

大阪大学大学院 学生員 ○椿野武彦
 大阪大学大学院 正会員 谷本親伯
 大阪大学大学院 正会員 川崎 了
 ハイテック (株) 舩屋 直
 大阪大学大学院 学生員 阪本良夫

1. はじめに 山岳トンネルの代表的工法である NATM においては、トンネル内空変位が急激に増大する場合にトンネルの崩壊が発生している例がみとめられ、地山とトンネル内空変位との相互関係の究明が望まれている。そこで本研究では、個別要素法 (DEM) 二次元円形要素を用いて、解析モデルの初期状態とトンネル内空変位との関係を、地山の特性曲線と応力分布図を用いて考察する。

2. 解析手順 図 1 に解析モデルの一例を示す。同図のように岩塊を模した直径の等しい円形要素 (以下、地盤要素と呼ぶ) を $60\text{cm} \times 60\text{cm}$ の領域内に積み上げ、中央に円形のトンネルを模した要素 (以下、トンネル要素と呼ぶ) を配置した。図 1

は地盤要素径 $d=2\text{ cm}$ 、トンネル要素径 $D=6\text{ cm}$ の例であり、側壁 AB, CD, 底壁 BD は剛である。

表 1 に本解析で用いた各要素定数を示す。これらの値は要素同士の接触の場合の定数であり、剛な壁との接触時にはバネ定数、粘性定数はこれらの 2 倍の値とする。

トンネル掘削過程の再現としては、トンネル要素の剛性と質量を段階的に減少させていく方法をとった。

3. 要素接触角とトンネル内空変位の関係

i) 解析の概要 図 2 の一番右側の図は、図 1 の解析モデルの一部を取り出したものであり、ここでは、図中の角度 α を要素接触角と呼ぶことにする。図 2 の左側に、要素接触角 30° と 60° の例を示す。

要素接触角は地盤モデル全体としての挙動を決定するパラメータであると考え、ここでは、要素接触角とトンネル内空変位の関係を考察する。解析ケースを表 2 に示す。

ii) 解析結果 得られた結果のうち、特徴的な 2 ケース (接触角 31° , 44°) を図 3 に示す。横軸に内空変位、縦軸に支保荷重をとっている。2 ケースとも、内空変位の増加にしたがって、支保荷重は単調に減少している。しかし、接触角 44° のケースについては、点線の円で囲った部分において、急な変位の増加がみられた。接触角 44° のケースの応力分布図 (図 4 参照) によってこの過程を観察すると、図 4 の左側の図より、右側の図のほうが、トンネル

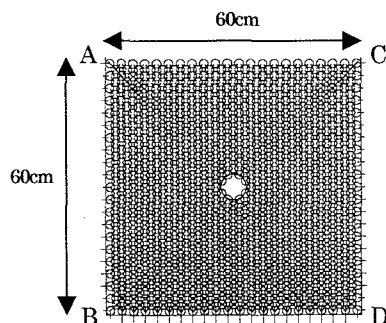


図 1 解析モデル例
($d=2\text{ cm}$, $D=6\text{ cm}$)

表 1 要素定数一覧

密度	ρ	$2.65\text{ (g/cm}^3\text{)}$
ヤング率	E	$9.8 \times 10^9\text{ (N/cm}^2\text{)}$
ポアソン比	ν	0.3
バネ定数 (法線方向)	$K_n / \rho g$	$3.55 \times 10^5\text{ (cm}^2\text{)}$
減衰定数 (法線方向)	$\eta_n / \rho g$	$2.13 \times 10^2\text{ (cm}^2 \cdot \text{sec)}$
バネ定数 (接線方向)	$K_s / \rho g$	$8.88 \times 10^4\text{ (cm}^2\text{)}$
減衰定数 (接線方向)	$\eta_s / \rho g$	$1.07 \times 10^2\text{ (cm}^2 \cdot \text{sec)}$
摩擦係数	μ	0.577
時間増分	Δt	10^{-5} (sec)

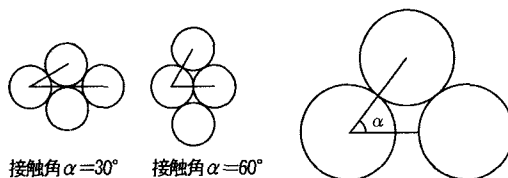


図 2 要素接触角

上部のアーチ形成を示すベクトルが弱くなっていることが分かる。左側の図はアーチが崩れる前、右側の図はアーチが崩れた後である。これによって、グラントアーチが形成されるにつれて順調に支保荷重が減少していたが、V字形に網をかけた部分の要素が滑ることによってグラントアーチの支点となる部分が滑ってしまい、アーチが崩れて変位を許してしまっていることがわかる。

4. トンネル内空変位の寸法効果

i) 解析の概要 地盤要素径とトンネル要素径の比（ここではこれを寸法比と呼び、1/6 のように表すことにする）を変化させて、その挙動の変化を考察する。ここでは、寸法比 1/3, 1/6, 1/7 の3ケースで解析を行った。

ii) 解析結果 寸法比 1/3, 1/6 のケースについては、図3の接触角 31° のケースと同様に、内

空変位の増加とともに順調に支保荷重は減少した。しかし、寸法比 1/7 のケースにおいて、内空変位量の急激な増加がみられた(図5)。

この結果の応力分布図は、図6のようになる。図6の左の図は掘削前で、右の図は掘削後を示している。右の図ではグラントアーチが形成されている。左の図に示すような掘削前の初期状態から掘削進行にともなってグラントアーチが形成され、右の図の網をかけた部分

には要素同士の崩落を防ぐ程度の弱いソレフアーチが形成されるが、形成が不十分で変形を許している。

5. まとめ 本研究によって得られた結果は次のようである。

- 1) 要素接触角 45 度付近で、グラントアーチの崩れによる急な変位がみられた。
- 2) 寸法比を大きくするとトンネルの内空は不安定になった。

表2 接触角解析ケース

接触角 (度)	側圧係数 (S)
31	1.50
36	1.14
40	0.92
44	0.66
46	0.60

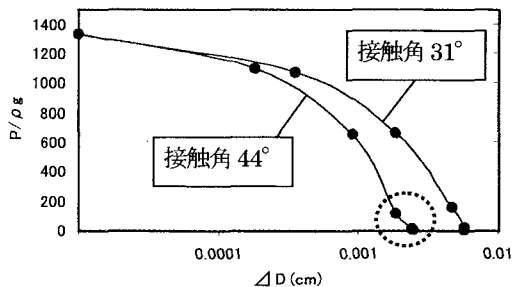


図3 地山の特性曲線 (31°, 44°)

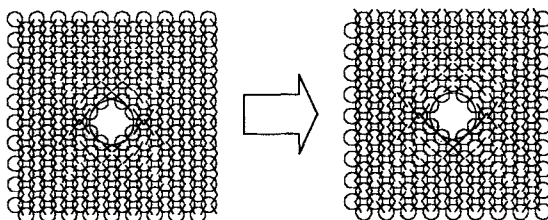


図4 応力分布図 (要素接触角 44°)

表3 寸法効果解析ケース

要素, トンネル径(cm)	寸法比	接触角(度)
2, 6	1/3	58
1, 6	1/6	58
1, 7	1/7	58

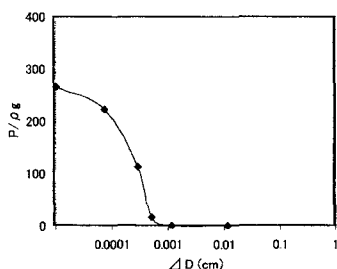


図5 地山の特性曲線 (寸法比 1/7)

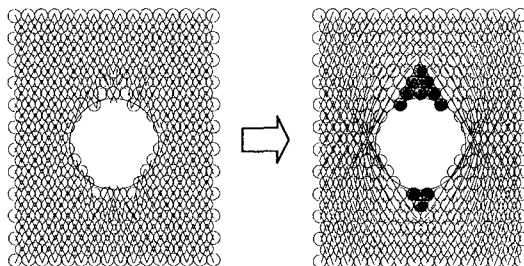


図6 応力分布図 (寸法比 1/7)