

神戸大学工学部 正会員 芥川 真一

神戸大学大学院 学生員 山下 涼

神戸大学工学部 学生員 ○石澤 剛士

1. はじめに

トンネルなどの地下構造物において、現場計測結果を評価する際に用いられる逆解析手法¹⁾の一つとして、著者の一人は非弾性ひずみを逆解析する手法を提案した。この手法は地盤の力学モデルについて最低限の情報しかなくても、実際のひずみ場を巧く再現できる手法として用いられてきた。しかし、適用にあたっては、変位計測時点までの現状評価は行えるものの、継続して行われる掘削工事の予測解析の精度を向上することについては貢献度が低いという難点があった。そこで、逆解析の成果を効率良く予測解析に結びつける事を目的として、計測変位から地山材料特性としての構成式に関わるパラメータを求める手法を提案する。この手法は、すでにモール・クーロンの破壊規準²⁾で試験的に動作性を確認したが、本例では岩盤の破壊規準として世界的な標準とされている Hoek&Brown の規準³⁾を用いて、数値実験によりその適用性を確認する。

2. Hoek&Brown の破壊規準

岩盤の挙動は、岩石から非常に亀裂の多い岩盤の挙動までと複雑に変化する。その岩盤に対する破壊規準は多く存在し、有効に利用できる破壊規準を求めることは困難なことである。さまざまな破壊理論の多くは、ある側面において優れた説明を与えても、他の条件において説明ができないという問題があった。その中で、種々の破壊理論について総括的な考察を加え、実験で観察される破壊現象の説明を試み、経験的破壊理論として考え出されたのが Hoek&Brown の破壊規準（図-1）である。

3. 解析方法

岩盤の初期応力、弾性定数などの初期パラメータは、一般的逆解析手法、あるいは、現場より得られた原位置試験などで求められていると仮定して解析を行う。それらの与えられたデータを用いて、弾性順解析を行い、仮に弾性体としての各ガウスポイントの応力を求める。次に Hoek&Brown 定数(m, s)を仮定して破壊規準を設定し、応力が破壊規準を超えていなければ、そこは弾性状態であることが解る。しかし、超過していた場合は、一時的に応力状態が破壊規準を超過した状態（即ち修正されるべき状態）であると考えられる。そこで、応力状態を修正し（図-2）、修正された超過応力分（図-3）を等価な節点力に変換して、弾性体と仮定した時の地山に作用させる。これを応力がすべての場所において破壊規準を超えなくなるまで繰り返し、最後に、求められた変位と計測で得られた変位との誤差を求める。この手順を Hoek&Brown 定数(m, s)の考えられる範囲における組み合わせで行い、最も小さい誤差を生んだ定数の組み合わせが、その岩盤の破壊規準を記述すると考える。

4. 解析モデルと結果

本解析の動作性確認のために、2次元平面問題としてトンネルの掘削問題を考える。ここでは動作性の確認のためだけに、標準的なモール・クーロンの破壊規準を用いた弾塑性解析を表-1 に示す諸定数で実施し、その結果を仮の計測変位とした。また、解析に用いた有限要素メッシュ、変位計測の位置を図-4 に示す。この逆解析により、ある Hoek&Brown 定数(m, s)の破壊規準線を超えなくなるまで応力修正を繰り返し、最後に収束するまでを図-5 に示す。また、各(m, s)のパターンにおける誤差の二乗和を図-6 に示す。本解析では、各 m の組み合わせにおいて、誤差の二乗和の最小値が非常に僅差であり、明瞭な唯一解は求められていないが、提案する手法の動作性については問題のないことが確認できた。

5. まとめ

本研究における、数値実験例では、提案する手法の動作性確認だけに留めたが、本手法はより少ない変位計測結果においても採用できることから、さらなる改善により解の精度を上げることが可能である。また、この手法では破壊規準を任意に設定が出来ることから、以前のモール・クーロンや、今回採用した Hoke&Brown などの破壊規準以外の規準が適当ならばその規準におけるパラメータを求める方法論にも同様に構築できる。これは、すなわち、どの破壊規準がその岩盤に適するかという問いに答える方法論の確立にもつながりさらなる開発が見込まれる解析と考えられる。

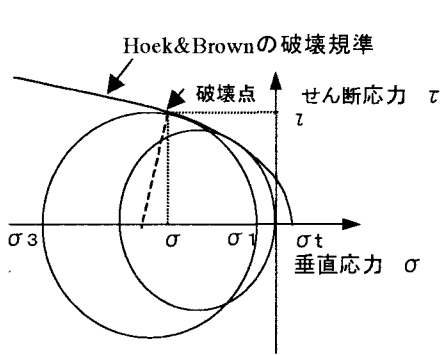


図-1 Hoek&Brown の破壊規準線

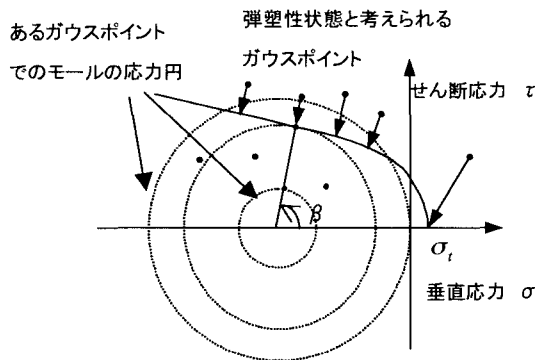


図-2 応力修正

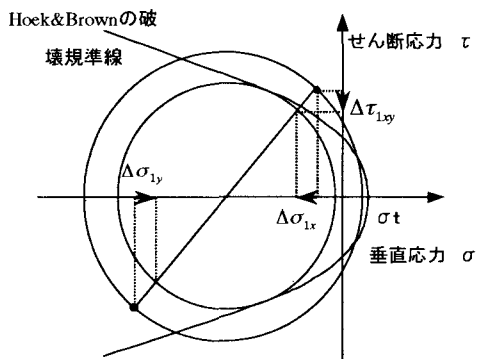


図-3 応力修正ベクトル

表-1 弾性順解析に用いた入力パラメーター

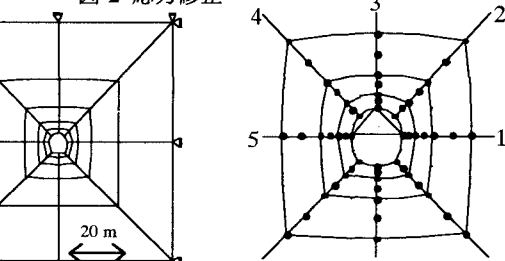


図-4 解析に用いたメッシュと変位計測点

パラメータ	値	初期応力	値
粘着力	1.0Mpa	σ_x	-3.0Mpa
内部摩擦角	30°	σ_y	-5.0Mpa
弾性係数	10000Mpa	τ_{xy}	2.0Mpa
ポアソン比	0.3		

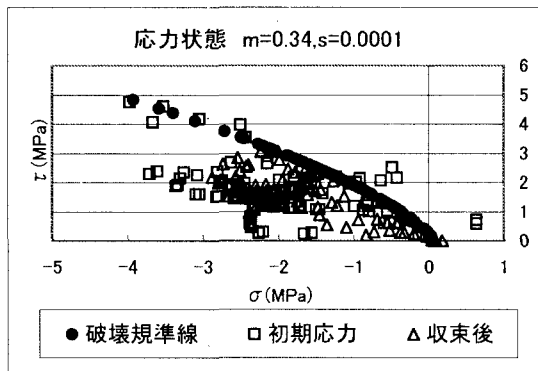


図-5 応力修正後

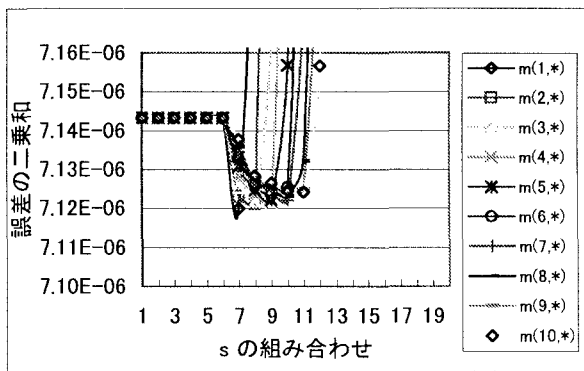


図-6 各 m, s における誤差の二乗和

参考文献

- 1) 芥川真一,柿原満,武山真樹,桜井春輔, : 岩盤不連続面のすべりを考慮した逆解析手法の開発と現場への適用例, 土木学会論文集 No.589/III-42,335-348,1998.3.
- 2) 芥川真一, 山下涼 : 岩盤の強度定数を求めるための簡易逆解析手法, 第 31 回岩盤力学に関するシンポジウム公演論文集, pp.331~335, 2001.
- 3) E.フック,ET.ブラウン共著,小野寺透,吉中龍之介,斎藤正忠,北川隆 共訳 : 岩盤地下空洞の設計と施工,土木工学社,444p,1984.