

Ⅲ-A262

BIC 最適モデルを考慮した試験盛土基礎の逆解析

日立造船 正会員 坂元 貴仁
 京都大学農学研究科 正会員 村上 章
 近畿大学農学部 正会員 長谷川高士

1. はじめに

逆解析のために設定された解析モデルの適合性を客観的にはかる評価規準として、AIC や ABIC といった情報量規準がしばしば用いられる^{1)~3)}。モデル選択については、観測誤差共分散行列や推定誤差共分散行列などから構成される行列の性質の善し悪しを示すスカラ指標 (条件数など) を数値計算により求め、これが最小となる配置を選択する方法がとられてきた^{4)~5)}。

本文では、情報量規準 BIC を用いてモデル選択を行い、採用したモデルに対してカルマンフィルタによる逆解析を行う。以下では、日本道路公団山形自動車道試験盛土データを観測値とした時の解析結果を報告する。

2. 情報量規準 BIC

逆解析のためのモデル選択を目的として、AIC (赤池情報量規準)¹⁾、ABIC (赤池ベイズ情報量規準)⁷⁾をはじめとするいくつかの情報量規準を最小とする方法が提案されている。例えば、AIC や BIC (ベイズ情報量規準) は次式で定義される。ここでは、 $f(\mathbf{y}_t|\boldsymbol{\theta})$: 尤度関数、 k : パラメータ数 ($\dim \boldsymbol{\theta}$)、 n : 観測数 ($\dim \mathbf{y}_t$)。

$$\text{AIC} = -2 \log f(\mathbf{y}_t|\boldsymbol{\theta}) + 2k; \quad \text{BIC} = -2 \log f(\mathbf{y}_t|\boldsymbol{\theta}) + k \log n \quad (1)$$

Carrera と Neuman¹⁾は地下水モデル同定 (透水量係数とその分布の同定) を介して、モデル選択の比較を上 の 2 つを含む 4 つの情報量規準から行い、その違いを検討した。最近では ABIC により、逆解析のための諸条件を考慮した研究²⁾が地盤工学において行われている。

3. 数値計算例

1) 仮想地盤

AIC と BIC との主な違いは、観測数を考慮することにある。図 1 の仮想弾性地盤について、計算例を示す。逆解析においては、载荷による変形挙動を観測し、その情報をもとに弾性係数を同定するものとする。観測値として盛土中央部と表面沈下の両方を用いた場合の AIC と BIC を計算すると、表 1 のような結果を得る。AIC は観測数の減少に関係なく同じ値を示しているが、BIC は観測数がもたらす影響についても考慮するため、その値は観測数とともに減少している。これより、BIC はモデルの単純化をデータの個数の影響という視点からも評価していることがわかる。

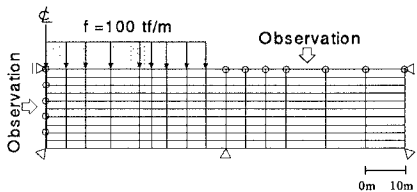


図 1: 解析メッシュ (仮想地盤モデル)

表 1: BIC と AIC の比較

モデル	中央観測数	表層観測数	BIC	AIC
L5-1	5	1	5.16	4.68
L5-2	5	2	5.24	4.68
L5-3	5	3	5.31	4.68
L5-4	5	4	5.38	4.68
L5-5	5	5	5.45	4.68
L5-6	5	6	5.51	4.68
L5-7	5	7	5.56	4.68

2) 山形自動車道試験盛土⁸⁾

基礎地盤は粘土・砂の互層により形成されている。試験盛土による载荷は節点荷重と考え、10 ステップに

Keywords: BIC, 逆解析, 沈下, 有限要素法, カルマンフィルタ

〒559-0034 大阪市住之江区南港北1丁目7番89番 TEL: 06-569-0001 FAX: 06-569-0002

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 TEL: 075-753-6152 FAX: 075-753-6346

〒631-0052 奈良市中町 3327-204 TEL: 0742-43-1511(代) FAX: 0742-43-1593

分けて載荷されるものとする。逆解析に必要な観測データとしては、盛土中央部の層別沈下計による沈下記録を用いる。対象地盤についてゾーニングの異なるモデル (L1、L2、L3、L4、L5) を設定し、パラメータ同定とともに BIC による最適モデル選択を行う。さらにその結果を用いて次ステップの逆解析を行い、最終的に対象地盤の将来の挙動を予測を行う。また、逆解析には拡張カルマンフィルタ FEM を使い、それぞれの観測時間間隔に対して割線弾性係数の同定を行った。図 2 に有限要素メッシュと境界条件を示す。排水境界条件は地表面と遠隔境界を排水境界、基礎下面と地盤中央を非排水境界とした。透水係数は $1.0 \times 10^{-4} \text{ m/day}$ とする。

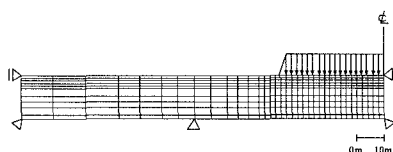


図 2: 解析メッシュ(山形自動車)

表 2: 解析モデルの設定と BIC

モデル	層数	BIC
L1	1	-5.55*
L2	2	-3.58
L3	3	-2.81
L4	4	-1.79
L5	5	0.66

表 2 に示すように弾性係数のゾーニングの異なるモデルを設定し、BIC によってその中から最適なモデルを選択する。モデル L1 を採用した場合に BIC が最小になっており、最も良い解析モデルであると評価されている。これは、現場から得た観測情報に誤差が多く含まれ、情報量が少ないと評価され、それ以上複雑なモデルを選択できないことを示している。地盤挙動の逆解析および予測解析にはこのモデルを採用する。

図 3 に同定された弾性係数の時間推移を載荷履歴と併せて示す。その弾性係数の値が漸増載荷期間では低下し、放置期間では増加する傾向が見てとれる。これは、漸増載荷期間ではひずみ増加に伴う剛性の劣化が生じ、また放置期間では圧密によって排水が進むことによる剛性の増加が生じることに起因すると考えられる。次に、載荷開始から 60 日後までの期間で逆解析を行い、同定された結果を用いてその後の沈下量の時間推移を予測し、観測値との比較を行う。図 4 には盛土中央部における沈下観測値、同定されたパラメータと既知の境界条件とから推定された予測沈下量を示す。これらを見ると、比較的よい精度で基礎地盤の挙動を再現している。モデル L2 を採用した時の予測解析結果⁹⁾も併せて示すが、それと比較してもモデル L1 を採用した方がよい精度で基礎地盤の挙動を再現しており、BIC によるモデル選択が有効に機能していることを示している。

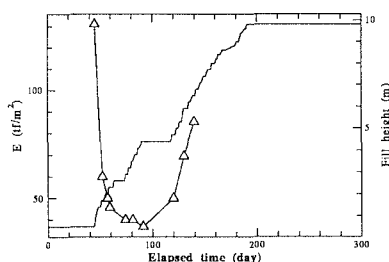


図 3: 弾性係数の時間推移

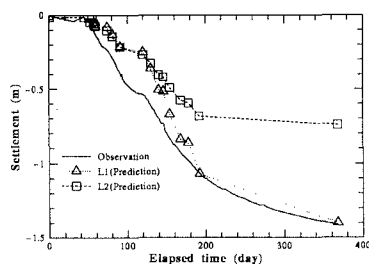


図 4: 予測沈下量と観測値の時間推移 (G.L.-1m)

参考文献

- 1) 赤池弘次：情報量規準 AIC とは何か，数理科学，No.153，pp.5-11，1976.
- 2) Honjo, Y. and N. Kudo：Model selection and parameter estimation in geotechnical inverse analysis by extended Bayesian method, *Applications of Statistics and Probability* (Lemaire, Favre and Mebarki, eds.), pp.1349-1356, 1995.
- 3) 奥野哲夫・鈴木 誠・本城勇介：ABIC と拡張カルマンフィルタを用いた最適な地下水解析モデルの推定，土木学会論文集，第 575 号，pp.179-198，1997.
- 4) 工藤暢章・本城勇介：逆解析を前提とした観測計画の評価指標に関する考察，第 31 回地盤工学研究発表会，pp.1-2，1996.
- 5) 吉田郁政・豊田耕一・星谷 勝：時間更新を考慮した逆解析と観測点配置の評価指数，土木学会論文集，第 543 号，pp.271-280，1996.
- 6) Carrera, J. and S.P. Neuman：Estimation of aquifer parameters under transient and steady conditions, 1, 2 & 3, *Water Resour. Res.*, Vol.22, No.2, pp.199-242, 1986.
- 7) 本城勇介：逆解析における事前情報とモデルの選択 (その 2)，土と基礎，第 43 巻，第 8 号，pp.51-56，1995.
- 8) 太田秀樹・石川 勇・菅井一嘉・飯塚 敦：軟弱地盤上に施工された高速道路試験盛土による変形とその数値シミュレーション，地盤工学における逆解析の適用と施工管理に関するシンポジウム論文集，地盤工学会，pp.123-132，1997.
- 9) 坂元貴仁・村上 章・長谷川高士：高速道路試験盛土の逆解析，土木学会第 52 回年次学術講演会，pp.418-419，1997.