

トンネル覆工背面空洞充填工に適用する高強度可塑性モルタルの優位性の検証

東急建設株式会社 正会員 ○前原聡、伊藤正憲、早川健司
徳留修、池野谷尚史、鈴木祥三

1. はじめに

矢板工法で建設されたトンネルでは、覆工コンクリート背面に空洞が存在している場合が多い。特に、矢板工法の場合、NATM工法で建設されたトンネルに比べて天端部に空洞ができやすく、設計厚が確保されないまま供用されているトンネルもある。このような背面に空洞のあるトンネルの耐久性を向上させるために、背面空洞充填工法が適用されているが、地盤反力を均等に覆工に伝えることや、地山の緩みの進展を防止するため圧縮強度 $1 \sim 2 \text{ N/mm}^2$ 程度のウレタンや無機系材料が適用される場合が多い。しかし、簡易解析の結果によると、設計覆工厚に満たない条件では、低強度材料を充填するよりも強度の高い材料で充填したほうが安定性は確保されとの結果を得ている。また、鉄道トンネル内の架線や信号ケーブルを支持する金物を固定する場合、アンカーを利用しているが、覆工が薄く、充填材に強度がない場合、確実な固定ができないことも考えられる。そこで、筆者らは、これまでに圧縮強度 18 N/mm^2 程度を発現する可塑性モルタルの開発を進めてきた。本検討では、従来品に比べて高強度化した可塑性モルタルの優位性を明らかにするため、アンカーの引抜き耐力試験、アーチ型 1/4 モデル試験体による載荷試験を実施した。

2. 実験概要

2.1 アンカーの引抜き耐力試験

表 - 1 に充填材の材料構成、基礎物性値を示す。表 - 2、図 - 1 にアンカーの引抜き試験の概要を示す。鉄道総合技術研究所「あと施工アンカー工法設計の手引き」を参考にするとアンカーの定着長は $15D$ となる。しかし、本試験では、充填材の違いによるアンカーの引抜き耐力を評価するため、充填材の上に覆工を模擬したコンクリート平板を設置し、充填材のみで定着させること、また、アンカー筋が降伏しないように定着長は $6D$ とした。なお、試験は、 350 kN ジャッキを使用し、普通強度、高強度タイプそれぞれ 2 回の試験を行い、引抜き荷重とアンカー根元部で変位量を測定した。

2.2 1/4 モデル試験体載荷試験

表 - 3、写真 - 1、図 - 2 に載荷試験の概要を示す。試験体は、鉄道複線トンネルの 1/4 モデルとし、内半径 $R=1 \text{ m}$ の半円形無筋コンクリートとし、天端部に断面欠損部を設けて空洞を模擬した。載荷試験は、充填しないもの(No.1)、および高強度(No.2)、普通強度タイプ(No.3)の可塑性モルタルを充填した 3 体の試験体を対象とした。載荷は、 350 kN ジャッキを用いて単純載荷し、ひび割れなどの発生状況を確認するとともに、荷重、変位などを計測した。

表 - 1 充填材の材料構成、基礎物性値

	水セメント比 (%)	単位質量(kg/m^3)		単位容積質量 (g/cm^3)	σ_{28} (N/mm^2)
		特殊可塑性材	軽量発泡材		
普通強度	52	636	6.4	1.31	3.2
高強度	208	171	6.4	1.49	20.5

表 - 2 アンカーの引抜き試験の概要

充填材種類	高強度、普通強度タイプ
寸法	$B \times L \times H = 600 \times 600 \times 300 \text{ mm}$
アンカー	SD490 D13、 $L=100 \text{ mm}$
削孔径	16 mm
埋込長	$78 \text{ mm}(6D)$
定着樹脂	エポキシ樹脂

表 - 3 1/4 モデル試験体の概要

覆工コンクリート	覆工厚: 125 mm 、天端厚: 50 mm 、幅: 200 mm $W/C=70\%$ 、 $\sigma_{28}=24 \text{ N/mm}^2$
模擬地盤	セメントバントナイト改良土

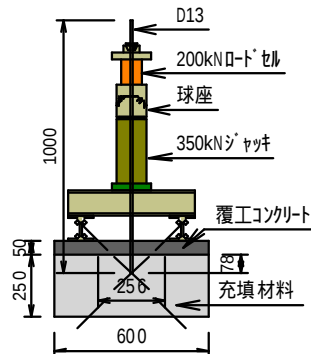


図 - 1 アンカーの引抜き試験



写真 - 1 1/4 モデル載荷試験状況

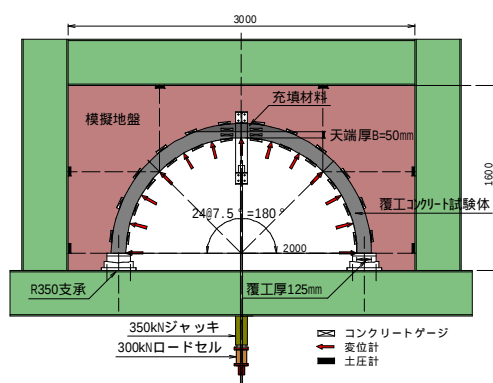


図 - 2 1/4 モデル載荷試験 概要

キーワード 山岳トンネル 矢板工法 覆工コンクリート 背面空洞 可塑性モルタル アーチ

連絡先 〒229-1124 神奈川県相模原市田名3062-1 東急建設株式会社 技術研究所 土木研究室 TEL 042-763-9507

3. 実験結果

3.1 アンカーの引抜き耐力

図-3にアンカーの引抜荷重と変位の関係を示す。高強度タイプの最大荷重の平均が55.8kNであったのに対して、従来の充填材相当の強度レベルである普通強度タイプは13.8kNとなり、高強度タイプの方が約4倍の引抜き耐力となった。このことから、覆工厚が薄い場合、架線他、トンネル内に必要な設備を固定する場合の安全性が高強度タイプの充填により向上することが確認できた。

3.2 載荷試験

図-4に載荷試験の結果である荷重と天端変位の関係、図-5に載荷後の試験体の状況を、図-6に各荷重条件における比較図を示す。いずれの試験体も90度内側、60度と120度付近外側にひび割れが発生し、次に、75度と105度外側付近にひび割れが発生した。その後、ピーク荷重に達し、最後は、75度と105度内側付近のコンクリートの圧壊により破壊に至った。充填材料の違いによる補強効果の違いは、肩部外側のひび割れ発生時(図-6中のP2)に顕著であり、充填材なしに対し高強度タイプで約170%、普通強度タイプで約110%であった。特に、75度と105度付近の外側の曲げひび割れが発生時に充填材の強度の差が顕著に現れたものと考えられる。

このことから、今回想定した背面空洞はかなり小さいものであったが、より天端厚さが薄く、また、背面空洞の範囲が大きくなるほど高強度タイプの優位性が顕著になると考えられる。なお、両タイプともに天端内側にひび割れが発生するまでの初期剛性は、ほぼ同等の挙動を示した。

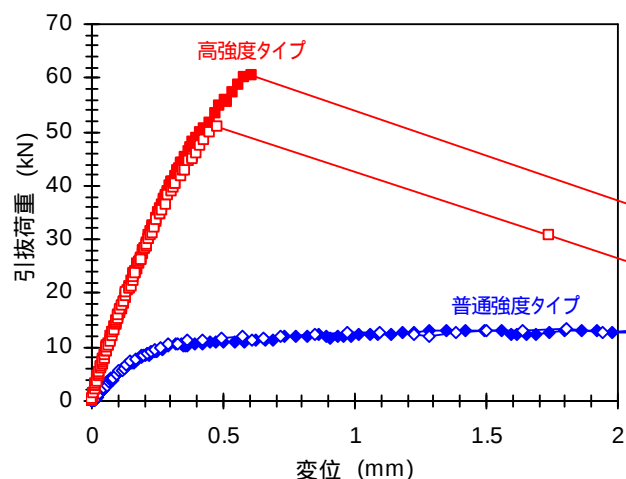


図-3 変位と引抜荷重の関係

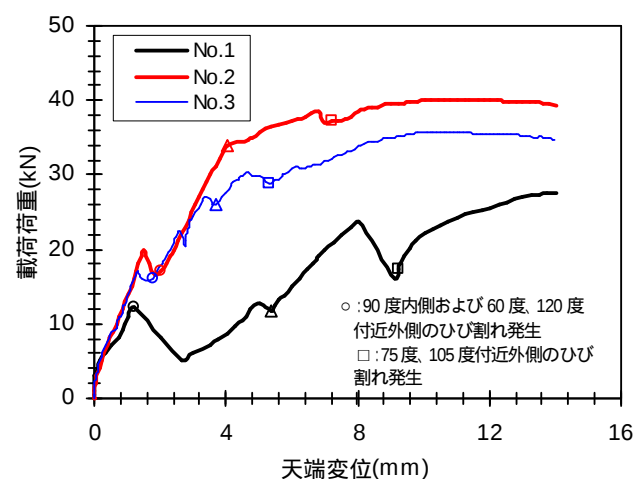


図-4 載荷荷重と天端変位の関係

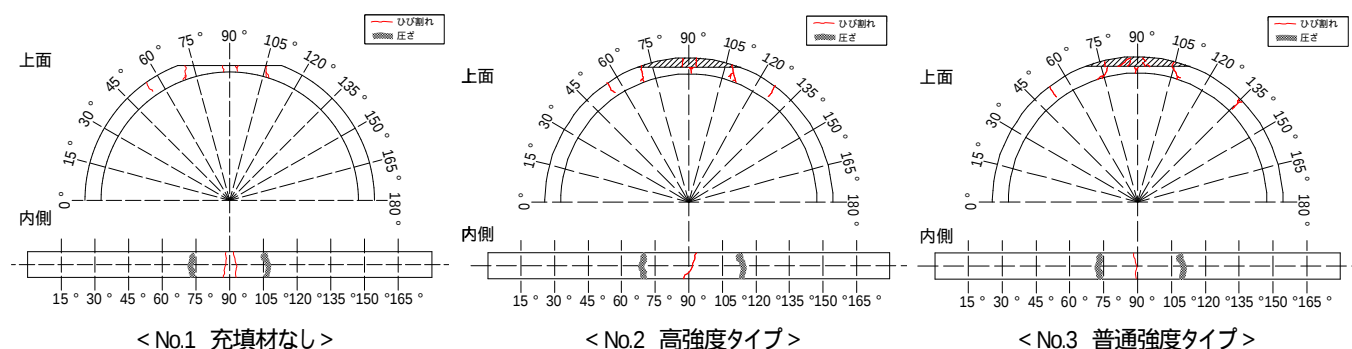


図-5 1/4モデル試験体の載荷試験後の状況

4. おわりに

トンネルの背面空洞に充填する材料として、これまでになかった高強度タイプの充填材料を開発し、その優位性について検討した。適用するトンネルは矢板工法で構築された供用後かなりの年数を経たものである。しかし、これらも長い期間、維持管理して供用していく必要がある。ここに示した結果は、限られた実験結果に基づいた考察となっているが、今後も施工への適用を目指して検討を続けていく予定である。

*P1:天端内側のひび割れ発生荷重、P2:肩部外側ひび割れの発生荷重
*数字は補強効果: $(P_{No.2or3} - P_{No.1}) / P_{No.1} \times 100$

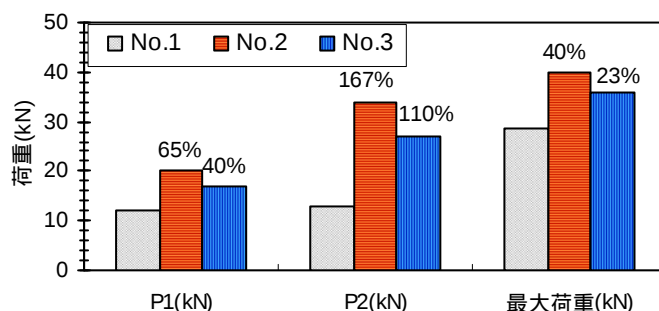


図-6 各荷重条件における比較