

Ⅲ－B173

上界値計算によるシールドトンネル掘削に伴う影響範囲の推定について
－（その1）粘性土地盤－

東京電力㈱ 正会員 川村祥二 東京電力㈱ 正会員 岡留孝一
東電設計㈱ 正会員 富所達哉 東電設計㈱ 正会員 金子俊輔

1. はじめに

都市部で既設構造物に近接してシールド施工をする際に、設計・施工計画を効率的に検討するためには、予め、掘削による地盤変位の影響範囲を知っておくことが重要である。従来、シールドトンネル掘削の影響範囲は水平から $45^\circ + \phi/2$ の角度をもつすべり線の内側とする考え方が慣用的に用いられてきた。しかし、近年のシールド工事では、施工深度が深くなったり、既設構造物との離隔が小さくなる傾向にあり、従来の影響範囲の考え方では、

- ・大深度トンネルでは地表付近の影響範囲が著しく広がる
- ・トンネル近傍の側部、下部の影響範囲が不明確

という不具合が生じつつある。

このため、著者らは、シールド掘削影響範囲をより現実的に推定する必要があるとの観点から、既設構造物に有害な影響を及ぼす範囲、すなわち大変形領域を、上界値計算により推定する手法を検討した。

本報告では、粘性土地盤におけるシールドトンネル掘削工事を対象として、上界値計算による大変形領域（破壊領域）の推定方法を述べるとともに、遠心模型実験結果との整合性を示し、実務への適用性を論ずる。

2. 上界値計算で得られる破壊領域

粘性土地盤のトンネル掘削問題においては、過去に Davis ら¹⁾ が（1）式に示す安定数 N を定義し、同値を最小にする上界値計算を実施している。Davis らは、トンネルの安定性に着目して結果の整理を行っているが、著者らは破壊領域に着目して結果の整理を行った。

$$N = \frac{\sigma_s + \gamma \left(C + \frac{D}{2} \right) - \sigma_t}{c_u} \quad (1)$$

ここで、 σ_s ：地表面上載圧、 σ_t ：トンネル内圧、 γ ：土の単位体積重量、 c_u ：土の粘着力、 C ：土被り、 D ：トンネル直径、である。計算に適用した破壊メカニズムを図－1に示す。安定数 N は、外力仕事と内部消散エネルギーを等値することで誘導できる。その際、図－1の破壊領域を表わす角度 α 、 β 、 θ を最小化パラメータとして導入すれば、安定数 N の最小値を与える領域が容易に求められる。地盤は、 $\phi=0$ （ ϕ ：内部摩擦角）とし、破壊条件は、Mohr-Coulomb 則に従うこととした。

計算結果を図－2に示す。同図は、地盤条件 $\gamma D/c_u=3$ の場合における、破壊領域 (W_1/D , W_2/D) ～土被り比 (C/D) 関係と変位速度比 (V_1/V_2 , V_0/V_2) ～土被り比 (C/D) 関係を整理したものである。地盤条件 $\gamma D/c_u$ は、値が大きいほど軟らかい地盤であることを示すパラメータであり、 $\gamma D/c_u=3$ は有楽町層で、トンネル径 5m のトンネル掘削に相当する。図－2によると、地表面の破壊領域 (W_1/D)、トンネル側方の破壊領域 (W_2/D) とも、土被り比 (C/D) が大きくなるにしたがって広がるが、逆に、地表面沈下量 (V_0/V_2)、側方変位量 (V_1/V_2) は、土被り比 (C/D) が大きくなるにしたがって小さくなる。地表面沈下に関する現場計測結果を整理すると、一般に、深いトンネルほど最大沈下量は小さくなり、その沈下範囲は広くなることから、計算結果はその現象を表現しているといえる。

3. 遠心模型実験との比較

Kuwahara²⁾ らは、テールボイドによる地盤変状に着目した遠心模型実験を実施している。同実験結果との比較により、上界値計算結果の妥当性を検討した。実験は、セグメントに相当する円柱部材をあらかじめ円筒カバーで覆い、そのカバーを 87g の遠心加速度場で引き抜き抜くことでテールボイドの発生を模擬したものである。実験に使用した地盤は、塑性指数=30%、単位体積重量 $\gamma=16.7\text{kN/m}^3$ (1.7tf/m³)、粘着力 $C_u=68.6\text{kN/m}^2$ (7tf/m²) のカオリン粘土で、トンネル径 D は、0.046m、土被り C は、0.18m である ($C/D=4$)。

上界値計算で得られた破壊領域と実験における変位ベクトルとの比較図を図－3に示す。また、上界値計算で

シールドトンネル、上界値計算、近接施工、遠心模型実験

〒100-0011 東京都千代田区内幸町 1-1-3 TEL03-3501-8111(代表) FAX03-3596-8546

得られた破壊領域と実験における鉛直変位コンターとの比較図を図-4に、水平変位コンターとの比較図を図-5に示す。それぞれ、太線が上界値計算で得られた領域である。図-3より、上界値計算で想定した破壊メカニズムの剛体ブロックの変位方向と実験結果の地盤変位方向がほぼ一致していることがわかる。

また、図-4、図-5により、上界値計算で得られる破壊領域は、実験の大変形領域をほぼ包絡していることがわかる。

4. おわりに

上界値計算は、主に、破壊時における境界外力（または境界応力）を求めることに利用されてきた計算手法であるが、同時に得られる破壊領域は既設構造物に影響を及ぼす大変形領域の包絡範囲に相当し、トンネル掘削の影響範囲予測手法として有効であることを示した。

（参考文献）

- 1) Davis, E.H., M.J. Gunn, R.J. Mair and H.N. Seneviratne: The stability of shallow tunnels and underground openings in cohesive materials, Geotechnique, Vol.30, No.4, pp.397 ~ 416, 1980.
- 2) Hiroshi, Kuwahara, Takeshi, Yamazaki, and Osamu, Kusakabe: Ground deformation mechanism of shield tunneling due to tailvoid formation in soft clay, ISSMGE, 1997.9.

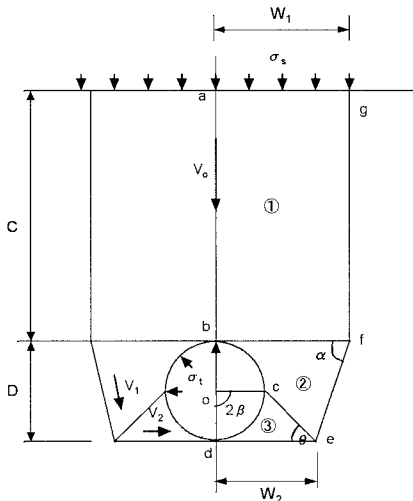


図-1 計算に適用した破壊メカニズム

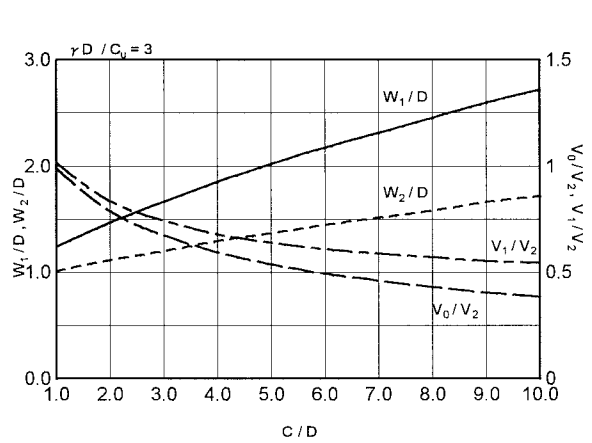


図-2 破壊領域～土被り比関係

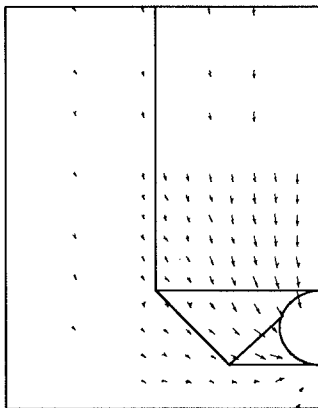


図-3 変位ベクトルとの比較

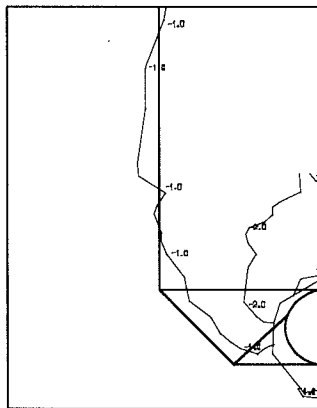


図-4 鉛直変位コンターとの比較

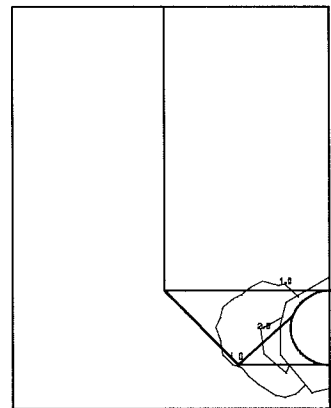


図-5 水平変位コンターとの比較