

## デジタルツインによる土圧シールドにおける管理土圧の設定

土圧シールド 主働土圧 現場計測工法

GRI財団

国際

岩崎好規

JIPテクノサイエンス(株)

正

伊藤 肇

(株)地域地盤環境研究所

国際

○ 長屋淳一

## 1. はじめに

土圧シールドトンネルの切羽安定性の保持のためには、チャンパー内混練り土の塑性流動性を確保して、適切な土圧形状を保持するとともに、切羽安定の基本的要件である切羽土圧の保持が重要な項目となる。管理切羽土圧の設定方法としては地盤条件により静止土圧、主働土圧、緩み土圧を目安として設定されるが、実工事においては、地盤の変化、掘進中の地盤変状計測値、シールドマシンの掘進状況により管理値を見直しており、確立した管理方法はないのが実情である。そこで、シールド掘進の初期段階において現位置減圧試験により切羽面の主働土圧（管理切羽土圧の下限值）を求めることにより、想定内の安定的な地盤変位の確認を目指している<sup>1)</sup>。しかし、減圧試験における切羽前面の水平変位計測には傾斜計用の測定管を切羽前面に設置する必要があり、後のシールド掘進の支障となってしまう。本論文では、その代替案として比較的容易に計測できるシールド直上地盤の沈下と切羽土圧の関係より切羽面の主働土圧を求めることを検証するために減圧試験に対する3次元FEM解析を行い、切羽圧力とシールド天端レベルの沈下量の関係より切羽面の主働土圧を求めることを検討した。

## 2. 切羽土圧の管理方法

土木学会トンネル標準示方書シールド工法編<sup>2)</sup>には、シールドトンネルにおける切羽土圧の管理は、主働土圧や静止土圧、あるいは緩み土圧を用いる方法等があり、地表面沈下を極力抑制したい場合は、静止土圧+水圧+変動圧がひとつの目安となり、シールド前方の地盤隆起が確認される場合は、主働土圧+水圧+変動圧、もしくは水圧+変動圧を管理値として採用することも有ると記述されており、ここで言う管理土圧の下限値の目安となる主働土圧は、ランキン土圧により求められることが多い。しかし、ランキン土圧は擁壁に対する主働土圧であり、シールドトンネルのような地中で円形に作用するトンネル切羽面の土圧とは異なるものである。これに対して、文献1)ではトンネル切羽面における主働土圧を求める方法として切羽土圧の減圧に対する切羽前面地盤の水平変位を計測する原位置減圧試験を提案した。しかし、切羽前面の水平変位の計測には、挿入式傾斜計あるいは多段式傾斜計を用いた計測が必要であり、試験後のシールド掘進に支障となる。そこで、今回は、減圧試験におけるシールド直上部の沈下計測により、切羽面における主働土圧を求める方法について3次元FEM解析により検証を行った。

## 3. 3次元FEM解析のシミュレーションモデル

図-1に減圧試験のシミュレーション解析に用いた有限要素メッシュ図を示す。解析はモルクーロンモデルによる弾塑性解析（解析ソフトPlaxisを使用）で、解析モデルには、N=50の砂層で地下水位はGL-5.0m、シールド直径D=10mで、土被り50mと設定した。表-1に解析パラメータを示す。この解析モデルにおけるシールド中心深度のランキン有効主働土圧は $\sigma'_a=131(\text{kN/m}^2)$ 、水圧は $p_u=500(\text{kN/m}^2)$ で、ランキン主働全土圧としては、 $\sigma_a=631(\text{kN/m}^2)$ と求められる。

表-1 解析パラメータ

パラメータ	記号	物性値	単位
N値		50	
単位体積重量	$\gamma_t$	20	$\text{kN/m}^2$
変形係数	E	140000	$\text{kN/m}^2$
ポアソン比	$\nu$	0.3	
内部摩擦角	$\phi$	40	度
粘着力	c	0	$\text{kN/m}^2$
ポアソン比	$\nu$	0.3	

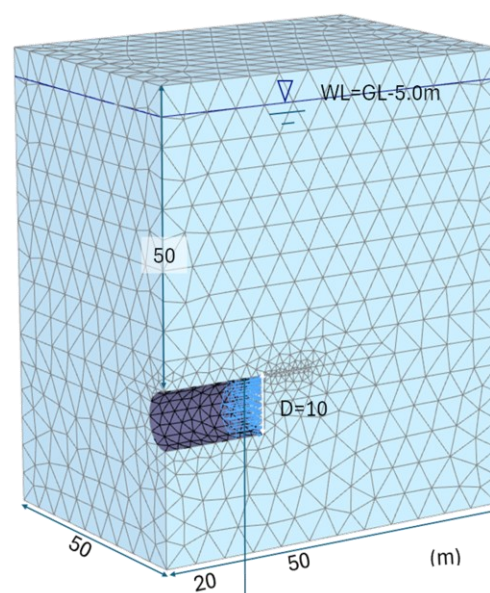


図-1 有限要素メッシュ図

## 4. 3次元FEM解析結果

図-2, 3に減圧試験のシミュレーション解析における切羽土圧と切羽中央部の水平変位および切羽天端レベルの前方2,

3, 4mにおける沈下量の関係を示す。切羽面における主働土圧は、切羽土圧～変位（切羽中心の水平変位、天端レベルの沈下）曲線における降伏点による求めることができる。図-2, 3より切羽中心の水平変位、天端レベルの沈下のいずれの切羽土圧～変位からも明瞭に降伏点が確認でき、切羽面中心の水平変位では570(kN/m<sup>2</sup>)、天端レベルの沈下では560(kN/m<sup>2</sup>)とほぼ同等の値であった。これは、天端レベルの沈下計測により切羽面の主働土圧を求めることが可能であることを示している。また、この値はランキン主働全土圧より、小さい値となっており、ランキン主働全土圧を管理切羽土圧の下限値とした場合には安全側の設定となる。

図-4にシミュレーション解析の切羽土圧が550(kN/m<sup>2</sup>)における変形図、図-5に天端レベルの沈下分布を示す。図-5より天端レベルの沈下は切羽前方1～2mにおいて最大値を示しており、減圧試験の試験位置は、沈下計測位置の1～2m手前が適切であると言える。

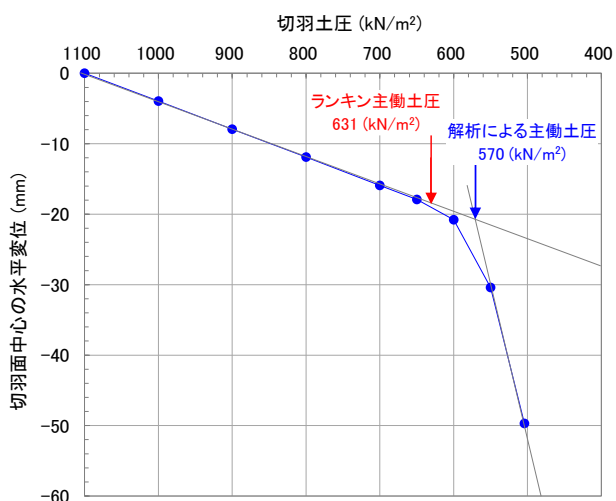


図-2 切羽土圧と切羽面中心の水平変位の関係

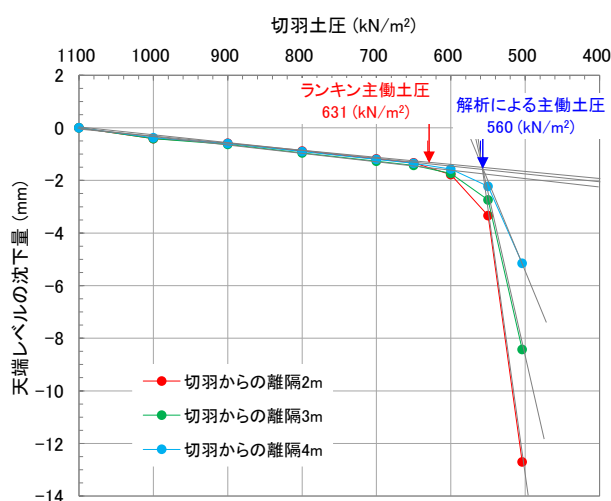


図-3 切羽土圧と切羽天端レベルの沈下の関係

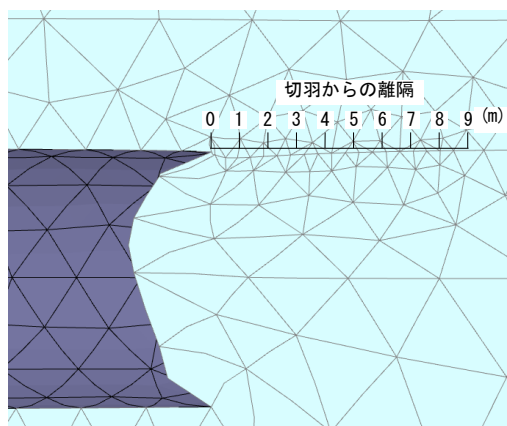


図-4 切羽土圧 550(kN/m<sup>2</sup>)における変形図

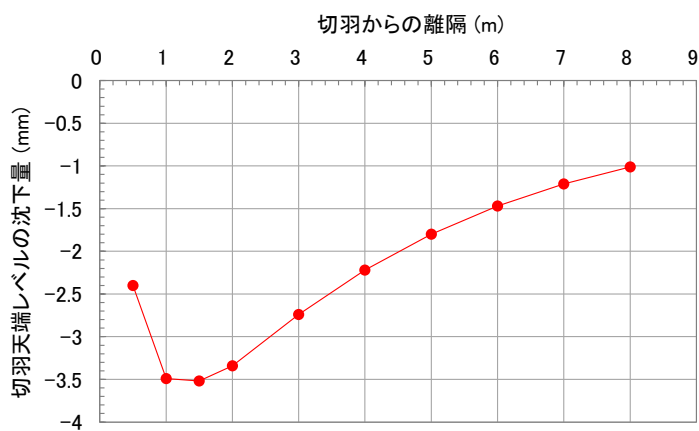


図-5 切羽土圧 550(kN/m<sup>2</sup>)における天端レベルの沈下分布

## 5. 結論

今回の3次元FEM解析より、切羽前方1～2mの位置で減圧試験を行い、天端レベルにおける沈下量を精度良く測定できれば、切羽面における主働土圧（＝管理切羽土圧の下限値）の測定が可能であることを示した。沈下変位量は、水平変位量の10分の1程度となり、精密な沈下計測が必須となるが、連続傾斜計による切羽面の水平変位計測に比較して、デジタルツインによる土圧シールド管理の達成が容易となると思われる。

## 参考文献

- 1) 岩崎好規等(2023), 土圧シールドの切羽土圧除荷試験による主働土圧の設定, 第58回地盤工学研究発表会概要集, DS-7-04.
- 2) 岩崎好規等(2023), デジタルツインによる土圧シールドの現場計測工法, 第58回地盤工学研究発表会概要集, DS-7-05.
- 3) 土木学会(2016): トンネル標準示方書 [共通編]・同解説/[シールド工法編]・同解説, 2016年制定