

トンネル沢部施工における軽量盛土工法の適用

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

エアモルタル（気泡セメント）による盛土工法は、その特長である軽量性から不安定な地山での盛土荷重の軽減、構造物への土圧軽減などが可能である。また、流動性に富むため盛土の転圧が不要で、材料や機械の搬出入が制限される箇所における盛土材料として適している。今回、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、その施工概要および設計に関する考察について報告する。

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の区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法が最適と判断された。

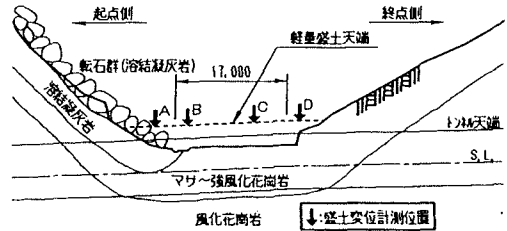


図-1 沢部地質縦断面図

3. 軽量盛土の設計

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

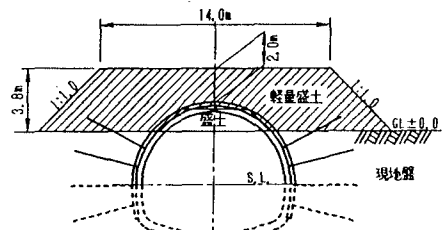


図-2 軽量盛土断面図

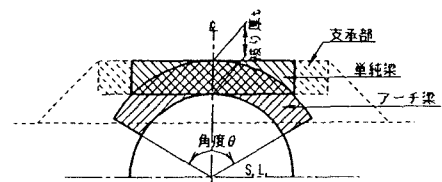


図-3 フレーム解析モデルの設定

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ことが判る。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を確保することと、側方のロックボルトの配置を考慮したことによる。

4. 計測結果とFEM解析

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)。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。FEM解析モデルと入力物性値をそれぞれ図-5、表-2に示す。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-6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-7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。

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 $\sigma_{\min} (\text{tf/m}^2)$
	タイプ (°)	t		
フ Case1	アチ 180°	2.0m	22.36	7.04
レ Case2	アチ 180°	3.0m	18.03	4.57
1 Case3	アチ 120°	2.0m	11.17	(圧縮:0.12)
△ Case4	単純梁	2.0m	48.13	48.13
FEM			20.85	8.11

表-2 FEM解析入力物性値

	γ tf/m^3	C tf/m^2	ϕ $^\circ$	E_s tf/m^2	ν_s	K	E_r tf/m^2	ν_r	σ_c tf/m^2	σ_t tf/m^2	R_{cl}	a	n	κ
軽量盛土	1.25	50.0	0	50000	0.17	---	5000	0.48	25.0	50.0	0.25	2.0	4.0	2.0
マサ〜強風化花崗岩	2.0	3.0	30	1000	0.40	0.5	100	0.48	1.0	3.0	0.50	1.0	2.0	2.0
風化花崗岩	2.2	30.0	30	25000	0.35	0.5	2500	0.48	5.0	30.0	0.25	2.0	4.0	2.0

5. おわりに

山岳トンネルの沢部施工において、エアモルタルによる軽量盛土工法を適用し、計測結果に基づく事後解析から、軽量盛土の設計について考察した。ここでは、横断面の評価を主体としたが、今後は縦断方向の検討を加える予定である。

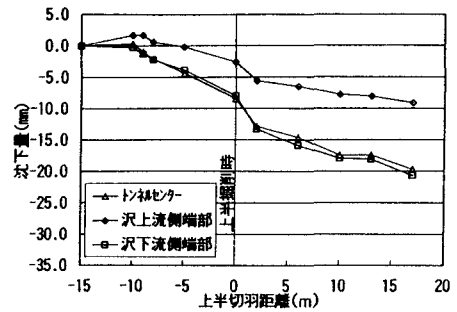


図-4 盛土天端沈下計測結果 (計測位置:B)

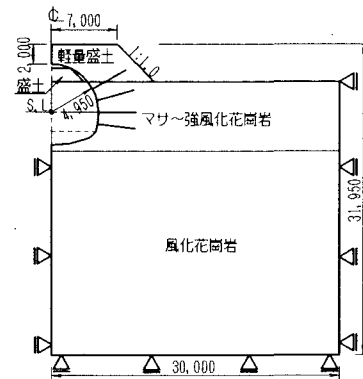


図-5 FEM解析モデル図

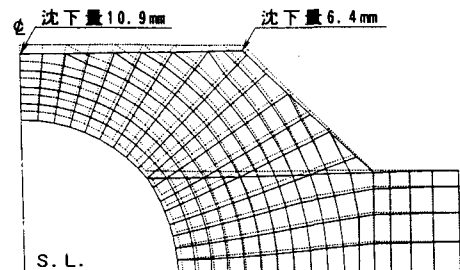


図-6 FEM解析変形図 (上半掘削時)

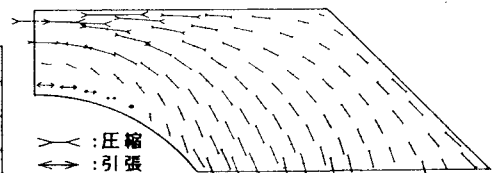


図-7 FEM解析主応力ベクトル図 (軽量盛土部)