動可能としている。写真-1に本装置の全体を示す。薬液の送液量管理は、防水膜の品質維持および吹付ノズルの閉塞を防止するうえで重要な管理項目である。送液量については

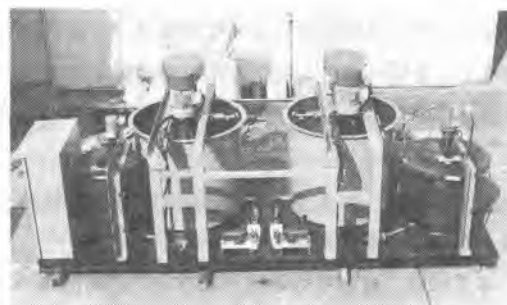


写真-1 薬液供給装置

送液ポンプの吐出側に設置した電磁流量計によって計測し、薬液送液ポンプの回転数をPI制御して一定の流量値に管理している。ただし、送液ポンプの起動時においては、所定の回転数で一定時間運転し

た後、PI制御に移行する2段階の制御方法を採用しており、これによって送液流量のオーバーショットを極力抑制している。

(2) 吹付装置

吹付装置は、ノズル台車、ガイドレール、走行台車等からなる。ノズル台車は、吹付ノズルが首振り運動する機構を有し、一定の幅で1次覆工コンクリート面に2種の薬液を連続的に混合噴射しながらガイドレール上を往復走行する。そして、装置全体を走行台車によりトンネル軸方向へ移動して、覆工面全面に均一な防水膜を自動施工する。写真-2および図-3に吹付装置の全体を示す。ガイドレールはトンネル断面に沿う形状をもち、ガイドレール上面に張ったチェーンにノズル台車の駆動軸が噛み合い、ノズル台車が円周方向に移動する。吹付ノズルを装着するノズルアームには、ガイドレール両端でノズル台車の走行方向の切替えに連動して、トンネル円周方向への吹付角度を変化させる機構が備わっており、覆工面の凹凸にも十分対応することができる。ノズル台車の走行速度と吹付ノズルの首振り速度については、インバータ制御により無段階に調整できる。本装置は、ノズル台車の走行駆動にチェーンドライブ方式を採用したことにより、保守が容易で汎用性に富み、他のトンネル形状に対してもガイドレールの交換で転用が可能である。



写真-2 吹付装置

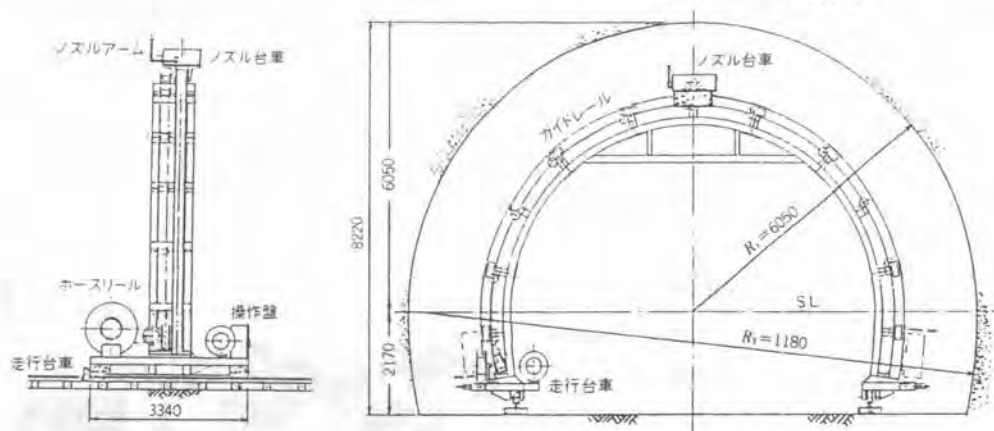


図-3 吹付装置全体図

4. 実施工の適用事例

本工法は、建設省近畿地方建設局の技術活用パイロット事業として国道42号日置トンネル工事に採用され、全長1,185mのトンネル部の内、吹付区間223m、吹付面積5,300㎡を施工した。

施工は前記の吹付機械を用い、防水膜の膜厚が3mmとなる薬液流量、吹付ノズル移動速度を設定し、図-4に示す膜厚管理フローに基づいて品質管理を行った。施工区間のうち、箱抜き部およびロックボ

ルト周辺部のような特殊部分については、吹付機械で十分にカバーできず、補助的に手持ちノズルによる吹付作業を行った。吹付状況を写真-3に、吹付後の状況を写真-4に示す。

施工後の防水膜の機能を検証するために2次覆工コンクリートの変状の観察による追跡調査を行っており、2次覆工コンクリート打設後1年間の経過においては、防水・アイソレーション機能が計画通り発揮されていることを確認している。

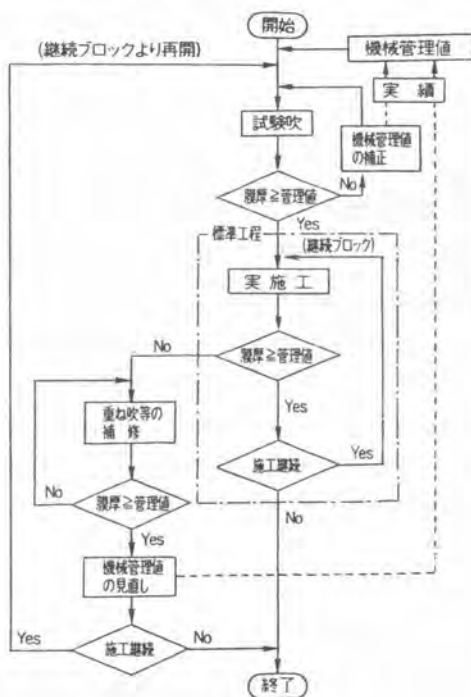


図-4 膜厚管理フロー

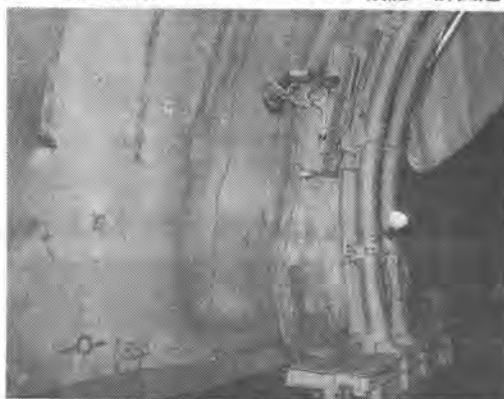


写真-3 吹付状況

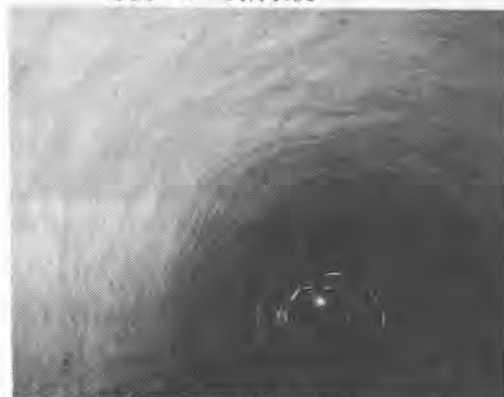


写真-4 吹付後の状況

5. おわりに

NATMにおける新しい防水工として、従来工法より品質が優れ、機械化施工が可能な工法を目指して開発を進め、現在、実施工に対応できる技術をようやく確立した段階である。本工法は、NATMによる山岳トンネル以外にシールドトンネルをはじめ多くの地中構造物の防水・アイソレーション工および貯水池（槽）の防水工への適用が可能であり、今後、さらに改良を加え、本工法の普及を図るつもりである。

最後に、本工法の開発にあたり、ご指導戴きました建設省近畿地方建設局にお礼を申し上げますとともに、ご協力戴いた関係各位に謝意を表します。

6. 参考文献

- 1) 近藤, 和田, 国松: 「地中構造物用2液混合硬化タイプのアイソレーション・防水膜吹付工法の開発」, 土木学会第45回年次学術講演会講演要集, 1990年9月
- 2) 磯岩, 和田, 近藤: 「防水膜吹付け工法の実施工」, トンネルと地下, 1991年7月