

硬質地山におけるシールド工法と都市NATMの設計土圧

首都高速道路公団 正会員 山本 泰幹

1.はじめに

シールドトンネルや都市部山岳トンネルの覆工設計では、覆工にかかる作用荷重を設定し、骨組構造解析により断面力を算定する。一般的に、地山条件や土被りとトンネル径との相対的な関係により、全土被り荷重または緩み荷重を適用している。しかし、自立性が高い地山のトンネル設計にあたっては、Terzaghiの緩み土圧では粘着力が大きいので、緩み土圧は生じないという問題がある。このときの土圧の設定方法については、これまで確立された方法がなく、様々な方法が適用されているのが現状である。そこで、本検討では、特性曲線概念を用いて、シールド工法や山岳工法の覆工や支保工に作用する土圧のケーススタディを行い、第三紀の硬質地盤における両工法の設計土圧の設定方法について検討する。

2. 地山の緩み領域の解析的検討

はじめに、施工ステップを考慮した非線形弾性 FEM 解析を行い、解析で得られる最大せん断ひずみと地山の限界せん断ひずみとの比較により、完成時の緩み高さを推定する。解析方法は、FEM 解析結果から得られるモールの応力円と地山の破壊崩落線の近接度により、変形係数とポアソン比を変化させる方法である。泥岩層の限界せん断ひずみは、一軸圧縮試験の結果から0.4%とする。シールドトンネルは、外径12m程度の併設トンネル(離隔0.5D, D:シールドトンネルの外径)、山岳トンネルは、図-1に示すように、ランプ分合流拡幅部の大きさを想定した断面(片側およそ270m²程度)である。

山岳トンネルの解析結果を図-2に示す。着色した緩み領域は、おおむね0.15B(B:両トンネルの全幅)相当の範囲となるが、トンネル上部にある砂層の直下の泥岩が緩み領域となるため、砂層についても緩み領域として扱えば、完成形の構造検討に用いる設計土圧としては、0.3B相当の緩み領域と考えることができる。

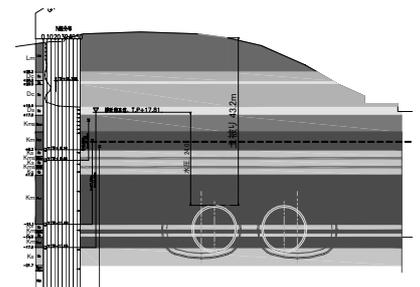


図-1 検討断面図

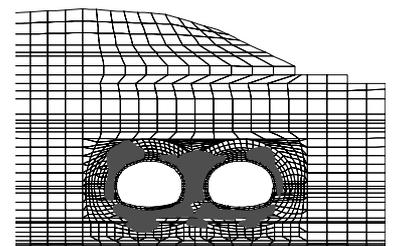


図-2 ゆるみ領域の解析結果

3. 特性曲線概念を用いた設計土圧の考え方

つぎに、両施工法の設計土圧について、特性曲線概念を用いて考察する。本検討の対象地盤は、第三紀の硬質地盤であり、シールド工法および長尺鋼管先受け工を用いた山岳工法が対象である。NATMにおける地山特性曲線(Fenner-Pacher Curve)の概念を図-3に示す。この図は、素掘りのトンネルを掘削したときの半径方向土圧とトンネル壁面変位の関係を示したものである。内空変位が生じると、地山変形によりトンネル周辺地山で応力再分配が生じるため、覆工(支保工)の反力は小さくなる。

シールド工法においても、図-4に示すように、切羽が接近する過程から掘削に伴う応力解放が発生するため、覆工が建込み可能な状態になる以前に、掘削応力の一部が解放されて地山が負担している。このときのトンネル地盤の力学挙動は、NATMの特性曲線概念と同様と考えられる²⁾。なお、本検討では、図-3の左端の領域を扱うことになる。

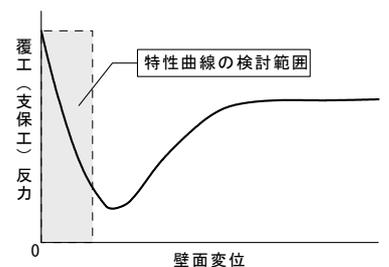


図-3 トンネル壁面の変形と覆工(支保工)に作用する土圧の概念

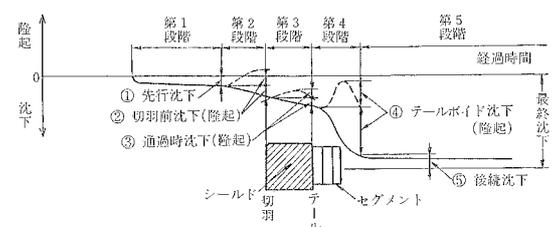


図-4 シールド掘進に伴う応力解放過程のイメージ¹⁾

4. 掘削過程と覆工(支保工)剛性を考慮した特性曲線

トンネルの覆工と地山の連成解析をFEMで行う場合、一般的に、図-5

キーワード 土圧、硬質地山、特性曲線、シールドトンネル、山岳トンネル

連絡先 〒221-0013 横浜市神奈川区新子安 1-2-4 首都高速道路公団神奈川建設局 TEL.045-439-0735

に示すように、覆工（支保工）を設置する前に、STEP1で初期地山応力の一部（初期地山分担率： α_0 ）を解放して先行変位を求め、STEP2は、この状態に覆工（支保工）を設置し、残りの地山応力（ $1 - \alpha_0$ ）を解放する。掘削過程と覆工（支保工）の剛性を考慮した特性曲線は、各ステップのFEM解析から求まるトンネル頂部の地山応力度（覆工および支保工反力）と掘削面の変位の関係をプロットして求めることができる。覆工（支保工）に作用する土圧は、STEP2における覆工の反力と地山応力度が釣合った平衡点から求めることができる。同一地盤であっても、トンネル施工法、形状、覆工および支保工の剛性によって作用土圧は変化する³⁾。

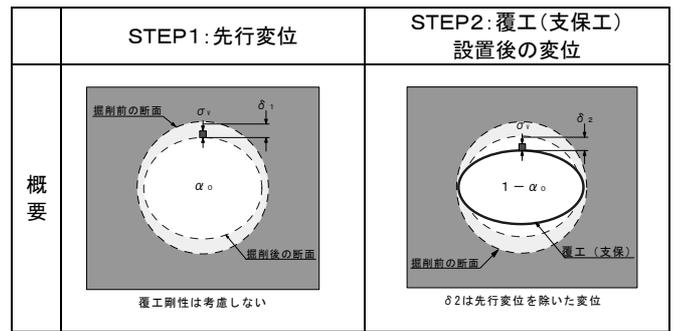


図-5 掘削過程と覆工（支保工）剛性を考慮した特性曲線を求める解析方法の概念

5.初期地山分担率

初期地山分担率 α_0 は、覆工が载荷可能となる状態までに解放される地山応力度（ $\sigma_0 - \sigma_1$ ）の初期地山応力度 σ_0 （全土被り土圧相当）に対する割合として、次式によって定義される³⁾。

$$\alpha_0 = (\sigma_0 - \sigma_1) / \sigma_0 \quad (1)$$

ここに、 α_0 : 初期地山分担率、 σ_0 : 初期地山応力度

σ_1 : 覆工または支保工が载荷可能となる状態の作用土圧

計測結果から求められたシールド工法と山岳工法の初期地山分担率の例を図-6 にそれぞれ示す。本検討では、シールドトンネルは 25% (N 値=50 に相当)、山岳トンネルは 40% (地山の変形係数 E はおよそ 180,000 kN/m² に相当) である。

6.シールド工法と山岳工法の作用土圧

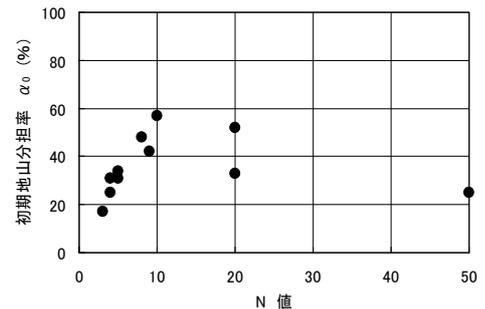
掘削過程と覆工（支保工）剛性を考慮した特性曲線の概念を用いて、各施工法のトンネル掘削面の変位と作用土圧との関係を求めた結果を図-7 に示す。この地山に対して、シールド工法および山岳工法の各種施工法の覆工（支保工）に作用する土圧を算出した結果、シールド工法では 264 kN/m² (< 348 kN/m²)、山岳工法では 174 kN/m² (< 375 kN/m²) である。これは、おおむね、シールド工法では 1D、山岳工法は、前述の非線形弾性解析のゆるみ高さから求めたゆるみ土圧相当である。

7.結語

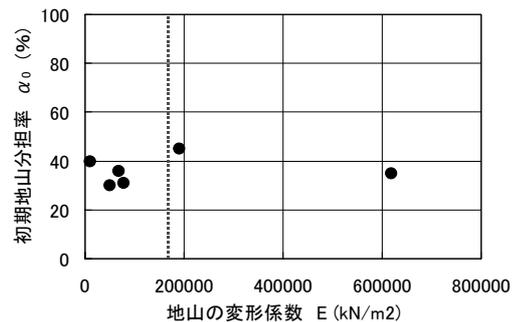
梁ばねモデルの解析における設計荷重について、その概念は異なるが、掘削過程と覆工（支保）剛性を考慮した特性曲線の概念を用い、同一の硬質地山におけるシールド工法と山岳工法の作用土圧を、統一的な解釈により求めることができることを明らかにした。

<参考文献>

- 1) 地盤工学会：シールド工法の調査・設計から施工まで、1997。
- 2) 中村, 山崎, 中廣, 杉嶋, 大西：応力解放率の概念を導入したシールドトンネルの一設計法, 土木学会論文集, No638/Ⅲ-49, pp.241-250, 1999。
- 3) 杉嶋, 足立：地山支保力と施工過程を考慮したシールドトンネルの一設計法, トンネル工学研究論文・報告集, Vol11, 2001。



(1) シールドトンネル



(2) 山岳トンネル

図-6 初期地山分担率の例

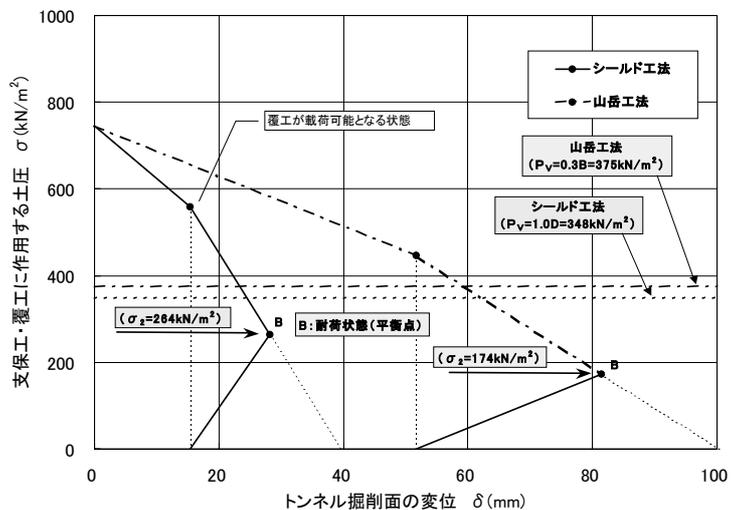


図-7 シールド工法と山岳工法の作用土圧の算出結果