

26. TBM一次覆工用としてのファイコン工法の適用

(株)間組 松 垣 光 威・* 畠 山 修

1. まえがき

最近の中硬岩盤を対象とする山岳トンネルの工事においては、機械化による施工の省力化、工期の短縮、工費の低減を目的にトンネルボーリングマシン（以下、TBMと称す）による施工が見直されてきている。しかし、わが国のように地質の変化が激しい地盤をTBMで掘削するには、掘削直後の坑壁を早急に安定させる必要があるために、その成否はNATMの適用が大きなカギになると考えられる。ところが、TBMでの吹付け施工は、図-1に示すように作業空間の大部分を機械本体が占めることから、従来の吹付けコン

クリート工法では、最適な吹付け距離および角度がとれないために、粉じんやはね返りが大量に発生し、施工が困難であるばかりでなく、はね返った材料が機械本体に堆積するので、その後始末の必要から、掘削の進行を著しく遅らす原因となる。また、湧水箇所での施工が困難であるなどの理由から、決め手になる新しい工法の開発が必要とされた。筆者らは、これら従来

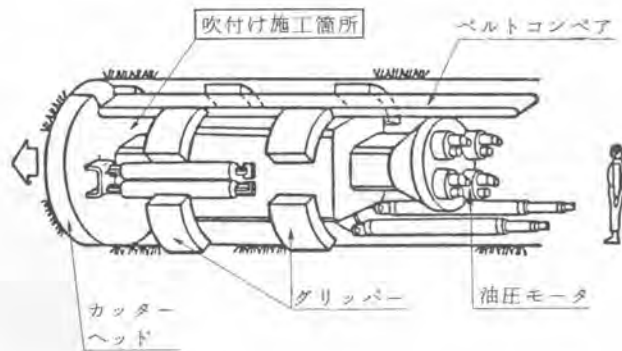


図-1 TBMでの吹付け施工

の吹付けコンクリート工法の欠点を解決するべく特殊な吹付け工法（以下、ファイコン工法と称す）を開発し実用化に成功したので、その概要と実績をここに報告する。

2. ファイコン工法の概要

本工法は、セメント系吹付け工法の一つで、普通ポルトランドセメントを主材とし、これとカルシウムサルフォアルミニート系の特殊な粉末急結剤を別々に水で溶解したペースト状の材料を、それぞれポンプで吹付けガンまで圧送し、ノズル先端部で瞬間的に混合しながら、さらに耐アルカリ性ガラスの短繊維を加えて、塗装の要領で吹付けるものである。図-2にそのシステムを示す。吹付けガンは小型軽量で片手で操作することができる。また吹付け距離を10cmから最大3m程度まで変化させても、あるいは吹付け角度を壁面に対し、最大45°程度まで傾けても、はね返りはほとんど発生しない。さらに、吹付け材料が瞬結性に優れているため、湧水箇所での施工にも強い。一方、完全な湿式工法であるため、品質のパラツキが少なく、粉じんの発生も少ないなどの特長を有している。したがって本工法はTBMの一次覆工用として最適な吹付け工法といえる。写真-1に、関西電力株式会社

御発注の新愛本水力発電所導水路工事におけるTBM切羽付近での本工法による吹付け施工の様子を示す。

なお本工法は、かつて電源開発株式会社御発注の下郷水力発電所導水路工事におけるTBM施工に際して、昭和54年に当社が開発、実用化した石膏系吹付け工法であるショットレジン工法を改良し、新たに開発したもので

ある。本工法とショットレジン工法および従来の吹付けコンクリート工法について比較したものを、表-1に示す。

3. ファイコン工法の試験結果

3.1 硬化時間

セメントペーストに対し急結剤の添加量を変化させた場合の凝結時間は、図-3に示すように、急結剤添加量がセメント重量の10%のとき、始発

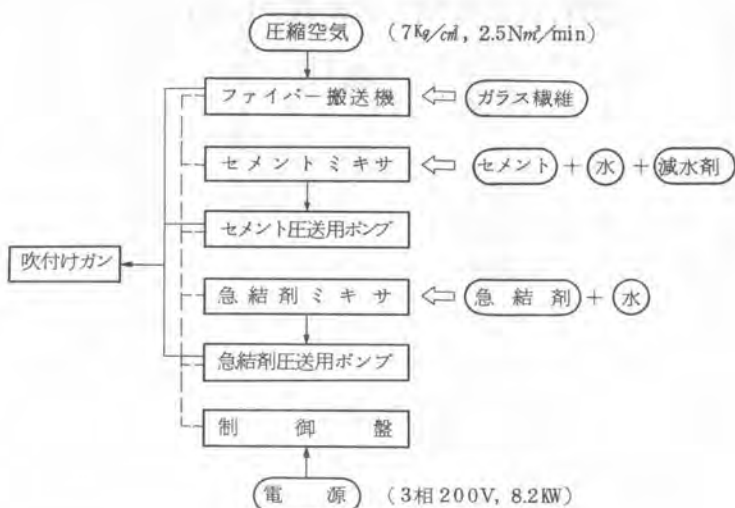


図-2 吹付けシステム



写真-1 カッターヘッド直後の吹付け作業

表-1 従来工法との比較

項目	ファイコン工法	ショットレジン工法	吹付けコンクリート工法
凝結時間(始発時間)	1.5~4.5秒	40分	1~3分
粉じん・はね返り	ほとんどなし	ほとんどなし	多い
標準吹付け厚さ*	2~4cm	0.3~0.5cm	5~25cm
吐出量	1.2~2.4m³/h	0.3m³/h	4m³/h以上
湧水の影響	10ℓ/min・m²程度まで可能	滴水程度まで一部可能	1.8ℓ/min・m²程度まで可能
吹付け機械の重量	300kg	60kg	1,000kg
吹付け距離	0.1~3m	0.5~1.5m	1m前後
操作性	容易(塗装の要領)	容易(塗装の要領)	難(熟練を要し操作時はノズルをしっかり固定する)

*標準吹付け厚さは同一条件での比較ではない。

時間は45~60秒を示し、終結時間は90±3秒であった。また急結剤添加量をセメント重量の15%にすると始発時間は15~30秒を示し、終結時間は60±3秒となった。以後、急結剤添加量を25%まで増加しても同様な傾向を示した。

3.2 圧縮強度

圧縮強度は巾30×長さ30×深さ30cmのコア箱に直接吹付けを行って材令1日直前にコア抜きを行い、JIS A1108に準じて求めた。材令と圧縮強度の関係は、図-4に示すように、材令28日で450~500kg/cm²となった。一般の吹付けコンクリートの同一材令での圧縮強度が300kg/cm²前後であるのに比較し、高い強度が得られている。

3.3 施工性

直径3.2mの円形模擬トンネルを用いて施工状況を調査した。その結果、吹付け距離を10cm程度から最大3m程度まで変化させても、また吹付け角度を壁面に対して直角から斜め45°程度まで変化させても、さらに上向きの吹付け姿勢においても粉じんやはね返りの発生は極めて少なかった。

一方、湧水箇所での施工性を確認する目的で、当社で施工中のA現場において試験施工を行った。写真-2は、従来の一般的なセミ湿式による施工例である。m²当たり毎分5ℓ程度の湧水量があり、湧水部分を中心に吹付けコンクリートのハク落が各所に見られ岩盤の露出が認められる。これに対し、同一箇所を本工法で再施工した状況を写真-3に示す。岩盤の露出はなくなっており、ほぼ完全な仕上がり面が得られた。但し、湧水の浸出部分は、最大5cm程度の水孔が形成された。

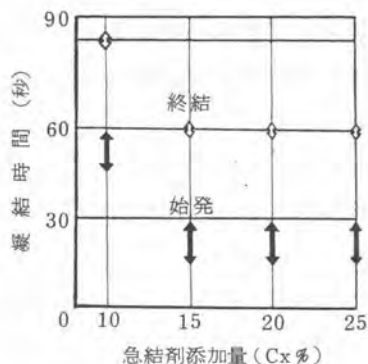


図-3 急結剤添加量と凝結時間

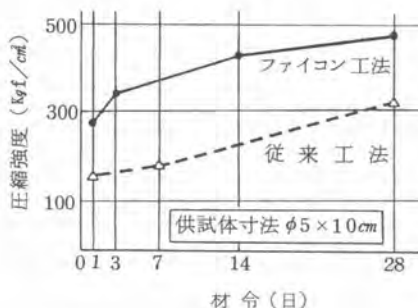


図-4 材令と圧縮強度



写真-2 湧水箇所での施工(従来工法)



写真-3 湧水箇所での施工(ファイコン工法)

4. ファイコン工法の施工結果

本工法を、新愛本水力発電所導水路工事でのTBM施工において御採用頂いた。本地域の地質は、飛騨変成帯に属し、古生代石灰岩層にアグマタイト質閃緑岩などの火成岩類が貫入し圧力変成したものと考えられる。本工区では音谷、弥太蔵の2つの谷をはさんで粘土を介在する幅1～5m程度の大小の破碎帯を含む7本の主な断層からなる地質であり、石灰岩部に広く湧水を伴うことが予想された。これに対処するために、掘削直後の地山を急速に安定化処理すべく本工法による施工を行った。その結果、従来の吹付けコンクリート工法では、はね返り率が8割程度にも達したのに比べて、本工法では、わずか1割程度に納まった。また、粉じん濃度も極めて少ない好結果が得られた。本工事では、TBMによる掘削直後の地山に厚さ2～5cmの薄肉吹付けを行い、 m^2 当り毎分15ℓ程度の湧水を伴う幾多の断層破碎帯を無事突破することができた。本工事パイロット坑掘削における施工実績は、延長約3.4Kmのうちの約8割、施工数量にして約2万 m^2 余りを施工した。なお、引続きリーミング坑掘削においても施工中である。写真-4に、本工法による仕上り面の状況を示す。



写真-4 仕上面の状況

5. まとめ

以上の結果から本工法をまとめると、以下のようなことがいえると考えられる。

- ① カルシウムサルフォアルミネート系の急結剤は瞬結性に優れ、吹付け工法の急結剤として効果がある。
- ② 主材および急結剤を湿式にすれば、両者の混合は比較的容易になり、品質管理や環境保全に効果がある。
- ③ 吹付けノズル部において、最適なスプレー状態が得られるように圧縮空気の圧力および流量を制御すれば、吹付け面と吹付けノズルとの距離や角度がかなり変化しても、はね返りや粉じんの発生量を少なくできる効果がある。
- ④ 湧水箇所での吹付けには、急結剤の効果だけでなくガラス繊維の混入が付着に寄与している。

6. あとがき

今回TBM一次覆工用として適用した本工法は、吹付け材料および機械の両面から抜本的な研究を進めることにより開発したものである。本工法は、従来の吹付け工法の欠点を、ある程度解決できたものと考えられるが、反面施工費用がかなり高くなるという欠点を有しており、今後の課題といえる。

最後に、本工法の開発成果が現在実施されている他の吹付け工法の改善や改良に多少なりとも参考になり、トンネル工事の合理化に貢献できれば望外の喜びである。