

脆弱な土砂地山トンネル掘削時における地山挙動解析について

栃木県県土整備部

齋藤 勇作

戸田建設(株)関東支店

南原 晃隆

戸田建設(株)関東支店

正会員

早津 隆広

戸田建設(株)関東支店

正会員

○山口 礼介

1. はじめに

高瀬トンネル(仮称)本体建設工事は、宇都宮市と那須烏山市を結ぶ県道10号線の改良工事におけるトンネル新設工事である。トンネル延長は430m(平成23年3月現在の掘進長;340m)、掘削断面積107㎡で、掘削方法は、機械掘削方式によるNATMである。

本工事の掘削対象地山は全線脆弱な土砂地山であることから、施工にあたっては慎重を期すために、トンネル掘進長約50m毎に坑内計測値に基づく2次元FEM解析による逆解析を実施して物性値の見直しを行った。そして、見直した物性値により切羽前方の地山に対して順解析を行い、地山挙動を事前に精度よく予想して、施工法や支保規模、補助工法の妥当性の検証、安全性の向上に努めた。

本報告では、計測データに基づいた逆解析と順解析の実施経過、及び最大土被り地点近傍において行った3次元FEM解析の結果について報告する。

2. 地質状況

掘削対象地山は、起点側の一部で新第三紀の堆積岩(泥岩)が確認されていたが、大部分は第四紀の砂礫層である。砂礫層の一軸圧縮強度は68.8~161.3KN/㎡と低強度で、また地山強度比も0.1~0.4と低い値となるため、地山分類はトンネル全線にわたりE等級となっていた。従って、トンネル掘削時の安定性の確保が重点課題であった。

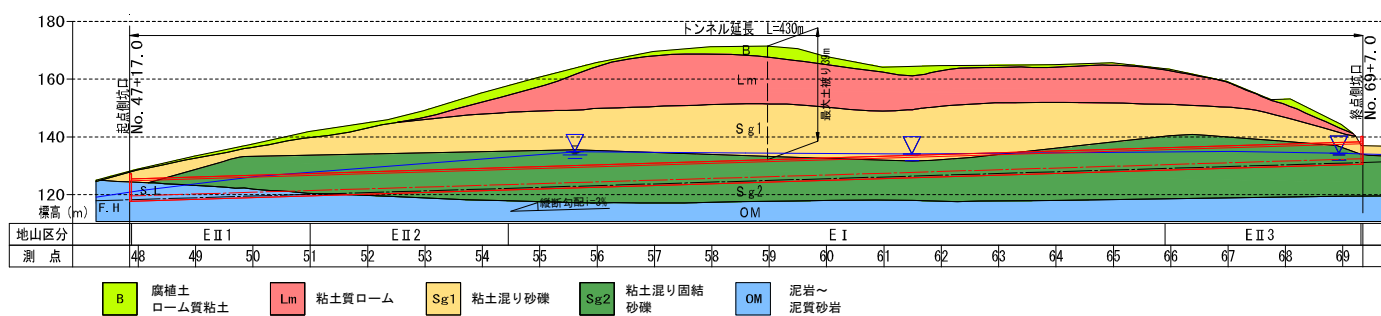


図-1 地質縦断面

3. 支保パターン及びトンネル掘削方法

図2に代表的な支保パターンとして地山区分EIにおける支保パターンを示す。鋼製支保工は、H-200のウィングリブ付である。補助工法として、AGF-W(シリカレジン注入式, L=12.5m, φ114.3mm, @6.0m, 29.5本/6m)、フットパイル(シリカレジン注入式, L=3.0m, φ114.3mm, 4本/m)がある。インバートは、本インバート(t=500mm)の施工に先立ち、吹付インバート(t=250mm)による断面閉合を実施する。設計変形余裕量は100mmである。

当工事の掘削工法は、ベンチ長25mのショートベンチ工法とし、さらに施工サイクルを@9~12mにすることにより、上半掘削から吹付けインバート施工までの期間を短縮する早期閉合を実施した。

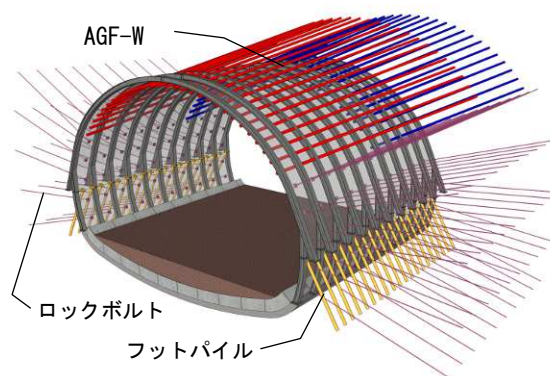


図-2 支保パターン図

4. 計測管理方法

当工事では、A計測を5~10m毎に実施し、これまでにB計測は鋼製支保工応力計を中心に各種計測器を計10断面に設置した。計測はすべて自動計測で、インターネットを介して工事事務所で計測値を確認できるようにした。

A計測の管理基準値は、地山の限界ひずみに着目して決定¹⁾した。この方法の重要なパラメータである変形係数は、原位置における水平載荷試験により求め、現実性の高いものとした(表1参照)。

B計測の管理値は各部材の許容応力度等を基本に定めている。

キーワード 山岳トンネル, 未固結地山, 有限要素法

連絡先 〒330-0063 埼玉県さいたま市浦和区高砂2-6-5 戸田建設(株)関東支店 TEL048-827-1335

5. FEMによる地山挙動解析手法

①2次元FEMによる逆解析・順解析

当工事では、掘進長約 50m 毎に坑内計測工に基づく逆解析を実施し、その結果に基づき前方の地山に対して順解析を行い、地山の挙動を事前に把握することとした。逆解析においては、A 計測における天端沈下量、内空変位量に着目し、天端沈下量と内空変位量の比率及びその絶対値が平均的にフィットする側圧係数、変形係数倍率(当初設定値に対する比率)を決定し、B 計測値との整合性を検証した。応力解放率は、40%に固定した。順解析は未掘削区間を対象とし、逆解析により求められた側圧係数、変形係数倍率を適用した物性値を使用して切羽前方地山の地層構成をモデル化した(図 3 参照)。

②3次元FEM解析による順解析

最大土被り(39m)部における先行変位の影響、支保構造や施工方法(ベンチ長等)の妥当性を検証するため、No. 61+10 で 3次元 FEM 解析を実施した(図 4 参照)。物性値は、2次元 FEM 解析でフィッティングしたものを使用した。解析ケースは表 2 に示す 2 ケースである。

6. 解析結果

①2次元FEMによる逆解析・順解析

代表例として、測点 No. 51+0 の計測値を基に逆解析を行い、No. 54+9 に対して順解析を実施した例を表 3 に示す。No. 51+0 の逆解析では、側

圧係数 0.88、変形係数倍率 1.90 が得られた。その他の逆解析で得られた側圧係数、変形係数倍率を土被りとともに図 5 に示す。土被りにかかわらず、側圧係数が平均 1.0 程度の値となっている。変形係数倍率は、土被りが 1D 以下の No. 49+0 では、0.4 程度と当初値とかけ離れた値となったが、土被りが 1D を超えてからは平均 0.9 程度のほぼ当初値と同等の安定した値となった。

②3次元FEM解析による順解析

解析結果として No. 61+10 の沈下量の縦断方向分布を図 6 に示す。CASE-2 は、CASE-1 に対して沈下量を 74% に抑制することがわかり、さらに破壊安全率、せん断ひずみに関しても相対的に抑制されることがわかった。これは、早期閉合を実施したことで AGF 工の打設ピッチを@9m から@6m に変更した効果であると判断され、支保パターンを E II 2 から E I に変更する決め手となった。

7. まとめ

脆弱な土砂地山の掘削にあたり、トンネルの掘進長約 50m 毎に FEM 解析による逆解析、順解析を行うことにより事前の地山挙動予測の精度を向上させ、支保の健全性、施工方法の妥当性を検証することで安全を確保しつつ切羽掘削を実施し現在に至っている。坑内変位は想定通りの値で推移し、安定した施工状況を維持しており、当手法の有効性が確認されている。

参考文献 1) 桜井, 足立「都市トンネルにおける NATM」1992. 4 鹿島出版会

表-1 A 計測管理基準値

	Sg1層		Sg2層	
	レベルⅠ 不安定中間	レベルⅡ 破壊境界値	レベルⅠ 不安定中間	レベルⅡ 破壊境界値
ひずみ (%)	0.60	1.40	0.37	0.86
天端沈下 (mm)	35	83	22	51
内空変位 (mm)	70	166	44	102

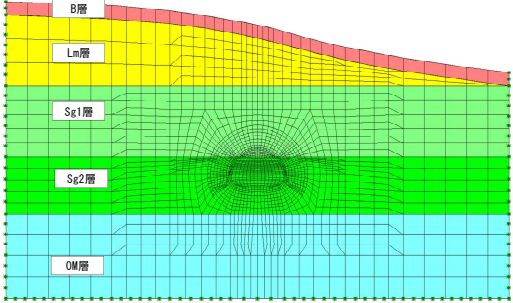


図-3 2次元解析モデル

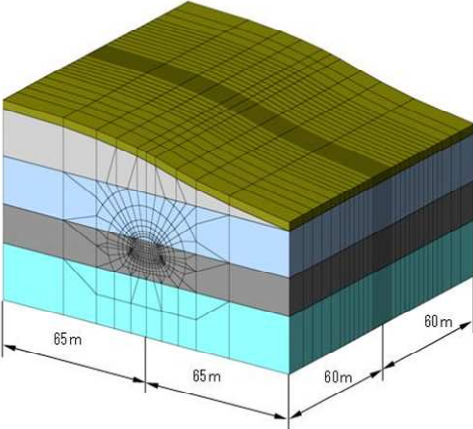


図-4 3次元解析モデル

表-2 3次元解析解析条件

	支保 パターン	ベンチ長 (m)	フットパイル長 (m)	AGF工 打設ピッチ (m)
CASE-1	E II 2	16~25	2.5	9
CASE-2	E I	13~25	3	6

※その他条件は同一である。

表-3 順解析結果 (No. 54+9)

	天端沈下量 (mm)	内空変位 (mm)
CASE-1(E II 2)	-44.2	-21.0
CASE-2(E I)	-41.5	-21.3
実測値	-41.1	-20.9
差	-3.1	-0.1

※施工は、E II 2で実施

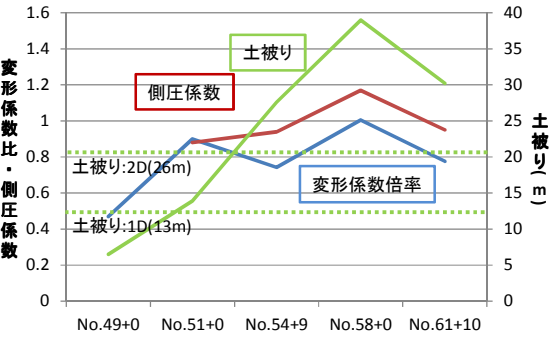


図-5 変形係数倍率・側圧係数グラフ

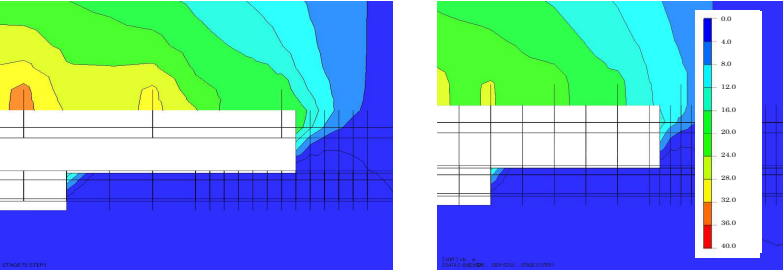


図-6 沈下量分布 (No. 61+10, 縦断方向)