

## 2 方向偏心作用における剛体基礎の接地圧分布簡便計算法の提案

立命館大学客員教授 フェロー会員 ○植田 謙三  
立命館大学特命教授 フェロー会員 深川 良一

1. 序 長方形の組み合わせからなる基礎底面一基の基礎伏せ構造を念頭に置き、2方向の偏心作用を受け、基礎の一部が浮き上がる場合の簡便かつ合理的な接地圧分布推定法を提案する。

2. 背景 構築物に地震動が作用する場合、任意方向慣性力を水平面内直交2方向の慣性作用(分力)として表現する。これまで2方向慣性力が同時に最大値をとる可能性が低いということで方向別の単独の作用として扱われてきたが、2方向の慣性力が同時に作用する場合を考慮の方がよりリアルである。

ここでは2方向の偏心作用が働く場合の接地圧分布を考える。

### 3. 現行の接地圧分布推定法の課題

式(1)は、1方向毎の偏心作用に対応する接地圧分布を推定する場合の基礎式である。式(2)は図-1右に示す直交2方向の核をはずれて鉛直力が作用する場合の最大接地圧を与える合成式である。

$$\sigma_{\max(\min)} = N/A \pm M/Z \quad (1)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{L \cdot b} \left( 1 + \frac{6e_L}{L} + \frac{6e_b}{b} \right) \quad (2)$$

接地圧分布を求める問題が往々にして面倒になるのは、図-1右に示すように接地圧のうち  $\sigma_{\min}$  が負圧になる場合である。実際には負圧は発生せず、基礎は浮き上がる事態となる。それを計算に反映させようとすると、式の上で負となった接地圧を0として全体の接地圧を計算し直さなければならない。さらに、基礎底面形状が複雑であると接地圧分布がその影響を受けるために計算は益々複雑になる。

筆者らは偏心作用が1方向のみである場合、上で述べた基礎底面が浮き上がる場合に対しては、その合理的解決法を示したり、偏心作用が2方向にわたる場合の合理的推定法の提案はこれまでなされていなかった。ここではその解決法の提案を試みる。

### 4. 2方向偏心作用の場合の接地圧分布推定法

1方向のみの偏心作用を検討する場合は、鉛直力の作用位置によって変動する中立軸に着目することによって最終解を見出したが、この解決法は基本的に直交2方向偏心軸にも適用できる。

Winkler モデル 基礎の浮上り 修正重ね合せ理論  
中立軸の位置 中空多角形底盤 3次元接地圧分布

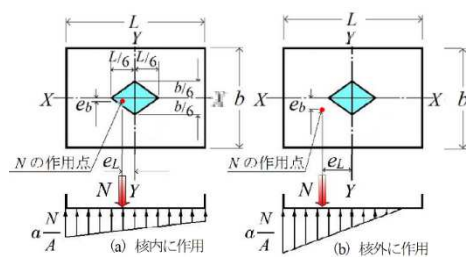
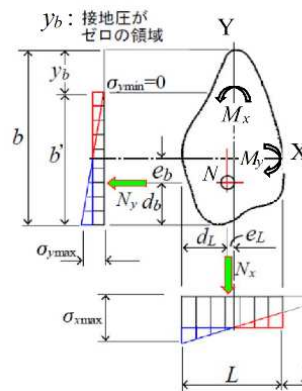


図-1 2方向偏心軸に作用する集中荷重のふるまい(日本建築学会:建築基礎構造設計指針, 1988)



凡例

$N$ : 基礎伏せ底面1基に作用する全鉛直力  
 $d_L, d_b (e_L, e_b)$ : 圧縮縁端または重心から軸毎にカウントした鉛直力  $N$  作用点までの距離  
 $M_x, M_y$ : それぞれの軸に発現する偏心荷重毎の曲げモーメント

$y_L, y_b$ : 圧縮の反対縁端からの中立軸までの距離

$\sigma_{x \max}, \sigma_{y \max}, \sigma_{x \min}, \sigma_{y \min}$ :  $X \cdot Y$ 軸における圧縮端, 反対縁端の最大・最小接地圧

(a) 主軸を外れて作用する鉛直力  $N$

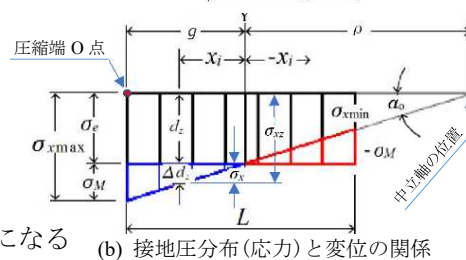


図-2 接地圧分布の解析例

$\sigma_e$ : 平均接地圧 ( $=N/A=d_e/1$ )

$\sigma_M (-\sigma_M)$ : 曲げモーメントの影響により発現する圧縮端および反対縁端の接地圧

$g, \rho$ :  $O$ 点～重心, 重心～中立軸までの距離

$\alpha_o, x_i$ : 回転角, 重心軸  $Y$  から着目点までの距離

$d_z (\Delta d_z)$ : 元の長さ (ひずみ)

$\sigma_x (\sigma_{xz})$ : 着目点の接地圧増分

#### 4.1 2方向偏心軸をもつ基礎の接地圧分布解析例

図-2(a)に示す充実底面の重心位置を外れて鉛直力が作用する場合を対象とし、 $X$ 軸に発現する応答値と変位との関係を図-2(b)に拡大して提案手法を説明する。

#### 4.2 応力と変形の定式化

図-2(b)  $Y$ 軸から  $x_i$ 離れた位置の変位に関しては、三角形の相似の関係により式(3)が成立する。 $\sigma_x$ は応力～ひずみ関係式(4)で表現できる。他方、外力  $M_x$ と応答値  $\sigma_x$ の関係から式(5)が成立する。式(4)を式(5)に代入すると式(6)を得る。式(6)において左辺第2項は底面の二次モーメント  $I$ である。式(6)を  $I$ で表すと式(7)のように整理できる。式(5)を式(8)のように変形し式(7)右辺と等しいとすると式(9)を得る。式(9)は  $M_x$ の影響により、 $X$ 軸の任意点  $x_i$ に発現する接地圧  $\sigma_x$ を示す。したがって、式(9)に  $\sigma_e (=N/A)$ を加えると着目交点の接地圧  $\sigma_{xz}$

令和5年次学術講演会 〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1 立命館大学理工学研究科 tel 077-561-2625

が式(10)のように求まる.

$$\frac{d_z}{\rho} = \frac{\Delta d_z}{x_i}, \quad \frac{\Delta d_z}{d_z} = \frac{x_i}{\rho} \quad (3)$$

一方, X 軸から  $y_i$  だけ離れた

$$\sigma_x = E \cdot \varepsilon = E/\rho \cdot x_i \quad (4)$$

た位置の変位も式(3)と同様に導出できる. この場合も式(4)

$$\int \sigma_x \cdot y \, dA = M_x \quad (5)$$

～式(10)のように誘導できる

$$E/\rho \int x_i^2 \, dA = M_x \quad (6)$$

から, 結局, 式(11)が成立する.

$$\frac{1}{\rho} = \phi = \frac{M_x}{EI} \quad (7)$$

これらを重ね合わせると提案式(12)が成立する.

$$\sigma_i = \sigma_{x_i} \pm \sigma_{y_i} - \sigma_e \quad (12)$$

#### 4.3 中空多角形底盤の解析例

中空多角形底面を木杭基礎

構造にとり, 最小限度の入力

パラメータ(表-1)上段を用いて,

偏心軸毎のつり合い条件を

満足する中立軸の位置を抽出<sup>1)</sup>,

対応2次元接地圧を計算

(表-1 下段, 図-3)し. 結果を

式(12)に代入, 3次元接地圧

分布を表-2に示した.

式(12)に代入, 3次元接地圧

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

分布を表-2に示した.

$$\frac{d_z}{\rho} = \frac{\Delta d_z}{x_i}, \quad \frac{\Delta d_z}{d_z} = \frac{x_i}{\rho} \quad (3)$$

$$\sigma_x = E \cdot \varepsilon = E/\rho \cdot x_i \quad (4)$$

$$\int \sigma_x \cdot y \, dA = M_x \quad (5)$$

$$E/\rho \int x_i^2 \, dA = M_x \quad (6)$$

$$\frac{1}{\rho} = \phi = \frac{M_x}{EI} \quad (7)$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\sigma x}{E \cdot y} \quad (8)$$

$$\sigma_x = \frac{M}{I} x_i \quad (9)$$

$$\sigma_{xz} = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{I_y} x_i \quad (10)$$

$$\sigma_{yz} = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{I_x} y_i \quad (11)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_c \cdot L}{\sigma_D + \sigma_c} \quad (13)$$

$$\beta = \frac{\sigma_c \cdot b}{\sigma_B + \sigma_c} \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_c \cdot L}{\sigma_D + \sigma_c} \quad (13)$$

$$\beta = \frac{\sigma_c \cdot b}{\sigma_B + \sigma_c} \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_c \cdot L}{\sigma_D + \sigma_c} \quad (13)$$

$$\beta = \frac{\sigma_c \cdot b}{\sigma_B + \sigma_c} \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_c \cdot L}{\sigma_D + \sigma_c} \quad (13)$$

$$\beta = \frac{\sigma_c \cdot b}{\sigma_B + \sigma_c} \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_c \cdot L}{\sigma_D + \sigma_c} \quad (13)$$

$$\beta = \frac{\sigma_c \cdot b}{\sigma_B + \sigma_c} \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_c \cdot L}{\sigma_D + \sigma_c} \quad (13)$$

$$\beta = \frac{\sigma_c \cdot b}{\sigma_B + \sigma_c} \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_c \cdot L}{\sigma_D + \sigma_c} \quad (13)$$

$$\beta = \frac{\sigma_c \cdot b}{\sigma_B + \sigma_c} \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_c \cdot L}{\sigma_D + \sigma_c} \quad (13)$$

$$\beta = \frac{\sigma_c \cdot b}{\sigma_B + \sigma_c} \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_c \cdot L}{\sigma_D + \sigma_c} \quad (13)$$

$$\beta = \frac{\sigma_c \cdot b}{\sigma_B + \sigma_c} \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_c \cdot L}{\sigma_D + \sigma_c} \quad (13)$$

$$\beta = \frac{\sigma_c \cdot b}{\sigma_B + \sigma_c} \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_c \cdot L}{\sigma_D + \sigma_c} \quad (13)$$

$$\beta = \frac{\sigma_c \cdot b}{\sigma_B + \sigma_c} \quad (14)$$

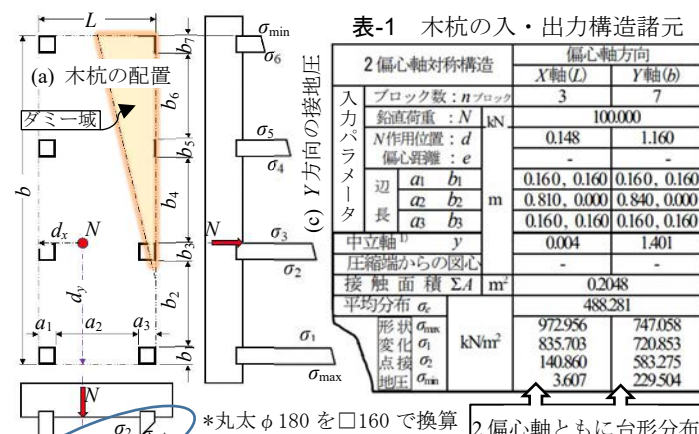


図-3 木杭の配置と解析モデル

表-2 三次元接地圧の初期値と収束結果

| 着目交点       | $\sigma_i = \sigma_{x_i} \pm \sigma_{y_i} - \sigma_e$ kN/m <sup>2</sup> | 収束値                      |
|------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| $\sigma_A$ | $972.956+747.058-488.281 = 1231.73$                                     | 1379.06                  |
| $\sigma_B$ | $3.607+747.058-488.281 = 262.38$                                        | 194.94                   |
| $\sigma$   | $3.607+229.504-488.281 = -255.17$                                       | -585.77                  |
| $\sigma_D$ | $972.956+229.504-488.281 = 714.18$                                      | 598.35                   |
| $\alpha$   | 初期値 $\alpha=0.0m \rightarrow \sigma_a=-255.1$                           | 収束 0.56m $\sigma_a=0.00$ |
| $\beta$    | 初期値 $\beta=0.0m \rightarrow \sigma_b=-255.1$                            | 収束 2.37m $\sigma_b=0.01$ |

表-3 (修正重ね合せ) 木杭構造方法の諸元

| 設計諸元                    | 修正重ね合せ初期値                  | 収束値データ                   |
|-------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 圧縮域底面積 m <sup>2</sup>   | $8 \times 0.16^2 = 0.2048$ | 0.1426                   |
| 浮上り(ダミー)域               | 0.0                        | 0.0622                   |
| X圧縮端~Gx                 | 0.565                      | 0.350                    |
| Y圧縮端~Gy                 | 1.580                      | 1.259                    |
| 圧縮域の回転角度(慣性力作用方向)       | $\theta = +0.000^\circ$    | $\theta = +11.618^\circ$ |
| X軸 I max m <sup>4</sup> | 0.25644 m <sup>4</sup>     | 0.18148 m <sup>4</sup>   |
| Y軸 I min m <sup>4</sup> | 0.04861 m <sup>4</sup>     | 0.02025 m <sup>4</sup>   |



図-4 荷重条件における中立軸の移動状況

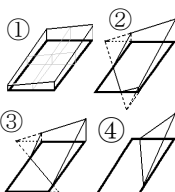


図-5 荷重条件により変化する中立軸の移動状況

#### (1) 圧縮の反対縁端の接地圧 $\sigma_c$ の考察

①  $\sigma_c$  が正值となる場合: 基礎の全底面が圧縮状態で地盤と接触しているものと判断する.

②  $\sigma_c$  が正值とならない場合: 結局, 負値域を発現し, 許容されない場合は計算要素の変更または次の対応となる. すなわち, 地盤と底面との間は何らかの工夫のない限り引張力は作用しないから, 底面は地盤から離散して浮き上がる状態にあるものと判断する. この浮き上がる場合の手順を示した点が, 本報告のオリジナルな点である. 以下, その手順を示す.

#### (2) 修正重ね合せ理論に基づく $\sigma_{\min}$ が負になる場合の簡便な対応

表-2 に示す負値域  $\sigma_c$  がなくなり, 圧縮力のみでつり合い条件を見つけ出すには, まず, 図-4 に示すように C 点から D, B 線上に式(13), (14)で算出する中立軸の位置を決定し計算すると  $\alpha=0.297$  m,  $\beta=1.558$  m が得られる. 次に, 式(12)を適用し仮定する中立軸位置での接地圧を求めることとなり, 結果で示すと  $\sigma_a=-209.5$ ,  $\sigma_b=-145.6$  kN/m<sup>2</sup> となる. これは C 点  $\sigma_a=\sigma_b=-255.17$  kN/m<sup>2</sup> の初期値と比較してゼロに収束する傾向を示す.

つまり, 線分両端の接地圧から式(13), (14)を適用した微増減( $\alpha+\Delta\alpha$ ,  $\beta+\Delta\beta$ ) 距離での中立軸の接地圧が, ゼロに限りなく収束してゆく繰返し計算を実行する.

なお, 経験では数回の算定で実用的な接地圧が求められた. また図-3 木杭配置図平面に杭頭応答値がゼロ

となる浮き上がりダミー域を示す.

さらに, 図-5 では浮上る充実底面

の一例を示したが, 浮き上がりを対象とする中空多角形底盤の解析事例は, 他には見あたらない.

#### 5. 結論 得られた主要な知見をまとめる.

(1) 長方形の組み合わせからなる剛体基礎の接地圧分布や浮上りの有無を, 提案シミュレーションにより簡便かつ速やかに実施できることを明らかにした.

(2) 偏心軸毎の接地圧分布が台形分布を示しても, 合成すると負値域(引張力)を発現する場合があることを示した.

(3) 以上により, 構築物の安全性の確保を最重点とする設計現場にとって有用な提案が示せたものと考えている.

#### 参考・引用文献

- 植田謙三, 深川良一: 中心軸に関して対称形の剛体基礎底盤の接地圧分布簡便計算法, 土木学会論文集, No.736/III- 63, pp.51-65, 2003.