

Ⅲ-592

トンネル沢部施工への軽量盛土工法の適用とその評価

建設省九州地方建設局

古賀 義徳

藤林 剛

東洋建設株式会社

橋本 徹

坂本 正信

〃

正会員 小竹 望 正会員○山村 浩介

1. はじめに

山岳トンネルの沢部横断区間の施工において、地形・地質条件の制約から軽量性、流動性に優れたエアモルタルによる軽量盛土工法を適用し、トンネル一般部と同様にNATMで掘削した。本文では、その設計・施工概要および計測結果に基づく事後解析について報告する。

2. 地形・地質条件および施工概要

本トンネルは熊本県内の2車線道路トンネル(延長 $L=346\text{m}$)で、この内、起点側より約220mの地点から沢部を通過する。沢部の17mの間ではトンネル計画断面の一部が地上に突出するため、上半盤まで明かり掘削して支保を建て込んだ後、下半～インバートをトンネル掘削する上半明かり掘削工法を当初計画していた。地山の特徴はマサ～強風化部を多く含む風化花崗岩から成り、表層に阿蘇溶結凝灰岩が分布していることである。図-1に示すように沢部の起点側斜面は勾配約 45° で、直径1～4mの溶結凝灰岩の岩塊が転石となって斜面上に集積し、また起点側、終点側とも、露頭部の風化が著しく進行している箇所が見られた。沢部施工に際して、斜面上の転石を対象とする落石調査と、転石群を含む起点側斜面の水平ボーリング調査を実施した。調査の結果、特に起点側斜面の広範囲に多数分布する転石が不安定な状態であり、斜面の切土およびトンネル掘削に伴って落石の危険性が高くなることが確認された。転石の分布範囲と寸法から、落石予防工または対策工が掘削時の対策としては大規模になるため、安全性・経済性の面から斜面の切土が不要となる施工工法が適していると考えられた。地形・地質条件、施工条件などを考慮して、軽量性、流動性に優れたエアモルタルによる軽量盛土を事前に施工し、起点側から連続的にトンネル掘削を行う施工工法が最適と判断された。

3. 軽量盛土の設計と施工

エアモルタルは、配合条件から単位体積重量 $\gamma=1.29 \pm 0.05\text{tf/m}^3$ 、圧縮強度 10kg/cm^2 とした。

軽量盛土の断面形状は、盛土横断面において盛土体を梁と見なし、その自重をトンネル掘削時の作用荷重とするフレーム解析の結果に基づき決定した(図-2参照)。すなわち、盛土体のアーチまたは梁としての支持機構から、図-3に示すアーチ梁と単純梁をフレーム解析モデルとして設定し、被り厚、アーチの角度、スパン長をパラメータとして検討した。主な結果を表-1に示す。同表から、①アーチ梁(Case1～3)に比して単純梁(Case4)では発生応力が圧縮・引張とも非常に大きくなる、②被り厚を大きくすると(Case1, 2)発生応力が小さくなる、③アーチの角度が上半盤からの 180° (Case1)より、盛土形状に近い 120° (Case3)の方が発生応力が小さくなるのが判る。この傾向と経済性を加味し、安全率 $F_s=2$ を満足するCase1の結果を設計に採用するのが妥当と判断された。したがって、被り厚をトンネル掘削に最低必要な2mとし

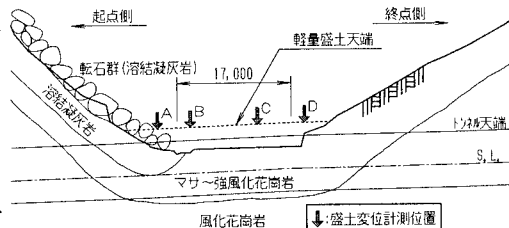


図-1 沢部地質縦断面図

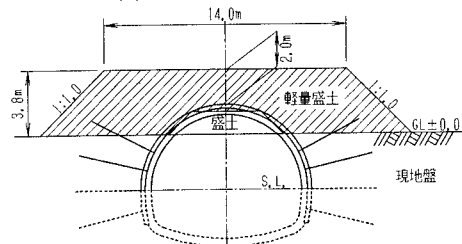


図-2 軽量盛土断面図

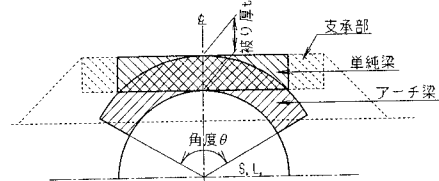


図-3 フレーム解析モデルの設定

た。また、天端幅を14mとしたが、これは梁としての支持機構も考慮して、スパン長（=掘削幅：約10m）に加えて支承部として被り厚と同等な2mを確保すること、側方のロックボルトの配置を考慮したことによる。圧縮試験、引張試験によりエアモルタルの強度発現を確認後、トンネル掘削した。掘削時に斜面と盛土天端の変位量を3次元測量により計測した（図-1、4参照）。

4. 横断方向2次元FEM解析

計測結果に基づく事後解析として、施工過程を考慮した非線形弾性FEM（破壊接近度法）による逐次掘削解析を実施した¹⁾。ここでは、上半掘削時の応力解放率を $\alpha=50\%$ と設定し、盛土天端沈下計測値に適合するように地山の物性値を逆算した。FEM解析による変形図を図-5に示すが、FEM解析結果は計測値に近く、ほぼ実挙動を表現していると考えられる。図-6にFEM解析で得られた主応力ベクトルを、表-1に最大発生応力を示す。主応力の方向から、掘削断面に沿ったアーチとしての支持機構を示すと共に梁としての挙動も認められる。また、Case1が最もFEM解析値に近いことが確認される。

5. 縦断方向の評価

盛土の縦断方向の挙動を評価するため、図-7に示す弾性床土上の梁モデルにより、横断方向FEM解析と同等の物性値を用いて解析した。図-8に示すように解析結果は実際の盛土の沈下挙動をほぼ表現している。また、解析結果から推定される最大引張応力は、引張強度（ $=0.15 \times$ 圧縮強度）の60%程度であった。掘削時、盛土天端に横断方向の微細なひびわれが2~3箇所観察されたが、盛土全体の安定には影響しなかったと考えられる。

表-1 最大発生応力

ケース	モデル		最大圧縮応力 $\sigma^+_{\max}(\text{tf/m}^2)$	最大引張応力 $\sigma^-_{\max}(\text{tf/m}^2)$	
	タイプ (°)	t			
フ レ ー ム	Case1	アーチ 180°	2.0m	22.36	7.04
	Case2	アーチ 180°	3.0m	18.03	4.57
	Case3	アーチ 120°	2.0m	11.17	(圧縮:0.12)
	Case4	単純梁	2.0m	48.13	48.13
FEM				20.85	8.11

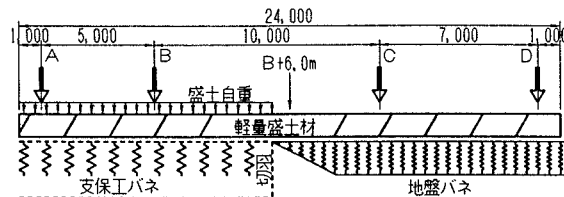


図-7 縦断方向解析モデル図

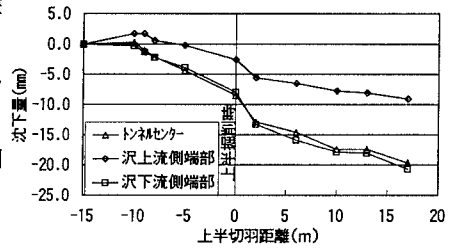


図-4 盛土天端沈下計測結果
(計測位置: B)

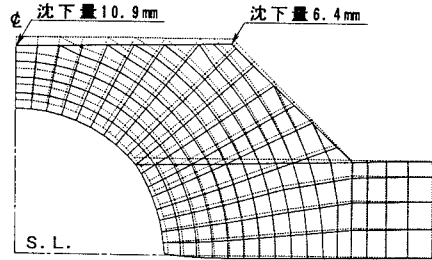


図-5 FEM解析変形図 (上半掘削時)

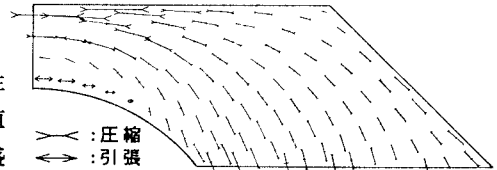


図-6 FEM解析主応力ベクトル図 (軽量盛土部)

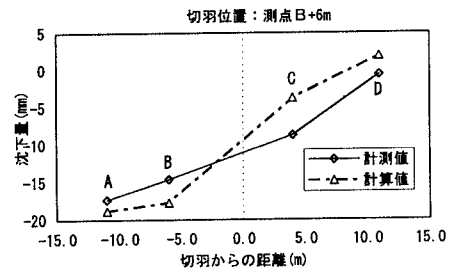
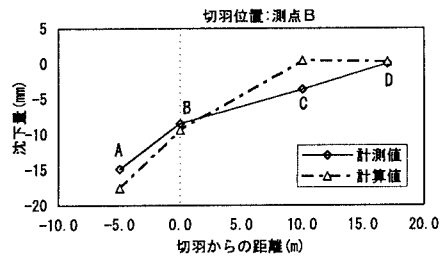


図-8 縦断方向沈下量 (トンネルセンター)