

ECLシールド覆工体の断面力算定のための有限要素法解析

清水建設	技術研究所	正会員	荻迫栄治
清水建設	技術研究所	正会員	後藤 茂
清水建設	技術研究所	正会員	杉山博一

1. はじめに

シールド機テール部分から内型枠と地山の間流動性の高いコンクリートを圧入する形式のECL工法では、シールド全周にわたってまだ固まっていないコンクリートに妻型枠を介して圧力を作用させながらシールドが進行するため、覆工に作用する土圧やその結果生じる覆工断面力は、セグメントを用いた通常のシールドトンネルに比べ相違が生じると考えられる。本研究では、ECLシールド覆工体に生じる断面力を算定するために有限要素法解析を実施し、実測結果との比較を行い、解析手法の妥当性について検討を行った。

2. ECLシールドの解析手法

ECL工法では掘進に伴って内型枠と地盤との間に高流動コンクリートを圧入しており、圧入したコンクリートには妻型枠を介して所定の圧力が作用している。ECLで使用する高流動コンクリートは打設直後では硬化していないことから、掘進直後のシールド周辺地盤はまだ固まっていないコンクリートの圧力によって支持される状態になる。従って、覆工体は、このコンクリート圧の反力としての地盤からの応力(土圧)を受けることになり、その分布は図-1に示すようになる。これは、覆工体に直交方向に作用し、深度方向にコンクリートの密度に応じたヘッド差を持つ圧力分布である。従って、ECL覆工に生じる断面力を算定するためには、この圧力を考慮する必要がある。そこで、有限要素法解析によって覆工断面力を評価するために次のような解析手順に従って解析を行った。

(1) 初期応力解析

シールド掘削前の自然地盤に対して自重解析を行い、地盤の初期応力を算定する。

(2) 高流動コンクリート圧の反力としての地盤応力を生じさせるための外力の算定

覆工位置の土の初期応力の法線方向成分 r_0 、接線方向成分 r_θ ならびにコンクリート圧の反力としての図-1に示す地盤応力 p_r を生じさせるために覆工位置の地盤に作用させる外力の法線方向成分 p 、接線方向成分 q を次式により算定する。

$$r_0 = x_0 \cos^2 \theta + y_0 \sin^2 \theta + 2 x_{y0} \sin \theta \cos \theta \quad (1)$$

$$r_\theta = (y_0 - x_0) \sin \theta \cos \theta + x_{y0} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \quad (2)$$

$$p = r_0 - p_r \quad (3)$$

$$q = r_\theta \quad (4)$$

(3) 高流動コンクリート圧の反力としての地盤応力を生じさせるための外力の掘削面への載荷

シールド部掘削地盤に上記外力 p 、 q を載荷する。地盤が弾性挙動すると仮定すれば、外力 p 、 q を載荷した後の覆工位置の土の応力は法線方向成分 $r_r = r_0 - p = p_r$ 、接線方向成分 $r_\theta = r_\theta - q = 0$ となる。すなわち、法線方向が主応力方向となり、その応力値は図-1に示す地盤応力に等しくなる。

(4) 覆工体の付加および地盤反力の載荷

硬化後の覆工体剛性を考慮するために、硬化後の剛性を有する覆工体要素を付加し、手順(3)で載荷したコンクリート圧の反力としての地盤反力(図-1に示す応力)を覆工体に載荷する。

キーワード：シールドトンネル，ECL，有限要素法，断面力

連絡先：〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 Tel：03-3820-5533 Fax：03-3820-5959

3. 解析条件

上記解析手順の通りに、ECL工法で施工された岡南シールドを対象に有限要素法解析を実施した。シールド諸元は表-1に示す通りである。地盤の物性値は土質試験結果等に基づき、表-2のように設定した。なお、上記解析手順(1)および(3)の解析については地盤を弾性体と仮定し、手順(4)の解析については降伏条件としてMohr-Coulombの破壊基準に従う非線形弾性体と仮定した。

4. 解析結果

解析手順(3)の後に得られた、すなわち高流動コンクリート圧入直後のシールド覆工位置の地盤応力の解析値とシールド諸元より計算される図-1の地盤応力を比較したものを図-2に示す。両者はほとんど一致しており、解析手法の妥当性を示唆している。

図-3は、解析手順(4)の後に得られた覆工体の断面力から計算した覆工応力を実測値と比較したものである。実測データに若干のばらつきが見られるが、解析値と実測値は概ね良い対応を示している。

5. おわりに

有限要素法解析によってECL覆工体に生じる断面力を算定するための解析手順を提示し、実際にECL工法で施工された岡南シールドを対象に数値解析を実施した。その結果、覆工体応力の解析値と実測値は良い一致を見せ、解析手法の妥当性が検証された。

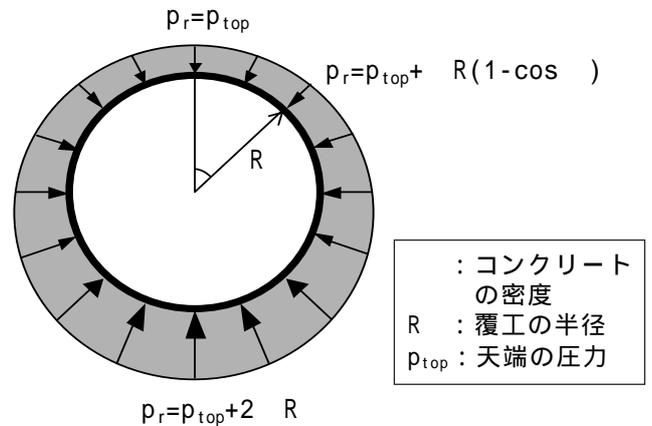


図-1 高流動コンクリート圧の反力としての地盤応力の概念図

表-1 シールド諸元

外径 (m)	6.6
内径 (m)	5.9
天端コンクリート圧 (kPa)	229
コンクリートの密度 (t/m ³)	2.3
コンクリートの弾性係数 (MPa)	2.45 × 10 ⁴

表-2 地盤物性値

弾性係数 E (kPa)	ポアソン比	粘着力 c (kPa)	内部摩擦角 (°)	降伏後の弾性係数 E _r (kPa)	降伏後のポアソン比 _r
29420	0.333	0	41	333	0.49

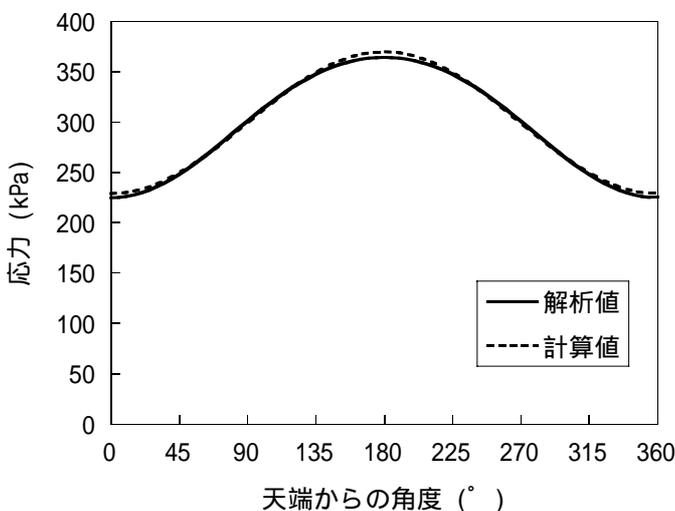


図-2 高流動コンクリート圧入直後のシールド覆工位置の地盤応力の解析値と計算値の比較

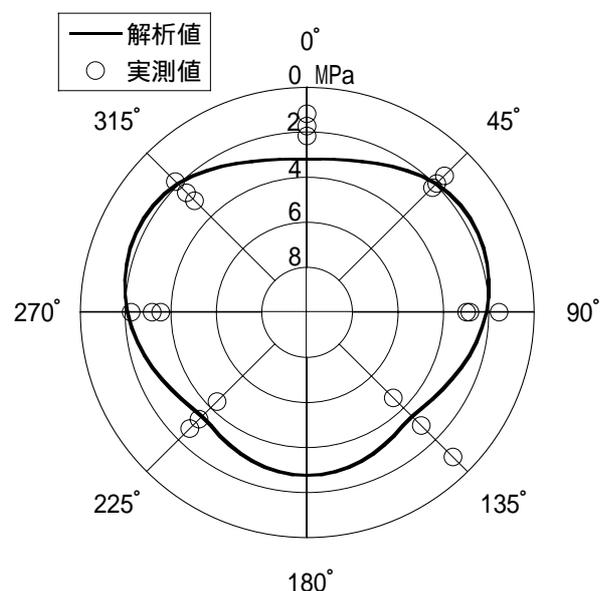


図-3 覆工体応力の解析値と実測値の比較