

巨礫混じり砂質地山にトンネル掘削解析した際の地山物性に関する基礎的研究

山口大学大学院理工学研究科 学生会員 ○酒井 大輔
山口大学大学院理工学研究科 学生会員 岡崎 泰幸
清水建設株式会社 正会員 熊坂 博夫
山口大学大学院理工学研究科 正会員 進士 正人

1. はじめに

巨礫の混在する軟弱な砂質地山に、トンネル掘削を行う場合、天端部や側壁部、切羽面に巨礫が出現し、天端の崩落や切羽の不安定化が懸念される¹⁾。このような極端な地山条件において、どちらの材料物性に強く依存するのかを事前に適切に評価することは極めて困難であると考えられる。

そこで、巨礫の存在する砂質地山を模擬した解析モデルを作成した。その解析モデルにトンネル掘削解析を行い、トンネル周辺の地中変位に相当する変位を求め、得られた変位を用いて、地山を均質と仮定した逆解析を行い、地山の平均的な弾性係数を算出した。巨礫と砂質地山を表現する要素の大きさや割合を変化させることにより、解析モデル内における2つの材料の配置状況や割合が、逆解析により得られる弾性係数に与える影響について、検証した。

2. 巨礫混じり砂質地山の順解析

2-1. トンネル掘削解析とその解析モデル

本研究のトンネル掘削解析では、有限差分法解析コードFLAC3Dを用いる。FLAC3Dで用いた解析モデルを図-1に示す。解析モデルの寸法は50m×50m×0.25m、トンネル直径9.34mとした。また、解析モデル内の要素の基本寸法は0.20×0.20×0.25mとした。

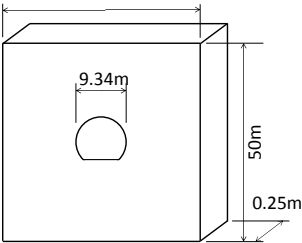


図-1 解析モデル

2-2. 物性値および不均質性の設定

地山物性は解析物性値の事例²⁾を参考に、それぞれの地質の弾性係数とポアソン比を表-1に示すような値に設定した。また、解析モデルの材料構成則は線形弾性体とした。

表-1 各地質の物性値

地質	弾性係数 (MPa)	ポアソン比
砂質土	10	0.35
中硬岩	1000	0.30

表-2に、両地質の体積率比のパターンとそのケース数を示す。解析モデル内の各地質に含まれる巨礫の体積率を0%から100%間で変更した。ここで、体積率比とは、前述の2種の各解析物性値の要素の体積が解析モデルの総体積に占める割合である。

表-2 解析モデル一覧とそのケース数

最小均質寸法 ℓ (m)	体積率比 (砂質土：中硬岩)	ケース数
1.0 または 2.0	0：100	1
	5：95	20
	10：90	20
	30：70	20
	50：50	20
	70：30	20
	100：0	1

本研究における不均質性は、同じ弾性係数をもつ要素の集合体で作る要素郡の大きさ（“最小均質寸法”と呼び、以下“ℓ”で表現する。）で表現している。そこで、ℓを1.0mと2.0mとし、それぞれのケースにおいて全て異なる物性分布の解析モデルを、乱数を用いて作成した。それらの解析モデルにトンネル掘削解析を行い、地中変位に相当する変位を求めた。図-2に、体積率比の異なるトンネル近傍の物性分布状態の一例を示す。ここで、図中のモデルの要素の色の違いが物性の違いを表している。

3. 巨礫混じり砂質地山の逆解析

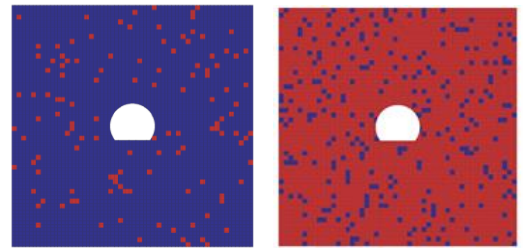
本研究では前述した解析の地中変位を用いて、地山を均質と仮定した逆解析を行った際の影響、特に弾性係数に与える影響に着目した。

キーワード トンネル、数値解析、弾性係数、逆解析、巨礫、砂質地山

連絡先 山口大学工学部 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1

3-1. 逆解析プログラム³⁾

逆解析プログラムは、著者の一人が開発した直接逆解析プログラム DBAP/M を用いた³⁾。このプログラムは、2次元の線形弾性体の地山において、計測変位(例えば、地中変位)、鉛直土被り圧(σ_y)、ポアソン比(ν)を入力データとして、掘削断面の初期水平応力(σ_x)、初期せん断応力(τ_{xy})、および弾性係数(E)を逆解析により算定する。



砂質土：礫岩= 5：95 砂質土：礫岩= 95：5
図-2 トンネル近傍の地山物性値の分布状態($\ell=1.0\text{m}$)

3-2. 逆解析条件

本研究の逆解析で用いる地中変位の入力位置を図-3に示す。図に示すように、逆解析時の地中変位の入力個数は1計測断面あたり35箇所となる。また、逆解析に用いる鉛直土被り圧(σ_y)はトンネル掘削解析時で用いた鉛直応力である5MPaを与え、ポアソン比は0.30を仮定した。本研究における逆解析は、表-2に示すように、 ℓ を変化させた204モデルに対して行った。

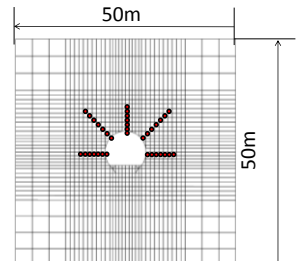


図-3 逆解析時の地中変位の入力位

4. 巨礫混じり砂質地山の逆解析結果

図-4, 5に、 $\ell=1.0\text{m}$, 2.0m の場合の、モデル内の砂質土の体積率と逆解析弾性係数の関係を示す。また、図中の近似曲線は、得られた逆解析弾性係数の平均を表す指数近似曲線である。両図を比較すると、均質寸法の大きいほうが逆解析弾性係数のばらつきは大きくなるということがわかる。また、両図ともに、砂質土の体積率が大きくなると得られる逆解析弾性係数は小さくなり、砂質土の体積率が5%と10%のとき、得られる逆解析弾性係数のばらつきは最も大きくなることがわかる。加えて、砂質土が地山に30%程度含まれると、得られる逆解析弾性係数の平均値は、約300MPaとなった。これは、中硬岩の弾性係数である1000MPaの30%程度の値である。

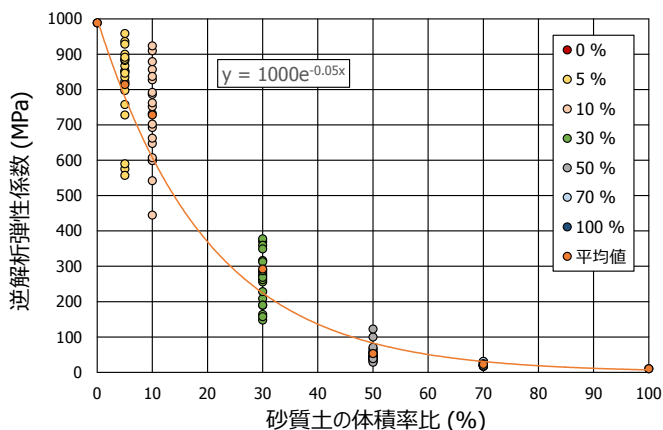


図-4 砂質土の体積率と逆解析弾性係数の関係($\ell=1.0\text{m}$)

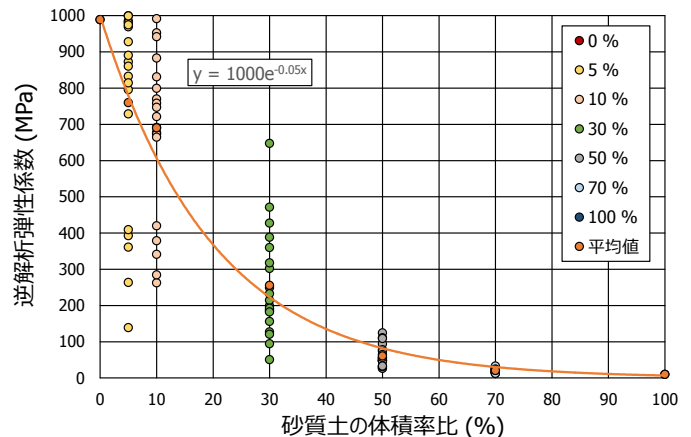


図-5 砂質土の体積率と逆解析弾性係数の関係($\ell=2.0\text{m}$)

5. 結論

砂質土の体積率が5, 10%のとき、得られる逆解析弾性係数のばらつきは大きく、砂質土が地山に30%程度含まれるだけで、逆解析弾性係数の平均値は、300MPa程度となり、砂質土の支配度が高くなることがわかる。

参考文献

- 1) 岩本義隆, 河南幸治, 木梨秀雄, 伊藤哲, 中島純也: 玉石混じり土石流堆積物でのトンネルの施工, 土木学会第68回年次学術講演会(平成25年9月)
- 2) 久武勝保: 山岳トンネルにおける模型実験と数値解析の実務, pp. 153, 2006
- 3) 櫻井春輔, 進士正人: マイクロコンピュータによる地下空洞掘削時の安定性の評価, 土木学会論文集, No.358/III-3, pp.37-46, 1985.
- 4) 岡崎泰幸, 熊坂博夫, 進士正人: 逆解析を用いた不均質岩盤の初期応力および物性に関する基礎的研究, 第42回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.22-27, 2014.