

鹿島建設(株)正会員 庄子 幹雄

” 佐々木 猛

” 杉山 利幸

1. はじめに

通常、掘削解析は、土の物性や初期地圧を仮定し、それを FEMで解き、変位や歪を求めている。ところが、実際施工してみると、計算通りにいかない場合が多い。そのため、施工時に得られた変位等から、逆に土の物性や初期地圧を求めなおす手法、いわゆる逆解析の手法が発達してきた。ここでは、逆解析のうち、逆定式化法の中のFEM, BEMによるプログラムを開発したので、そのトンネルモデルに対する比較結果について述べる。

2. 解析仮定及びINPUT, OUTPUT

解析仮定として以下のものを設ける。(1) 地山を等方、等質の弾性体とし、弾性係数E は一定とする。(2) 初期地圧 σ_x , σ_y , τ_{xy} は解析領域で一定とする。(3) ポアソン比 ν は与えられている。またINPUTとして(1) ポアソン比 ν_0 (2) 計測変位、OUTPUTとして(1) σ_x/E , σ_y/E , τ_{xy}/E , すなわち初期地圧と弾性係数の比、すなわち計測変位から初期地圧や弾性係数を求める逆解析である。

3. プログラム概説

プログラムとして以下の3つを用意した。(1) REVERSAL-8 FEM中点付き8点要素を用いたもの。(2) REVERSAL-4 FEM中点なし4点要素を用いたもの。(3) REVERSAL-BEM BEMを用いたもの。BEMは FEMに比べて以下の特長を持っている。(i) FEMにある程度広い領域で要素分割しなければならないが、BEMは境界のみで要素分割するだけでよい。そのため、データ作りが BEMの方がはるかに簡単である。(ii) FEMにおいては、領域の端に変位0の境界を設けなければならない。これは解析的に少々不合理である。しかし、BEMでは、そのようなことはない。

4. 理論

FEMの逆解析の理論については、文献 1) を参照されたい。また BEMの理論については、文献 2) を参照されたい。ここでは、BEMにより、逆解析をどのように行なうかを述べる。

$E=1$ として、BEM により

$\sigma_x = 1, \sigma_y = 0, \tau_{xy} = 0$ の解の変位を $\{u_1\}$

$\sigma_x = 0, \sigma_y = 1, \tau_{xy} = 0$ の解の変位を $\{u_2\}$

$\sigma_x = 0, \sigma_y = 1, \tau_{xy} = 1$ の解の変位を $\{u_3\}$

とする。実際の変位は、

$$\{u\} = \frac{\sigma_x}{E} \{u_1\} + \frac{\sigma_y}{E} \{u_2\} + \frac{\tau_{xy}}{E} \{u_3\} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

となる。①を絶対変位と相対変位のデータのある

成分のみぬき出して、

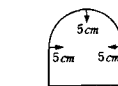
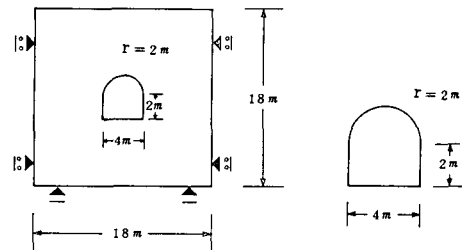
$$u_1 = A_{11}C_1 + A_{12}C_2 + A_{13}C_3$$

$$u_n = A_{n1}C_1 + A_{n2}C_2 + A_{n3}C_3$$

$$u_1^1 - u_1^2 = B_{11}C_1 + B_{12}C_2 + B_{13}C_3$$

$$u_m^1 - u_m^2 = B_{m1}C_1 + B_{m2}C_2 + B_{m3}C_3 \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

の形とする。ここで $C_1 = \sigma_x/E$, $C_2 = \sigma_y/E$, $C_3 = \tau_{xy}/E$ である。変位のデータとしては、



入力変位データ
FEM, BEM共通

Fig-1
解析条件

x, y方向絶対変位, x, y方向相対変位が入力できるようになっている。

これをマトリックス表示して

$$\{u'\} = [A]\{c\} \quad \{c\} = \{c_1, c_2, c_3\} \dots\dots ③$$

これを計測変位と最小2乗法を用いることにより、

$$\{c\} = ([A]^T[A])^{-1}[A]^T\{\bar{u}\} \dots\dots\dots ④$$

$\{\bar{u}\}$ 計測変位

によって $\{C\}$ を求める。

5. 解析結果

Fig-1 に解析条件を示す。TABLE-1 に結果を示す。 $\tau_{xy}/E = 0$ はデータの与え方により納得できる。

FEMと BEMで σ_x/E と σ_y/E の傾向が逆転している理由は、境界条件がx方向固定でy方向がローラーであるためとわかった。また FEMの方が全体的に値が大きくなるのは、メッシュを少し遠くまで切った場合に小さくなったので、境界条件の影響が大きいことがわかった。また REVERSAL-BEMでは、変位一定要素を使用しているため、トンネル壁面付近の応力の計算がかなりおかしくなることが判明した。

以下に、 $\{C\}$ を逆解析によって推定し、それを使って正解析を行なった結果を示す。

プログラム	$\frac{\sigma_x}{E}$	$\frac{\sigma_y}{E}$	$\frac{\tau_{xy}}{E}$
REVERSAL-8	0.181 $\times 10^{-1}$	0.128 $\times 10^{-1}$	0.239 $\times 10^{-7}$
REVERSAL-4	0.191 $\times 10^{-1}$	0.136 $\times 10^{-1}$	0.355 $\times 10^{-7}$
REVERSAL-BEM	0.158 $\times 10^{-1}$	0.179 $\times 10^{-1}$	0.231 $\times 10^{-4}$

TABLE-1

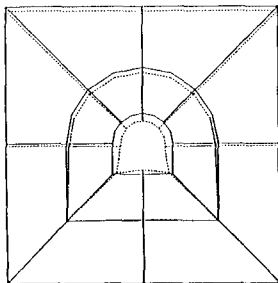


Fig-2 REVERSAL-8
変形図

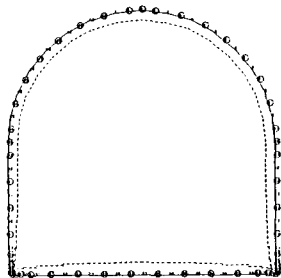


Fig-4 REVERSAL-BEM
変形図

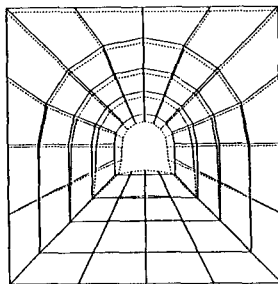


Fig-3 REVERSAL-4
変形図

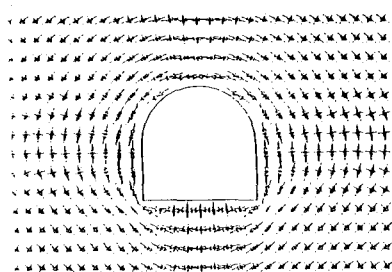


Fig-5
REVERSAL-BEM
主応力図

6. 結論

5節の解析結果より、結論として以下のようなことがいえる。

- (1) $\{\sigma_x/E, \sigma_y/E, \tau_{xy}/E\}$ の推定法としては、無限遠の処理を行なっている BEMが一番適当だと思われる。
- (2) BEMは、トンネル付近の応力状態を求めるのに使用してはならない。

参考文献

- 1) 桜井春輔, 武内邦文「トンネル掘削時における変位計測結果の逆解析法」, 土木学会論文報告集, 第337号, 1983年 9月
- 2) C.A. プレビア著, 神谷紀生, 田中正隆, 田中喜久昭共訳「境界要素法入門」(1980)