

III-30

シールド工事を対象とした地盤の変形係数の評価方法について

鹿島建設（株）鹿島技術研究所 正会員 ○菅原俊幸
 中部電力（株）電力技術研究所 正会員 尾関正典
 中部電力（株）電力技術研究所 正会員 尾畑和彦

1. まえがき

都市部のトンネル工事は、社会ニーズに伴う工事量の増加、建設立地条件等の制約から既設の構造物への近接施工のケースが多く、従来よりまして施工時の周辺地盤の挙動を精度よく予測する必要がある。

これらの予測解析には有限要素法が多く用いられているが、施工途中で地盤の変形係数を修正して解析し直す事例が多く見受けられ、従来の事前設定方法を見直す必要があると考えられる。このような背景から筆者らは、シールド工事の地盤変状計測事例をもとに地盤の変形係数を逆算して、種々の変形係数の算定結果（N値による推定、孔内水平載荷試験、PS検層調査）との比較検討を行った。

本報告は、これらの比較結果及びシールド工事を対象とした地盤変形係数の評価方法について述べる。

2. 検討事例及び検討方法の概要

表-1 検討対象事例の概要

検討に用いた事例は、名古屋市内の電力洞道工事を対象に、外径 $D=4.03\text{m}\sim 4.74\text{m}$ 、土被り比 $H/D=3.35\sim 4.7$ のいずれも密閉式のシールド工法による4事例である。各事例についての施工概要を表-1にまとめて示す。

これらの事例の地中沈下の経時変化を整理した結果、先行沈下がほとんどなく、シールド掘削に伴う地盤挙動が2次元平面ひずみ条件の挙動と考えられた。そこで、地盤の変形係数（ E_{BACK} ）は、シールドセンターを軸とする1/2断面の2次元メッシュを用いて、各断面の地中沈下計測結果に対して計算結果との誤差が各深度で1mm以下になるように逆解析して求めた。この際、同時裏込め注入方式が採用されていることから裏込め材を要素として考慮し、その変形係数（ E_g ）はシールド1リング掘進時間に相当する材令で評価した。なお、地盤のポアソン比（ ν ）は、砂地盤で $\nu=0.3$ 、粘性土地盤で $\nu=0.45$ を仮定して用いた。

工 事	A	B	C	D
シールド機種	泥土圧式	泥水圧式	泥土圧式	泥土圧式
裏込め注入方式	同時注入	同時注入	同時注入	同時注入
シールド外径 D(m)	4.49	4.74	4.49	4.03
土被り H(m)	21.3	15.9	18.5	13.3
土被り比 H/D	4.7	3.4	4.1	3.3
切羽の土質	洪積 砂層	沖積 粘性土層	洪積 砂層	沖積 粘性土層
切羽のN値	38	1	36	20
シールド直上の 地盤沈下量(mm)	5.1	4.8	4.25	4.0

掘進時間が採用されていることから裏込め材を要素として考慮し、その変形係数（ E_g ）はシールド1リング掘進時間に相当する材令で評価した。なお、地盤のポアソン比（ ν ）は、砂地盤で $\nu=0.3$ 、粘性土地盤で $\nu=0.45$ を仮定して用いた。

3. 変形係数の比較

逆算した変形係数（ E_{BACK} ）とN値による推定値（ $E_N=7\cdot N$ ）、孔内水平載荷試験結果（ E_{BHLT} ）、及びPS検層調査結果（ E_{PS} ）との比較結果を図-1に示す。これらの結果より以下のことが伺えられる。

- ①各手法による変形係数の評価（ E_N 、 E_{BHLT} 、 E_{PS} ）は、いずれの方法によっても各事例の逆解析結果（ E_{BACK} ）を一義的に評価できていない。
- ②（ $E_N=7\cdot N$ ）は（ E_{BHLT} ）とほぼ一致し、（ E_{BACK} ）より概ね小さい傾向がある。

4. 変形係数とせん断ひずみの関係

土の変形係数がひずみに依存した非線形性を呈する材料であることに着目して、逆解析で得られた変形係数（ E_{BACK} ）の初期弾性係数（ $E_{\text{MAX}}=E_{\text{PS}}$ ）からの低下率（ $E_{\text{BACK}}/E_{\text{MAX}}$ ）とせん断ひずみ（ γ ）の関係を図-2に整理した。これらの結果より、変形係数はせん断ひずみに対して顕著な非線形性をもち、また、土の応力ひずみ関係を双曲線と仮定した、例えば同図に示した $E/E_{\text{MAX}}=1/(1+200\cdot\gamma)$ の曲線で概ね

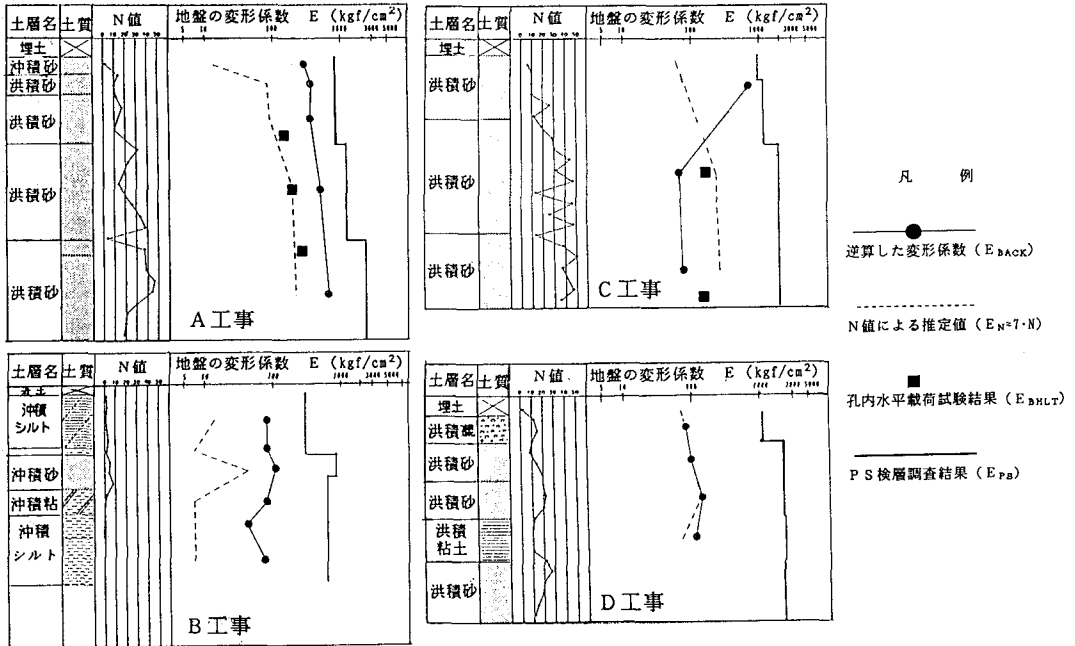


図-1 変形係数の比較

近似することができる。

5. せん断ひずみの深度分布

各事例のせん断ひずみ (γ) の深度分布を図-3に示したが、シールド直上で $\gamma = 0.1 \sim 0.3\%$ 程度、地表面近くで $\gamma = 0.005 \sim 0.02\%$ 程度のせん断ひずみ (γ) が生じている。また、同図のように深度 (Z) を土被り (H) で除して正規化したものを縦軸とし、横軸をせん断ひずみ (γ) の対数として整理すると、 Z/H が 0.5 以深では地盤土質の相違に依らずほぼ同一の勾配の深度分布となる傾向がある。

6. まとめ

従来よく用いられる N 値による推定 (E_N) 及び孔内水平載荷試験結果 (E_{BHLT}) による変形係数の評価は、逆算した変形係数 ($E_{BA CK}$) に比べ概ね小さい傾向がうかがえる。これは、掘削に伴って地盤に生ずるひずみが非常に小さく、今回分析した事例についてのせん断ひずみは $\gamma = 0.005 \sim 0.3\%$ 程度のひずみレベルである。したがって、地盤の変形係数は、掘削に伴う地盤中のひずみレベルに対応して評価を行う必要があると考えられる。

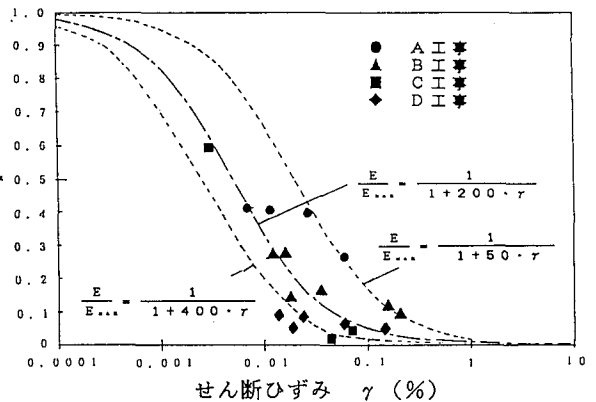


図-2 変形係数の低下率とせん断ひずみの関係

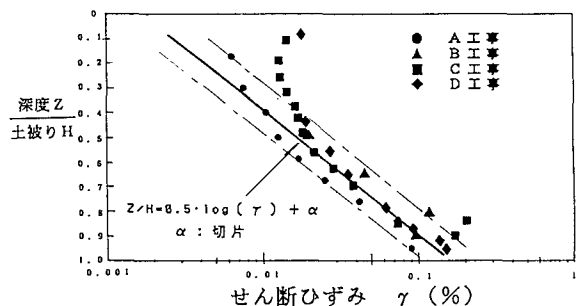


図-3 せん断ひずみの深度分布