

地山の強度特性がグラウンドアーチ形成に与える影響に関する基礎的研究

松江工業高等専門学校 生産・建設システム工学専攻 学生会員 ○藤田 佳希
松江工業高等専門学校 環境建設工学科 助教 正会員 岡崎 泰幸

1. はじめに

山岳トンネル設計では、トンネル掘削時に伴って発生する緩み領域の外側に発生する強い応力を受け持つ領域であるグラウンドアーチを有効に活用することを前提としている。グラウンドアーチは地山の強度特性が低く、土被りが2D以下の場合、形成されにくいと考えられており、その形成条件について明確に示されていないのが現状である。

そこで、本研究では、まず強度特性が極端に低い(粘着力 ≈ 0)のアルミ棒積層体を用いたトンネル掘削を模擬した実験を行った。それにより、強度特性の低い地山においてグラウンドアーチが形成されるかを確認する。また、その結果の状況を数値解析で再現し、その再現した解析モデルの強度特性(本研究では、特に粘着力)を変更させることで、地山の強度特性がグラウンドアーチに与える影響について検討する。

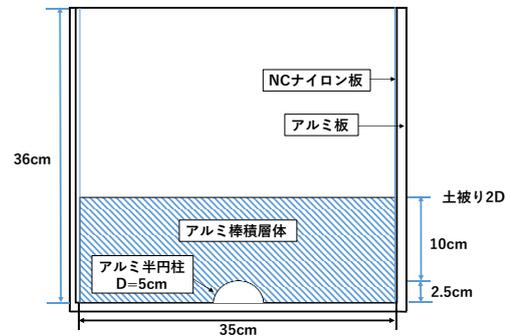


図1 実験結果および寸法

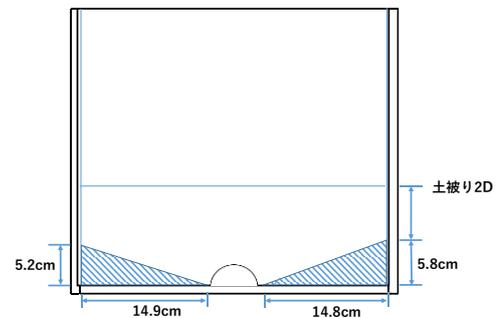


図2 実験結果(土被り2D時)

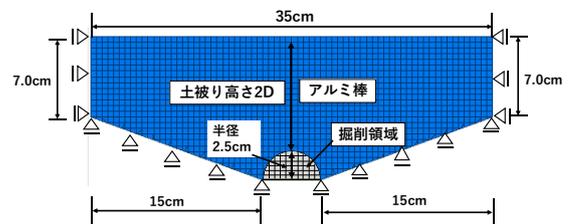


図3 解析モデルの寸法と境界条件

2. 模型実験と実験結果

本研究で用いる実験模型とその寸法を図1に示す。実験では地盤材料として長さ5cm、直径3.0mmまたは1.6mmのアルミ棒積層体(粘着力 ≈ 0)を用いる。その2種類のアルミ棒を1:5の比で混合し、粒度配合を粒径のそろった砂質地山に近い状態を再現した²⁾。本実験では、図1の模型にアルミ棒を積層し(図1斜線部参照)、アルミ半円柱を自由落下させることでトンネル掘削を表現した。ここで、土被り高さは2D、4Dの2ケース(D:アルミ半円柱直径)とした。

トンネル掘削を模擬した実験結果を図2に示す。図2からグラウンドアーチは形成されないことがわかる。土被り4D時においても図2の土被り2D時とほぼ同様な結果が得られた。つまり、土被り2D以上でも、地山の強度特性が極端に低い(粘着力 ≈ 0)の場合、グラウンドアーチが形成されないことがわかった。

3. 解析条件

本章では、地山の強度特性がグラウンドアーチの形成に与える影響について検討するために、数値解析を実施する。本研究の解析では3次元有限差分法解析プログラムFLAC3Dを用い、材料構成則は弾完全塑性体(破壊基準:モールクーロンの破壊基準)とした。また、図2の実験状況を模擬するため、アルミ棒の密度を考慮して重力解析を行い、トンネル掘削領域をアルミ半円柱と同面積としたトンネル掘削解析を実施した。

キーワード グラウンドアーチ, 模型実験, 数値解析, 地山強度比

連絡先 〒690-8518 島根県松江市西生馬町14-4 松江工業高等専門学校 岡崎研究室

TEL 0852-36-5224

(1) 用いた解析モデルと境界条件

用いた解析モデルと境界条件を図3に示す。解析領域は、土被り2D時の図2の実験結果を参考に設定した。また、本解析ではモデルの奥行き方向をアルミ棒と同じ5cmとし、トンネル掘削方向の変位を固定することにより、平面ひずみ状態を仮定し、疑似二次元解析とした。また、他の境界条件に関しては図3に示す。

(2) 地山物性値の設定と強度特性の変更について

解析で用いた物性値を表1に示す。表1の解析物性値はアルミ棒を用いた実験およびその結果に基づく解析と文献2)3)より設定した。また、本研究では地山の強度特性がグラウンドアーチの形成に与える影響について検討するため、粘着力を変更することとした(表1参照)。粘着力の値は、トンネルの安定性評価に一般的に用いられる指標である地山強度比が0.1刻みで0から1の値となるように10ケース設定した。地山強度比は、無次元化されており、汎用性の高い指標である。

(3) 地山材料の破壊基準の設定と解析上での考慮

本検討の解析では、地山材料の破壊基準をどのように定めるか、また、地山材料の破壊を解析上でどのように表現するかが重要となる。そこで、本検討では地山材料の破壊基準として下限の限界せん断ひずみを用いることにした。限界せん断ひずみとは、桜井ら³⁾によって提案されたトンネル周辺地山の安定性を評価するための最大せん断ひずみの許容値である。本解析では、要素内の最大せん断ひずみが限界せん断ひずみに達した際にその要素(材料)が破壊したとみなすこととした。そして、その破壊したとみなされた要素(材料)に応力を一切受け持たせないことで地山材料の破壊を表現することとした。この解析では、地山材料の破壊基準として許容値である限界せん断ひずみを用いたため、実際の現象より早く破壊が起こることに注意が必要である。

4. 解析結果

(1) 実験結果と解析結果の比較

模型実験と同様に粘着力を0として解析を行った結果、解析モデルの各要素の最大せん断ひずみは限界せん断ひずみに至り、実験結果と同様な領域の地山の崩壊が確認できた。つまり、本解析では、地山の逐次的な崩壊挙動は再現できたとはいえないが、最終的な地山の崩壊状況に関しては十分表現できたと考えられる。

表1 解析物性値

弾性係数(kPa)	1355
ポアソン比	0.333
密度(kg/m ³)	2037.36
粘着力(kN/m ²)	随時変更(実験を対象とした解析は0)
内部摩擦角(°)	27.38

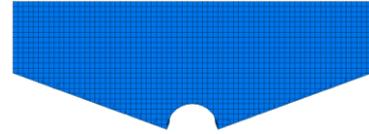


図4 解析結果(地山強度比0.7)

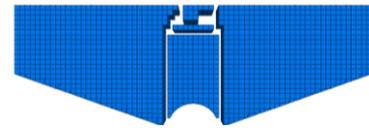


図5 解析結果(地山強度比0.6)

従って本解析モデルを用いて、以降検討を行うこととした。

(2) 強度特性の変更による結果

3.に示したような条件で粘着力(地山強度比)を変更した解析を実施した場合、地山強度比が0.7以上あれば、グラウンドアーチが形成されることがわかった(図4参照)。一方で、地山強度比が0.6以下である場合、図5に示すようにトンネル上方に要素の破壊が進行し、グラウンドアーチが形成されることがわかった。

5. まとめと今後の課題

模型実験と数値解析から、地山の強度が低い場合、グラウンドアーチが形成されることがわかった。また、本研究の解析結果から、グラウンドアーチが形成されるには地山強度比が0.7以上必要であると考えられた。しかしながら、実験結果と数値解析との整合性に関して課題が残るため、異なる材料を用いて模型実験を行う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会：2016年制定トンネル標準示方書[山岳工法]・同解説，p. 61，2016。
- 2) 小嶋啓介，足立紀尚，荒井克彦：地下水面下に掘削される土被りの浅い砂質地山トンネルのモデル実験と逆解析，土木学会論文集，III-19，No. 448，pp. 91-99，1992。
- 3) 櫻井春軸，川島幾夫，大谷達彦，松村真一郎：トンネルの安定性評価のための限界せん断ひずみ，土木学会論文集，III-27，No. 493，pp. 185-188，1994。