

(株) 錢高組 正員 ○ 藤原 正明
同 上 尾儀 一郎

1. まえがき

軟弱地盤中のシールド工事では、慎重なる掘進管理にもかかわらず、大きな地盤沈下の発生が報告されている。その原因究明ならびに対策のため多くの計測、予測解析が試みられているが、未だ不明な点（特に地山内部の三次元的な挙動推移等）が多いのが実状であろう。筆者らは軟弱地盤の土圧シールド工事において周辺地山内部の挙動把握に重点を置いた計測を実施した。それらの概要および結果の一部はすでに報告¹⁾したが、今回、実測結果から地山内部の応力、ひずみの推移を検討し、平面ひずみ状態との差違等についても若干の考察を行ったので報告する。

2. 計測結果および考察

2.1 地山ひずみ

ある測定時における格子と1 Ring (=90 cm, 以後Rと記す) 前の格子で囲まれる直方体を考え、節点の変形量、すなわち管内傾斜計による水平変形と層別沈下計による鉛直変位から、地山各層におけるひずみ分布を求めた。軸ひずみ、体積ひずみ分布はすでに報告したが、今回、土中ひずみの表示として主ひずみ分布より正八面体垂直ひずみ ϵ_{OCT} と正八面体せん断ひずみ γ_{OCT} を求めた。一般に、 ϵ_{OCT} は体積変化の尺度、 γ_{OCT} はせん断変形すなわち形の変化の尺度を示すものといえる。図-1にトンネル頂部と側部の経時変化を、ひずみ速度と併記して示す。

図から明らかなように、頂部と側部はほぼ同様の傾向を示す。 ϵ_{OCT} はテール通過時わずかに引張になるが、2~3Rで圧縮に転じ、以後わずかに圧縮側で収束する。また γ_{OCT} はマシン通過中から増加し始め、通過直後で最大となり、以後4%前後で収束している。せん断ひずみ速度 $\dot{\gamma}_{OCT}$ はテール通過前後で大きなピーク(max 1.4×10^{-4} /分)となる。すなわち、テール通過前後3~4R間でその大部分が発生しており、かなり急激に大きな乱れを受けていることがわかる。

2.2 土中土圧および間隙水圧

測定は、空気バランス式のセンサーをボーリング孔内($\phi 145$ mm)に所定の方向に設置して行った。測定値の内、頂部と側部について以下述べる。表-1に土圧、間隙水圧の初期値、最終値の比較を示す。また図-2に初期値からの増減量経時変化を示す。頂部の初期値は有効土圧係数 $K=0.2 \sim 0.3$ と少し低い、砂層のため設置時の地山の乱れおよび埋戻し状態の影響と考えられる。逆に側部は有効土圧係数 $K=0.9 \sim 1.1$ と高い値になっているが、これはシルト層の過圧密の影響と思われる。

増減量の経時変化は図から明らかなように頂部と側部で、特にマシン通過後大きく異なる。すなわち、頂部(砂層)はマシン到達時減少し、通過中はわずかに増減をくり返すが有効土圧は初期値を保つ。通過後はテールボイドによる応力解放と裏込注入の影響を受け変化が大きく、水平土圧は増加している。また、側部(シルト層)の水平土圧はマシン到達時増加から減少に転じ、通過中は増加している。これはマシン周面マサツによるせん断力によるものと思われ、地山変形が外側へ押されているのと一致する。通過後は大きく減少し(max γ^{tf}/mb)、徐々に回復するが2ヶ月後においても初期値よりもかなり低い。これは過圧密シルト層の乱れによる土圧係数の減少とトンネル軸方向の塑性変形の影響が考えられる。

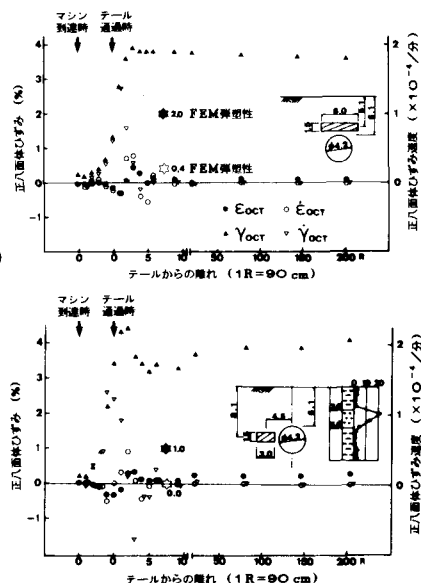


図-1 正八面体ひずみ、同ひずみ速度経時変化

一方、間隙水圧はマシン到達3R位前から通過後10R位まで0.5~1.5 t_f/m^2 減少しているが、土圧に比べ顕著な変化はなく砂層、シルト層ともほぼ排水状態と考えられる。

2.3 地山変形係数の推定

図-3に地盤を等方弾性体とみなして、土圧計設置位置における土中ひずみから逆算した土中応力増減量の経時変化を示す。図-2と対比すると、実測有効土圧変化と傾向的にはほぼ合っている。両面から大胆に変形係数を求め、表-2に示す。砂層部は各方向土圧計値のパラツキが大きく明確でないが、マシン通過後はかなり低下する。

一方シルト層もマシン通過中～最終状態にかけて半減している。しかし、土圧計の初期値、せん断力によるダイレイタンスー効果、裏込注入の影響等不確定要素も多く定性値の域を出ない。

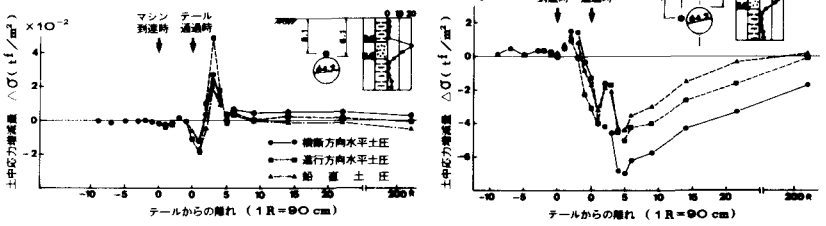


図-3 土中ひずみからの土中応力経時変化 ($E_s = 1.0 \text{ t/m}^2$) (ボアコン比: 砂層0.35, シルト層0.45)

2.4 平面ひずみ状態との差違

FEM等で解析される平面ひずみ状態と実際の地盤挙動との違いをみるために、計測値においてシールド進行方向の地山変形を0と仮定した場合とのせん断ひずみ比較を行った。図-4に結果を示すが、マシン通過中～通過後3Rまでは $P_y/\gamma = 0.1 \sim 0.7$ であり、特に側部は最終状態でも0.7弱でしかない。このことはマシン通過前後は進行方向の変形およびひずみが大きな割合を占めることを表わしており、しかも側部の軟弱シルト層では塑性変形として大部分が残留していることによる。

すなわち、平面ひずみ状態仮定では地山の挙動は過小評価されることになり、実際は解析結果よりも大きな乱れを受けていることがわかる。これは図-1に示したFEM弾塑性結果とも一致している。

3. まとめ

今回、一現場例ではあるが、シールド周辺の地山挙動において、軟弱地盤では大きな変形およびひずみが発生しており、特に進行方向の動きが大きな割合を占め、平面ひずみ状態仮定では不十分なことが明らかとなった。したがって、それら三次元的な挙動を考慮した予測解析および施工管理が必要となるが、現状においては推定困難な事項も多く、また解析上の制限もある。そのため、今後、各現場において初期計測を実施し、施工管理と予測解析の早期修正を目的とする現場計測工法の設計への取り入れが必要であろう。なお、本計測の実施は(財)大阪土質試験所の協力を得、また解析に際し同橋本氏に有役な助言を得た。記して感謝する。

参考文献 (1) 藤原, 他; 土圧シールド工事における現場測定結果(その1, その2) 第16回土質工学研究発表会

表-1 土中土圧, 間隙水圧初期値, 最終値

位置	土圧方向	計測	初期値		最終値	
			初期値	最終値	初期値	最終値
砂層	進行方向水平土圧	プレート	4.88(1.17)	4.46(0.88)	0.82(0.38)	0.81(0.38)
	側方水平土圧	プレート	4.88(1.17)	4.76(1.11)	0.82(0.38)	0.76(0.88)
シルト層	進行方向水平土圧	側入部	4.88(0.88)	5.12(1.47)	0.48(0.18)	0.56(0.32)
	側方水平土圧	側入部	4.88(0.88)	5.12(1.47)	0.48(0.18)	0.56(0.32)
間隙水圧	内側部		0.30	0.30	0.08	0.08
	側方水平土圧	プレート	11.88(7.58)	9.96(3.84)	1.01(1.13)	0.72(0.58)
間隙水圧	側方水平土圧	側入部	11.88(7.58)	9.96(3.84)	0.88(0.88)	0.88(0.38)
	側方水平土圧	側入部	6.37	6.88	0.94	0.94

図-2 実測土中土圧, 間隙水圧増減量経時変化

表-2 逆算地山変形係数

位置	マシン通過前	マシン通過中	通過後1~10R	最終値	平均値
砂層	120	220~1000	1000	1000	1000
シルト層	240	130	100	160	277

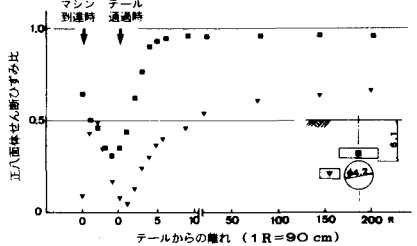


図-4 正八面体せん断ひずみ比 (P_y/γ) 経時変化 (P_y : 平面ひずみ仮定, γ : 三次元)