

Ⅲ-B335

現地観測データを用いた地盤掘削時のヤング係数の同定

中央大学 学生員 玄順 貴史
中央大学 正員 川原 睦人

1 はじめに

現在、地上には多くの車や構造物が見られ、また地下には地下鉄やライフライン等が網の目のように張り巡らされている。それでも我々は、必要に駆られ大規模地下構造物の施工、および基礎を築く上で地盤を掘削している。しかしながら、掘削の際に生じる地盤の変形に伴う近接構造物への影響は避けて通れない問題であり、これらの事前解析は施工時の安全性の確保にとって必要なことである。

そこで地盤の応力や変形問題を解析的に予測する有効な手法として有限要素法が用いられている。ところが有限要素法による地盤の解析は、必要な地盤定数を正確に与えることが難しいことなどから、信頼性の高い予測解析が困難となることが多い。一般には各種物性値試験等により現地地盤の諸定数を定めて解析を行うが、現地地盤の初期応力や地盤定数を正確に把握することは非常に難しく、その挙動を十分な精度で予測するのに十分であることはまれである。そこで、この情報の欠如を補うために工事施工中の計測を行い、その結果にもとづき施工を進める情報化施工が実施されている。また地盤構造物において設計時に評価した条件を再検討したり、また施工過程に応じて得られる観測値を合理的かつ積極的に利用して構造物全体の安定性評価を行うために、地盤の初期応力や地盤定数を同定する逆解析の研究が行われている。

そこで本研究では、地盤の力学的挙動における近接構造物への影響を考えるため、線形弾性解析における、掘削に伴う地盤の変形からの逆解析の一手法を示し、その数値解析例を示す。

2 基礎方程式、有限要素方程式

基礎方程式を導くにあたり、微小変形であると仮定する。すると弾性体の解析を行なうためには、以下の3つの方程式が必要である。

(1) 運動学的方程式 (歪み-変位方程式)

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \quad \text{in } V \quad (1)$$

(2) 運動量保存の法則 (応力の釣合方程式)

$$\sigma_{ij,j} + \rho f_i = 0 \quad (2)$$

(3) 構成方程式 (応力-歪み方程式)

$$\sigma_{ij} = E_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad \text{in } V \quad (3)$$

$$E_{ijkl} = \lambda \delta_{ij} \delta_{kl} + \mu (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk}) \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \quad (5)$$

$$\mu = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (6)$$

式(1),(2),(3)より

$$\int_V E_{ijkl} \varepsilon_{kl} \varepsilon_{ij} dV = \int_S P_i u_i^* dS + \int_V \rho f_i u_i^* dV \quad (7)$$

ここに u_i は変位、 ε_{ij} は歪み、 σ_{ij} は応力、 E_{ijkl} はヤング係数、 δ_{ij} はクロネッカーのデルタである。

式(7)を重みつき残差方程式に変形し、三角形一次の内挿関数を仮定し、ガレルキン法を適用して、有限要素方程式を導くと以下ようになる。

$$K_{\alpha i \beta k} u_{\beta k} = \Omega_{\alpha i} \quad (8)$$

各係数行列は、以下に示す形となる。

$$K_{\alpha i \beta k} = \int_V (\Phi_{\alpha,j} E_{ijkl} \Phi_{\beta,l}) dV \quad (9)$$

$$\Omega_{\alpha i} = \int_{S_2} (\Phi_{\alpha,j} \hat{P}_j) dS + \int_V (\Phi_{\alpha,j} \rho f_j) dV \quad (10)$$

したがって

$$\sigma_{i,j} = E_{ijkl} \Phi_{\beta,l} u_{\beta k} \quad (11)$$

3 シールドトンネルのモデル化

シールドトンネルをモデル化するにあたり、弾性地盤上のシールドセグメントの効果を考慮し、シールドを梁と考え、弾性体とシールドとの交点で弾性体の剛性行列にそれぞれ梁の剛性行列を重ね合わせる事で全体剛性行列を作成することができる。

この際、梁の剛性マトリックスを重ね合わせるにあたり $M=0$ とすることにより、 θ の項を消去し、梁の剛性行列を変形をして、地盤とシールドとの交点においてそれぞれの剛性行列を重ね合わせた。

4 掘削時の地盤解析

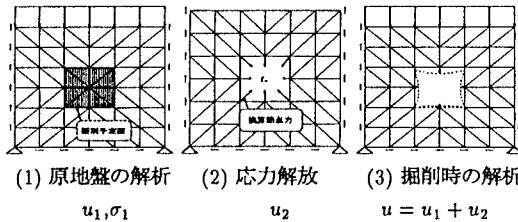
線形弾性解析を用いての掘削時の解析の方法としてひずみを重ね合わせて変形状態を求める方法を用いた。

- 自重および荷重等による原地盤の解析を行い、変位 $\{u_1\}$ 、応力 $\{\sigma_1\}$ を求める。(図(1))
- 掘削予定面上の応力を解放するため、初期応力に相当する逆符号の節点力を求め、これを外力として作用させて(掘削面での応力解放) 解析を行い、変位 $\{u_2\}$ を求める。(図(2))

キーワード : 有限要素法、掘削、パラメータ同定

中央大学大学院理工学研究科 (〒 112 東京都文京区春日 1-13-27, TEL 03-3817-1814, FAX 03-3817-1803)

●(図(1)) および(図(2)) のそれぞれの変位を重ね合わせると掘削時の変位 $\{u\}$ を求めることができる。(図(3))



6 数値解析例

今回の研究では、掘削における実地盤での逆解析を行うにあたり図1のモデルを用いた。地盤の挙動についての解析は、セクション5で示したように行っている。ポアソン比等の各種物性値は、表1に示した通りである。ここで3層に分けたのは、実際の現場で測定されたデータを用いたためである。シールドセグメントは32角形からなる骨組みと考え弾性地盤上の梁とし解析を行った。観測値は図2から読み取ったものを採用した。同定の手法としては、共役勾配法を用い、その際の評価関数は、変位の計算値と観測値の残差の2乗の合計であり、次のようにあらわされる。

$$J = \frac{1}{2}(\{u\} - \{u^*\})^T(\{u\} - \{u^*\}) \quad (12)$$

図3、図4は、それぞれヤング係数を同定した際に得られたヤング係数の収束状況およびその際の評価関数である。

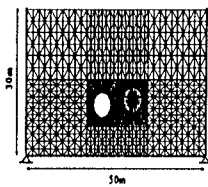


図1 解析モデル

深度 (m)	層厚 (m)	単位体積重量 $\gamma(t/m)$	ポアソン比 ν
4.1	4.1	1.7	0.4
8.1	4.0	1.9	0.3
14.1	6.0	1.8	0.33
18.1	4.0	1.9	0.3
30.0	11.9	1.8	0.33

表1 各種物性値

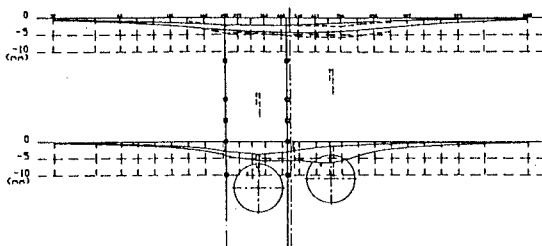


図2 実地盤の断面図

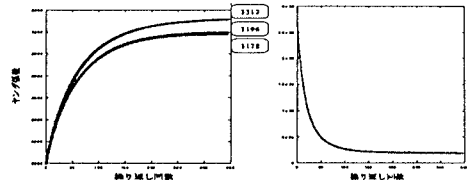


図3 計算結果

図4 評価関数

7 おわりに

本研究は、掘削時の地盤の変形状態および地盤の変形をより正確に予測するうえで必要となる、正確な物性値を得るために掘削時の変位からヤング係数を同定する逆解析の一手法を示した。今回のこの手法の確立の背景としては、掘削時の地盤の変形に伴う近接構造物への影響を考えるうえで、地盤の変形の予測段階においてより正確な物性値を得ることが必要となってきたからである。

同定の手法として共役勾配法を用いた。

結果としては、実際の現場で測定されたデータを用いて解析を行ったわけだが収束したヤング係数の値は良い結果を示しているものと思える。しかしながら、この結果も精度を考えると必ずしも正確な値を示しているとは、考えられない。それは、さまざまな問題点をかかえているからである。例えば、

- 実地盤での観測点とメッシュ内における観測点の位置が多少なりともずれてしまうということ。

- 実地盤の逆解析では、地盤定数が空間的に分布すること、土質調査や試験等には、誤差が介在することに対して、何も考慮していないこと。

- これは、精度に結び付けるような問題ではないが、同定の手法として共役勾配法を用いたわけだが、計算時間がかかるという結果を得たこと。

手法を変えればすむようなことから、その他のことまで、まだまだ改善して行かなければいけない点が多々ある。

しかしながら、これからこの種の同定問題は構造物の施工時の安全性の確保にとっておおいに役立ってゆくのではないだろうか。構造物の施工中に現場で観測された変位からヤング係数等を求めることで、得られた結果から今後の地盤の変形の予測や、近接構造物への影響等、その都度、状況にあった施工を行うことを可能とするのだから。

参考文献

1. 吉田 裕、川原 睦人：新体系土木工学3 有限要素法、技報堂出版、1983
2. 嘉納 秀明：システムの最適理論と最適化、コロナ社、1987