

神戸大学工学部 正 桜井春輔
同 正 清水則一
東急建設(株) 正 壺内達也

1. はしがり

直接逆解析法 (DBAP) は著者らのグループが開発している現場計測結果の評価法である¹⁾。これは地下空洞掘削中に計測した変位から地山の巨視的な初期応力および弾性係数を求め、さらに空洞周辺のひずみ分布を求め地山の安定性や塑性領域の推定、次掘削段階の変形挙動の予測を行なうことを目的としている。本研究では、二次元平面ひずみ状態を仮定している従来のDBAPを一般的な三次元問題に適用できるように拡張する。この拡張により掘削および計測機器の配置手順を直接解析に導入でき、また、これまでは各計測断面毎に独立して取り扱っていた計測結果を同時にすべて含めて逆解析できることになる。ここでは境界要素法を用いた三次元直接逆解析法の概要と作成したプログラムの精度の確認結果を報告する。

2. 三次元直接逆解析法の概要

(1) 境界要素法による地山内変位の表現

一様初期応力状態における空洞掘削問題に対して、離散化された境界要素法の基礎式は次のように書くことができる。

$$U_i(p) + \{H_i(p)\}^T \{\bar{u}\} = -\{G_i(p)\}^T [n] \{\sigma^0\} \quad (1)$$

$$[H] \{\bar{u}\} = -[G] [n] \{\sigma^0\} \quad (2)$$

ただし、 $U_i(p)$ は地山内部の点 p における変位 (図-1 参照)、 $\{\bar{u}\}$ および $\{\sigma^0\}$ はそれぞれ表面変位および初期応力の列ベクトルである。また、 $\{H_i(p)\}$ 、 $\{G_i(p)\}$ および $[H]$ 、 $[G]$ はそれぞれ影響係数の列ベクトルとマトリックスである。 $[n]$ は空洞表面の単位外法線ベクトルより構成されるマトリックスである²⁾。

基礎式の離散化にあたって、空洞表面を8節点曲面要素に分割し (図-2 参照)、表面変位および表面力は曲面要素と同じ形状関数を用いて近似する。影響係数を求めるために必要な積分の計算にはガウスールジャンドルの数値積分公式を用いた。

式(1)、(2)より $\{\bar{u}\}$ を消去し、若干の変形を行なうと地山内の変位は次のように表わされる。

$$U_i(p) = \{F_i^*(p)\}^T \{\sigma^0\} \quad (3)$$

ただし、 $\{\sigma^0\} = \{ \sigma_{11}^0/E \quad \sigma_{22}^0/E \quad \sigma_{33}^0/E \quad \sigma_{23}^0/E \quad \sigma_{31}^0/E \quad \sigma_{12}^0/E \}^T$ (E : ヤング係数) は初期応力パラメータと呼ぶ。また、 $\{F_i^*(p)\}$ は空洞形状、ポアソン比と点 p の位置を与えれば決定される。

(2) 直接逆解析法

式(3)を用いて計測変位に対応する変位の計算式を誘導する。

$$\{\Delta d\} = [C] \{\sigma^0\} \quad (4)$$

ここで、 $[C]$ は空洞掘削および計測器配置の手順、計測位置、計測方向などを考慮して $\{F_i^*(p)\}$ より求めるマトリックスである。

ポアソン比を仮定し計測変位 $\{\overline{\Delta d}\}$ と式(4)で計算される $\{\Delta d\}$ との残差が最小になるように初期応力 $\{\sigma^0\}$

ラメータ $\{\sigma_o^*\}$ を求める。

$$\{\sigma_o^*\} = ([C]^T[W][C])^{-1}[C]^T[W]\{\bar{\sigma}d\}$$

———— (5)

ただし、 $[W]$ は重みマトリックスである。

$\{\sigma_o^*\}$ を式(3) に代入すれば地山内部の変位が、さらに変位からひずみ分布が推定される。また、初期応力パラメータの一成分を仮定すれば(例えば鉛直成分を土被り圧に等しいとおく)、ヤング係数および他の初期応力成分が推定される。

3. プログラムの確認

図-3 に示す球空洞について掘削時に生じる変位(弾性理論解)を計測変位として与え(図中の黒点において各三成分)、初期応力パラメータを求める。表-1 に示す結果より、作成したプログラムは十分な計算精度を有することが確認された。

4. むすび

今後、3D-DBAPによって実測データを解析し、本法の適用性を調べていく予定である。

参考文献 1) 神戸大学岩盤力学研究室、現場計測と逆解析、研究報告 NO.1,1985.4 2)Shimizu,N. & S .Sakurai,Proc. Int. Conf. BEM,1983,pp.645-654

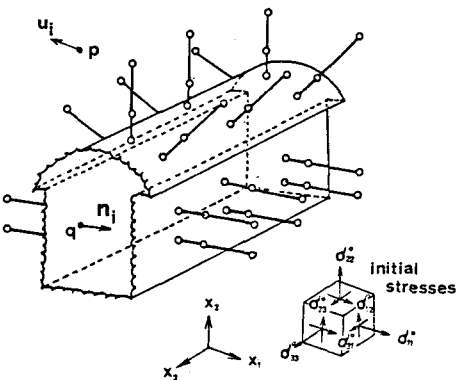


図-1 地山内の点pにおける変位

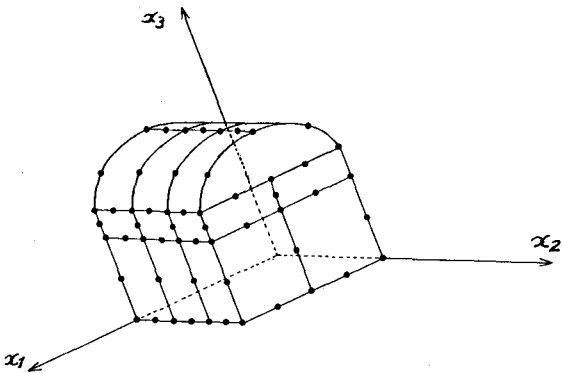


図-2 要素分割の例

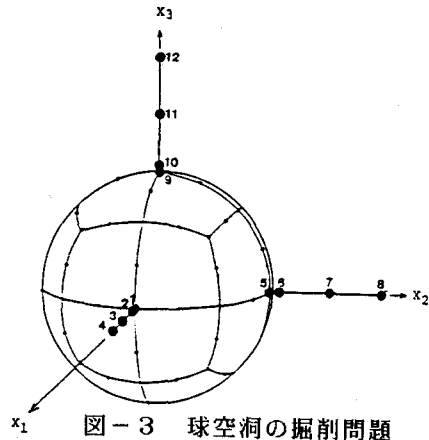


図-3 球空洞の掘削問題

表-1 計算結果

case		σ_{11}^0/E	σ_{22}^0/E	σ_{33}^0/E	σ_{23}^0/E	σ_{31}^0/E	σ_{12}^0/E
I	exact	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	back-analy.	1.019	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
II	exact	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
	back-anal.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.024