

Ⅲ - B216

底面摩擦試験と DDA による亀裂性岩盤内空洞の安定性評価

長崎大学工学部 正会員 棚橋 由彦 長崎大学大学院 学生員○中村 了悟
 長崎大学大学院 学生員 熊川 貴伯 長崎大学大学院 学生員 佐藤 貴文
 長崎大学大学院 学生員 志田 泰崇 長崎大学工学部 学生員 荒木 毅

1. はじめに

平成8年2月、平成9年8月と連続して発生した豊浜、第二白糸トンネル崩落事故等に見られるように、亀裂性岩盤内トンネルの設計・施工は、未だ解明されていない問題を多々含んでいる。

本研究では、G.H.Shi(1984)が提案した不連続変形解析法(Discontinuous Deformation Analysis, 以下 DDA と略称)を用いて不連続面の方向、空洞形状と深度および空洞周辺岩盤の安定性評価を行うことを目的とした。まず原地盤の変形・破壊挙動を定量的に予測可能な底面摩擦試験との比較を行い、DDA の有用性を検証した。次に最も一般的なトンネル形状(馬蹄形)について数値シミュレーションを行い、内空変位を予測した。

2. 底面摩擦試験の概要

モデル材料には、石膏:石灰:標準砂:水を重量比で 1:3:12:3.16 で配合した混合試料を用いた。模型は、前述の試料を 600mm×20mm×25mm の型枠を用いて細長い角柱を作成・整形し、それを装置上に並べて図-1のようなモデルを制作した。これは、一定間隔に亀裂が入った不連続性岩盤内に矩形空洞(高さ a , 幅 B)を掘削した場合の空洞周辺岩盤(高さ 30m, 幅 50m)をモデル化したものである。表-1

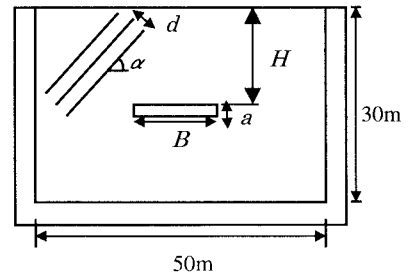


図-1 実験(解析)モデル

3 DDA 解析および実験結果

3.1 解析条件と解析結果

解析に用いたパラメータを表-2 に示す。一例として不連続面の角度 $\alpha=45^\circ$, $H/B=0.33$ における実験結果・解析結果をそれぞれ図-2, 図-3 に示す。解析でも実験同様、天端ブロック中央より左半では回転が主、右半が節理に沿う滑りが主のブロックの挙動を示しており、浅所地下空洞の閉塞までも実験と同様の挙動を示した。

表-1 実験・解析条件

深度 $H(\text{m})$	5, 15
不連続面の角度 $\alpha(^{\circ})$	30, 45, 60
不連続面の間隔 $d(\text{m})$	2
空洞幅 $B(\text{m})$	15
空洞高さ $a(\text{m})$	2

3.2 実験との比較

DDA の有用性を確かめるために、実験結果との比較を行う。

空洞天端における沈下量について比較を行った。 $\alpha=45^\circ$, $H/B=0.33$ における天端ブロックの鉛直変位の比較図を図-4 に示す。図-4 より DDA 解析値と実験値はほぼ同様の値を示しており、DDA 解析の有用性が伺える。

表-2 解析パラメータ

単位体積重量 $\gamma_t (\text{tf/m}^3)$	2.5
弾性係数 $E(\text{tf/m}^2)$	4.0×10^4
ポアソン比 ν	0.3
ブロック間の摩擦強度 $c (\text{tf/m}^2)$, $\phi (^{\circ})$	$c=0$, $\phi=23^\circ$

4. トンネルの数値シミュレーション

4.1 解析条件

キーワード 地下空洞 底面摩擦試験 DDA 亀裂性岩盤 安定性評価
 連絡先 〒852-8131 長崎市文教町 1-14 (095)847-1111

底面摩擦試験との比較で行った解析と同条件の岩盤内に、最も一般的なトンネル形(馬蹄形)を掘削した場合の数値シミュレーション解析を行い、周辺地山の挙動・内空変位の予測を行った。

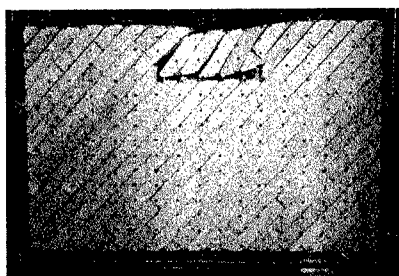


図-2 実験結果

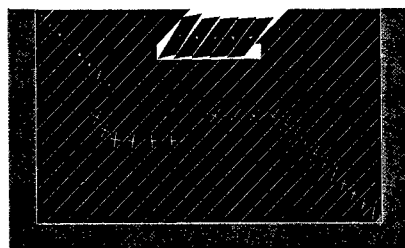


図-3 解析結果

図-5 に解析モデルを示す。トンネルは土被り厚 H は 22m($H/B=2.09$) と 44m($H/B=4.19$) の 2 つの場合を考えた。想定したトンネルは空洞半径 $R=5.1$ m, 下半高さ $a=1.6$ m, 空洞幅 $B=10.2$ m とした。また、不連続面の間隔 $d=2$ m である。解析に用いたパラメータは表-1 に示す通りである。

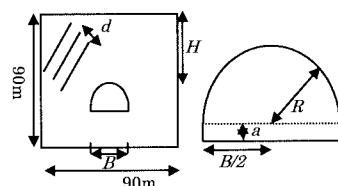


図-5 解析モデル

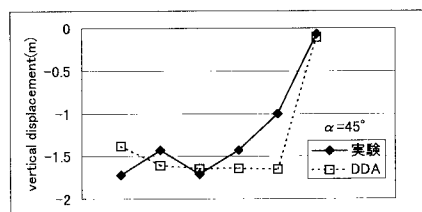


図-4 結果の比較

4.2 解析結果と考察

図-6 に解析結果の一例として、 $\alpha=45^\circ$ のトンネル周辺のみ結果を示す。図-6 より、 $H/B=4.19$ に比べ、 $H/B=2.09$ の方がトンネル内空変位が大きい。これは、トンネルは $H/B=2.09$ くらいの所ではブロックの幾何形状や不連続面に大きく影響され、 $H/B=4.19$ の深い所ではトンネルの変形は不連続面にあまり影響されないためであると考えられる。



(a) $H/B=2.09$

(b) $H/B=4.19$

図-6 解析結果 ($\alpha=45^\circ$)

(1) 内空変位

図-7 に $\alpha=45^\circ$ におけるステップごとの $H/B=2.09$ の内空変位図を示す。トンネルに天端と脚部 2 つで合計 3 つの測定点を設け、内空変位量(水平側線 1, 右斜側線 2, 左斜側線 3)を測定した。図-7(a)より水平側線 1 は 2cm 程度の縮小であるが、右斜側線 2 は 30cm 程度、左斜側線 3 は 10cm 程度の縮小で収束している。

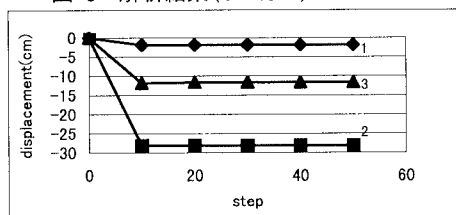
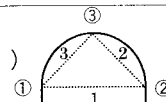


図-7 内空変位図 ($\alpha=45^\circ$)



5. おわりに

底面摩擦試験との比較を行うことにより DDA 解析で天端の沈下量約 1.64m に対し実験値 1.71m と非常に近い値を示し、DDA の実地盤における有用性が認められた。また、数値シミュレーションを行うことにより、周辺地山の挙動の把握と内空変位の予測およびトンネルの安定評価を行うことができた。
<謝辞>本研究を行うのに際し、大西有三教授(京都大学工学部)・陳光齊講師には DDA 解析ソフトに関して多々、ご教示を頂いた。ここに末筆ながら深甚なる謝意を表します。

<参考文献> 1) G.H.Shi and R.E.Goodman: "Two Dimensional Discontinuous Deformation Analysis" Int. J. Number. Anal.Methods Geomech, Vol.9, pp.541-556, 1985. 2) 大西有三・佐々木猛: "不連続変形法 (DDA) とその岩盤工学への適用について", 土木学会, 第 24 回岩盤力学に関するシンポジウム, pp.296-300, 1992.2.