

## VI-195

## カルマン・フィルタを用いた締切時の変位量の予測について

大都工業(株) 正会員 ○ 蛭川 愛志

法政大学工学部 正会員 西谷 隆亘

## 1. はじめに

近年、都市部での山留工事や仮締切工事を行う場合に山留壁の変位や切梁の軸力等の計測を施工の一環としている施工現場が多く見られる。計測目的としては、下に示す項目に大別できると考える。

- ① 近接施工で掘削に伴う周辺構造物の変形を、未然に防止するための安全管理対策。
- ② 仮設壁を本体構造の一部として扱う場合の、残留応力の把握。
- ③ 現在の設計基準の枠を越える構造物を築造する場合の設計資料収集。
- ④ 今後、設計の基礎資料として真のパラメータを把握する事(逆解析問題)。

等がある。今回の報告では、山留壁の計算変位を用いて変位の推定・予測を検討する。

## 2. 計算モデル

山留壁および仮締切壁の計算モデルは、弾性床上の梁理論を基本式として求める。

$$EI \cdot \frac{d^4 y}{dx^4} = p \cdot x + q \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$EI \cdot \frac{d^4 y}{dx^4} + K \cdot y = p \cdot x + q \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに、(1)式は塑性域部分で(2)式は弾性域を表す。

(1)式は変位量  $y$  に関して  $x$  の多項式で近似され、(2)式の一般解は、非線形な形の(3)式になる。

$$y = e^{\beta x} \{ C1 \cdot \cos(\beta \cdot x) + C2 \cdot \sin(\beta \cdot x) \} + e^{-\beta x} \{ C3 \cdot \cos(\beta \cdot x) + C4 \cdot \sin(\beta \cdot x) \} + \frac{p \cdot x + q}{K \cdot D} \quad \dots \dots \dots (3)$$

## 3. カルマン・フィルタへの定式化

カルマン・フィルタは状態方程式と観測方程式で構成され、(3)式を観測方程式とする方法もあるが、非線形な型になり、計算手順が複雑になる。ここでの計算方法は、線形性という事に重点を置き、(2)式を変形し、 $y$  に関してのシステムを(4)式に示す。

$$y = - \frac{EI \cdot d^4 y}{K \cdot dx^4} + \frac{p \cdot x}{K} + \frac{q}{K} \quad (K \neq 0) \quad \dots \dots \dots (4)$$

## (4)式の線形離散型カルマン・フィルタへの定式化

$$\text{状態方程式} \quad \mathbf{X}_{(i+1)} = \mathbf{X}_{(i)} + \mathbf{v}_{(i)} \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{観測方程式} \quad \mathbf{Y}_{(i)} = \mathbf{D}_{(i)} \cdot \mathbf{X}_{(i)} + \mathbf{w}_{(i)} \quad \dots \dots \dots (6)$$

状態量ベクトルと観測量ベクトル

$$\mathbf{X}(i) = (EI/K, \quad p/K, \quad q/K)^T$$

$$\mathbf{Y}(i) = (y, \quad dy/dx, \quad \int (y) dx)^T \quad \dots \dots \dots (7)$$

観測方程式には  $y$  が入力され、システムが不安定な場合が想定されるので補助方程式として(4)式を  $x$  で微分したものと  $x$  で積分した式を加える。

## 4. 適用例

本検討では、仮設と本体構造を兼ねた鋼管矢板井筒基礎工法の掘削時を例に、鋼管矢板変位の推定および予測を試みた。解析事例としては当社施工の博多・香椎大橋のP9橋脚にした。使用鋼管矢板は、 $\Phi 1,000 \text{ mm}$  : 厚さ  $t=16 \text{ mm}$  : 長さ  $L=20.10 \text{ m}$  で橋軸方向幅が  $32 \text{ m}$  で直角方向幅が  $9.8 \text{ m}$  である。

## 5. 解析結果および考察

最終掘削完了時の締切状態を図-1に示す。矢板変位量に対しての推定値は、深度方向いずれの場所においても精度よく計算されている。予測値については変位が増加傾向にある場合は比較的よく一致するが、変位が減少する場合に大きめに計算される。変位量に対する推定値および予測値の関係を図-2に示す。状態量については、物理的な意味が曖昧になっているが、変位量の制御という面からみると相互に変動している事が、図-3、図-4から判断できる。パラメータの推定を行う場合には、この他に境界条件および観測データの種類を増す必要があると考える。

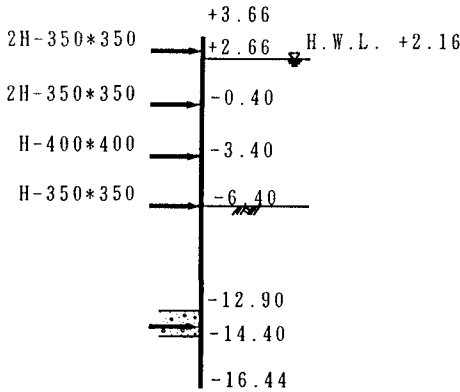


図-1 締切モデル

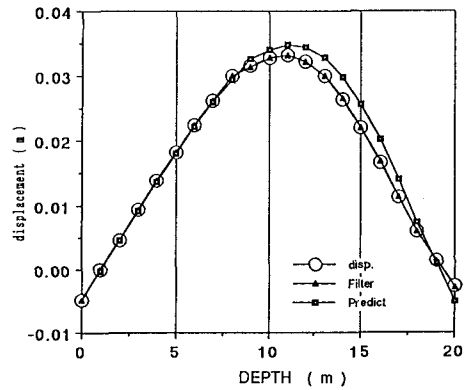


図-2 深度方向の変位量の推定・予測変位量の関係

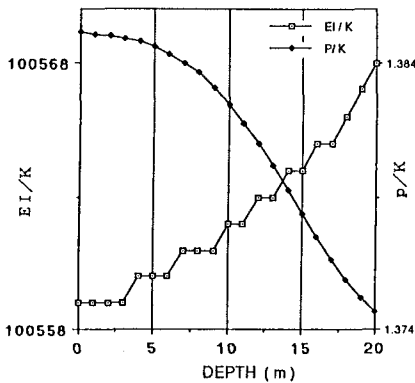


図-3  $EI/K-p/K$ の関係

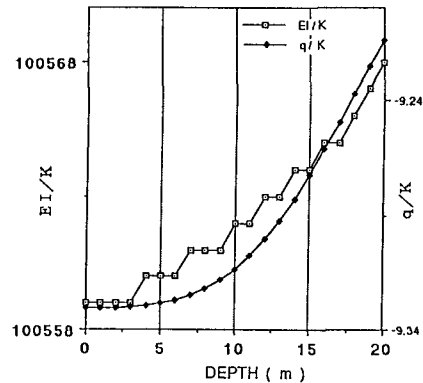


図-4  $EI/K-q/K$ の関係

## 6. おわりに

カルマン・フィルタの利点は、データのシーケンシャル処理と状態量および観測量を任意に選択でき、計算が短時間で済む事にある。壁の変位を予測し山留壁の事故を未然に防止する事は、山留壁を施工の面から制御することと同等の問題と考える。パラメータ同定（逆解析）問題の解決は、土質定数の信頼性の問題と表裏関係にあり、システムの問題にもおよぶので今後の課題となる。現状レベルでは、最適なデータのフィードバック適応制御と施工管理方法の関連を確立していきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 西谷：カルマン・フィルタと最小自乗法，法政大学工学部研究集報（19号），pp. 94～109，1983
- 2) 西谷：非線形カルマン・フィルタとニュートン・ラプソン法，法大計算センター報告，pp. 87～93，1989
- 3) 星谷・斉藤：建設技術者のためのデータ解析と応用，鹿島出版会，pp. 141～179，1991