

有限層厚地盤における鉛直変位影響係数の精度改善の試み

正会員 ○渡辺 和博*1
正会員 土屋 勉*2

2. 構造 - 4. 基礎構造 - o. その他

有限層厚地盤, 弾性体地盤, 変位影響係数, Mindlin 解, 近似解法

1. はじめに

パイルド・ラフト基礎は, 地盤を介して杭部分とラフト部分の挙動が相互に影響し合う現象(相互作用)を有することが最大の特徴であり, 基礎全体の変形増大や支持力低下を引き起こすのが一般的である. このような相互作用を評価するのに, Mindlin 解¹⁾を使用する解析法が数多く開発されているが, Mindlin 解はあくまでも地盤を均質な半無限弾性体と仮定した場合の解であることから, 現実の複雑な地盤への適用には限界があることが指摘³⁾されている.

本報告では, 表層地盤の下端が基盤(地盤剛性が無限大)であるような有限層厚地盤を対象として, 鉛直変位影響係数の精度改善を目的とし, Mindlin 解を拡張する方法について検討する.

2. 対象とする地盤モデル

図1のように有限層厚の弾性体地盤に鉛直集中荷重が作用した場合を扱う. 座標系は載荷点直上の地表面を原点とした直交座標系を用いた.

3. 既存の手法^{1) 2)}

Mindlin 解を用いて有限層厚地盤の変位影響係数を計算する既存の方法では, Steinbrenner 方式と鏡像原理法が知られている.

3.1. Steinbrenner 方式

Steinbrenner 方式は, 基盤層の異質性を無視して有限層厚区間の圧縮量を算定するもので, 変位影響係数 I_{ste} は次のように表される(図2, (1)式).

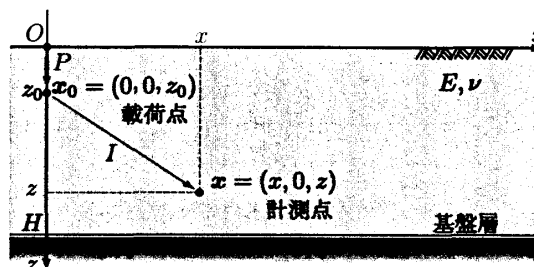


図1 対象とする地盤モデル

$$I_{ste} = \frac{EH}{P} \int_z^H \varepsilon dz \tag{1}$$

$$= I_0 - I_1$$

E : 地盤の弾性率 ($ML^{-1}T^{-2}$), P : 荷重 (MLT^{-2}),
 H : 基盤層深さ (L), ε : 鉛直歪み度, I_n : Mindlin の変位影響係数

Steinbrenner 方式は基盤層が存在しても, 応力球根は変わらないと仮定している. しかし, 実際には基盤層が存在すると, 特に基盤層近傍の応力が増加するため, Steinbrenner 方式は変位影響係数を過小に評価する傾向がある.

3.2. 鏡像原理法

鏡像原理法は, Steinbrenner 方式が変位影響係数を過小評価するという問題を解消するために, 半無限地盤において基盤層深さより下に生じる応力が基盤層によって反射されるという考え方を導入したもので, 下式のようなになる(図3, (2)式).

$$I_{mir} = \frac{EH}{P} \left(\int_z^H \varepsilon dz + \int_H^{2H-z} \varepsilon dz \right) \tag{2}$$

$$= I_0 - I_2$$

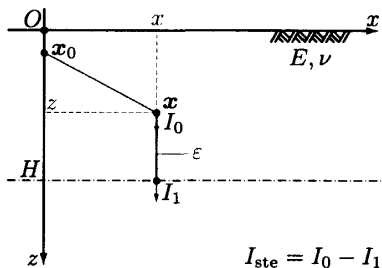


図2 Steinbrenner 方式

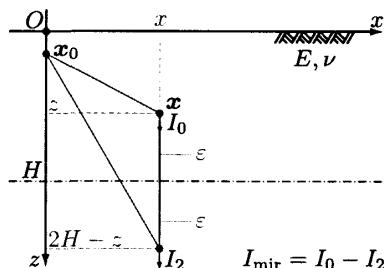


図3 鏡像原理法

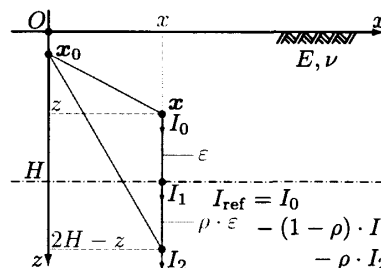


図4 反射率法

An improvement of influence factor for vertical displacement for finite layer depth.

WATANABE Kazuhiro et al.

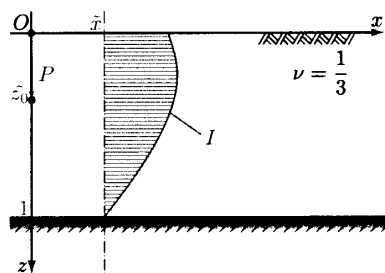


図5 変位影響係数の計算位置

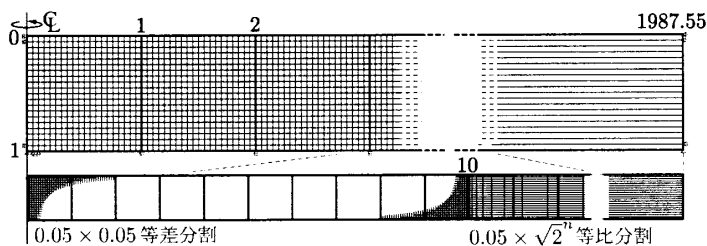


図6 FEMの要素分割

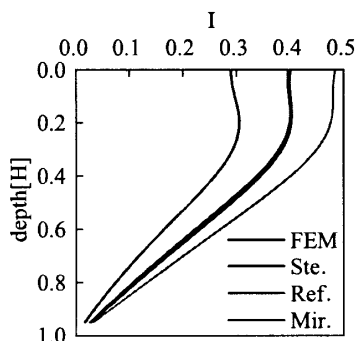


図7 $z_0 = 0.0, \bar{x} = 0.4$

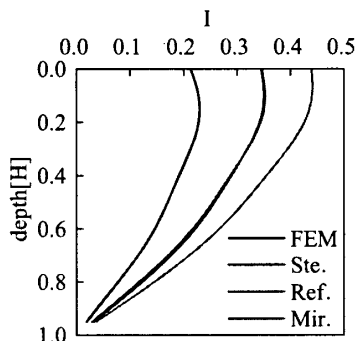


図8 $z_0 = 0.4, \bar{x} = 0.4$

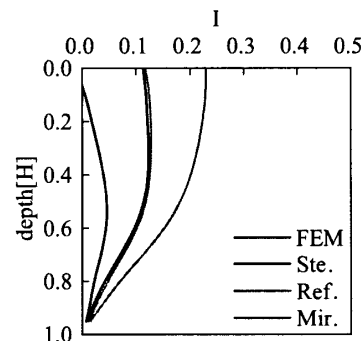


図9 $z_0 = 0.8, \bar{x} = 0.4$

鏡像原理法は、Steinbrenner 方式とは逆に変位を過大に評価する傾向が強いことが、指摘³⁾されている。

4. 精度改善の試み

本報では、鏡像原理法における基盤層の反射を調節する係数として、反射率 ρ の導入を試みる。この方法を、本報では反射率法と呼ぶことにする。

4.1. 概念

反射率法では変位影響係数を以下のように計算する(図4, (3)式)。

$$I_{\text{ref}} = \frac{EH}{P} \left(\int_z^H \varepsilon dz + \rho \cdot \int_H^{2H-z} \varepsilon dz \right) \quad (3)$$

$$= I_0 - (1 - \rho) \cdot I_1 - \rho \cdot I_2$$

(3)式からわかるように、反射率法は I_{ste} と I_{mir} を $I_{\text{ste}} : I_{\text{mir}} = 1 - \rho : \rho$ の比で重ね合わせたものである。

4.2. 反射率 ρ

反射率 ρ は、これが深さ H に対する荷重点 x_0 と計測点 x の水平距離 \bar{x} の一次式で表せると仮定して、FEM 解との比較から最小自乗法により、係数を以下のように決定した。

$$\rho(\bar{x}, \bar{z}_0, \nu) = (-0.696\bar{z}_0^2 - 0.171\bar{z}_0 - 0.335)\bar{x} + 0.274\bar{z}_0 + 0.933\nu + 0.403 \quad (4)$$

$\bar{x} = x/H, \bar{z}_0 = z_0/H, \nu$: ポアソン比

5. 結果と考察

図5のように、荷重点から水平に \bar{x} 離れた位置の変位影響係数分布を、Steinbrenner 方式 (Ste.)、鏡像原理法 (Mir.)、本報の反射率法 (Ref.) および FEM (図6) にて計算した結果を図7-図9に示す。反射率法は FEM 解とよく一致し、既存の近似手法と比べ精度が大きく向上している。

反射率法は Steinbrenner 方式と鏡像原理法の簡単な拡張であり、これらを用いた既存の計算プロセスを反射率法で置き換えることで、計算精度の向上に直接寄与できるものとする。

6. おわりに

本報では、Steinbrenner 方式と鏡像原理法を適切な重み ρ を用いて重ね合わせることで、FEM 解により一致を示す計算が可能であることを示した。ただし、簡易計算法としては鏡像原理法と比べて複雑過ぎるきらいもある。今後 ρ をより効率的かつ簡単に決定することができれば、実用性が高まるものとする。

【参考文献】

- 1) 木村孟: 土の応力伝播, 鹿島出版会, 1978
- 2) H.G.Polus, E.H.Davis: Pile Foundation Analysis and Design, John Wilkey & Sons, 1978
- 3) 土屋勉: 併用(パイルド・ラフト)基礎における相互作用, 基礎工, Vol.37, No.10 pp.21-25, 2009.10

*1 室蘭工業大学 大学院 博士前期課程 Graduate school, Muroran-IT.

*2 室蘭工業大学 大学院 教授 工博 Professor, Muroran-IT, D.Eng.