

神戸大学大学院 学生会員 ○阿部泰典
 神戸大学工学部 正会員 芥川真一
 神戸大学工学部 正会員 桜井春輔

1. はじめに

トンネルの設計によく用いられているTerzaghiのゆるみ土圧理論¹⁾について、アルミ棒積層体を用いたモデル実験と弾塑性有限要素解析によって検討し、トンネルの作用土圧と周辺の地山の变形挙動との相互作用について考察した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 実験装置 実験装置と地山材料については、木谷²⁾と同様のものを使用し、地表面沈下と天端沈下をレーザー変位計により測定する。その実験装置を図.1に示す。なお、土被りは $H=1D$ のケースについて行う。

2.2 実験結果 レーザー変位計を用いて測定したエアバックの圧力と天端沈下の関係、つまり地山特性曲線を図.2に示す。なお、図.2の矢印はTerzaghiのゆるみ土圧を指している。また本実験では、エアバックの圧力がレギュレーターで制御できなくなった地山崩壊時の圧力を最小支保圧力と呼ぶ。Terzaghiのゆるみ土圧と最小支保圧力との比較を表.1に示す。Terzaghiのゆるみ土圧は、最小支保圧力に比べ約2倍となっている。つまり、極限状態を仮定して導かれたTerzaghiのゆるみ土圧は、本実験においては、崩壊を示す圧力とは異なり、別の状態の土圧を示していると推測できる。

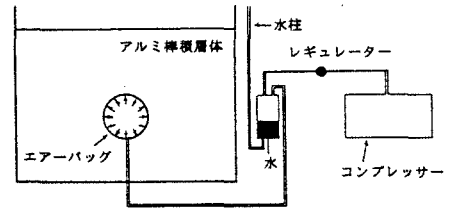


図.1 実験装置

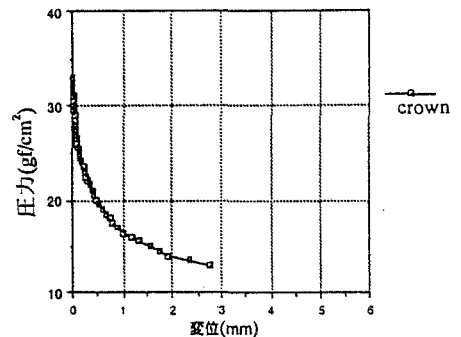


図.2 地山特性曲線

3. 解析方法

3.1 解析概要 本解析は完全弾塑性型³⁾であり、本解析で用いたアルミ棒積層体の物性値を表.2に示す。また、掘削のシミュレートは、初期地圧を50のステップに分割し順次解放する方法をとった。なお、土被りは実験と同様に $H=1D$ のケースについて行った。

3.2 解析結果 本解析では、力のつり合いがとれない、すなわち、解が収束しない時点で地山が崩壊したと判断する。本解析は、非線形部分を除いては実験の結果とよく一致しており、また、崩壊圧も実験の結果とほぼ等しい値をとった。

3.3 Terzaghiのゆるみ土圧理論に関する考察 Terzaghiのゆるみ土圧理論では、図.3のような領域 Ω_1 を考え、A線における垂直応力（一定であると仮定）とB線におけるせん断応力の和で W_1 を支えているとしている。また、Terzaghiの土圧と同じ土圧に換算できる解析ステップ17の時と、本解析での極限状態と考えることができる変形が収束しなくなる解析ステップ38の時の力の釣り合いについても同様に考え、表.3にそれらを示す。ここで、本解析においては、図.3のB線に沿って塑性化しているとは言えず、図.4に示すようなすべり線 B' に沿って塑性化しているため、そのすべり線 B' に囲まれた領域 Ω_2 を仮定する。領域 Ω_2 の自重 W_2 は W_1 の71%にあたり、

表.1 最小支保圧力の比較

Terzaghiの土圧(gf/cm ²)	最小支保圧力(gf/cm ²)
22.1	11.5

表.2 解析に用いた物性値

ヤング率 E	7857.5gf/cm ²
ポアソン比 ν	0.333
内部摩擦角 ϕ	28.8°
粘着力 c	2.6gf/cm ²
単位体積重量 γ	2.18gf/cm ³

その力の釣り合いについては表.4に示す。以上のことからTerzaghiのゆるみ土圧はどのような値かを図.5に示すような地山特性曲線により考える。Terzaghiのゆるみ土圧 p_T は線形限界における土圧に近い値であり、トンネルが崩壊する時の土圧 p_f より過大である。つまり、地表面沈下を極力抑える必要があるトンネルではTerzaghiのゆるみ土圧を設計に使い、変位を図.5の u_T （非線形挙動が現われ始める時点での変位）に抑えることには意味があると考えられる。しかし、ある程度地表面沈下が許される場合には、設定する土圧を p_T から p_f に減らすことも可能であり、この p_f に安全率をかけた土圧を設計土圧にすれば、自然で極めて合理的な設計ができると考えられる。

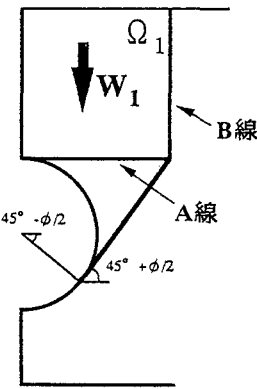


図.3 Ω_1 の力のつり合い概念図

表.3 力のつり合いの整理

考える領域と自重	計算方法とトンネル作用土圧	A線での抵抗力	B線での抵抗力
$\Omega_1, 100$	Terzaghiの理論	71	29
	弾塑性解析 解析ステップ17	95	5
	弾塑性解析 解析ステップ38	79	21

表.4 力のつり合いの整理

考える領域と自重	計算方法とトンネル作用土圧	トンネル支保圧分での抵抗力	地山での抵抗力分
Ω_2 71	弾塑性解析 解析ステップ38	17	54

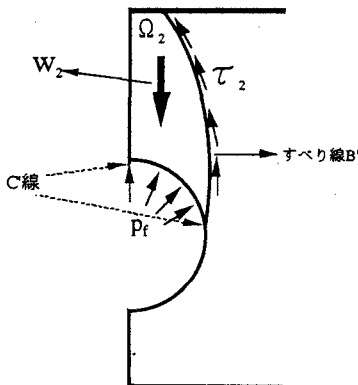


図.4 Ω_2 の力のつり合い概念図

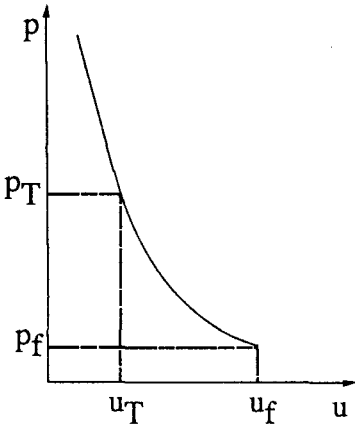


図.5 土圧概念図

4.まとめ

以上の議論から、地山の変形を線形挙動内にとどめたい場合には、Terzaghiのゆるみ土圧理論を用いて設計すると、内容的には矛盾を含んでいるが結果的には妥当な設計土圧が算出されることになる。一方、ある程度変形を許してもよい場合には、高い精度で推定したトンネル崩壊圧に基づいた合理的な設計土圧を採用することによって、現在よりも支保構造物の軽減が可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会トンネル工学委員会都市トンネル設計法検討部会：都市NATMとシールド工法との境界領域—設計法の現状と課題—,土木学会,1996.
- 2) 木谷努：トンネルに作用する土圧と変形挙動に関する研究,神戸大学自然科学研究科修士論文,1997
- 3) 桜井春輔,足立紀尚：都市トンネルにおけるNATM,鹿島出版会,1988.