

VI-22

特性曲線法による NATM の施工管理について

佐藤工業㈱ 正会員 ○西野 治彦
佐藤工業㈱ 正会員 矢田 敏

1. はじめに

NATMにおける合理的かつ簡便な支保選定法の1つに地山と支保の特性曲線（ u - σ 曲線）を用いた概略設計法があり、これまで多くの報告がなされてきた^{1) 2)}。著者らはこの概略設計法に施工段階を追って支保の建て込みができる機能を持たせ、より実用的なものとし、さらに本設計法が現場の施工管理において容易に用いられるようパソコンに組み込んだ。本報告は、上記設計法を簡単に説明するとともに、実際のトンネルにおける地山物性と施工手順を踏まえて、トンネルの最終安定状態での壁面変位と支保の内圧を予測したものである。

2. 概要

本手法は、地山と支保のそれぞれの特性曲線を求め、その交点からトンネルの施工段階および最終安定状態での変位と内圧を把握し、最適な支保の選定および地山物性の予測を行なう手法である。（図-1参照）

2.1 地山の特性曲線³⁾

地山の特性曲線は、周辺等圧下での円形空洞壁面における応力と変位をP. Egger の展開した弾塑性計算式を用いて求め、プロットしたものである。P. Egger の式は、塑性領域での応力-ひずみ関係を図-2に示すように仮定しており、少ない地山パラメータで弾塑性計算を行なうことができるため現場での概略計算に適している。切羽の進行過程を考慮するため、着目点における外圧は応力解放率を乗じた値であると仮定した。

2.2 支保の特性曲線

支保の特性曲線は、吹付コンクリートおよび鋼製支保工については薄肉円管理論を適用して求め、ロックボルトについては引抜耐力が全て内圧になるものと仮定して求める。以下に各支保メンバーについて特性曲線の傾き（ $\tan \beta$ ）と支保耐力の算定式を示す。

- | | |
|---|--|
| I) 吹付コンクリート | II) 鋼製支保工 |
| 傾き = $Esh \cdot t / R^2$ | 傾き = $Est \cdot Ast / (R^2 \cdot Lst)$ |
| 耐力 = $\sigma sh \cdot t / R$ | 耐力 = $\sigma st \cdot Ast / (R \cdot Lst)$ |
| III) ロックボルト | |
| 耐力 = $Prb \cdot n / (2 \pi R \cdot Lrb)$ | |
| IV) 吹付コンクリート+鋼製支保工 | |
| 傾き = $(Esh \cdot t + Est \cdot Ast / Lst) / R^2$ | |
| 耐力 = $(Psh, Pst) \min$ | |
| $Psh = \sigma sh (Esh \cdot Ash + Est \cdot Ast / Lst) / (R \cdot Esh)$ | |
| $Pst = \sigma st (Esh \cdot Ash + Est \cdot Ast / Lst) / (R \cdot Est)$ | |

添字 sh= 吹付コンクリート
st= 鋼製支保工
rb= ロックボルト

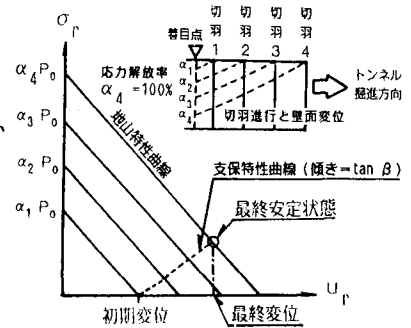


図-1 地山と支保の特性曲線

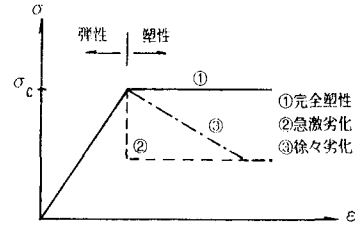


図-2 地山の応力-ひずみ関係

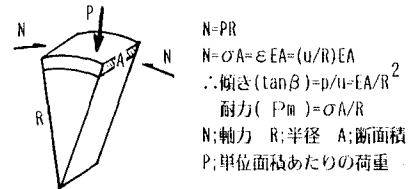


図-3 薄肉円管理論

E: 弾性係数 A: 断面積 R: 掘削半径
σ: 圧縮強度 t: 吹付厚さ
L: 縦断方向ピッチ
Prb: ロックボルトの引抜耐力
n: ロックボルトの本数（1断面）

3. 実施工への適用例

3.1 計算条件

表-1はトンネルの施工手順を示したものである。この表の応力解放率⁴⁾、吹付コンクリートの圧縮強度および弾性係数の経時特性は図-4、図-5により求めたものである。計算条件は以下に示すとおりである。なお、ここでは弾性計算の結果を示す。

表-1 施工手順

計 画 ス テ ッ プ	0	1	2	3	4
計 算 概 略 図					
切りからの距離 (m)		0.75 (0.11D)	2.25 (0.32D)	5.25 (0.75D)	11.25 (1.61D)
経過時間 (day)		—	0.5	1.5	3.5
吹付コンクリートの 14日 圧 縮 強 度 (kg/cm ²)		—	4.6	125	178
吹付コンクリートの弾性係数 ($\times 10^4$ kg/cm ²)		—	0.34	0.48	0.62
ロックボルトの施工時期		—	全断面施工	→	→
解 放 率 (%)		5.6	8.3	9.5	100
備 考	ピッチ=1.5m サイクル=2回/4日 掘削径=7.8m	全断面掘削	吹付コンクリート ロックボルト施工	時間経過	時間経過

外 圧 $P_0 = 215.0$ (t/㎡)
 地山弾性係数 $E = 2000$ (kg/cm²)
 粘 着 力 $C = 20$ (kg/cm²)
 内部摩擦角 $\phi = 30$ (DEG.)
 ポアソン比 $\nu = 0.4$
 吹 付 厚 さ $t = 14$ (cm)
 ロックボルトのピッチ $= 1 \times 1$ (m)
 ロックボルトの引抜耐力 $= 10$ (t)

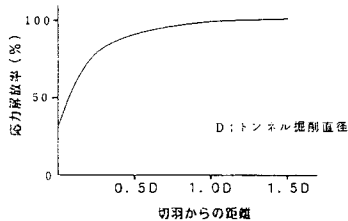


図-4 応力解放率

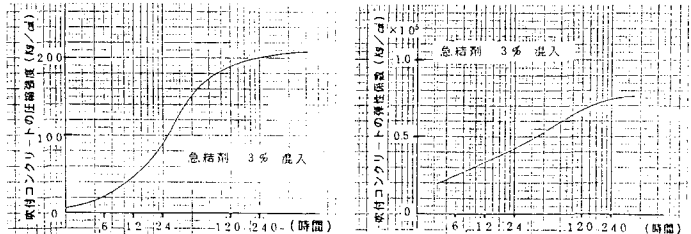


図-5 吹付コンクリートの経時特性

3.2 計算結果

地山と支保の変位と応力についての計算結果を図-6に示す。図中A～Eの各点はそれぞれ(UA, PA)～(UE, PE)の座標値をもち、A点は掘削直後の初期変位状態、E点は最終安定状態を表わす。AB間がロックボルト、BC間が吹付コンクリート、CD間が吹付コンクリートのクリープを表わす特性曲線である。この図より最終安定状態では掘削直後に比べ壁面が11.5mm変位することがわかる。また支保の負担する内圧の合計値は47.7t/㎡であり、これは全外圧の約22%に相当する。

4. まとめ

本手法は、施工手順や支保パターンを仮定すればパソコンを用いて容易かつ迅速に最終変位、支保の内圧、地山物性値が予測できるため、現場における支保パターンの設計、選定などに有用であると考えられる。

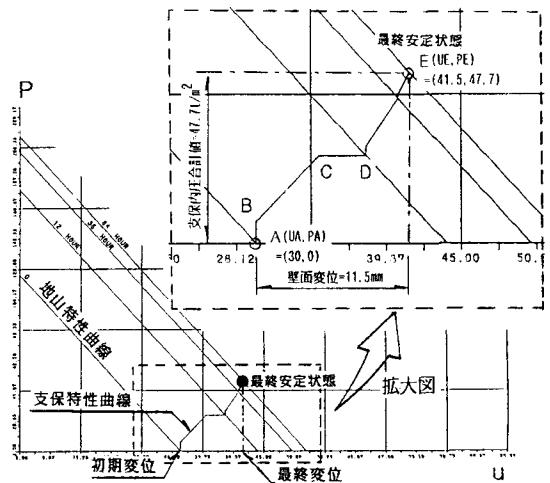


図-6 壁面変位と支保内圧

参考文献 1) 稲田、金子、福島「NATMの概略設計法の一試案」第36回土木年講、pp.418～pp.419

2) 岡行俊「NATMの作用効果に関する新しい機構説明と設計法」S.52.7.28 NATM施工技術講習会

3) P. Egger「CAVAN&FRONTマニュアル」 4) M. Baudendistel「Zum Entwurf von Tunneln mit großem Ausbruchquerschnitt」