

水平主応力方向がトンネル軸方向変位に与える影響の基礎的検討

大成建設（株） 正会員 ○赤木 俊文

大成建設（株） 正会員 坂井 一雄

1. はじめに

近年、測量機器の性能向上に伴って三次元的な変位データを活用して地山特性を推定する手法が国内外で用いられるようになってきている。その中でトンネル軸方向変位は、内空変位のみでは分からない地山情報を含む有益な指標となり得ることが知られている。一方、土被り数百 m を超える地下構造物では、水平方向の地圧が鉛直方向の地圧よりも卓越し、かつ最大と最小の水平応力に大きな差が生じることが珍しくない。また、地山には層理構造などに起因する材料異方性が存在し、地山の力学挙動に強く影響し得ることが知られている。両者はトンネル軸方向変位の挙動にも影響し、特徴的な挙動が現れる可能性がある。特に地圧はトンネル構造物における外力に相当する極めて重要な物理量であるが、岩盤の異方性が地質観察により多少の情報が取得できるのに比べ、技術上の制約や費用面から計測が行われることは少ない。トンネル軸方向変位の挙動から地圧に関する情報が得られれば、不確実性の大きいトンネル掘削において有益である。そこで本研究では、3 次元弾性解析により、トンネル掘削時の水平主応力方向がトンネル軸方向変位に与える影響を検討した。岩盤の材料異方性は面内等方弾性体で考慮し、等方地山と 2 パターンの異方性地山に対して与える水平主応力方向を種々変化させた。

2. 解析条件

図 1 に解析モデルを示す。円形トンネルを進行長 1m の全断面掘削にて掘削する。初期地圧は z 軸方向が主応力軸の 1 つであるとし、初期地圧として $\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \sigma_{xy}$ を与えた。主応力軸は鉛直および水平面内 2 軸とし、最小水平応力 σ_{hmin} = 鉛直応力 σ_v とした。最大水平応力と最小水平応力の比は 2 とした。モデル中央の赤点線で示した断面が変位出力断面である。なお、ここでの変位は計測変位を模擬するため、切羽が出力断面を 1m 超えた時点の変位を 0 とし、切羽が計測断面を 2D 過ぎるまでの変位を整理した。岩盤の異方性は面内等方弾性体で表現した。等方線形弾性体のケース(a)と図 2 に示す等方面を設定した異方弾性体ケース(b),(c)の計 3 ケースを設定した。(b)は等方面がトンネルと斜めに交差して左右に非対称性が生じるケース、(c)は等方面がトンネルと直交して左右対称となるケースの一例である。交差角を図 3 のように定義する。最小主応力軸がトンネル進行方向と同じ向きするとき交差角 0° (180°)、直交するときに 90° である。この 3 ケースについて種々の交差角に対するトンネル軸方向変位の挙動を検討した。解析で用いたパラメータは表 1 の通りである。

3. 解析結果

図 4 に、左右側壁および天端の 3 点について、交差角 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ の場合の水平変位とトンネル軸方向変位の関係を示す。この結果から、水平主応力の向きに応じてトンネル軸方向変位が大きく変化し、左側壁、天端、右側壁のトンネル軸方向変位の大小関係が変わる。特に、トンネル軸方向変位の向きが交差角によって坑口側と切羽側のどちらにも生じ得る点が特徴的である。図 5 は交差角と軸方向変位の関係である。水平主応力とトンネルの交差角に応じて左右側壁と天端のトンネル軸方向変位が大きく変化することがより明確となる。図中の点線は左右側壁と天端のトンネル軸方向変位の大小関係およびそれぞれの符号(向き)が同一である範囲を区切ったものである。例えば図 5(a)中の区間①は右側壁(+) > 天端(+) > 左側壁(-) の関係にある。いずれのケースでも交差角 $0 \sim 180^\circ$ が 7~9 つの区間に区切られており、トンネル軸方向変位の大小関係および向きの組み合わせから、主応力の大きな方向を推定できる可能性があることが分かる。

4. 結論

本研究では水平主応力方向がトンネル掘削時のトンネル軸方向変位に与える影響を数値解析により検討した。トンネル軸方向変位に影響し得る要因として岩盤の材料異方性も面内等方弾性体の範囲で考慮した。数値

解析より測点間のトンネル軸方向変位の大小関係および向きの組み合わせから、主応力の大きかな方向を推定できる可能性があることが分かった。地山の塑性挙動や実測値との比較検証が今後の課題である。

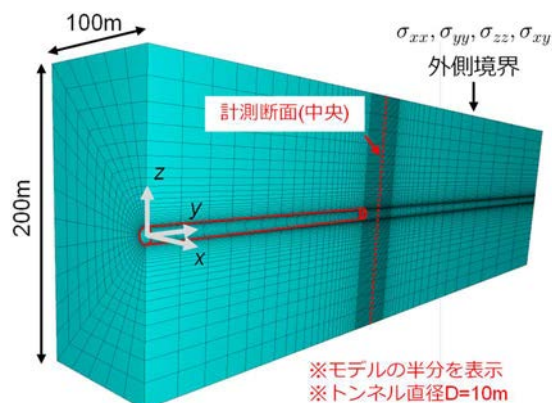


図1 解析条件

表1 解析に用いたパラメータ

パラメータ	単位	値
$\sigma_{hmax}, \sigma_{hmin} (= \sigma_v)$	MPa	20.0, 10.0
等方弾性体		
ヤング率 E	GPa	10.0
ポアソン比 ν	-	0.2
面内等方弾性体		
ヤング率 E_p, E_v (等方面内・面に垂直)	GPa	10.0, 5.0
ポアソン比 ν_{pp}, ν_{pv}	-	0.2

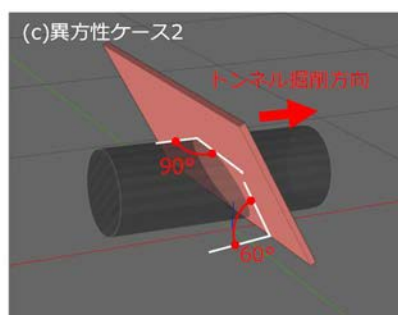
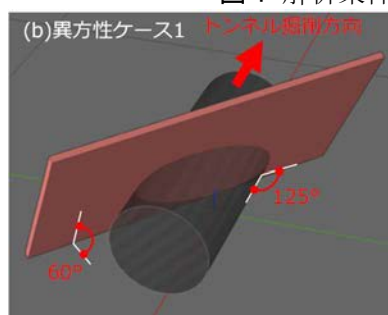


図2 等方面の向き

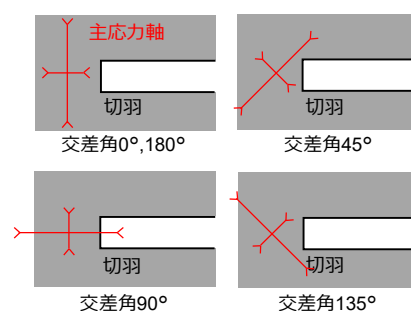


図3 交差角の定義

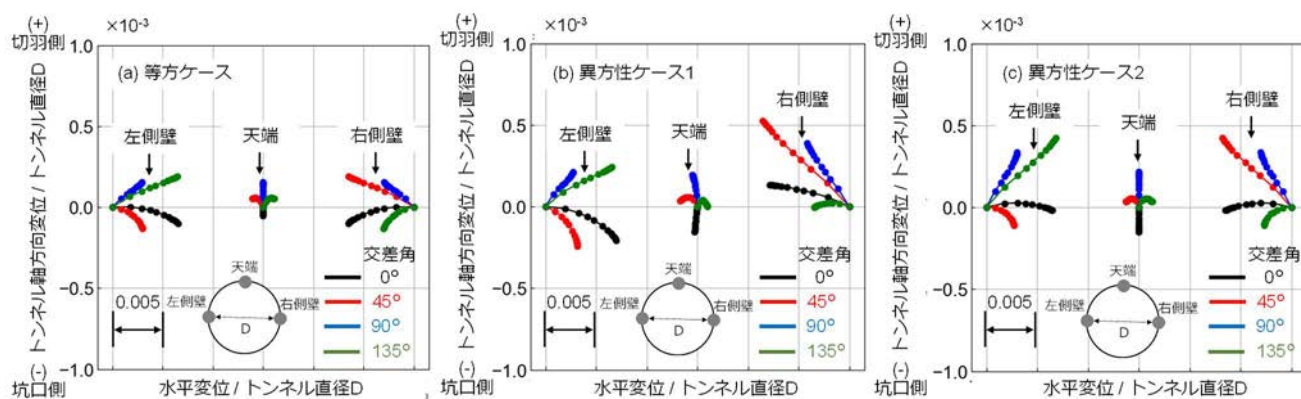


図4 水平変位とトンネル軸方向変位の関係

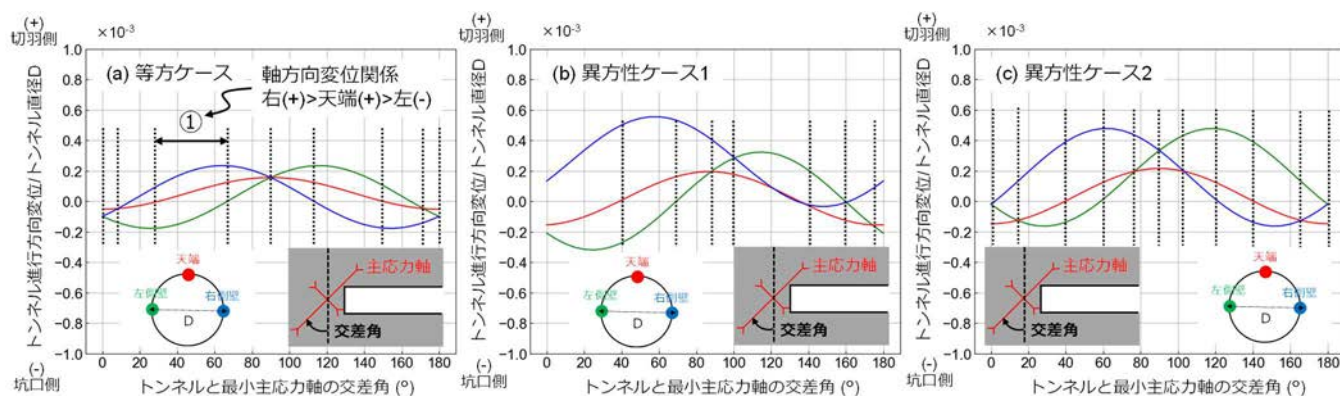


図5 交差角とトンネル軸方向変位の関係

参考文献

- 1) Schubert, W., and Budil, A. (1995): The importance of longitudinal deformation in tunnel excavation. In *8th ISRM Congress*, Tokyo. pp.1411-1414.