

トンネル坑口部での調査および地すべり対策について

戸田建設(株) 正会員 ○三宅 拓也※1

戸田建設(株) 内藤 雅人※1

1. 目的

国道 289 号 6 号トンネル起点側坑口（発進側）は、安定性の悪い土石流堆積物や脆弱な軽石凝灰岩が分布している。このため、トンネル掘削や、坑口付により斜面の安定性が損なわれ、地すべりの発生が懸念された。対策工検討のため、事前の調査ボーリングに加え、水平ボーリング（ $L=58\text{m} \times 3$ 本）、鉛直ボーリング（ $L=15\text{m} \times 2$ 本）、および TDEM 電磁波探査を行い、坑口付近の地質構造を 3 次元的に把握した。この調査結果より、トンネル掘削における斜面の安定解析を行い、垂直縫地工法（延長方向 8 本、横断方向 15 本、計 120 本）を実施した。

2. 地質調査

土石流堆積物と比較的硬質な風化軽石凝灰岩の境界の三次元的な把握および地山の力学特性を把握するために、水平 3 本（ $L=58\text{m} \times 3$ 本）・鉛直 2 本（ $L=15\text{m} \times 2$ 本）の調査ボーリング、孔内せん断試験（6 箇所）およびトンネル中心線と平行に 5m 間隔で 5 測線及び横断方向に 5m 間隔で 13 測線の TDEM 電磁波探査を実施した。図-1 に、TDEM 探査の結果を示す。図-2 に、この調査結果により得られたトンネルセンターにおける解析断面を示す。また、表-1 に、坑内せん断試験より得られた土質定数を示す。

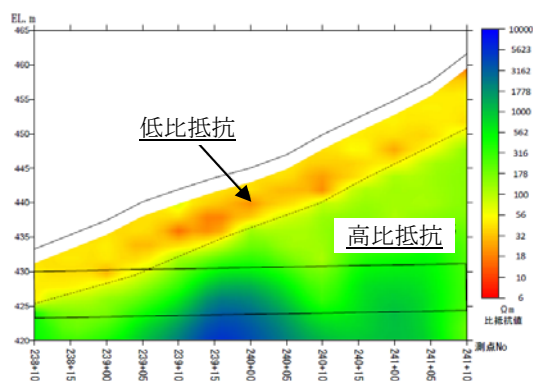


図-1 TDEM 探査結果（トンネルセンター）

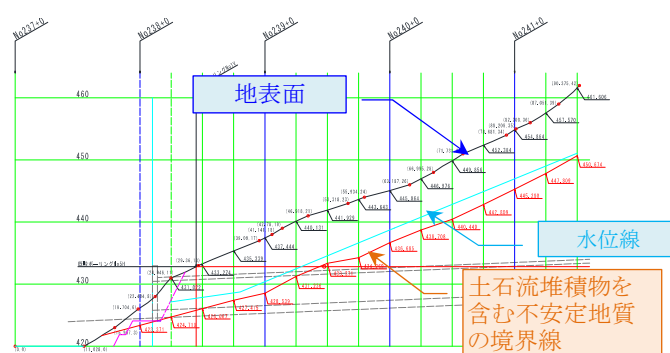


図-2 地層の解析断面図（トンネルセンター）

表-1 坑内せん断試験より得られた土質定数

孔番	試験深度(GL-m)	土質区分	変形係数E(MN/m ²)	粘着力c(kN/m ²)	せん断摩擦角φ(°)
鉛直①	1.5	土石流堆積物	9.8	0.2	24.2
	7.5	強風化凝灰岩	69.1	0.9	28.8
	14.5	風化凝灰岩	63.3	28.1	8.3
鉛直②	1.35	土石流堆積物	33.1	18.4	27.7
	7.5	強風化凝灰岩	31.2	23.4	18.7
	11.5	風化凝灰岩	84.4	23.0	7.1

3. 斜面の安定解析

調査ボーリングと TDEM 探査により得られた地質構造と、調査ボーリングの室内資料試験、坑内せん断試験より得られた地山の力学特性を用いて、トンネルセンターおよび左右 10m 位置の断面において斜面の安定解析を行った。

表-2 に、斜面の安定計算の結果を示す。トンネル掘削時の安全率の低下の算定は『NEXCO 設計要領 第 1 集』に基づいた。

キーワード TDEM 電磁探査, 垂直縫地工法

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

TEL 048-827-1335

表-2 斜面の安定計算とトンネル掘削による抵抗力の低下

解析 ケース	掘削前の 安全率	掘削後の 安全率	掘削前の 抵抗力 Rb(kN)	掘削後の 抵抗力 Ra(kN)	起動力 F(kN)	抵抗力 低下分 ΔR (kN/m)	分担幅 w(m)	トンネル掘削で 低下した 抵抗力 R(kN)
Tn-Left	1.485	1.375	2,553	2,364	1,719	189	6.0	1,134
Tn-CL	1.381	1.279	3,154	2,921	2,284	233	10.5	2,447
Tn-Right	1.545	1.431	5,426	5,024	3,511	402	6.0	2,412
全体合計	—	—	80,991	74,998	55,362	—	—	5,993

3. 垂直縫地工の設計

先で算定したトンネル掘削による安全率低下に伴う損失抵抗力合計 $R=5,993\text{kN}$ に対して、垂直縫地工の設計を行った。垂直縫地工における使用材料はD32-鉄筋ボルトを使用するが、中央のトンネル掘削部においては、機械掘削時に鉄筋の引っ掛けやこれに伴う鉄筋の引抜きが生じやすいため、これを回避するために、D32-GRPボルトを使用し設計を行った（図-3参照）。表-3に、せん断抵抗力および対策後の安全率の算定結果を示す。鉄筋・GRPボルト補強することで、トンネル掘削の影響を考慮した全体の $F_s=1.564$ が確保できた。

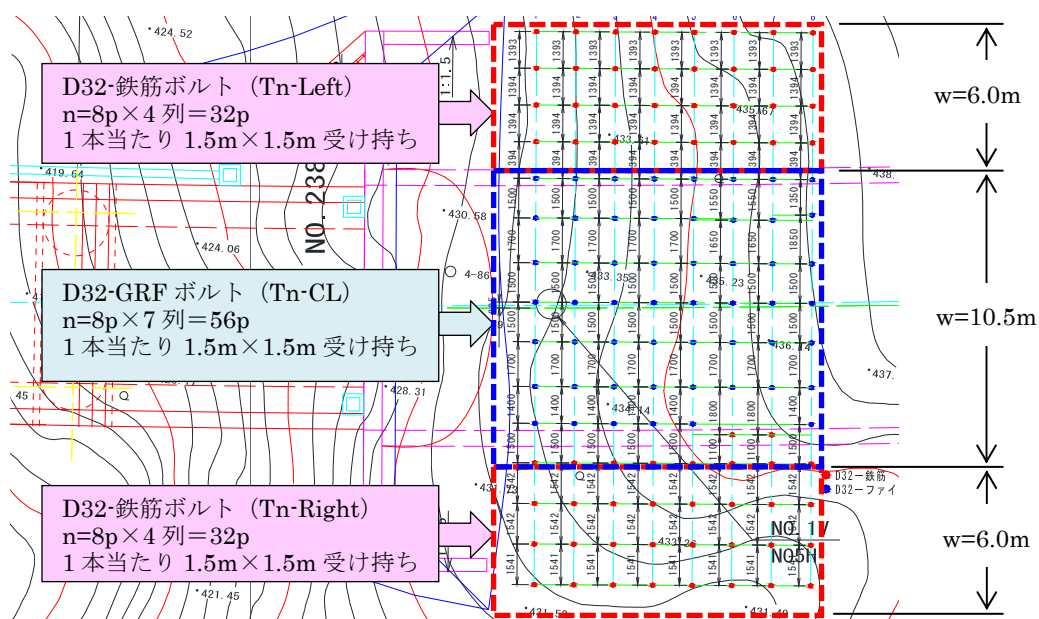


図-3 垂直縫地工のボルト配置と設計

表-3 せん断抵抗力および対策後の安全率の算定結果

対象範囲	ボルト区分	せん断力 τ (kN/mm ² /本)	本数 p(本)	せん断抵抗力 R(kN)	地山のすべり 抵抗力 Ra(kN)	起動力 F(kN)	安全率 F_s (R+Ra)/F	評価 (≥ 1.10)
Tn-Left	鉄筋(D32)	120 ^{※1)}	32	3,840	14,184	10,314	1.747	OK
Tn-Center	GRP(D32)	70 ^{※2)}	56	3,920	30,670	23,982	1.442	OK
Tn-Right	鉄筋(D32)	120 ^{※1)}	32	3,840	30,144	21,066	1.613	OK
全体	—	—	120	11,600	74,998	55,362	1.564	OK

※1) : τ (短期) = $80 \times 1.5 = 120\text{kN/mm}^2$ ※2) : 鉄筋の降伏強度とせん断強度の比から設定

4. トンネル掘削結果・まとめ

トンネル掘削の結果、坑口から20m地点で最大34.3mmの地表面沈下が見られたが、地すべりの発生もなく、脆弱な地質の法面区間を掘削完了することができた。TDEMと調査ボーリングを組み合わせ、地質構造を事前に把握し、効率的な垂直縫地工の設計を行った結果が安全なトンネル施工につながった。今後も適宜有効な探査を行い、適正なトンネル施工をしていきたいと考える。

参考文献

- ・NEXCO 設計要領 第1集