

PSIII-6

逆解析法の比較評価

京都大学農学部 正会員 ○ 村 上 章
同 上 正会員 長谷川 高士
同 上 正会員 H. M. Amir
同 上 学生員 小 林 範 之

1 はじめに

逆解析法を実際問題に適用するにあたって、その適用性を検討して得られた結果を評価する必要がある。本文では、いくつかの問題について種々の逆解析法を適用し、その結果の比較に基づいてそれぞれの手法の得失を考察する。以下では、まず採用した解析法を示し、次にいくつかの数値計算例の結果を検討する。

2 解析法

ここで用いる解析法は次のものである:1)Nelder and Mead の Simplex 法 [1];2)Powell 法 [2];3) 共役勾配法 [3];4) 準ニュートン法;5)D. F. P. 法 [4], [5];6)Amir and Hasegawa による方法 [6];7)Kalman フィルタ有限要素法 [7]。このうち、1),2),7) は陽に目的関数の勾配を要求しない方法であり、6) は勾配を用いない Rosenbrocks 法 [8] と勾配を必要とする IGD(Integer Gradient Direction) 法 [9] との併用解法である。7) には非線形観測式を線形化する拡張 Kalman フィルタと有限要素法との結合解法があるけれども、定式化こそ異なれ、Cividini *et al.* の Bayes 推定法 [10] と解を求めるに至る過程が完全に同一となる [11] のでここでは省略する。なお、Bayes 推定法の精度については荒井・宮田 [12] に詳しい。以下では、各方法の名前を記すかわりに上の番号を用いる。また、解析法 1 については京大大型計算機センターライブラリ SMPLEX を、解析法 2,3,6 については東大センターライブラリ POW1, SFMCG, SFMVM を、解析法 5 については名大センターライブラリ NOLL1 をそれぞれ使用した。

3 数値解析による比較評価

ここでは、次の 2 つのケースを解析する:1) 荒井ら [13] の使用した掘削モデル (図 1);2)Gioda[14] が用いた地盤モデル (図 4)。

図 1 の場合 解析したケースは次の 5 通りである:I) 均一地盤であるとき、観測変位に節点番号 4,5,6 の水平変位を選ぶ;II) 均一地盤であるとき、観測変位に節点番号 4,5,6 の両方向変位を選ぶ;III) 均一地盤であるとき、観測変位に節点番号 1 の鉛直変位、節点番号 4,5,6,9 の両方向変位および節点番号 14 の鉛直変位を選ぶ;IV) 二層から成る地盤であるとき、観測変位に節点番号 1 の鉛直変位、節点番号 4,5,6,9 の両方向変位および節点番号 14 の鉛直変位を選ぶ;V) 三層から成る地盤であるとき、観測変位に節点番号 1 の鉛直変位、節点番号 4,5,6,9 の両方向変位および節点番号 14 の鉛直変位を選ぶ。

結果として、例えばケース III の推定経過を図 2 および 3 に示す。ここでいう誤差とは次式であらわされる無次元化誤差を指す：

$$Err = \frac{\sum_{i=1}^N (|E_i - E_i^*|/E_i^*) + \sum_{i=1}^N (|\nu_i - \nu_i^*|/\nu_i^*)}{N} \quad (1)$$

また、表 1 に $Err = 0.05$ に至るまでの CPU Time を比較のために掲げる。

表 1 解析法による CPU Time の比較 (sec)

横軸:解析法, 縦軸:解析ケース

	1	2	3	4	5	6	7
I	1.54	1.14	96.6	20.8	57.0	—	3.53
II	1.22	1.03	59.8	4.84	28.8	5.99	1.29
III	0.99	0.93	55.4	9.47	28.7	—	0.66
IV	5.28	1.04	86.6	23.0	58.0	—	0.85
V	9.89	1.60	434.2	41.2	248.9	92.2	3.24

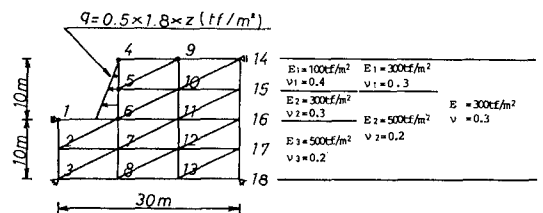


図 1 解析モデル (after Arai *et al.* [13])

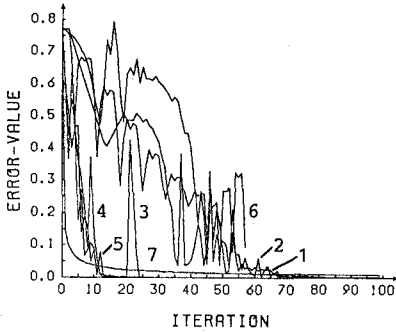


図2 推定経過の比較 (Iteration)

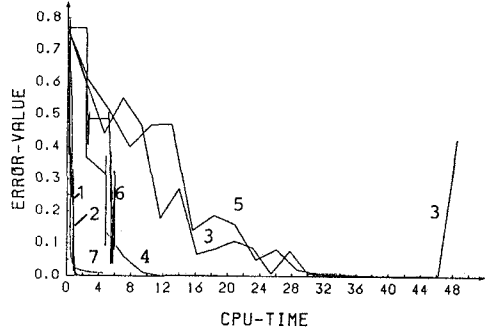


図3 推定経過の比較 (CPU Time)

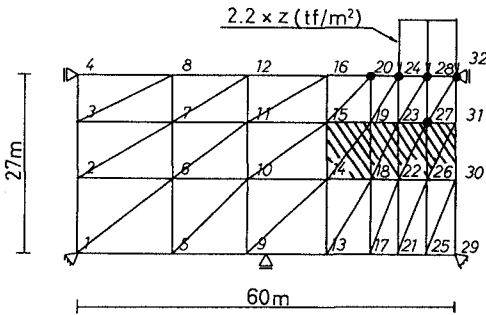


図4 解析モデル (after Gioda[14])

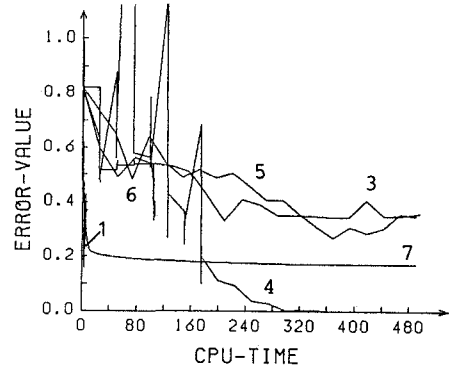


図5 推定経過の比較 (CPU Time)

図4の場合 解析したケースは次の2通りである:I) 観測変位として地表面沈下(節点番号12,16,20,24,28,32)のみをとる,II) 観測変位として表面(節点番号20,24,28,32)の沈下および地中(節点番号27)の両方向変位をとる。前者はその物性値を知りたい領域に係わる観測計器が存在しない場合である。図4における黒丸は後者の観測位置をあらわす。図5は後者の場合の結果である。当初に設定していたいわゆる真値に収束するのは1,4,5の解析法のみである。前者の場合だと地中の不均質な層に係わる観測がなされないため、さらに解析精度が低下する。また、解析法7は前者のような場合に対して有効でなく、このためには拡張 Kalman フィルタに依らなければならない。解析法6は骨組構造の最適設計に有効な方法である[15]が、ここで取上げた問題はあまり適していないようである。

結果として、勾配を用いない方法の方が収束に至る速度は速いが、未知パラメータ数の増加と観測変位数の減少により急速に遅くなる。またそのとき、7の解析法を除くと、観測変位数は未知パラメータの数を越えなければならないという制約がある。

参考文献:[1]J.A. Nelder and R. Mead:A simplex method for function minimization. *Computer J.*, 7:308-313, 1965;[2]M.J.D. Powell:An efficient method for finding the minimum of a function of several variables without calculating derivatives. *Computer J.*, 7:155-162, 1965;[3]R. Fletcher and C.M. Reeves:Function minimization by conjugate gradient. *Computer J.*, 7:149-154, 1965;[4]W.C. Davidson:Variable metric method for minimization. A.E.C. Research and Development Report ANL-5990(Rev.), 1959;[5]R. Fletcher and M.J.D. Powell:A rapidly convergent descent method for minimization. *Computer J.*, 6:163-168, 1963;[6]H.M. Amir and T. Hasegawa:Nonlinear discrete structural optimization. *Proc. JSCE*, (392):61-71, 1988;[7]村上 章・長谷川高士:Kalman フィルタ有限要素法による逆解析と観測節点配置. 土木学会論文集, (388):227-235, 1987;[8]S.S. Rao. *Optimization: theory and applications*. Wiley Eastern Ltd., 1984;[9]V. Chanaratna. *Discrete structural optimization*. PhD thesis, University of Illinois at Urbana Champaign, 1975; [10]A. Cividini, G. Maier, and A. Nappi:Parameter estimation of a static geotechnical model using a Bayes' approach. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 20(5):215-226, 1983;[11]村上 章・長谷川高士:確率的逆解析法の相違—拡張 Kalman フィルタ有限要素法と Bayes アプローチ—. 平成元年度農業土木学会講演要旨集, 1989;[12]荒井彦彦・宮田幹夫:確率的逆解析手法の適用性. 第21回土質工学研究発表会発表講演集, pp.1089-1090, 1986;[13]K. Arai, H. Ohta, and T. Yasui:Simple optimization techniques for evaluating deformation moduli from field observation. *Soils and Foundations*, 23(1):107-113, 1983; [14]G. Gioda:Some remarks on back analysis and characterization problems in geomechanics. In *Proc. 5th Int. Conf. on Numerical Methods in Geomechanics*, pp. 47-61, Nagoya, 1985;[15]H.M. Amir and T. Hasegawa:Nonlinear mixed-discrete structural optimization. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 115(3):626-646, 1989.