

九州大学 正会員 榎木 武
 〃 学生員 〇田中 孝二
 新日鉄 等 俊一

1. まえがき

近年、都市化が進むにつれてシールドトンネルが数多く施工されるようになり、てきたが、これに伴ってトンネル掘削による周囲地盤、及び既設構造物への影響を知ることは重要な問題である。本研究は地盤内に単一トンネルが掘削される場合の地表面、地山内の变形、地山内応力状態を有限要素法を用いて計算し種々の検討を加えたものである。なお、地山は完全弾塑性挙動をするものとし、解析は平面歪問題として二次元的に行ない、その際に用うべき破壊規準としてはモール・クーロンのそれを用いた。

2. 諸物性値のトンネル地山に及ぼす影響

トンネル掘削に伴う地山の挙動は、地山を構成する土の物性値によつて非常に異なる。そこで各物性値(弾性係数 E 、単位体積重量 γ 、ポアソン比 μ 、粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ)を以下に示すように個々に変化させて弾塑性解析を行ない、その特性をみた。なおトンネル土被り $H=10\text{ m}$ 、径 $D=5\text{ m}$ である。

- ①弾性係数を変化させた場合($E: 250, 500, 1000(\text{kg/cm}^2)$, $\gamma: 1700(\text{kg/m}^3)$, $\mu: 0.3$, $c: 5100(\text{kg/m}^2)$, $\phi: 30^\circ$)
- ②地山の単位体積重量を変化させた場合($E: 500(\text{kg/cm}^2)$, $\gamma: 1700, 2000, 2500(\text{kg/m}^3)$, $\mu: 0.3$, $c: 5100(\text{kg/m}^2)$, $\phi: 30^\circ$)
- ③ポアソン比を変化させた場合($E: 500(\text{kg/cm}^2)$, $\gamma: 1700(\text{kg/m}^3)$, $\mu: 0.2, 0.3, 0.4$, $c: 5100(\text{kg/m}^2)$, $\phi: 30^\circ$)
- ④内部摩擦角を変化させた場合($E: 500(\text{kg/cm}^2)$, $\gamma: 1700(\text{kg/m}^3)$, $\mu: 0.3$, $c: 5100(\text{kg/m}^2)$, $\phi: 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$)
- ⑤粘着力を変化させた場合($E: 500(\text{kg/cm}^2)$, $\gamma: 1700(\text{kg/m}^3)$, $\mu: 0.3$, $c: 2000, 3400, 5100, 6800(\text{kg/m}^2)$, $\phi: 30^\circ$)

ここで個々のケースについて、物性値変化による地表面最大沈下量をそれぞれ図1～図5に示す。

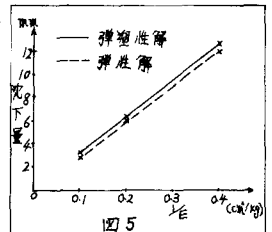
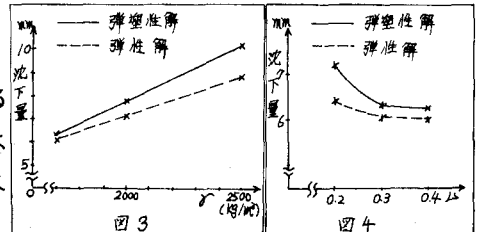
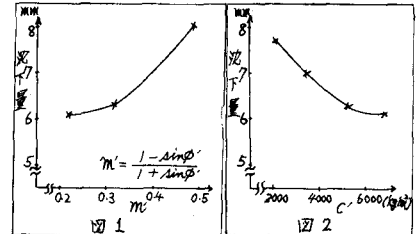
3. 土被り高さ、トンネル径、トンネル形状の地山に及ぼす影響

ここでは土被り高さ、トンネル径、トンネル形状というトンネル構造物自体の諸要素が、地山に及ぼす影響を与えるかを弾塑性解析によつて検討した。地山は均一な砂質地盤であると仮定し、その物性値は $E=500(\text{kg/cm}^2)$, $\gamma=1700(\text{kg/m}^3)$, $\mu=0.3$, $c=3400(\text{kg/m}^2)$, $\phi=30^\circ$ である。計算は

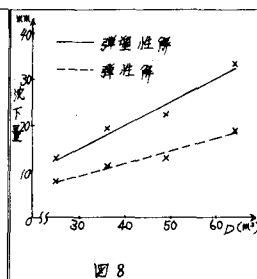
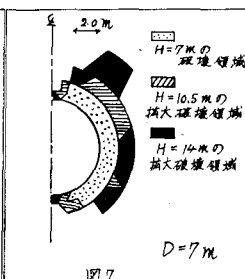
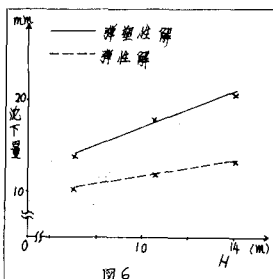
- ①土被り高さ H を変化させた場合($H: 7, 10.5, 14(\text{m})$, $D: 7(\text{m})$)
- ②トンネル径 D を変化させた場合($D: 5, 6, 7, 8(\text{m})$, $H: 14(\text{m})$)
- ③トンネル形状を変化させた場合(円形、く形)

の各ケースについて行なつた。①に関して土被り高さ変化による地表面最大沈下量、破壊領域の変化を図6、図7に示す。図6より土被り高さの変比と地表面最大沈下量がほぼ比例関係にあることが弾性解だけでなく弾塑性解についてもいえることがわかる。

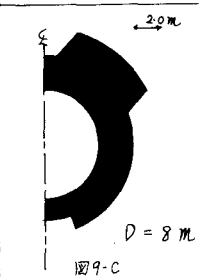
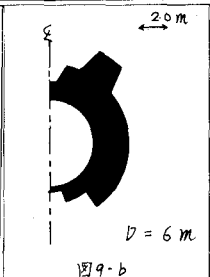
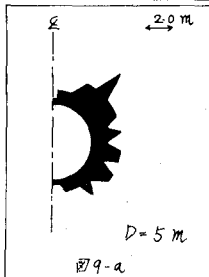
ただし、その関係式の傾きは弾塑性解の方が弾性解より大きい。破壊領域についてみれば土被り高さの増加に伴い、その領域が斜め上方向へ広がっていくのがわかる。トンネル径 D の変化に対する地表面最大沈下量、破壊領域の変化を図8、図9に示す。図8に示すがごとく地表面最大沈下量はほぼトンネル径 D の二乗に比例しており、弾性解に比して径変化に対する地表面沈下量が弾塑性解で大きいことがわかる。この結果をふまえて、断面形状の相違による検討としてトンネル面積を等しくして考察する



ことも一法と考えた。すなわち本研究では円形断面とく形断面の2ケースについて検討を加えたが、両者の断面積を等しくして諸寸法を決定した。図10は円形断面の直径 $D=5.7\text{m}$ に対してこれと同じ面積を有するく形断面との場合を対比して破壊領域を描いたものである。まず図10-aと円形トンネル $D=5\text{m}$ とを比べると、天端付近ではく形トンネルの方が破壊領域が広いが底盤では円形トンネルの方が広い。又円形トンネルにみられるような斜め上方向への広がりはいく形トンネルではみられない。次に図10-bと円形トンネル $D=7\text{m}$ とを比べると、

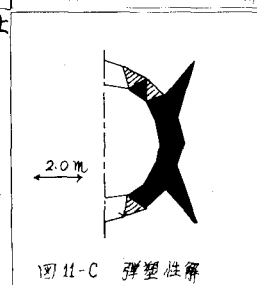
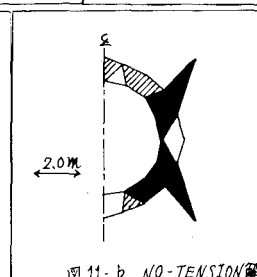
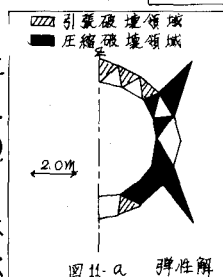
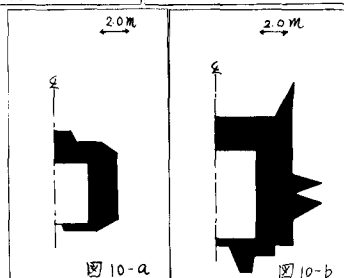


天端、底盤、土手すべての場所でく形トンネルの方が破壊領域が広い。しかし斜め上方向における領域は円形の方が大きい。特に注目すべきことは、く形トンネルでは10-aに比して土手部、上部の隅角部で急激な破壊領域の拡大がみられるが、下部の隅角部ではその傾向がみられないということである。



4. 弾塑性解とNO-TENSION解の比較

トンネル地山の破壊領域を検討する厳密な方法は上述のような弾塑性解析によるねばならないが、これまで弾性解析による検討、NO-TENSION解析による検討などの近似的な方法による検討もよく行なわれてきた。そこで、ここではこれら三者の解析法による結果の相違を比較検討するものである。トンネル形状は円形で(径 $D=5\text{m}$)、土被り $H=10\text{m}$ とした。又 $\mu=0.2$ 、 $E=500(\text{kg/cm}^2)$ 、 $\gamma=1700(\text{kg/m}^3)$ 、 $C=5/100(\text{kg/m}^2)$ 、 $\phi=30^\circ$ である。弾性解、NO-TENSION解、弾塑性解による破壊領域を図11の(a)、(b)、(c)に示す。(b)では(a)に比べて引張破壊領域が拡大している。(c)では(a)、(b)に比べて土手部の圧縮破壊領域が拡大しているが、天端の引張破壊領域は消滅している。以上それらの点で異なることがあかる。



5. あとがき

トンネル地山の挙動は、その地山の性状やトンネル構造の諸因子に大きな影響を受ける。特に弾塑性解においてはその影響が大きいということがいえるであろう。なお本研究にあたっては九州大学大型電算センターFACOM 230-60を利用した。

6. 参考文献

- 1) 地下構築物の設計規格論 (I) K. Konari トンネルと地下 第5巻 3号
- 2) Elastic-Plastic Solutions of Engineering Problems "Initial Stress", Finite Element Approach, Int. J. for Numerical Method in Eng. 1 75~100 (1969) Zienkiewicz, O.C., S. Valliappan, and I. P. King
- 3) Stress Analysis of Rock as a "No Tension" Material, Zienkiewicz, O.C., S. Valliappan and I. P. King, Geotechnique, 18, 56~66 (1968)
- 4) 土と岩の問題における有限要素法の適用 川本隆万 材料 20巻 209号