

初期応力の主軸の傾きがトンネル支保工に与える影響

清水建設株式会社 土木技術本部 正会員 ○長尾裕貴 福田 毅
正会員 安藤 拓 征矢雅宏

1. はじめに

有限要素解析手法を用いてトンネルの支保設計を行う場合、はじめにトンネル掘削前の地山内の初期応力状態を設定する必要がある。初期応力状態は、土被り高さ、地山の単位体積重量、および変形係数等を用いて算定する方法、土被り圧相当の初期応力を各要素に直接与える方法、初期応力測定結果を用いる方法がある。しかし、通常当初設計時に初期応力測定が行われることは少ないため、前二者による設定が一般的である。このような背景から、トンネル支保設計では地形を考慮した初期応力解析を除くと、通常主応力方向は鉛直、水平方向に一致するような初期応力状態で設計が成されることとなる。これに対し、通常の地山内応力は地形や地質等の影響により主軸が傾いている場合がある。そこで、本報告では初期応力状態の主軸の傾きがトンネル支保工に与える影響についての予備的検討を行ったので、その結果を報告する。

2. 検討条件

本報告の目的は、主軸の傾きがトンネル支保工に与える影響を確認することであるため、傾斜角度 α のみを変化させた 4 ケース (0° , 15° , 30° , 45°) で予備的検討を行った。また、あるトンネルにおいて初期応力測定を行った結果、初期応力状態が鉛直方向に対して傾いていることが分かった。そこで、予備的検討に加えて、初期応力測定結果を用いた解析と実測値との比較も行った。地山および支保工物性値を表-1 に示す。初期応力状態における鉛直応力は土被り高さ 190m と単位体積重量から算定し、側圧係数を 1.2 とした。地山物性値および側圧係数は事前の調査結果を踏まえて設定した。解析手法は 2 次元有限要素法によるトンネル掘削解析である。解析領域はトンネル壁面から上下・左右方向に 5D (D:掘削直径) 確保し、境界条件は各辺に対して法線方向に固定した。主軸が傾いている初期応力状態の例として、図-2 に $\alpha=30^\circ$ における初期応力状態を示す。

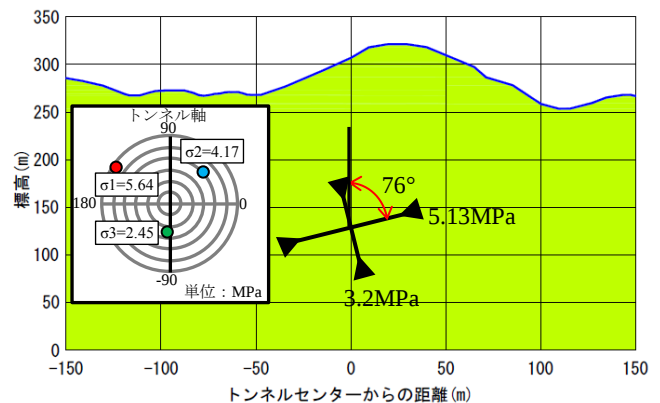
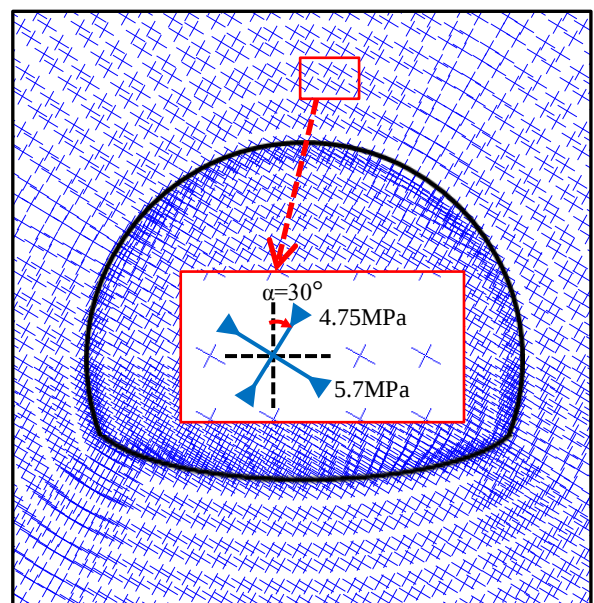


図-1 トンネル横断面内での初期応力状態

表-1 地山および支保工物性値

	変形係数 (MPa)	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m ³)	設計基準強度 (N/mm ²)
地山	900	0.35	25	—
吹付け (t=20cm)	4000	0.2	23	18
鋼製支保工 (H-150)	200000	0.3	78.4	245

図-2 初期応力状態の一例 ($\alpha=30^\circ$)

キーワード 初期応力, 主軸傾斜, トンネル支保工, 2次元有限要素法

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2 丁目 16-1 清水建設株式会社 TEL 03-3561-3887

3. 主軸の傾きによる影響

吹付けコンクリートに発生する軸応力分布を図-3 に示す. 同図には, 主軸の傾きを考慮しない場合に各代表点で発生する軸応力を基準とし, 主軸を傾けた際に発生する軸応力との最大差を変動量として記入した. 図-3 より, 主軸の傾きによる軸応力の変動量は最大 1.7N/mm^2 であり, 天端部から右 S.L. 部の間で発生している. 設計基準強度 18N/mm^2 に対して約 9% の変動量である. また, 各代表点での変動量の絶対値は $0.2 \sim 1.7\text{N/mm}^2$ とばらついており, その差は 1.5N/mm^2 である. 解析結果より, 主軸の傾きによって軸応力が変動することが分かり, トンネル支保工にある程度の影響を与えていることが確認出来た. そのため主軸の傾きが懸念される初期応力場において, 主軸の傾きを考慮しない解析を用いてトンネル支保設計を行う場合, 発生する支保工応力が設計基準強度に対してどの程度の余裕量があるのかを考慮することが必要であると考えられる.

図-4 に主軸の傾きが最も大きい $\alpha=45^\circ$ における変形図を示す. 図-4 より, 主軸の傾きによってトンネルの変形に偏りが見られた. トンネルの変形に偏りが発生したのは, 主軸を傾けたことによりトンネル周辺に発生する応力に偏りが生じたためである.

以上の結果から, 主軸の傾きがトンネル支保工にある程度の影響を与えていることを確認することが出来た. トンネル支保工に影響を与える要因は主軸の傾きだけではないが, 主軸の傾きが懸念される初期応力場では, 主軸の傾きを考慮した解析がトンネル支保設計において考慮すべき一つの要素となり得る.

4. 実測値との比較検討

以下に, 初期応力測定結果(図-1)を踏まえた解析結果を示す. 検討ケースは測定結果を考慮しない場合と考慮する場合の2ケース($\alpha=0^\circ$, 76°)とした. 地山および支保工物性値は前述の通りである. 図-5 にトンネル内空変位に関する解析結果と実測値との比較を示す. 図-5 より, 主軸の傾きの違いによって上半および下半の内空水平測線の変位に大きな違いが見られることが分かる. また, 測定結果を踏まえた $\alpha=76^\circ$ と実測値を比較してみると, 変位量に多少の違いは見られるが, 傾きを考慮した方がより再現性の良い結果が得られた.

5. まとめ

本報告では初期応力の主軸の傾きがトンネル支保工に与える影響について検討するため, 主軸の傾きを変化させた予備的検討, 初期応力測定結果を踏まえた解析と実測値との比較を行った. 解析結果より傾斜角度によって程度は違うが, 主軸の傾きがトンネル支保工に影響を与えていることが分かった. しかし, 実際の現場で初期応力測定が実施されることは少ないため, 日常的に行われている A 計測結果等の逆解析から主軸の傾きを推定し, 必要に応じて初期応力の主軸の傾きがトンネル支保工に与える影響を検討する必要がある.

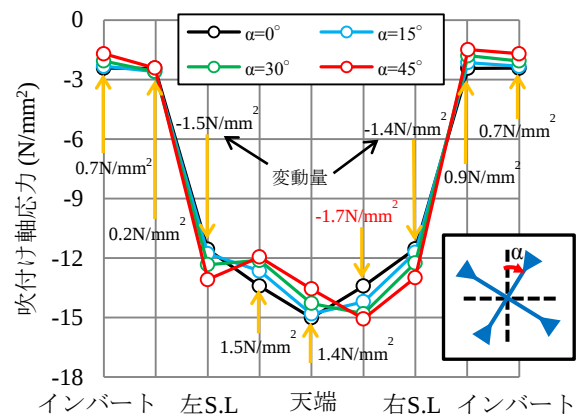


図-3 吹付けコンクリート軸応力分布

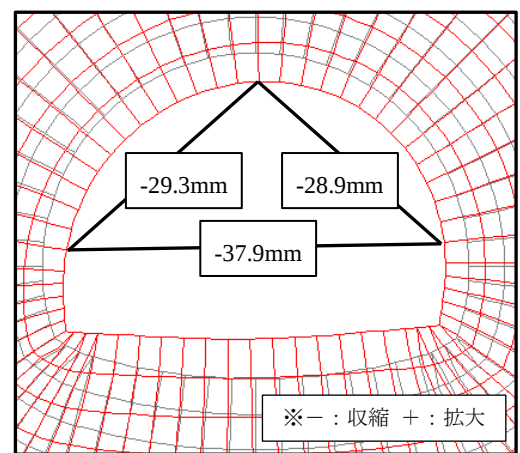


図-4 変形図 ($\alpha=45^\circ$)

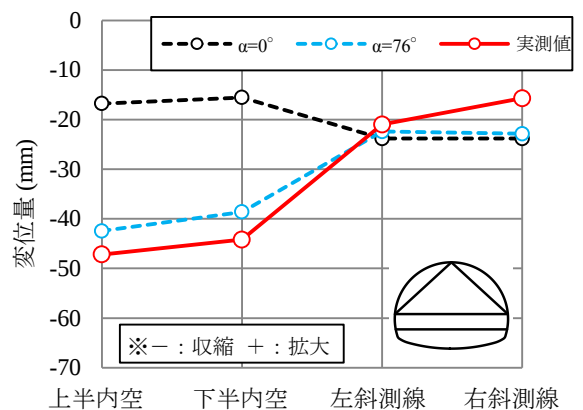


図-5 実測値 (A 計測) との比較