

部分拡幅シールド工法の開発(その2)

前田建設工業（株） ○正会員 田中倫之 正会員 飯島 健
正会員 野田兼司 正会員 前田和亨

1. はじめに

部分拡幅シールド工法「M-ESS 工法」は、任意の場所でシールドトンネル断面の部分拡幅が安全に施工可能な工法である。本工法は、拡幅部の掘削後に生じる空間（拡幅空間）に特殊な材料（地山安定材）を充填させてその空間を一時的に保持し、その後、拡幅セグメントをトンネル坑内から押出すことで拡幅断面を構築するものである。そのため本工法では、一時的に地山を保持する地山安定材が重要な役割を担っており、多様な性能が要求される。本報は、地山安定材の要求性能について検討を行い、その要求水準を満足する地山安定材を開発し、模型実験により拡幅空間部への充填状況の確認を行ったので報告するものである。

2. 地山安定材の要求性能

拡幅部掘削後、拡幅セグメントが押出されるまでの間は地山安定材が掘削部の空間を保持することとなる。そのため、工事の安定性、確実性、施工性の面から地山安定材には様々な性能が要求される。ここでは地山安定材に要求される性能について示す。

地山安定材の充填は拡幅部掘削機の格納時に行われることとなるが、拡幅部掘削機と地山の間は掘削時に用いられた泥水で満たされている。そのため地山安定材は泥水と確実に置換可能かつ、拡幅空間部への充填性が良好となる比重及び流動性が求められる。

次に、地山安定材が拡幅空間部を保持している間に、拡幅空間部の地山表面が剥落すると地山の崩壊を引き起こす可能性がある。また剥落した礫等は拡幅セグメント押出し時に障害となり、工事の確実性を損なう恐れがある。そのため、拡幅空間部保持中の地山安定材の性能としては地山の剥落を防止可能なせん断強度を有することが必要となる。また拡幅空間部保持中は、地下水への希釈抵抗性が強いことやブリージングが小さいこと等の物理的な安定性を有することが必要となる。

地山安定材は拡幅セグメント押出し時に回収を行う。そのため、地山安定材には容易にトンネル内部に回収される流動性を有する必要がある。また地山安定材回収時、余掘り部などに未回収となる範囲が生じるためトンネルの長期的な安定性が危惧される。そこで地山安定材は一定期間経過後に自硬性を示すものが望ましい。

以上のように挙げられた地山安定材の要求性能を表-1 にまとめる。

表-1 地山安定材の要求性能

要求性能	内容	室内試験	要求水準	試験結果
1)充填性	泥水と確実に置換でき、掘削部への充填性が良好であること	・泥水との置換試験 ・比重測定	・置換率100% ・ $\gamma=1.15$ 程度以上	・置換率100% ・1.20~1.25
2)地山の保持性	地山や礫の肌落ちを防止できるせん断強さを有すること	ポータブルベーンせん断試験	ベーンせん断強度 0.3~0.6kN/m ² ※	2.8kN/m ²
3)物理的な安定性	地下水等で希釈されないこと	長期希釈性確認試験	水に希釈されない	目視による確認 ⇒OK
	ブリージングがほとんど生じないこと	ブリージング試験	ブリージングが生じない	ブリージング率0.5%
4)回収性	拡幅セグメント押出し時に回収が容易な流動性を持つこと	スランプ試験	スランプ量15~20cm ※	18cm
5)硬化性	・拡幅セグメント押出し時に硬化していないこと ・拡幅終了後に硬化を開始すること	・ブリージング試験の試料を目視観察 ・一軸圧縮試験	・10日間程度硬化しないこと ・一定期間経過後に自硬性を示すこと	・10日間硬化しない ・90日後に硬化を確認 ⇒ $q_u=5000\text{kN/m}^2$

※「充填式シールド急曲線工法技術マニュアル」¹⁾を参照して設定

キーワード シールドトンネル、部分拡幅、大深度、充填材、室内試験

連絡先 〒179-8914 東京都練馬区旭町 1-39-16 前田建設工業(株)技術研究所 TEL:03-3977-2241

3. 室内試験の内容

表-1 に示した地山安定材の要求性能を確認するために行った室内試験の内容を以下に示す。

- i) 充填性：泥水と地山安定材の置換性を調べるために、泥水で満たされた容器に地山安定材を注入しその置換率を測定した。また泥水及び地山安定材の比重を測定した。
- ii) 地山の保持性：ポータブルベーンせん断試験により、ベーンせん断強度を測定した。
- iii) 物理的な安定性：水への希釈抵抗性に関しては長期希釈性確認試験（静水中に地山安定材を投入し、水の濁りを目視により観察）を行った。またブリージングに関してはブリージング試験を行った。
- iv) 回収性：地山安定材回収時に必要な流動性の指標としてスランプ量に着目し、スランプ試験を行った。
- v) 硬化性：ブリージング試験に用いた試料を経過観察することにより硬化状況を確認した。また自硬化性に関しては、一軸圧縮試験により 90 日後の一軸圧縮強度を測定した。

4. 室内試験の結果

室内試験の結果を表-1 内に併せて示す。今回開発した地山安定材は全ての要求性能に対してその要求水準を満たしており、「M-ESS 工法」への適応性が高いものと考えられる。

5. 小型模型実験の内容

室内試験の結果を踏まえ、地山安定材の拡幅空間部への充填状況を確認する目的で小型模型装置を用いた模型実験を行った。装置は図-1 に示すように、高さ 1000mm×横幅 400mm×奥行き 500mm の本体に、高さ 180mm 地点で高さ 335mm×横幅 550mm×奥行き 375mm の拡幅部をモーターにより出し入れできる構造となっている。土槽は珪砂 7 号を水中投入し、締め固めて作成した（湿潤密度 $\rho_t = 1.92 \text{ g/cm}^3$ ）。また、地山安定材はモノポンプにより、図-2 に示す注入孔から注入した。計測は図-1 に示す変位計の位置での地表面変位と、図-2 に示す拡幅部前面及び地山安定材注入管内の圧力を計測した。

実験手順を以下に示す。

- ① 拡幅部を 100mm 装置内へ押出した地点で土槽を組み立てる(図-3a)
- ② 拡幅部を土槽から引抜きながら地山安定材を拡幅空間部へ注入する
- ③ 地山安定材注入時、モノポンプの回転数を調節し、圧力を制御する
- ④ 拡幅部の移動量が 100mm になった時点で、拡幅部の移動及び地山安定材の注入を終了する(図-3b)

6. 小型模型実験の結果

拡幅部引抜き時の地表面変位と拡幅部前面及び注入管内の圧力を図-4 に示す。地山安定材の注入量を調節して拡幅部前面の圧力を制御した結果、地表面変位量は 0.1mm 以下であった。また、拡幅空間部への地山安定材の充填状況は、土槽を解体し断面を見ると図-5 に示したように拡幅部が引抜かれた 100mm 分、地山安定材が充填されており、充填状況は良好であることが確認された。

7. まとめ

「M-ESS 工法」において拡幅空間部の一時的な保持に用いられる地山安定材について検討を行い、各種室内試験により今回開発した地山安定材がこれらの要求水準を満たすことを確認した。また、拡幅空間部への充填状況を確認することを目的とした小型模型実験を行い、充填状況は良好であることを確認した。

【参考文献】1) 下水道新技術推進機構：充填式シールド急曲線工法技術マニュアル，p28～29，2000.3

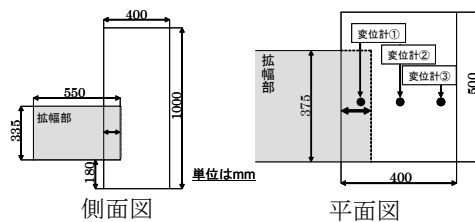


図-1 小型模型装置

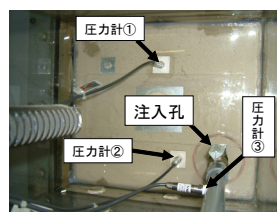


図-2 注入孔、圧力計の配置図

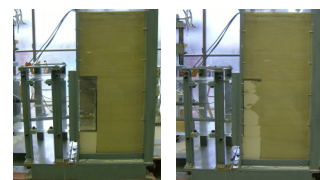


図-3 小型模型実験

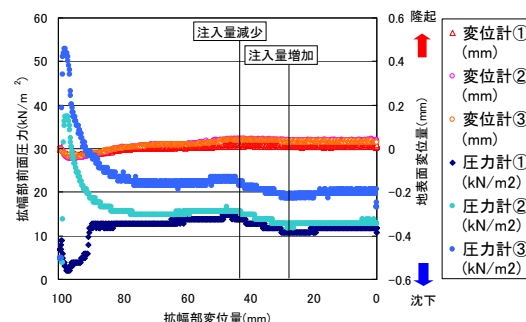


図-4 地表面変位量及び圧力



図-5 地山安定材の充填状況