I －421

観測点配置の評価指標

東電設計（株）　正会員　豊田耕一　　正会員　吉田郁政

１．はじめに

確率論に基づく逆解析では未知量の事後の共分散行列が得られるため、事後の標準偏差により観測点配置の評価が可能である。そこで、事後の標準偏差（変動係数）を用いた観測点配置の優劣を表現できる評価指標を考案し、数値計算例により適用性検討を行った。

２．観測点配置の評価指標の定義

確率論に基づく逆解析[1]において、未知量xの事後の共分散行列$\boldsymbol{P}_{xi}$は次式で表される。

$$\boldsymbol{P}_{xi}=(\boldsymbol{H}_{xi}^T\boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{H}_{xi}+\boldsymbol{M}^{-1})^{-1}$$

ここに、　$\boldsymbol{H}_{xi}$：ヤコビアン行列

$\boldsymbol{R}$：観測量誤差の共分散行列

$\boldsymbol{M}$：未知量の事前の共分散行列

図-1に、検討に用いた解析モデルを示す。未知量は４つの領域のヤング率E_1, E_2, E_3, E_4および外力分布のパラメタf_1, f_2, f_3とし、E_5およびポアソン比$\nu_1\sim\nu_5$は既知とした。観測量は各測線の基準点と観測点の相対的な水平変位とし、観測量誤差間に相関はなく、その標準偏差は10^{-4}mとした。測線１のみを観測量とした場合をケース１とし、得られた各未知量の事前および事後の標準偏差および変動係数を表-1に示す。観測点配置の評価を行うにあたって、各未知量ごとに行う方法もあるが、総合的に判断できる指標があると好ましい。その評価指標の定義の一つとして、まず事後の標準偏差の平均をとる方法が考えられる。しかし、この方法では、表-1から分かるように、ヤング率と外力というように未知量の種類が異なり、場合によっては問題が生じる。次に、標準偏差ではなく、平均値で基準化した変動係数を用いる方法[2]が考えられる。しかし、f_3のように平均値が０である未知量では無限大となり、定義できないという欠点がある。そこで、事後の標準偏差を表-1に示すような事前の標準偏差で基準化し、その平均を観測点配置の評価指標 I_Mと定義する。この方法では、平均値が０である未知量でも評価が可能となる。

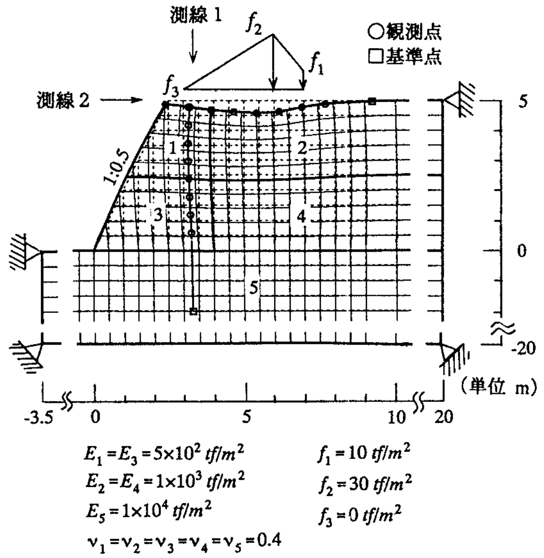

図-1　解析モデル

表-1　ケース１で得られた各未知量の推定信頼性

	平均値	事前	事後	
		標準偏差	標準偏差	変動係数
E_1	500.	500.	187.	0.374
E_2	1000.	1000.	425.	0.425
E_3	500.	500.	184.	0.367
E_4	1000.	1000.	421.	0.421
f_1	10.	10.	8.47	0.847
f_2	30.	30.	13.2	0.44
f_3	0.	10.	3.54	∞

３．適用性検討

ケース２として、測線２のみを観測量とし事後の標準偏差を求めた。ケース１およびケース２において、各未知量の事後の標準偏差を事前の標準偏差で基準化した値（$\sigma_{post.}/\sigma_{pre.}$）を求め、その比較を図-2に示す。図-2から分かるように、ケース１とケース２で未知量ごとに推定信頼性の優劣は異なり、どちらの観測点配置パターンが優れているか総合的に判断することは難しい。本研究で定義した評価指標 I_Mによる比較

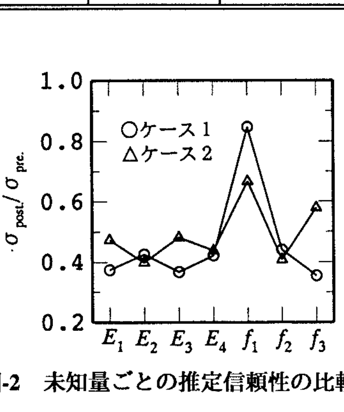

図-2　未知量ごとの推定信頼性の比較

を行うと、表-1に示した事前の標準偏差を用いた場合、ケース１でI_M=0.461，ケース２でI_M=0.491となり、ケース１の配置パターンが優れていることが分かる。ケース１を基に、測線１上において観測点の数や配置を変えた数ケースでI_Mを求め、観測点配置の評価を行った。各ケースで得られたI_Mを観測点数に関して整理し、図-3に示す。○は地表から深さ5mまでの間に観測点を均等に配置した場合（均等型）、△は地表から深さ2.5mまでの上層で集中的に配置した場合（上層集中型）、▽は深さ2.5mから5mまでの下層で集中的に配置した場合（下層集中型）である。均等型では、観測点数を増やすほどI_Mは小さくなり、信頼性が高くなる。このモデルでは、観測点数が４個の場合でも８個の場合でも、均等型の信頼性が最も高く、次に上層集中型、最後が下層集中型となり、同じ観測点数でも配置パターンにより信頼性が変化することが分かった。その結果、観測点数が少なくても、配置パターンによっては信頼性が高くなる場合もあった。次に、測線１上で８個の観測点を均等型で配置し、水平にスライドさせた数ケースのI_Mを求め、観測点配置の評価を行った。その結果を、図-4に示す。横軸を測線位置の水平座標とし、縦軸をI_Mとした。図-4から分かるように、I_Mは地盤の分割境界である4mで最小となった。また、載荷重のピーク位置である6mで極小となった。従って、観測点は単純に発生変位が大きい位置だけではなく、モデルの特徴が顕著に現れる位置に配置することが重要であることが分かった。図-5に、検討モデルの水平変位分布，水平変位の事前の標準偏差分布，図-3のAおよびBに相当するケースの水平変位の事後の標準偏差分布を示す。水平変位の事前の標準偏差分布は法面に近いほど大きくなる傾向があり、水平変位分布とよく似た分布となっている。しかし、事後の標準偏差は観測点付近で小さくなっており、計算変位の信頼性が向上していることが分かる。

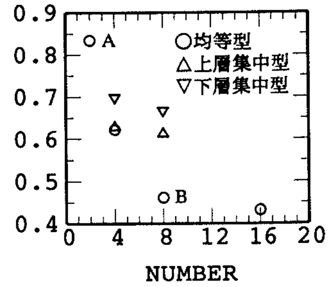

図-3　観測点数とI_Mの関係

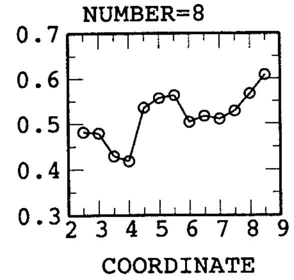

図-4　測線位置とI_Mの関係

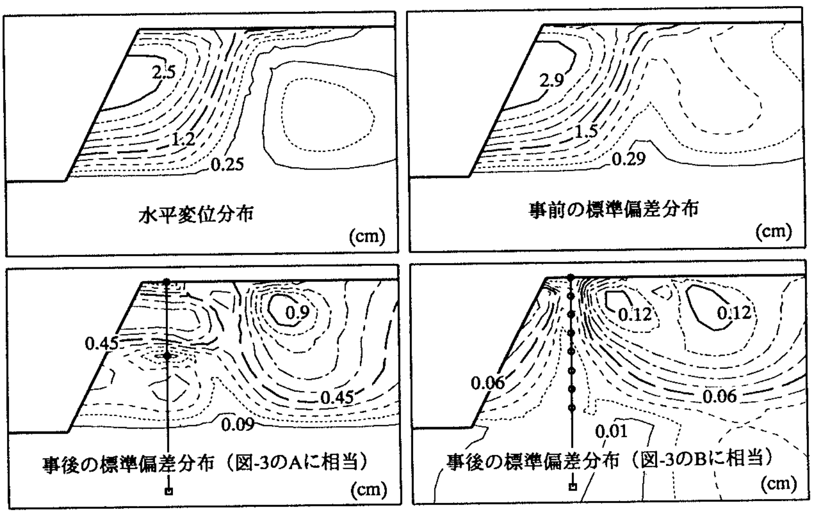

図-5　検討モデルの変位分布および事前，事後の変位の標準偏差分布（水平方向）

４．おわりに

いくつかの観測点配置パターンの優劣を評価する際、I_Mを用いることで総合的に判断できる。また、観測点数が少なくても効果的に配置することにより、推定信頼性を改善できることを示した。

参考文献

1)吉田他:２次元ＦＥＭを用いた確率論に基づく逆解析の定式化とその解法,土木学会論文集,NO.507,pp.129-136,1995
2)芥川:Bayesの方法を用いた逆解析における計測パターンの優位性の数量的評価法,第５回計算力学シンポジウム,pp.257-264,1991