

PSIII-19

シールド掘進条件を考慮した地盤変形解析

働大阪土質試験所 正員 橋本 正 高見 邦幸
 阪神水道企業団 正員 水野 正信 青木 茂
 中央復建コンサルタンツ㈱ 正員 八谷 誠 中廣 俊幸

1. まえがき

近年、都市トンネルの施工法として、シールド工法が非常に多く適用されており、それらの多くは、既設構造物に近接した工事となっている。そのため、常に問題となるのが近接構造物への影響度の評価であり、地盤変状の予測が重要となる。我々はこの地盤変状の予測手法として、シールド掘進条件を考慮した簡易な解析方法を提案している。¹⁾それは、図-1に示す様にシールド施工時の地盤変形は、(1)切羽土圧のバランスに関する変形、(2)テールボイドにおける応力解放に伴う変形、が全変形の80~90%を占めている場合が多いことに着目し、これら2点の要因を考慮した応力解放度なる特性値を有限要素法(以下、FEMと略す)軸対称解析により決定し、これを平面二次元解析に適用しようとするものである。

今回の報告は、切羽土圧のバランス状態を考慮した(α)を提案し、それらの適用性について現場計測結果による検証を行った。

2. 地盤変形測定結果

シールド掘進に伴う地盤変形測定事例として、水野他(1983)²⁾の測定データを適用する。これは、主にN値5~7の比較的軟らかい洪積粘性土層を対象とした泥土圧式シールド工事におけるものである。

泥土加圧式シールド工法は、切羽の土に応じて作泥材を調整し、カッタートルク、スクリー回転数、ジャッキ推力、切羽土圧等を常時計測管理することにより切羽の安定を保ちながら掘削する仕組みとなっている。一方、裏込め注入は、1リング掘削後に行う即時注入システムを採用している。

対象地盤はGL-8.3mまでが緩い沖積砂層(A_s)、GL-11.6mまでが非排水土圧強度 $S_u=4.5 \sim 6.5$ tf/m²の軟らかい沖積粘性土(A_c)、GL-15.7mまでが締った段丘砂レキ層(T_g)、そしてその下に洪積粘性土(D_c)および同砂、砂レキ層(D_s、D_g)となっている。D_c層の強度は $S_u=5 \sim 7$ tf/m²である。

施工中の切羽面土圧は平均的に、5tf/m²程度であったことが確認されている。また、掘進速度は日進6m~15m程度であった。

シールド縦断方向の地盤変状は計測結果と図-2に示す。これより、天端部では切羽到達時に約5mmの沈下が生じ、マシン通過中はほとんど変化はないが、テールボイド解放時にさらに10mmの沈下が生じた。その後若干増加するが約20m(3日)離れると沈下は収束する。一方、地表面沈下は、マシン通過までは約2mmでボイド解放時に約5mmとなり、最終的な沈下量は約7mmであった。

この実測挙動は図-1に示した地盤沈下発生機構に比較的一致している。すなわち、シールド掘進に伴う地盤沈下は、①切羽土圧バランスによる変形と②テールボイドにおける応力解放による変形が主要因となっていることが分かる。

3. 地盤変形解析

上記2つの要因を考慮に入れた応力解放度(α)は、FEMの軸対称モデルを用いた逐次掘削解析によ

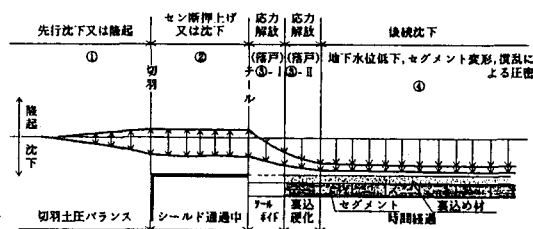


図-1 シールド施工に伴う地盤沈下発生機構
(土圧系または泥水シールド)

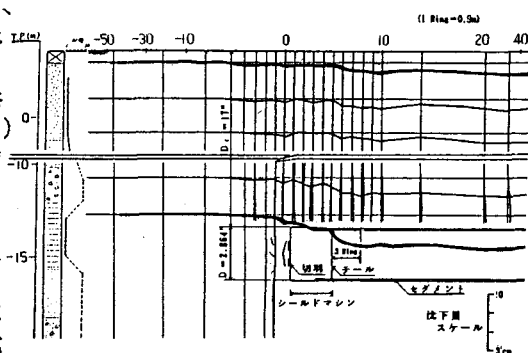


図-2 シールド掘進に伴う地盤変状計測結果

求めて、シールド径(D)とテールボイド長(L)の比(L/D)に対して相関をとったものを図-3に示した。現段階では切羽のバランス土圧(P)と切羽解放力(σk_0)の関係が、 $P \leq \sigma k_0$ の範囲についての適用を示している。これにより決定された α を用いて、前述した実地盤モデルを対象としてFEM平面二次元解析を行った。なお、地盤は等方弾性体と仮定した。

a) α の決定：今回の測定例では、実在するテールボイド長(L)はセグメント1リング分(0.9 m)であるが、裏込め材の注入時期および強度発現までの時間遅れを考慮して約3リング(2.7m)と考えられるので、L/Dは0.94となる。また、施工時の切羽土圧は初期応力の約33%であった。これより図-4を用いて内挿法により α を求めれば、 $\alpha=0.55$ となる。

b) 地盤定数の決定：土の変形係数は、ひずみレベルの大きさに依存するとして、平山他³⁾は次式を提案している。

$$\text{砂質土: } E = 1 / (1 + (1400 / \sqrt{\sigma_c}) \times e)$$

$$\text{粘性土: } E = 1 / (1 + 750 e)$$

これに、E: kgf/cm²、 σ_c : 拘束圧kgf/cm²、事前解析結果と現場沈下計測値の鉛直ひずみ ϵ から、上式により、ひずみレベルを考慮した変形係数を決定した。

	E	ϵ	ϵ	E
(事前)	(事前)	(計測)	(今回解析)	
T g層	670kgf/cm ²	0.4%	0.05%	2400kgf/cm ²
D c層	30kgf/cm ²	8.7%	1.20%	200kgf/cm ²

c) FEM二次元解析結果：FEM計算は柔掘り時のものと切羽での応力解放度 $\alpha=0.55$ の時のものについて行い、シールド通過20日後の周辺地盤測定結果と合せて図-4に示した。シールド天端部で、実測沈下量約17mmに対し応力解放率55%の時の計算結果は16mm、地表面部で、実測沈下量約5mmに対し計算結果は4.7mm、とほぼ一致した。また、沈下の影響範囲も比較的一致している。

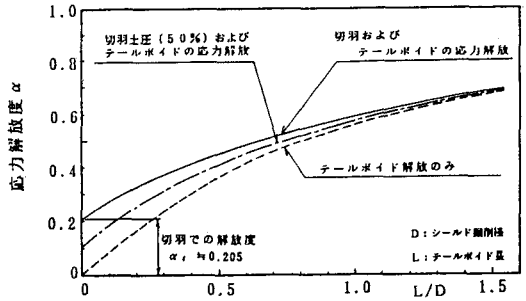


図-3 テールボイド長と応力解放度の関係図

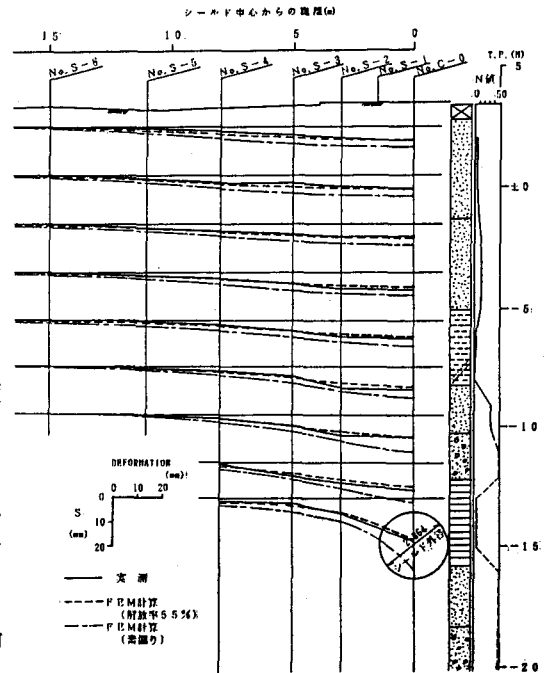


図-4 シールド周辺地盤の挙動 (シールド通過後20日後)

4. あとがき

今回、シールド掘進条件を考慮した地盤変形解析手法として、(1)切羽解放および切羽土圧バランス、(2)テールボイドにおける応力解放、の2点に着目した応力解放度(α)を用いる方法を示し、一例に対してその適用法が確認された。今後、他の現場計測結果との検証、切羽土圧Pが $P \geq \sigma k_0$ の範囲での適用性、さらに、シールド施工と解放度 α との関連性、などについて検討していくつもりである。

参考文献

- 1) 橋本 正他 (1988) : 切羽およびテールボイドの影響を考慮したシールドトンネルの地盤変形解析について、第23回土質工学研究発表会
- 2) 水野正信他 (1983) : 泥土圧シールドトンネルにおける周辺地盤の変形測定結果、第18回土質工学研究発表会
- 3) 平山英喜他 (1988) : 土のひずみレベルを考慮したN値からの割線弾性係数の推定、第23回土質工学研究発表会