

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

土圧シールド 主働土圧 原位置試験

一財)地域地盤環境研究所 国際 ○岩崎好規
 JIP テクノサイエンス 正 伊藤 肇
 東北工業大学 国際 今西 肇
 (株)地域地盤環境研究所 正 長屋淳一

1 はじめに

東京都調布市において、地表下土被り 47.4m で大口径 16.1m の外環土圧シールドが通過した約 1 月後の 2020 年 10 月陥没し、5mx3m の大きさとなった。地盤は、良く締まった N 値 N>50 を示す砂層で、有識者委員会の検討ではチャンパー内の土の塑性流動性についての議論がなされている。本論では、切羽安定の重要要素となる主働土圧を議論する。

2 東京外環トンネル陥没地点の検討(有識者委員会報告 1)による)

地層は更新統の堆積層で、地表 5~10m はローム層、それ以下は良く締まった砂が主体で硬い粘性土の薄層を含むとされる東久留米層とされ、地下水は表層の自由面水と深層の被圧地下水が認められている。事前のボーリング調査は約 200m 間隔を目安(当該域では約 800m)としていると記載されている。一般に事前の地盤特性の詳細な把握は困難であるのが一般的であるが、掘削断面の地盤は、細粒分が少なく、均等係数が小さく、自立性が乏しいと評価されていた。施工経緯記録にみられる掘削土の細粒度の比率は、2020 年 5 月 2141R では 17%であったが、2660R で 9%、2667R で 4%、2736R で 4.3%、と減少しており (報告書 1)p5-1~5.3 以下 page のみ表示)1)図-1 下図に示した。カッター回転不能発生箇所及び陥没地点発生箇所を赤星点で示しているが、これらのリング位置の細粒分は 10%以下の斜線域となっている。図-1 上図には、斜線域における掘削時および停止時の中心深度付近における計測土圧を示した。一般的に採用されるチャンパー内土圧管理上の緩み土圧に対応した上限値(570)および下限値(470)(p.5-7)も図-1 に示した。図-1 の下部に細粒分含有率、上部にチャンパー内土圧のリング毎の計測値、及び下限値、上限値を示した。細粒土の構成比率の変化に対して、チャンパー内土圧の管理値の上限値、下限値が変化することなく、一定値に固定されている。

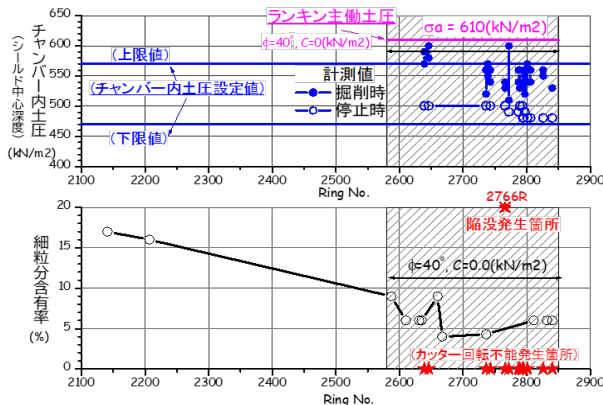


図-1 外環土圧シールド掘削土の細粒分比率・管理土圧

3 陥没箇所付近の切羽地盤の強度特性

切羽に現れる東久留米層は、N 値 N>50 の砂層で細粒分比率が小さい特徴があるが、既往の研究などを参照して、N 値とせん断摩擦角 2)を 図-2 に、細粒分比率と粘着力の関係 3)を 図-3 に示した。これらの関係から推察される Ring2600~2850 の間の強度定数は、摩擦角φ=40°, 粘着力,C=0kN/m2 であると推定される。

4 ランキンによる主働土圧

全土被り土圧に対応する主働土圧をランキンによる式で求めてみる。

$$\sigma'_a = \sigma'_v K_a - 2C(K_a)^{0.5} \quad K_a = \tan^2(45 - \phi/2) \quad K_a : \text{ランキン主働土圧係数}$$

φ=40° とすると、 $K_a = 0.217$, $K_a^{0.5} = 0.466$ が得られる。現場の地盤状況を 図-4 に示した。ローム層、砂層の単位体積重量を 15 および 20(kN/m3)と設定した。地下水位は、ボーリング結果からは、WT=GL-4.41m であるが、停止時のチャンパー内土圧から水圧を算定し、相当水位を求めると WT=GL-6.85m が得られる。以上の条件をもとに、シールド中

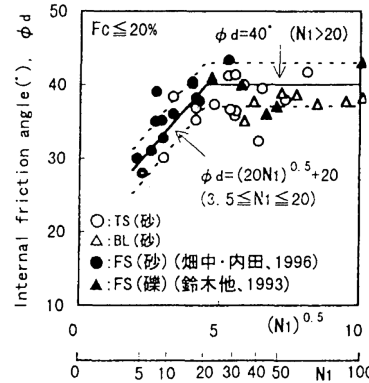


図-2 N 値とせん断摩擦角

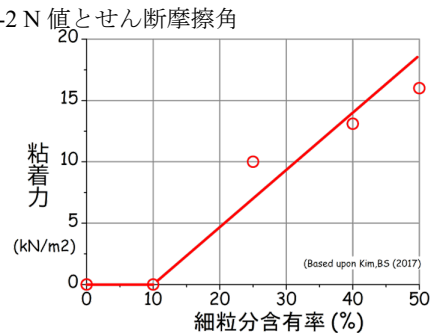
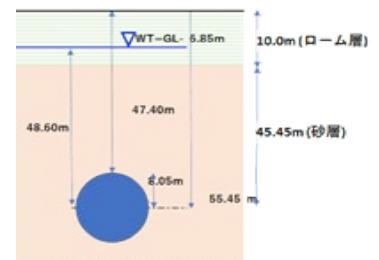


図-3 細粒分含有率と粘着力

心位置(GL-55.45m)でのランキン主働土圧を求めると 610(kN/m²)が得られた。図-1 に示したように、計測されているチャンパー内土圧はすべて 610(kN/m²)より小さく、切羽の安定性が十分確保できていなかった可能性もある。

表-1 ランキン主働土圧(z=GL-55.45m)

鉛直全土被り圧	$\sigma_v=1059(\text{kN/m}^2)$
水圧	$p_u=486(\text{kN/m}^2)$
鉛直有効土圧	$\sigma'_v=573(\text{kN/m}^2)$
ランキン有効主働土圧	$\sigma'_a=124(\text{kN/m}^2)$
水平全応力土圧(ランキン主働土圧)	$\sigma_a=610(\text{kN/m}^2)$



6 土圧除荷シミュレーション

3DFEM_Plaxis により切羽土圧を与えて、段階的に除荷させた場合の切羽土圧と切羽水平変位の関係を図-5, 6 に示した。図-6 においては、土圧の減少に伴って水平変位は増大し、この除荷過程の荷重曲線の変曲点は弾性域から塑性域への遷移点である。2次元応力状態で全土被り圧に対して求められたランキン主働土圧より小さな値となっている。これは、3次元における円形の切羽形状を考慮出来ているために、シールド鉛直荷重が減少するためである。図-6 に調布市の陥没地点におけるシールド停止時から掘進中のチャンパー内土圧の観測値の範囲が示されている。これらの土圧は今回の解析上では降伏点を超えており、安定的塑性から不安定領域に拡がっている。

図-4 2766R 位置におけるシールド断面

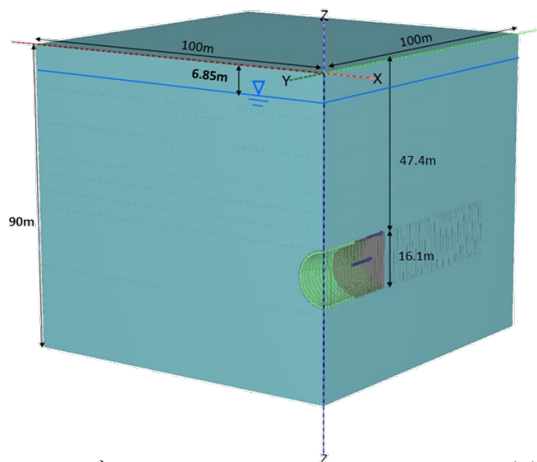


図-5 FEM モデル

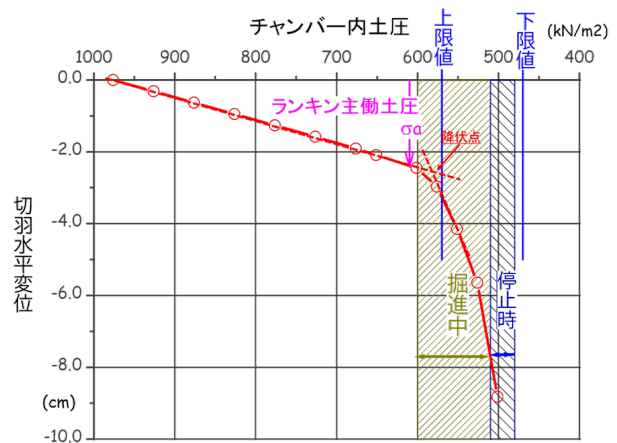


図-6 FEM 除荷シミュレーションによる荷重変位曲線

7 現場試験による主働土圧の推定と現場観測工法

現場において推定される管理土圧下限値相当までチャンパー内土圧を減圧させ、図-6 に示したような荷重変位曲線を求めることが出来れば、降伏点から主働土圧を求めることが可能であると思われる。現場計測工法における予測のために必要な切羽周辺の力学定数である変形係数および強度定数を推定することが出来る。但し、強度定数の特定はできないが、数個の組み合わせで可能である。挙動予測を行うための地盤特性が得られれば、シミュレーションにより挙動予測が可能となる。

8 おわりに

現在の土圧シールドの多くの現場においては、いわゆるトライアル計測が実施され、チャンパー内土圧を数種変化させ、土圧の適性値などを確認することで安全施工を目指す計測工法である。これに加え、さらに、切羽除荷試験を実施すれば、切羽安定を保持する主働土圧を現位置地盤特性による主働土圧を確認することができ、また、地表面や近接構造物への挙動予測シミュレーションが可能となる地盤の力学定数を得ることが出来る。これから目指す 3D シミュレーションと現場計測確認というデジタルツインに基づく土圧シールド工法への道が開けよう。

参考文献

- 1) 東京外環トンネル施工等検討委員会 有識者委員会報告書, 令和 3 年 3 月, NEXCO 東日本企業情報サイト https://www.e-nexco.co.jp/news/important_info/2021/0319/00009597.html
- 2) 畑中等, 砂質地盤の内部摩擦角と標準貫入試験の N 値について, 建築学会論文集(構造系), No.56, 1998
- 3) 金等, 細粒分含有率が河川堤防の安全性に及ぼす影響に関する研究, 地盤と建設, p37-44, Vol 35, No.1, 2017