

地形を考慮した初期地圧に関する解析的検討

大成建設（株） 正会員 ○大槻 亮介・市田 雄行・大塚 勇・坂井 一雄・赤木 俊文
フェロー会員 青木 智幸

1. はじめに

土被りの大きい山脈内に掘削する山岳トンネルには強大な初期地圧が作用することが想定されるが、測定費用と時間および技術的な困難さから原位置で計測されることは希である。地山強度比の算出や数値解析による掘削時の支保の挙動を検討する際には、トンネル天端直上の地表面までの距離から土被り圧を算出して鉛直方向の初期地圧として使用することが便宜的に行われている。しかし、鉛直応力の分布には地形、すなわち山脈の形状が影響していることが考えられる。本稿では、地形（尾根の形状）を考慮した場合の鉛直応力の分布を二次元 FEM 解析により分析した結果を報告する。

2. 解析条件

図 1 の解析モデル概要図に示すように尾根の傾斜角度は 15°、30°、45°（表 1）の計 3 ケースとする。なお、Case1（尾根の傾斜 15°）では緩やかな傾斜、Case3（尾根の傾斜 45°）では急峻な傾斜を想定している。

本検討では、各ケースで自重解析を実施し、尾根下 2,000m および法尻下 1,000m 範囲（尾根下：図 1 赤線部、法尻下：青線部）の要素の応力について結果の整理を行う。ただし、水平応力は地殻応力（地殻ひずみ）の影響を受けるため、地形を考慮した自重解析のみで求めることは困難である。そのため、本検討では鉛直応力のみに着目するものとする。

解析領域は下方に 3H（H：尾根高(=1,000m)）、側方は 3W（W：山裾の幅）確保するものとする。境界条件は側方を水平固定、下方を完全固定とする。なお、地山は線形弾性体とし、平面ひずみ要素によりモデル化する。地山物性値は中硬岩相当¹⁾を想定し、表 2 に示す値を設定する。

3. 解析結果

(1) 尾根下の鉛直応力

図 2 に尾根下 2,000m 範囲における土被りと鉛直応力の関係を示す。図 2 より尾根の傾斜角度に関わらず全ケースにおいて鉛直応力は土被り圧 (γh) 以下となる。このことから、地形（尾根）を考慮することで、尾根下の鉛直応力は土被り圧に比べ低減することが示唆される。

各ケースにおける鉛直応力を比較すると、尾根の傾斜が緩やかになるほど鉛直応力は大きくなる傾向となり、地表面が水平に近づくとつれ、土被り圧に漸近するものと考察される。

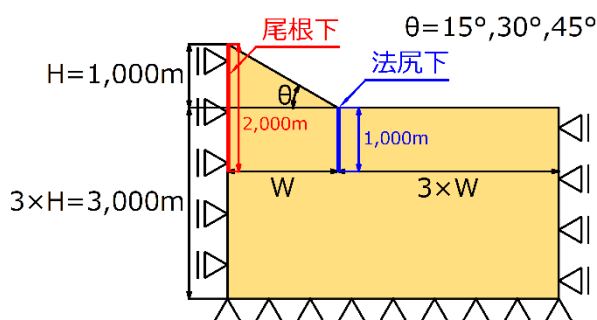


図 1 解析モデル概要図

表 1 検討ケース

Case No.	尾根線の傾斜 θ
Case 1	15°
Case 2	30°
Case 3	45°

表 2 地山物性値

単位体積重量 γ (MN/m ³)	変形係数 E (MN/m ²)	ポアソン比 ν	備考
0.025	1,000	0.3	地山等級R ₅ 相当 ¹⁾

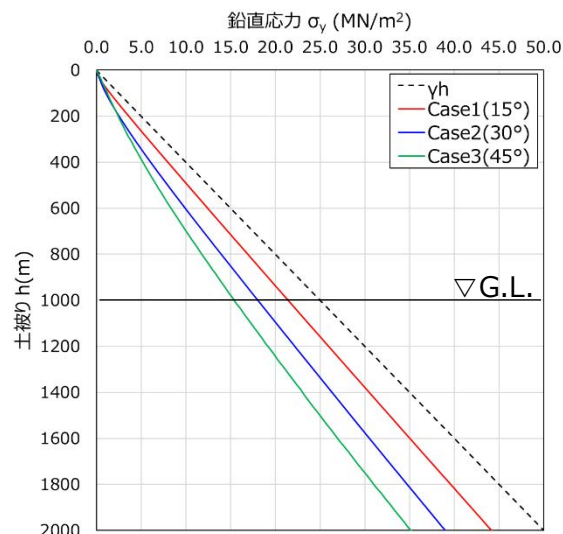


図 2 尾根下における鉛直応力

キーワード 初期地圧、鉛直応力、地形

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設株式会社 土木設計部 TEL 03-5381-5296

土被りと鉛直応力の関係に着目すると、全ケースにおいて土被りが小さい場合では非線形的に鉛直応力が増加し、土被りが大きくなるにつれ線形的に鉛直応力が増加する傾向となり、平野部以深では概ね線形的に増加する傾向となる。

図3に尾根下2,000m範囲の土被り圧に対する鉛直応力の比率($\sigma_y/\gamma h$, σ_y :鉛直応力(kN/m²))を示す。図3より、土被りが大きくなるにつれ鉛直応力比率は収束傾向を示し、前述したとおり、平野部以深で概ね一定比率となる。鉛直応力比率は、土被り2,000mで尾根の傾斜15°で90%程度、30°で80%程度、45°で70%程度となる。

鉛直応力比率の傾向に着目すると、尾根の傾斜が緩やかなCase1(15°)において土被りが小さい場合では鉛直応力比率が小さいが、土被りが大きくなると急激に鉛直応力比率は大きくなる。一方で尾根の傾斜が急峻なCase3(45°)において、鉛直応力比率の大きさは土被りの影響をあまり受けない。以上より、尾根の傾斜が緩やかなほど土被りが小さい場合では鉛直応力比率は小さいが、土被りが大きくなるにつれ急激に鉛直応力比率は増加する傾向となる。

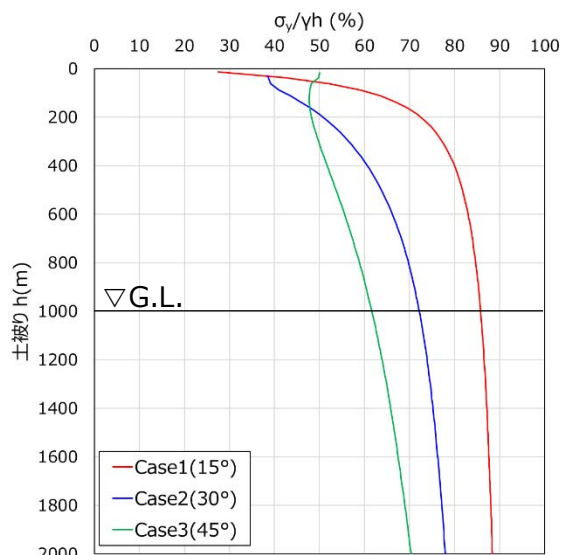


図3 尾根下における鉛直応力比率

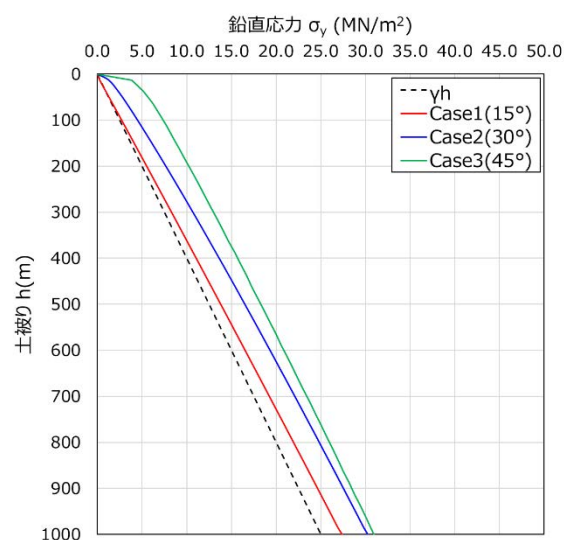


図4 法尻下における鉛直応力

(2) 法尻下の鉛直応力

図4に法尻下1,000m範囲における土被りと鉛直応力の関係を示す。図4より法尻下部では尾根の傾斜角度に関わらず全ケースにおいて鉛直応力は土被り圧(γh)以上となる。このことから、地形(尾根)を考慮することで、尾根下の鉛直応力の傾向とは逆に法尻下の鉛直応力は土被り圧に比べ大きくなること示唆される。

各ケースにおける鉛直応力を比較すると、尾根の傾斜が急峻になるほど鉛直応力は大きくなる傾向となり、地表面が水平に近づくにつれ、土被り圧に漸近するものと考察される。これは、地表面の傾斜が急峻になるにつれ尾根部の自重の影響を大きく受けるためだと考えられる。

土被りと鉛直応力の関係に着目すると、尾根下の鉛直応力の傾向と同様に全ケースにおいて、土被りが小さい場合では非線形的に鉛直応力が増加し、土被りが大きくなるにつれ線形的に鉛直応力が増加する。

4. まとめ

本検討では地形(尾根)を考慮した解析モデルにおいて、自重解析を実施し算出された鉛直応力(尾根下2,000m、法尻下1,000mの範囲)に着目して分析を行った。以下に本検討において得られた知見を示す。

- ・土被りおよび尾根の傾斜に関わらず、尾根下部の鉛直応力は土被り圧に比べ小さくなり、傾斜が急峻なほどその傾向は顕著となる。
- ・一方で、土被りおよび尾根の傾斜に関わらず、法尻下部では尾根下部の傾向とは逆に鉛直応力は土被り圧に比べ大きくなり、傾斜が急峻なほどその傾向は顕著となる。

参考文献

- 1) 山岳トンネル設計施工標準・同解説：鉄道建設・運輸施設整備支援機構、平成29年3月