

III-312 逆解析のための観測計器配置

京都大学農学部 正会員 ○村上 章
同 上 正会員 長谷川高士

1. はじめに

地盤において観測される変位や間隙水圧から物性定数を推定する、いわゆる逆解析手法が発展してきたが、その際の観測節点をいかに配置するかという点を配慮した研究は少ない。本文では、対象とする地盤の中で、ある領域に着目したときの観測節点の配置について述べるとともに、逆解析手法(Kalmanフィルタ有限要素法)との係わりを説明する。また、具体的な事例に対して検討した結果を示す。

2. 観測変位に対する感度係数

観測節点の配置決定については、逆解析の目的や内容がこれを左右すると考えられる。対象とする領域全体の物性を推定するとき、どの位置で観測すればよいか?という問いに対して、一般的には計器の側からの制約により観測位置が決まるというのが実情であろう。これに対して本文の目的は、解析領域の中で着目領域を限定し、この領域について影響度の高い観測位置を特定することである。

図-1を対象とする。解析しようとする領域の中で、殊に着目する領域が存在するとき、この領域に鋭敏な節点を知る必要が生じる。このことは、式(1)から成る感度係数により得られるものとする。この係数は、ある領域の弾性係数に対する観測変位の"感度"を示し、その領域に対して鋭敏な観測節点を定量的に示唆する。また、ここではポワソン比に対する感度は無視する。

この感度係数は、Bayes系逆解析^{1), 2)}においては、重要な役割を果たす。すなわち、各領域の弾性係数が逆解析の未知数であるとき、式(1)は Bayesianアプローチによる逆解析において、"感度行列"の成分をなし、¹⁾Kalmanフィルタ有限要素法では、観測行列の成分となる。²⁾ある観測節点の組合わせについて得られる感度係数ベクトルの長さを「影響係数」と呼び、この値の大きさに従って、想定した組合わせのうち最適なものを見出そうとする。

3. 数値計算

前節の内容を、図-2の事例で説明する。図-2は或るコンクリート重力式ダムの本体および基礎の断面図である。この基礎においては、厚さ5~30cmの弱層が存在し、これを分断すべく監査廊を兼ねたコンクリート(ダウエルコンクリート)を打設している。この弱層に着目したときの観測変位に対する節点感度係数を算出してその分布を求めると、水平変位および鉛直変位について、それぞれ、図-3(a), (b)のようである。両図から、注目層の逆解析のためには、ダウエルコンクリート周辺、特に弱層の方向へ変位計を打設して、変位を観測すればよいと考えられる。

さらに、観測計器の設置位置については、いくつかの考えられる配置毎に、上述の影響係数を算出し、係数値の大きい配置を選ぶことにより決定することが可能である。図-4は、考えられるいくつかの観測計器配置候補について節点感度値を記載した。ここで、計器配置のケースとしては、ダウエルコンクリート内空表面とダム基礎内部とを結び、その間の相対変位を測定するものとした。その長さや方向を幾通り

$$\begin{aligned} \text{剛性方程式: } [E_1[K'] + \dots + E_n[K'] + E'[K']] \begin{Bmatrix} u^* \\ f \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} f^* \\ f \end{Bmatrix} \\ \text{ここに, } E_i: &\text{領域 } i \text{ の弾性係数, } u^*: \text{観測変位.} \\ [K'] &= \begin{bmatrix} K_{11}^i & K_{12}^i \\ K_{21}^i & K_{22}^i \end{bmatrix}: \text{領域 } i \text{ の剛性行列.} \\ \therefore u^* &= [(E_1 K_{11}^i + E' K_{11}^i) - (E_1 K_{12}^i + E' K_{12}^i)(E_1 K_{22}^i + E' K_{22}^i)^{-1}(E_1 K_{21}^i + E' K_{21}^i)]^{-1} \{ f^* - (E_1 K_{12}^i + E' K_{12}^i)(E_1 K_{22}^i + E' K_{22}^i)^{-1} f \} \\ \frac{\partial u^*}{\partial E_i} &= -[A(E_i, E')]^{-1} [K_{11}^i - K_{12}^i(E_1 K_{22}^i + E' K_{22}^i)^{-1}(E_1 K_{21}^i + E' K_{21}^i) + B(E_i, E') K_{22}^i (E_1 K_{22}^i + E' K_{22}^i)^{-1}(E_1 K_{21}^i + E' K_{21}^i) - B(E_i, E') K_{21}^i] \cdot [A(E_i, E')]^{-1} \{ f^* - B(E_i, E') f \} + [A(E_i, E')]^{-1} \{ -K_{12}^i (E_1 K_{22}^i + E' K_{22}^i)^{-1} f + B(E_i, E') K_{22}^i (E_1 K_{22}^i + E' K_{22}^i)^{-1} f \} \quad (1) \\ \text{ここに, } A(E_i, E') &= -[(E_1 K_{11}^i + E' K_{11}^i) - (E_1 K_{12}^i + E' K_{12}^i)(E_1 K_{22}^i + E' K_{22}^i)^{-1}(E_1 K_{21}^i + E' K_{21}^i)] \\ B(E_i, E') &= (E_1 K_{12}^i + E' K_{12}^i)(E_1 K_{22}^i + E' K_{22}^i)^{-1} \end{aligned}$$

かとして、両端の節点における観測変位感度を加えた値の大きさにより、とりあげたケースの中で効果的な計器配置を知ろうとするのである。各ケースにおいて、注目層について最も鋭敏と考えられる計器配置を図中に矢印で指摘した。

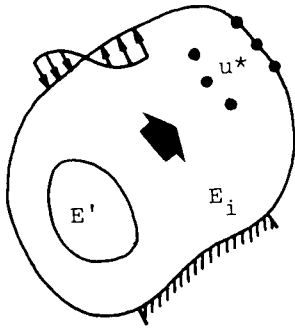


図-1 概念図

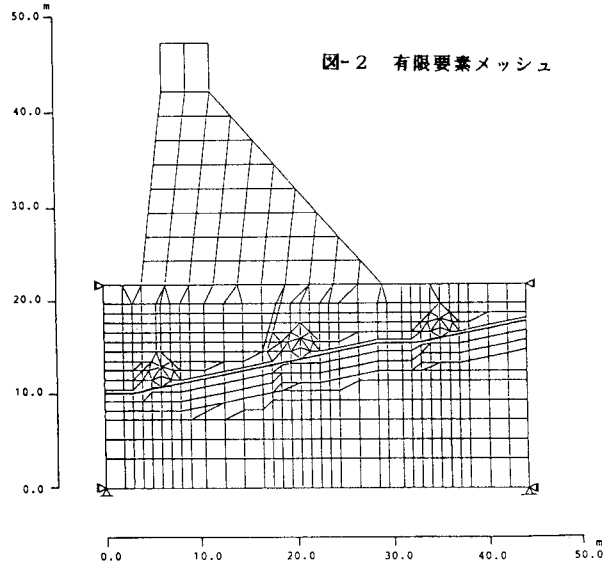


図-2 有限要素メッシュ

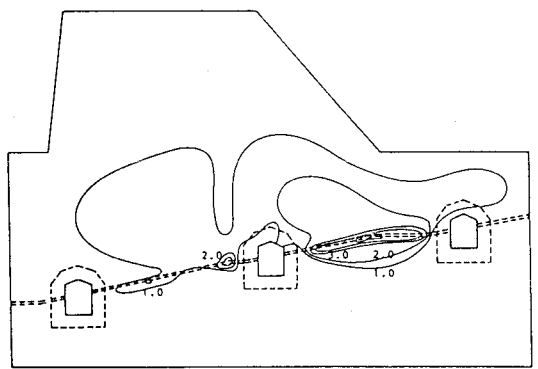
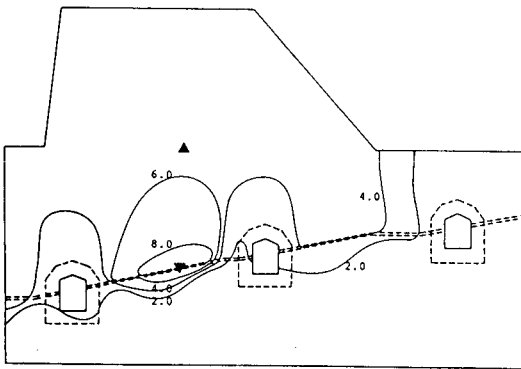


図-3 (a) 鉛直観測変位に対する節点感度分布 (単位: $10^{-10} \text{ m}^3/\text{tf}$) 図-3 (b) 水平観測変位に対する節点感度分布

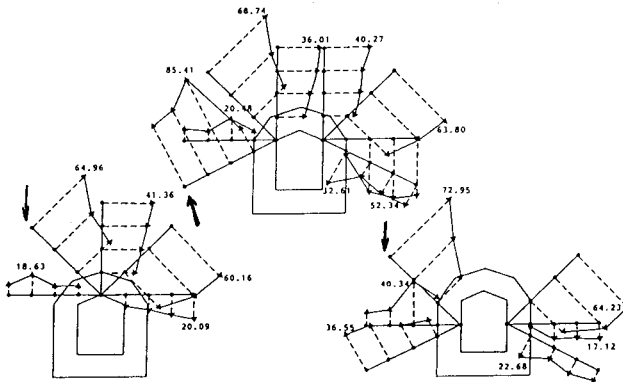


図-4 中間ダウエルにおける観測位置と節点感度和 ($\times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{tf}$)

☆参考文献: 1) Cividini, A., G. Maier and A. Nappi: Parameter estimation of a static geotechnical model using a Bayes' approach, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 20, No. 5, pp. 215-226, 1983; 2) 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最適観測節点配置, 第22回土質工学研究発表会講演概要集, 1987.