

山岳トンネル設計における低土被り部の影響に関する一考察

国土交通省 九州地方整備局 長崎河川国道事務所（現 大分河川国道事務所）

正会員 ○梶尾 辰史

1. はじめに

山岳トンネルの施工において地表面の沈下・陥没が顕在化する割合が高いとされている¹⁾。また、設計において軟弱地山が想定されていたものの施工では想定されていない断層・不良地山が出現し、多くの対策が必要になることも報告されている²⁾。山岳トンネルの掘削については設計時点での評価が重要であり、適切な対策工を検討しなければならないが、その評価や対策工の設計は難しく、施工着手後に設計変更となることが多い。

今回、山岳トンネルの低土被り部で2次元 FEM 数値解析（以下「2次元解析」という。）及び3次元 FDM 数値解析（以下「3次元解析」という。）を行い、トンネル掘削時の影響を把握し、対策工の検討を行った。併せて、2次元解析と3次元解析の結果を比較し、低土被り部の影響に関する評価方法について考察した。

2. 対象トンネルの地質概要

対象とする山岳トンネルは延長 1,680m であり、坑口付近の地質縦横断図を図-1 に示す。坑口から 50m 程度の位置で県道と交差しており、その県道は谷地形を盛土して構築されており、その道路盛土の直下にトンネル断面が位置している。また、起点側から 70m 程度の位置は低土被り部となっており、トンネル掘削時に地表面沈下・陥没の影響が考えられる。また、当該箇所の地層については、盛土、砂岩、泥岩が主体である。

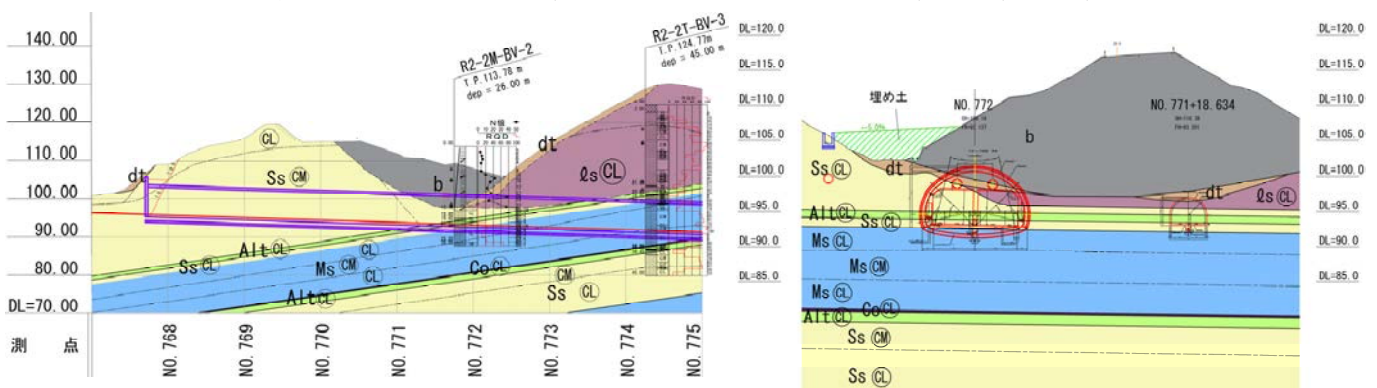


図-1 対象トンネルの低土被り部の縦断図・断面図と地質条件

3. 低土被り部の検討

図-1 に示す低土被り部で2次元解析と3次元解析を行った。解析領域は、側面境界までを左側は本坑壁面から約 5D（D は本坑掘削径）、右側は避難坑壁面から約 7D'（D' は避難坑掘削径）とし、底面境界までをインバート底面から 1D としている。地表面までは土被り高さとしている。なお、右側面までは県道盛土を包含する範囲までとしているため 5D' 以上としている。境界条件は、底面を固定とし、側面は鉛直のみフリーで水平は固定とし、地表面はフリーとしている。

数値解析に用いる地盤物性値は地質調査結果から表-1 に示すような値とした。検討ケースは、2次元解析では無対策、対策時（長尺先受工（以下「AGF」という。）、対策時（AGF+埋め土有）の3ケースとし、3次元解析では対策時（AGF+埋め土有）の1ケースとした。

解析結果から、2次元解析では「長尺先受工+埋め土」ケースで県道の沈下量が 12.5mm 程度となり、ゆるみは地表まで波及しない。3次元解析では県道の沈下量が 13.7mm 程度となり、ゆるみは地表まで波及しない結果となった。3次元解析の沈下量が2次元解析より大きい値となり、縦断的な地形地質の変化が反映された結果と考えられ、当該箇所の局所的な低土被り部の評価においては3次元解析が有効であると推察できる。また、「埋め土有」の方がゆるみの軽減に有効であることも確認できた。解析結果を図-3 に示す。

キーワード 山岳トンネル, 2次元 FEM 数値解析, 3次元 FDM 数値解析, 低土被り

連絡先 〒870-0820 大分市西大道1丁目1-71 TEL 097-544-4167

表-1 解析に用いる物性値

地質	単位体積重量 γ (kN/m ³)	変形係数 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	粘着力 C (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (deg)
b	20.0	4,100	0.40	30*	31
Dt	19.0	6,300	0.40	30*	33
Is (CL)	21.0	184,100	0.35	305	31
Ss (CL)	23.0	300,000	0.35	100	37
Ss (CM)	23.0	450,000	0.35	1,080	45
Alt (CL)	21.0	136,000	0.35	305	31
Ms (CL)	21.0	500,000	0.35	513	21
Ms (CM)	25.0	1,000,000	0.30	1,895	47
Co (CL)	21.0	136,000	0.35	513	21

	構造物	仕様	要素種別	変形係数 E (kN/m ²)	断面積 A (m ²)	断面2次 I (m ⁴)	断面係数 Z (m ³)
避難坑	吹付け コンクリート	t=10cm 18N/mm ²	トブ要素	4.0×10^5	0.10	—	—
	鋼7チ 支保工	NH-100 @1.0m	トブ要素	2.0×10^5	21.59×10^{-4}	378×10^{-8}	75.6×10^{-6}
本坑	吹付け コンクリート	t=25cm 18N/mm ²	トブ要素	4.0×10^5	0.25	—	—
	鋼7チ 支保工	NH-200 @1.0m	トブ要素	2.0×10^5	63.53×10^{-4}	$4,720 \times 10^{-8}$	472×10^{-6}

地質	単位体積重量 γ (kN/m ³)	変形係数 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	粘着力 C (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (deg)	地山変形係数 (MN/m ²)	鋼管変形係数 (MN/m ²)	注入材変形係数 (MN/m ²)	等価剛性 (MN/m ²)	採用等価剛性 (MN/m ²)
盛土	18.0	10,000	0.35	---	---	AGF	200,000	350	1,033.4	1,000

図-2 3次元解析のモデル図

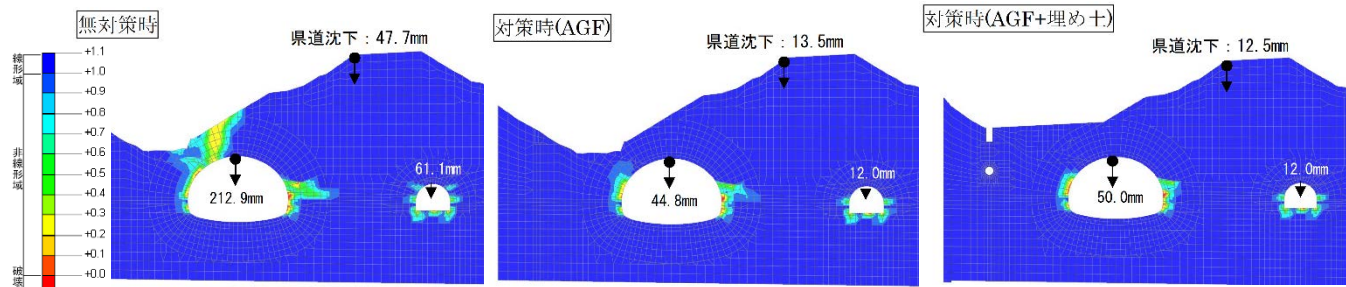
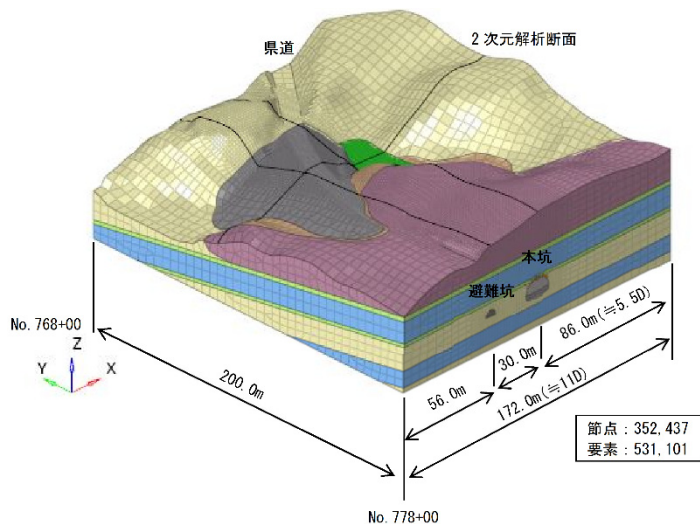


図-3(1) 2次元解析結果のゆるみ安全率コンタ図 (左: 無対策, 中: 対策時 (AGF), 右: 対策時 (AGF+埋め土有))

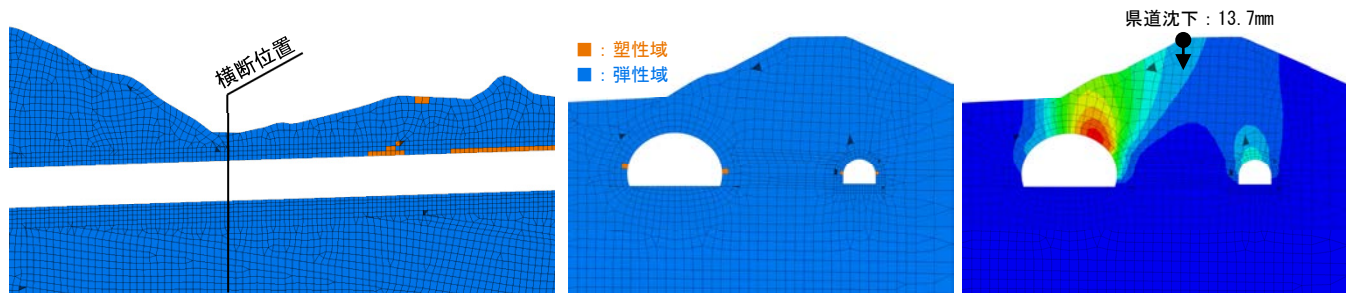


図-3(2) 対策時 (AGF+埋め土有) 3次元解析結果 (左: 弾塑性コンタ図(縦断), 中: 弾塑性コンタ図(横断), 右: 鉛直変位図)

4. 結論

3次元解析の方が2次元解析の県道の沈下量より1mm程度大きな値を示した。これは本トンネルの複雑な地形地質条件を縦横断的に精緻に評価できた結果であると思われる。このことから道路がトンネルに斜方向に交差する場合などは3次的に地形地質条件を詳細に把握し、その影響を設計に反映することが重要であると考えられる。本検討においては2次元数値解析を傾向把握のため予備的に実施したが、現場状況に則した解析次元の適切な選定が今後の課題と考える。また、解析結果と掘削時の沈下量等の評価をしていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 宇田川義夫: 山岳トンネル掘削で発生する地質リスク事象に対する先受工の効果に関する分析, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会概要集, VI-648, 2020.
- 2) 小辻英俊, 矢野幸樹, 瀬戸口大志, 小松花穂里: 断層の影響を受けた不良地山のトンネル掘削 (施工経過報告), 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会概要集, III-478, 2020.