

高強度気泡軽量モルタルを使用したトンネル防護工の施工について

東海旅客鉄道株式会社 フェロー会員 野田豊範
 正会員 ○宮崎正樹
 正会員 高木政道

はじめに

現在、静岡県では、平成 18 年度の開港を目指し、静岡空港（以下、空港）を建設している。この空港は、東海道新幹線静岡・掛川間第 1 高尾山トンネル（以下、トンネル）の直上に位置し、空港建設に伴う大規模な造成によりトンネルへの影響が懸念されるため、様々な条件下での解析、試験によってトンネル対策工の検討を行うとともに、トンネルの安全性を確認してきた。

本稿では、トンネル対策工の検討に際し、高強度気泡軽量モルタルを構造体である防護工の主材料として使用するに至った経緯とその設計・施工方法について報告する。

対策工の検討

図-1 に空港とトンネルの位置関係を、図-2 にトンネル方向の空港造成断面を示す。

空港造成範囲はトンネルのほぼ全線に及び、特にトンネル中間付近では、土被りが 15m 程度の薄い個所に、約 50m もの盛土がなされる。このように、東海道新幹線のトンネル直上における大規模な近接施工は前例がないため、対策工の検討にあたっては、学識経験者を含めた委員会を設置し、10 年以上にわたり検討してきた。

トンネル対策工の必要性については、2次元 FEM 解析の結果、空港盛土完了時にはトンネルの許容応力値を超える。空港盛土を軽量盛土にした場合でも、トンネルの許容応力値を満たさない。などの理由から、トンネル機能を現状維持するためには、対策工が必要であるとの結論が出された。

対策工の基本構造としては、所要スパンの長さや負担すべき土圧の大きさからアーチ形式とし、アーチアクションにより空港盛土による増加荷重を軽減することとした。一般に、アーチ形式には、RC アーチといった強固な形式が考えられるが、複雑な地形への対応性や将来の保守管理、既設トンネルへの影響などに問題がある。また、空港盛土終了後は、メンテナンスが不可能であるため、メンテナンスが必要な RC 等を用いた構造とするよりも、メンテナンスフリーで周辺地盤とのなじみが良く、所要の変形係数を有する材料によるアーチ構造を、より軽量に構築することが重要な要素となる。さらに、部材厚さを厚くする方が、その上部に盛る盛土高さを薄くできるため、盛土による増加荷重を軽減できることにもなる。

以上の理由により、図-3 に示す軽量アーチ工法による対策工を基本構造として検討を進めた。

軽量アーチ主材料の検討

前述の軽量アーチ工法にて、材料の要求品質を検討したところ、強度を有し（圧縮強度 10N/mm² 以上）、適度な剛性があり（10,000N/mm² 程度）、比重が軽い（1.2~1.5 程度）材料が必要となった。一般に、強度が必要な場合は、セメント系材料を使用し、比重を軽くするためには、空気量を多くする、もしくはそれ自体が軽い材料を用いることになり、上記の要求品質に見合う材料として、軽量コンクリート、気泡モルタル、気泡ミルクが考えられる。図-4 は、それらの比重と強度の関係を示したものであるが、今回、要求する材料はそれらに該当せず、さらに剛性においても制約があることから、新たな材料の開発が必要であった。このため、約 3 年に及ぶ様々な材料による室内試験、大型試験を経て、人工軽量細骨材を使用した気泡モルタル（以下、高強度気泡軽量モルタル）を軽量アーチの主材料とし、表-1 の示方配合を選定し、表-2 の最終的な要求品質を満たすことを確認した。

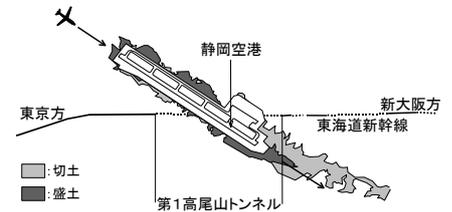


図-1 第 1 高尾山トンネルの位置

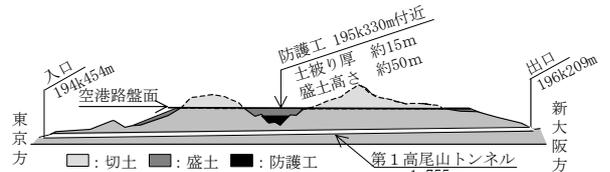


図-2 空港造成縦断面図

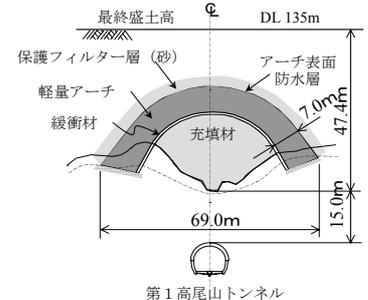


図-3 軽量アーチ

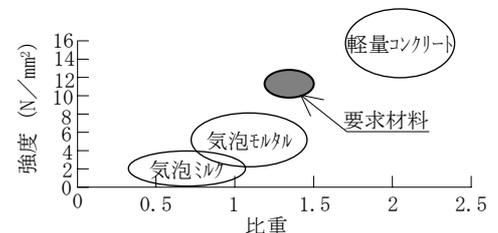


図-4 材料分布図

キーワード 軽量コンクリート、アーチ、人工軽量細骨材、近接施工、防護工

連絡先 〒450-6101 名古屋市中村区名駅一丁目 1 番 4 号 TEL052-564-1728 FAX052-564-1730

なお、前述の要求品質を満す対策工にて2次元FEM解析を実施し、トンネル覆工の発生応力が大幅に低減され、許容応力を満たすことを確認している。

施工の方法と管理

最終決定した対策工（以下、防護工）の構造形式を図-5の標準断面図、図-6の鳥瞰図に示す。防護工の主構造であるアーチ部は、厚さ約7m、幅約70mの高強度気泡軽量モルタル（置換えコンクリート含む）で、トンネル軸方向に10mを1ブロックとし、全11ブロック、延長110mにわたる。また、充填部には、軽量化を図るため気泡ミルクを、高強度気泡軽量モルタルと気泡ミルクとの境界部には、アーチアクションに伴う変形を緩衝させるためEPS（発泡スチロール）を採用している。

図-7は、防護工の施工段階を示したものであるが、アーチのみを先行して施工するのではなく、アーチの進捗に合わせて充填材、保護盛土等を協調施工するという方法をとっている。特に、保護盛土は、アーチに一定の拘束力を与えることによりアーチ閉合前の引張応力を軽減させるという重要な役割を担っている。

今回、アーチ材として使用する高強度気泡軽量モルタルは、通常気泡モルタルに比べ高い強度を要求しているため、多量のセメント混入（420kg/m³）が必要となる。そのため、セメント水和反応による急激な温度上昇が予想されるため、温度上昇対策として1リフト高さが0.5m以下、打設サイクルが中3日以上という施工工程上、非常に厳しい打設条件を設定している。また、夏季には、練混ぜ水を冷却するクーリング設備や骨材自体を冷却する真空冷却設備を現地モルタル製造プラントに設置し、適切な温度管理を行っている。

高強度気泡軽量モルタルはコンクリートに比べ透水性が高く、水分が供給されると長期的には吸水し、重量の増加及び圧縮強度の低下が予想される。そのため、防水対策として、アーチの外表面及び充填材下面に防水シートを設置し（図-5、7）、空港地表面からの雨水や地下水の浸透を防ぐこととした。また、打設途中の急激な降水による消泡を防ぐため、打設面全体を覆うことができるテントを設置する。なお、テントの設置は直射日光を遮ることもなるため、打設面の温度上昇対策としても有効である。

最も重要な既設トンネルの計測管理については、内空変位計、軌道変位計、沈下計などの計測機器により計測を実施し、24時間体制で列車走行の安全性を確認している。なお、トンネル計測値の原因確認及び事前解析値との比較のために、防護工及びその周辺地盤には、変位計、ひずみ計、温度計などの各種計測機器を設置している。

おわりに

今回報告したトンネル防護工事については、図-8のとおり、防護アーチが完成間近となっている（平成15年3月現在）。今後、空港造成工事が本格的になるため、日々の計測管理を確実に行うとともに、高強度気泡軽量モルタルによる本工法の成果が今後、近接施工対策や本体構造物としての利用など、建設工事における様々な分野で活用されうることを期待している。

最後に、本工事の計画、設計、施工にあたりご指導を頂いた委員会の皆様及び関係者の皆様に誌上を借りて厚くお礼申し上げる次第である。

表-1 高強度気泡軽量モルタル示方配合

目標 生比重 (t/m ³)	水結合 材比 W/ (C+LS) (%)	水セメ ント比 W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					気泡 (l/m ³)	高性能 AE減水剤
			水 (W)	中 庸 熱 セ メ ン ト (C)	石 灰 石 微 粉 未 (LS)	人 工 軽 量 細 骨 材 (S)	気泡		
1.45	40.9	53.6	225	420	130	675	235	2.14	

表-2 高強度気泡軽量モルタル基本性能

要求項目	要求品質	備考
単位容積質量	1.45±0.05t/m ³	単位容積質量試験法 (500ccシリンダー容積法)
フロー	180±20mm	JHS A 313 エアモルタル及び エアミルクの試験方法(シリンダー法)
圧縮強度	10N/mm ² 以上	材齢91日
静弾性係数	10.000N/mm ² 程度	材齢91日

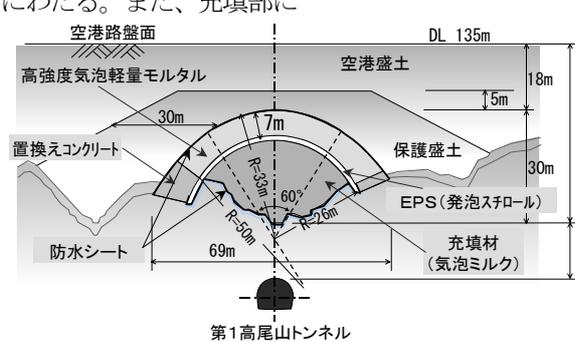


図-5 トンネル防護工標準断面図

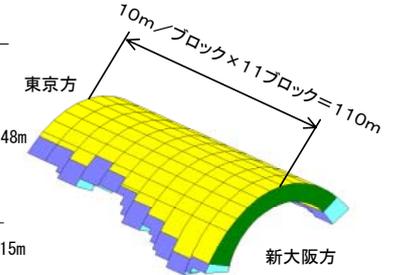


図-6 鳥瞰図

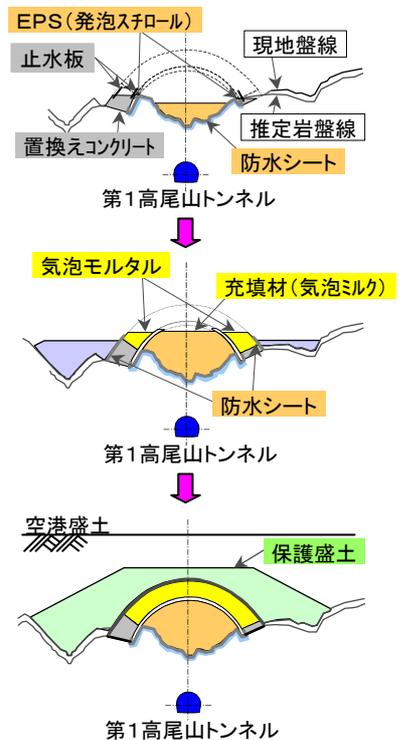


図-7 施工段階図

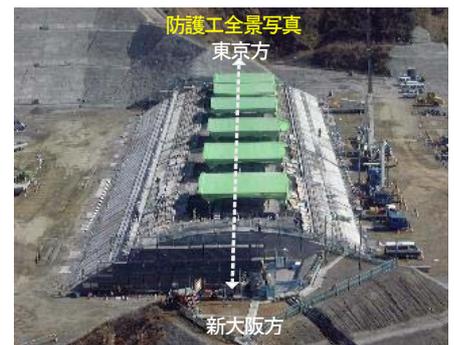


図-8 現場状況 (H15.3)