

## 既設の深部都市トンネルに及ぼす 除荷・載荷の影響

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 垂水尚志  
同上 同上 灌内義男

### 1.はじめに

都市部の大深度地下を利用する場合を想定し、ここでは比較的硬質な砂質地盤中の深部にシールド工法によりトンネルを構築し、その後の除荷・載荷により既設トンネルが受ける影響の概略を知るために2次元有限要素解析を行った。すなわち、既設トンネルの存在する地表面に建物荷重が作用する場合、上方地盤の開削とその後建物荷重が作用する場合、併設トンネルの存在する地盤の表面に建物荷重が作用する場合等について2次元の瞬時変形問題として解析を行った。現実とは乖離した仮定に基づいた部分もあるが、今後の解析、実験の予備的検討段階としての検討結果の一部を報告するものである。

### 2. 解析方法

前述の趣旨を踏まえ、表1に示す解析モデルについて、地盤を完全弾塑性体とし降伏条件としてDrucker-Pragerの条件を採用し、塑性領域においては応力とひずみの増分に関する構成式を適用した。

#### ・トンネル掘削時の作用荷重：トンネルの覆工に作用する荷重の大きさ

については、泥水加圧式、土圧バランス式、オープンタイプ等の工法の影響を受けるものと考えられる。硬質地盤における泥水加圧式シールド工事における応力解放の考え方方が提案されているが、ここでは密閉シールドで、切羽の拘束効果が十分であり、さらに同時注入が実施されることを前提に、覆工の設置前に応力解放がほとんど無い状況を想定し、トンネル掘削と同時に覆工を設置することとした。

・解析に用いた諸定数：表1に示すとおりである。砂質土については、N値を50とし、 $E_0 = 25 \times N$ を基本として、これを2~5倍して変形係数の影響を検討した。地表付近の粘性土については $200 \times c$ とした。なお、砂地盤では有効応力解析としている。トンネル外径は10mとし、覆工厚さを50cmとしてEIを決定した。また、覆工の曲げ剛性の影響をみると

表1 解析モデルの概要

グループ	概略図	土質定数等
① 单一 トンネル + 載荷		粘性土 $r = 1.6 \text{tf/m}^3$ , $c = 5 \text{tf/m}^2$ , $\phi = 0$ , $\nu = 0.45$ , $E = 1000 \text{tf/m}^2$ 砂質土 $r = 1.8 \text{tf/m}^3$ , $c = 0$ , $\phi = 35^\circ$ , $\nu = 0.35$ , $E_0 = 12500 \text{tf/m}^2$ , (2-5) $\times E_0$ 硬質層 砂質土に同じ (E0 = 5 $\times E_0$ ) トンネルEI = $2.61 \times 10^4 \text{tf·m}^2$ (1/8EI) 荷重 30.60tf/m², 水位 -5.25m
② 单一 トンネル + 開削 + 載荷		粘性土 $r = 1.6 \text{tf/m}^3$ , $c = 5 \text{tf/m}^2$ , $\phi = 0$ , $\nu = 0.45$ , $E = 1000 \text{tf/m}^2$ 砂質土 $r = 1.8 \text{tf/m}^3$ , $c = 0$ , $\phi = 35^\circ$ , $\nu = 0.35$ , $E_0 = 12500 \text{tf/m}^2$ , (2-5) $\times E_0$ 硬質層 砂質土に同じ (E0 = 5 $\times E_0$ ) トンネルEI = $2.61 \times 10^4 \text{tf·m}^2$ 荷重 10, 30, 50tf/m²
③ 水平併設 トンネル + 載荷		粘性土 $r = 1.6 \text{tf/m}^3$ , $c = 5 \text{tf/m}^2$ , $\phi = 0$ , $\nu = 0.45$ , $E = 1000 \text{tf/m}^2$ 砂質土 $r = 1.8 \text{tf/m}^3$ , $c = 0$ , $\phi = 35^\circ$ , $\nu = 0.35$ , $E_0 = 12500 \text{tf/m}^2$ , (2-5) $\times E_0$ トンネルEI = $2.61 \times 10^4 \text{tf·m}^2$ 荷重 30.60tf/m²
④ 鉛直併設 トンネル + 載荷		粘性土 $r = 1.6 \text{tf/m}^3$ , $c = 5 \text{tf/m}^2$ , $\phi = 0$ , $\nu = 0.45$ , $E = 1000 \text{tf/m}^2$ 砂質土 $r = 1.8 \text{tf/m}^3$ , $c = 0$ , $\phi = 35^\circ$ , $\nu = 0.35$ , $E_0 = 12500 \text{tf/m}^2$ , (2-5) $\times E_0$ トンネルEI = $2.61 \times 10^4 \text{tf·m}^2$ 荷重 30.60tf/m²

ために、基本のEIを1/8～8倍して検討した。建物荷重としては、50階程度の高層建物を想定し、最大荷重を $60\text{tf}/\text{m}^2$ とした。開削による除荷の影響をみるために、単一トンネルがある場合のケースについて、上方地盤を30m開削した。トンネル併設については、水平および鉛直方向に併設間隔を0.5、1.0、1.5mとした。

### 3. 解析結果

表1の各グループの解析結果の一部を図1～3に示す。図1は、グループ②の場合の曲げモーメントM、軸力Nの変化状況を示している。図2、3はトンネル構築時の覆工のM、Nのそれぞれ絶対値を原点とし、その後のM、Nの絶対値の増減 $\Delta M$ 、 $\Delta N$ を示したものであり、 $E_0$ 、 $5 \times E_0$ とあるのは、砂質地盤の変形係数を示している。

#### (1) 地盤の開削による除荷が既設トンネルのM、Nに及ぼす影響

開削に伴い覆工のMは減少し、30mの開削によりクラウン部のMはトンネル構築時のMと大きさはほぼ等しく、符号が反対となっている。側壁部においても符号が逆転している。30mの開削による $\Delta M$ の最大変化分は、 $E_0$ で $-18\text{tf}\cdot\text{m}$ であり $5 \times E_0$ で $-3\text{tf}\cdot\text{m}$ である。また、 $\Delta N$ のそれは、変形係数の影響は小さく、 $-140\text{tf}$ 程度である。

#### (2) 併設トンネル施工による除荷が既設トンネルのM、Nに及ぼす影響

水平にトンネルを併設する場合の影響は、今回の解析モデルでは比較的小さく、鉛直に併設する場合では間隔1mで、先行トンネルのクラウン部で、 $\Delta M = -9\text{tf}\cdot\text{m}$ 、 $\Delta N = 1\text{tf}$ 、側壁部ではそれぞれ $-5.5\text{tf}\cdot\text{m}$ 、 $-18\text{tf}$ となった。

#### (3) 建物荷重が既設トンネルのM、Nに及ぼす影響

$60\text{tf}/\text{m}^2$ 載荷時の $\Delta M$ は、 $E_0$ の時 $40\sim50\text{tf}\cdot\text{m}$ 、 $5 \times E_0$ の時 $10\sim15\text{tf}\cdot\text{m}$ 、 $\Delta N$ は、 $E_0$ の時 $180\sim200\text{tf}$ 、 $5 \times E_0$ の時 $60\sim90\text{tf}$ であり、建物荷重の影響はかなり大きく、トンネル構築後の荷重増加の程度によりトンネル覆工の諸元が支配されることになる。下方境界を30m延伸した場合では、トンネル全体の変位は増加するものの、M、Nは解析断面深さが70mの場合とほぼ等しい。

#### (4) トンネル曲げ剛性EIが変形に及ぼす影響

$EI \times 1/2$ では、EIに比して10～30%の増加であり、 $EI \times 2$ では10～20%の減少となっている。

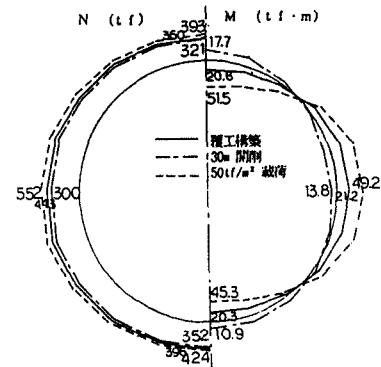


図1 M、N分布(グループ②、 $E_0$ )

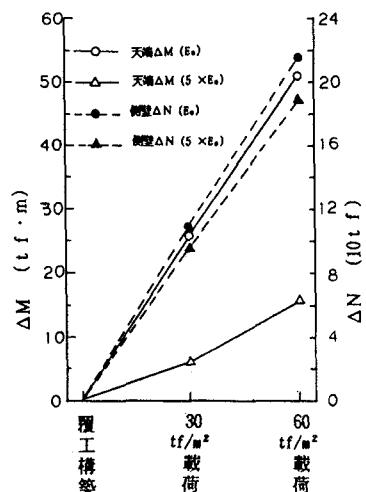


図2  $\Delta M$ 、 $\Delta N$ (グループ①)

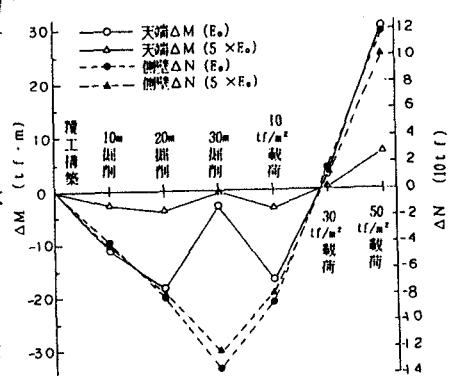


図3  $\Delta M$ 、 $\Delta N$ (グループ②)

### 4. おわりに

今後は、より現実的な諸数値の採用とシミュレーション等により解析結果の信頼性を向上させることに留意したいと考えている。