

# 任意平面形状における直接基礎の沈下量算定方法

板橋 靖\* 古垣内 靖\*\* 沼上 清\*

**要約:** 直接基礎の弾性即時沈下量の簡易算定法として、Steinbrenner の近似解がある。実務設計においては、成層地盤における重ね合わせ理論や長方形分割法を用いることで多様な地盤構成や基礎形状の沈下量算定に利用されており、上部構造の剛性を考慮した解法やパイルド・ラフトの相互作用解析に用いられるケースも増えている。ただし、何れの場合でも、Steinbrenner の近似解は、矩形分布荷重を対象としているため、矩形の集合体で表現しきれない基礎形状には対応できないという課題がある。本報では、任意の三角形に等分布荷重が作用した場合の、任意点における沈下量の算定方法を提案し、FEM 解析と比較して提案した計算方法の妥当性を検証した。

**キーワード:** 浅い基礎, 沈下, 弾性

- 目次:**
- 1. はじめに
  - 2. 算定方法
  - 3. 本計算方法の検証
  - 4. まとめ

## 1. はじめに

直接基礎の即時沈下量の算定法として Steinbrenner の近似解がある。この近似解は、有限厚さの弾性体に長方形等分布荷重が作用した場合の荷重面隅部沈下量を示す解である。実務設計においては、成層地盤における重ね合わせ理論や長方形分割法を用いることで多様な地盤構成や基礎形状の沈下量算定<sup>1)</sup>に利用されており、上部構造の剛性を考慮した解法<sup>2),3)</sup>やパイルド・ラフトの相互作用解析に用いられるケースも増えている。ただし、何れの場合でも Steinbrenner の近似解は、矩形等分布荷重を対象としているため、矩形の集合で表現しきれない基礎形状には対応できないという課題もある。

近年、計画地の土地形状や構造物のデザイン性などから矩形の集合体で表現不可能な基礎形状が多くなり、任意形状を有する直接基礎の沈下量算定法が求められている。本報では、直角三角形等分布荷重の頂点沈下解に基づく任意形状基礎の沈下量算定方法を提案する。

## 2. 算定方法

Steinbrenner の近似解が地表面分布荷重による沈下解であるのに対し、秋野は、Mindlin の第一解を積分することにより、地表面から任意の深さに作用する等分布荷重による沈下解を誘導している<sup>2)</sup>。この解は、図1に示すとおり、矩形等分布荷重を対角線で分割した2つの直角三角形等分布荷重の和として解を得ている。直角三角

形の頂点（直角でない点）の沈下量を(1)式に示す。ここに、 $\theta$ は $\angle OAB$ を直角とする三角形OABに作用する分布荷重におけるO点の沈下量、 $G$ は地盤のせん断弾性係数、 $\nu$ はポアソン比、 $D$ は等分布荷重荷面深度、 $Z$ は沈下量算定点の深度、 $M$ はA-O間の距離、 $N$ はB-O間の距離を示す。

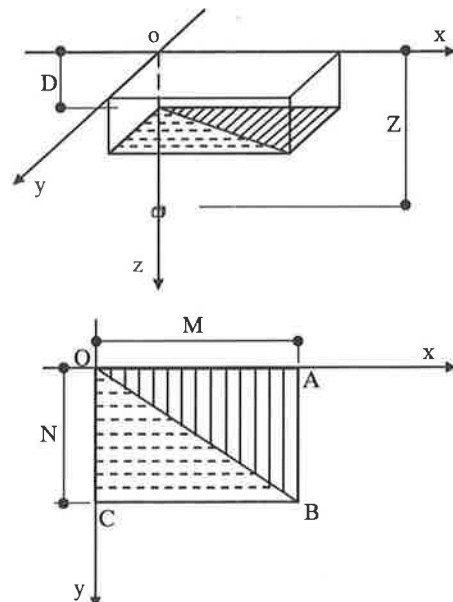


図1 矩形分布荷重のモデル図

$${}_O S'_{OAB} = \frac{q}{16\pi(1-\nu)G} \times (F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6) \quad (1)$$

ここに、

$$F_1 = -2(1-2\nu)\{Z-D+(1-2\nu)(Z+D)\} \times \tan^{-1} \frac{N}{M}$$

$$F_2 = 2(1-2\nu)(Z-D) \sin^{-1} \frac{N(Z-D)}{g_{MN}g_{MZ1}}$$

$$F_3 = \frac{(3-4\nu)M}{2} \log \frac{g_{MNZ1}+N}{g_{MNZ1}-N}$$

$$F_4 = \frac{(5-12\nu+8\nu^2)M}{2} \log \frac{g_{MNZ2}+N}{g_{MNZ2}-N}$$

$$F_5 = 2(1-2\nu)^2(Z+D) \sin^{-1} \frac{N(Z+D)}{g_{MN}g_{MZ2}}$$

$$F_6 = \frac{2MNDZ}{g_{MZ2}^2 g_{MNZ2}}$$

$$g_{MN} = \sqrt{M^2 + N^2}$$

$$g_{MZ1} = \sqrt{M^2 + (Z-D)^2}$$

$$g_{MZ2} = \sqrt{M^2 + (Z+D)^2}$$

$$g_{MNZ1} = \sqrt{M^2 + N^2 + (Z-D)^2}$$

$$g_{MNZ2} = \sqrt{M^2 + N^2 + (Z+D)^2}$$

この沈下解(1)式は、以下の条件で成り立つ。

- a) 等分布荷重の形状が直角三角形であること
- b) 沈下量算定位置がこの三角形の頂点上であること

なお、(1)式は半無限弾性地盤を対象としているが、基盤面として仮定した深度における沈下量を同式より算出し、その差分をとることにより深さ方向に対する有限地盤の沈下量としている。

これに対し、三角形等分布荷重による任意点の沈下量は、この直角三角形等分布荷重による沈下解を平面上で加減することにより誘導できる。

等分布荷重が作用する三角形と沈下量算定点の位置関係を、図2に示す。沈下量算定点がエリア(I)にある場合とエリア(II)にある場合に分けて説明する。

沈下量算定点がエリア(I)にある場合の任意三角形に作用する等分布荷重による沈下量計算方法の模式図を、図3に示す。

三角形ABCに等分布荷重が作用した場合の、点Oの沈下量を ${}_O S_{ABC}$ とする(以降同様に、沈下量の記号は左添字を沈下量算定点、右添字を等分布荷重が作用する三角形とする)と、次式で表される。

$${}_O S_{ABC} = {}_O S_{OAB} + {}_O S_{OAC} - {}_O S_{OBC} \quad (2)$$

点Oから直線AB、直線BCおよび直線CAに向けて引いた法線と各直線との交点を、それぞれ点D、点Eおよび点Fとすると、 ${}_O S_{OAB}$ 、 ${}_O S_{OAC}$ 、 ${}_O S_{OBC}$ は直角三角形の等分布荷重による沈下量によって、次式の通り表される。

$${}_O S_{OAB} = {}_O S'_{ODA} - {}_O S'_{ODB} \quad (3)$$

$${}_O S_{OAC} = {}_O S'_{OFA} - {}_O S'_{OFC} \quad (4)$$

$${}_O S_{OBC} = {}_O S'_{OEB} + {}_O S'_{OEC} \quad (5)$$

(3)式~(5)式より、(2)式は次式で表される。

$$\begin{aligned} {}_O S_{ABC} = & ({}_O S'_{ODA} - {}_O S'_{ODB}) \\ & + ({}_O S'_{OFA} - {}_O S'_{OFC}) \\ & - ({}_O S'_{OEB} + {}_O S'_{OEC}) \end{aligned} \quad (6)$$

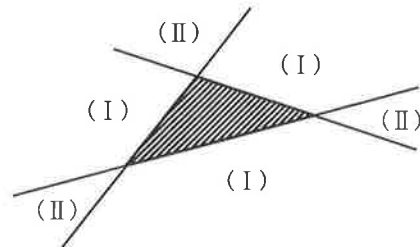


図2 等分布荷重が作用する三角形と沈下量算定点の位置関係

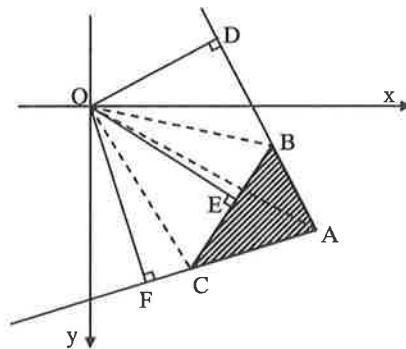


図3 沈下量算定点がエリア(I)にある場合

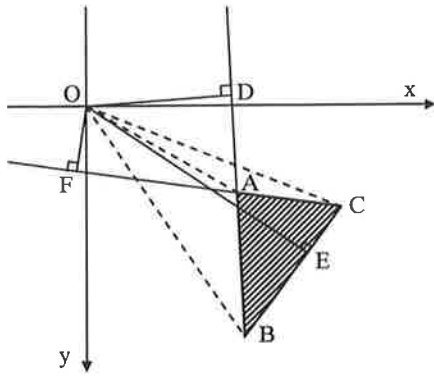


図4 沈下量算定点がエリア (II) にある場合

沈下量算定点がエリア (II) にある場合の任意三角形に作用する等分布荷重による沈下量計算方法の模式図を、図4に示す。

三角形 ABC に等分布荷重が作用した場合の、点 O の沈下量を  $oS_{ABC}$  とすると、次式で表される。

$$oS_{ABC} = oS_{OBC} - oS_{OAB} - oS_{OAC} \quad (7)$$

点 O から直線 AB、直線 BC および直線 CA に向けて引いた法線と各直線との交点を、それぞれ点 D、点 E および点 F とすると、 $oS_{OAB}$ 、 $oS_{OAC}$ 、 $oS_{OBC}$  は直角三角形の等分布荷重による沈下量によって、次式の通り表される。

$$oS_{OAB} = oS'_{ODB} - oS'_{ODA} \quad (8)$$

$$oS_{OAC} = oS'_{OFC} - oS'_{OFA} \quad (9)$$

$$oS_{OBC} = oS'_{OEB} + oS'_{OEC} \quad (10)$$

(8)式~(10)式より、(7)式は次式で表される。

$$oS_{ABC} = (oS'_{OEB} + oS'_{OEC}) - (oS'_{ODB} - oS'_{ODA}) - (oS'_{OFC} - oS'_{OFA}) \quad (11)$$

複雑な平面形状を有する直接基礎の場合には、全形状を三角形に分割し、それぞれの三角形に作用する等分布荷重による沈下量を求め、それらを加減することで任意点の沈下量を得ることができる。

### 3. 本計算方法の検証

本計算方法の検証を行う目的で、三次元 FEM 解析 (MIDAS/Gen Ver.6.6.0) との比較を行った。解析モデルを図5に示す。

載荷面は、矩形の集合体ではモデル化できない 45°

折れ曲がった形状とし、地表面に等分布荷重  $q=100(\text{kN}/\text{m}^2)$  を作用させる。地盤定数は、変形係数  $E_s=35000(\text{kN}/\text{m}^2)$ 、ポアソン比 0.15 とし、G.L.-30m を基盤層とする一層地盤とした。なお、本解析法は弾性地盤を対象としていることから、せん断弾性係数  $G$  は下式による。

$$G = \frac{E_s}{2(1+\nu)} \quad (12)$$

また、FEM 解析における境界条件は、G.L.-30m をピン支持とし、側面をフリーとした。

三次元 FEM 解析による沈下分布と本計算方法による沈下分布を地表面に着目して、図6 (a)および(b)にそれぞれ示す。

最大沈下量は本計算方法がやや小さめとなったが、沈下分布性状はほぼ同様の結果が得られ、本計算方法が FEM 解析とほぼ同等の結果が得られることが確かめられた。

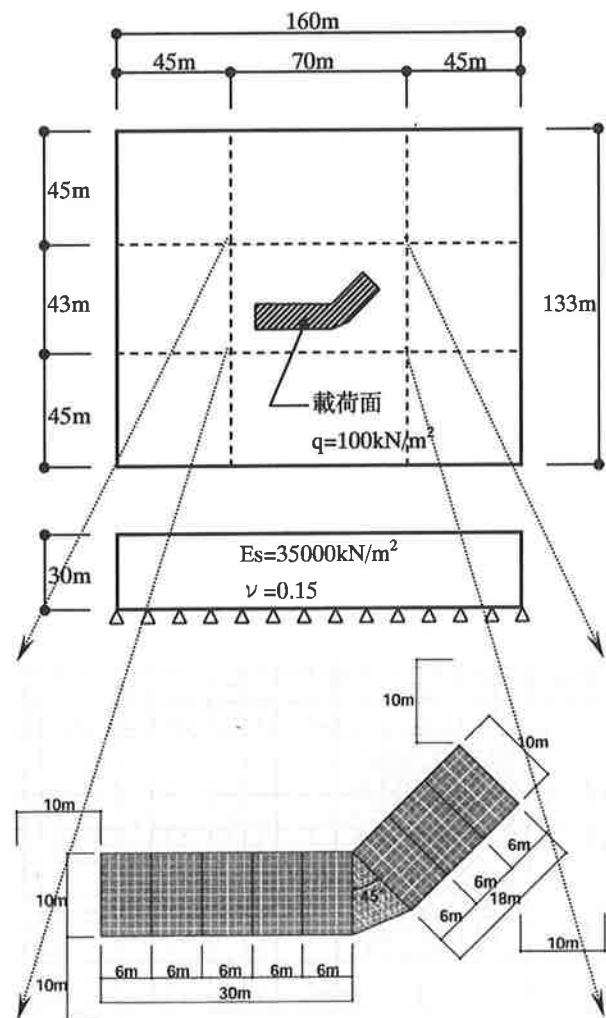
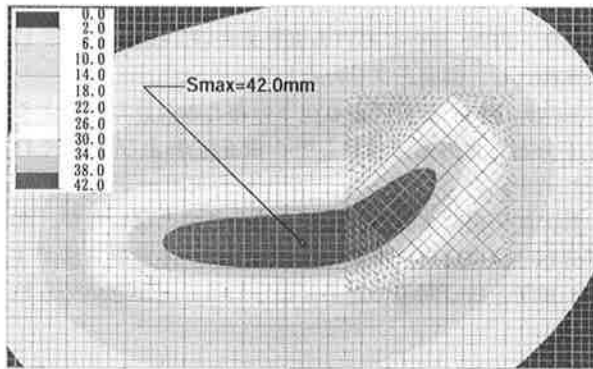


図5 解析モデル

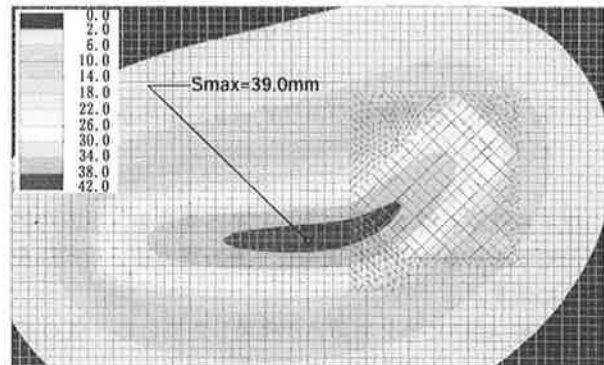
#### 4. まとめ

本報では、直角三角形等分布荷重の頂点沈下解を加減することで、任意平面形状の沈下量算定方法を提案し、検証した。この手法は、Mindlin の変位解だけではなく、応力解<sup>4)</sup>にも適用できるため、複雑な平面形状荷重における圧密沈下問題等にも拡張できる。また、基礎底版レベルの異なる場合や、基礎梁剛性の考慮<sup>3)</sup>並びにパイル

ド・ラフト基礎の沈下解析や水平荷重問題にも応用でき、成層地盤における多様な変形問題に適用することが可能である。



(a) 三次元 FEM 解析結果



(b) 本計算結果

図6 解析結果の比較

#### 謝辞

本計算方法を誘導するにあたり、助言を頂いた(株)レイディックコンサルタントの秋野矩之氏に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 建築基礎構造設計指針, pp123~156, 日本建築学会, 2001年改訂
- 2) 秋野矩之: 地盤の剛性評価と建物の沈下予測 - 建築物の即時沈下予測方法(その1) -, 日本建築学会構造系論文報告集, 第462号, pp111~120, 1990年6月
- 3) 古垣内靖・鈴木祐一: 底版レベルの異なる直接基礎の沈下量算定方法, 第30回土質工学会研究発表会 605, pp1605~1606, 1995年7月
- 4) 大崎順彦: 建築基礎構造, pp148~162, 技報堂出版, 1991年1月

## A METHOD TO CALCULATE THE SETTLEMENT OF THE SPREAD FOUNDATION IN FREE FORM

Y.Itabashi, Y.Furugaichi, and K.Numakami

A new calculation method has been developed which estimate immediate settlement of triangle-shaped spread foundation. The significant improvement of this method is a usability of triangle-shaped distributed load. A simple method known as an approximate solution of Steinbrenner is used only in a case of rectangular-shaped distributed load. The results of proposed method correspond with that of FEM analysis.