

盛土に伴う軟弱地盤のセン断変形

稲田倍穂* 赤石勝**
 ちよう張 けい恵 ぶん文***

1. まえがき

軟弱地盤上に盛土を行なった場合、盛土高が高くなり盛土荷重が増すにつれ盛土に接する地盤面は沈下し、盛土側方の地盤面は隆起するかあるいは沈下する。

この現象は、盛土荷重によって地盤内の土がセン断変形したり圧密変形するため生じるものであり、その変動の様目は、軟弱地盤の土質・層厚あるいは盛土速度などによって異なる。このような地盤変動量やその周辺地盤への影響範囲を事前に予測することは、盛土の設計・施工上きわめて大切なことであると思われる。そこで、この報告では、通常即時沈下と呼ばれる盛土に伴う軟弱地盤のセン断変形および周辺地盤への影響範囲を簡易な計算図表によって求める方法を提案したい。

近年有限要素法などの理論的解析法の発達によって、このような地盤の変動をかなり正確に推定できるようになってきたが、複雑な地層条件をどのように評価するかなど残された問題も多い。概略設計や現場などで手軽に利用できるという意味から、ここで提案するような簡便法もかなり有用と思われる。

2. 即時沈下計算法

2.1 従来の方法

スケンプトン・ビエラム (Skempton-Bjerrum) は、局部荷重を受ける粘土層の即時沈下量 ρ_i は、弾性論によって式で計算されるものとした¹⁾。

$$\rho_i = \frac{3}{4} \frac{q \cdot B}{E} I_p \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 q : 荷重強度、 B : 載荷幅、 I_p : 載荷重の形状・剛性による影響値、 E : 地盤の弾性係数。

(1)式は、半無限弾性体の表面沈下量を表わすものであるから、載荷幅が比較的広く、粘土層の厚さが薄い場合に生ずる誤差は、無視できない大きさとなるであろう。

持永・世良は名神高速道路などで軟弱地盤上に道路を建設した場合の実測データをもとに実用的な即時的沈下量 S_i の推定法を提案した²⁾。

$$S_i = \frac{1}{100} \cdot A \cdot H \cdot \gamma_t \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 H : 盛土の高さ (cm)、 γ_t : 盛土材の単位体積重量 (g/cm^3)、 A : 一軸圧縮試験で得られる E_{50} に比例する係数 (cm^3/g) である。そして現場実測データから A と E_{50} (kg/cm^2) の関係式として(3)式を得た。

$$A = 12.4 - 0.44 \bar{E}_{50} \dots\dots\dots(3)$$

ここで、 \bar{E}_{50} : 軟弱層の E_{50} の平均値

軟弱層厚が薄くても盛土幅が大きい場合、極端に大きな沈下量の得られるスケンプトンの方法に比べ実用的であるため設計計算にかなり広く用いられている。しかしこの方法も S_i が軟弱層厚、盛土載荷幅に無関係に示されており、適用は、名神高速道路などとはほぼ以た形状の盛土そして軟弱層厚の場合に限られると思われる。

三笠は、粘土の構造骨格は、フック (Hook) の法則に従う弾性体であり、ダイレイタンシーは生じないとして局部荷重を受ける粘土層のセン断変形による沈下 S_a は、(4)式で示した³⁾。

$$S_a = \frac{2}{3} \int_0^H \frac{1+\nu}{E} \left\{ \sigma_z - \frac{1}{2} (\sigma_x + \sigma_y) \right\} dz \dots\dots\dots(4)$$

ここに、 E , ν はそれぞれ粘土骨格のヤング率とポアソン比、 σ_x , σ_y , σ_z は、載荷直後間ゲキ水が排出する前のある点の全応力である。

標準圧密試験から求める体積圧縮係数 m_v を E , ν を用いて表わせば、

$$m_v = \frac{1+\nu}{1-\nu} \cdot \frac{1-2\nu}{E} \dots\dots\dots(5)$$

となるから $\nu=0$ のとき(4)式はつぎのようになる。

$$S_a = \int_0^H m_v (\sigma_z - u_0) dz \dots\dots\dots(6)$$

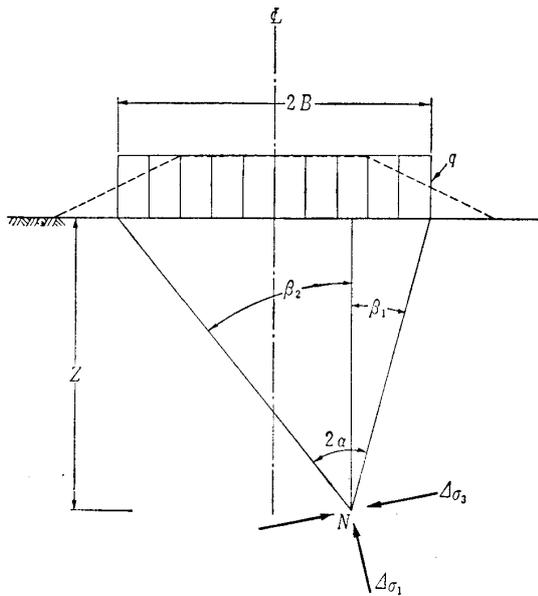
ここで、 $u_0 = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)/3$ である。

2.2 提案法

2.2.1 即時沈下量

図-1に示すような帯状等分布荷重 q が半無限弾性地盤上に作用する場合、深さ z のN点に生ずる主応力増分は、(7)式で表わされる。

* 工博 東海大学教授 工学部土木工学科
 ** 東海大学 工学部土木工学科
 *** 東海大学 大学院



図—1 等分布帯状荷重による地盤内応力

$$\left. \begin{aligned} \Delta\sigma_1 &= \frac{q}{\pi}(2\alpha + \sin 2\alpha) \\ \Delta\sigma_3 &= \frac{q}{\pi}(2\alpha - \sin 2\alpha) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

また荷重直後軟弱地盤が、非排水条件下で等体積セン断変形する場合の最大主応力方向のヒズミは、(8)式で表わされる。

$$\epsilon_1 = \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{E_i} (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \dots\dots\dots(8)$$

ここで、 $\nu=0.5$, $E_i=3E/2(1+\nu)$ である。

(8)式に(7)式を代入すれば、即時ヒズミ ϵ_1 は、(9)式で示される。

$$\epsilon_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{E_i} \cdot \frac{q}{\pi} \cdot \sin 2\alpha \dots\dots\dots(9)$$

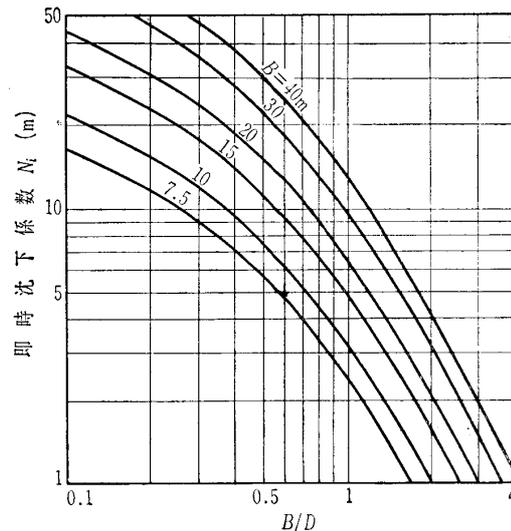
(9)式を軟弱層厚 D で積分すれば、帯状荷重中央直下における即時沈下量 S_i を求めることができる。

$$S_i = \frac{q}{E_i} \cdot N_i \dots\dots\dots(10)$$

ここで、即時沈下係数 $N_i = \frac{3}{2} \frac{1}{\pi} \int_0^D \sin 2\alpha dz$ (m), q : 荷重 (t/m^2), E_i : 変形係数 (t/m^2) である。 N_i は、軟弱層の厚さや盛土の幅によって変化するので、図—2 に示す N_i の算定図表を用いれば、 S_i を容易に求めることができる。

2.2.2 セン断変形の影響範囲

軟弱地盤上に帯状荷重を載荷すると、荷重直下ばかりでなく、側方地盤も沈下あるいは隆起し、隣接構造物に被害を与えることが多い。このような側方地盤の変動範囲を事前に予測しておくことは工事公害の防止と環境保全の立場からきわめて大切なことであると思われる。



図—2

帯状盛土荷重によって盛土周辺地盤に生ずる鉛直方向のセン断変形量は、最大・最小主応力方向のヒズミとその方向から前項の即時沈下量と同様に計算できる。

いま鉛直方向のセン断変形量の絶対値が 3 cm 以上となる範囲を、帯状荷重の中心線から L_i (m) として(11)式で表わされるものとする。

$$L_i = l_i \cdot D \text{ (m)} \dots\dots\dots(11)$$

ここで、 l_i は影響係数、 D は軟弱層厚である。

いま載荷幅 $2B=40m$ の場合、 l_i と D の関係をプロットすると、図—3 に示すように l_i は、 D にほとんど関係せずほぼ一定となる。そこで盛土荷重の半幅 B をパラメーターとして l_i を E_i/q に対してプロットしたのが図—4 である。図—4 を用いることによって L_i が計算できる。

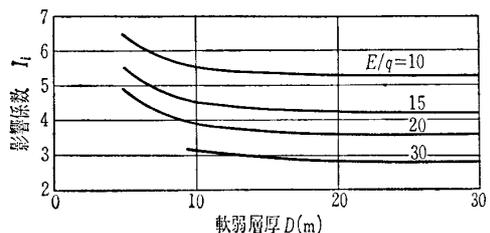
3. 各計算法の比較

3.1 即時沈下量

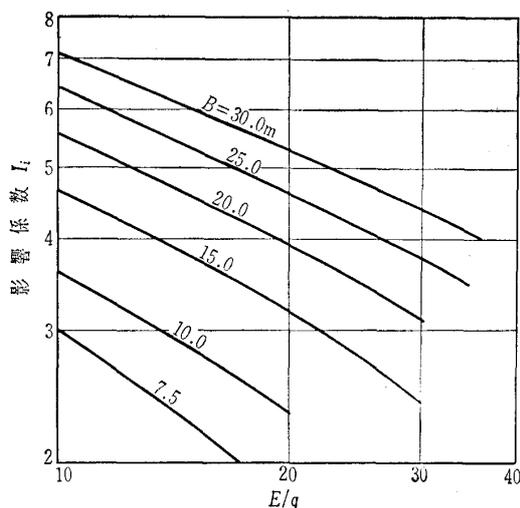
昭和41年日本道路公団が実施した愛甲試験盛土のデータを用いて即時沈下量の比較検討を行なう。試験盛土に伴う詳細な土質調査結果は、報告書その他の資料でよく知られているので、図—5 に示すように検討に必要なデータのみを引用する⁴⁾。

提案法

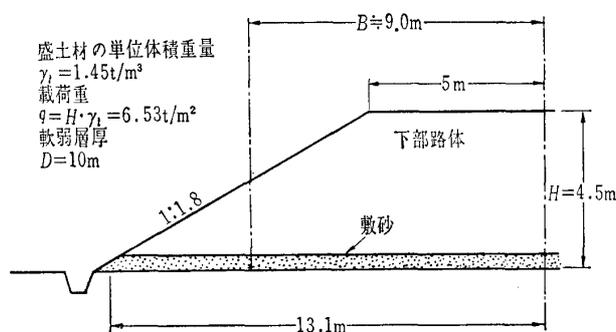
$$B/D=0.9, \text{ 図—2より } N_i=3.5$$



図—3



図—4



図—5

$$S_i = \frac{q}{E_i} \cdot N_i = \frac{6.53}{138} \times 3.5 \div 17 \text{ cm}$$

スケンプトン・ピエラム法

$$S_i = \frac{3}{4} \frac{q(2B) \cdot I_p}{E_{50}} = \frac{3}{4} \cdot \frac{6.53 \times 18 \times 1.12}{138} \div 72 \text{ cm}$$

持永・世良の方法

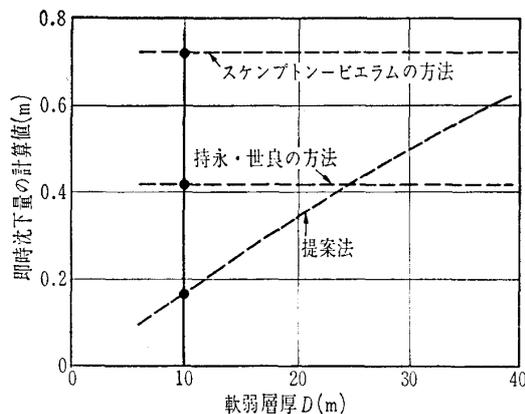
$$A = 12.4 - 0.44E_{50} = 12.4 - 0.44 \times 13.8 \div 6.33 \text{ cm}^3/\text{g}$$

$$S_i = \frac{1}{100} \cdot A \cdot H \cdot \gamma_t = \frac{1}{100} \times 6.33 \times 450 \times 1.45 \div 41 \text{ cm}$$

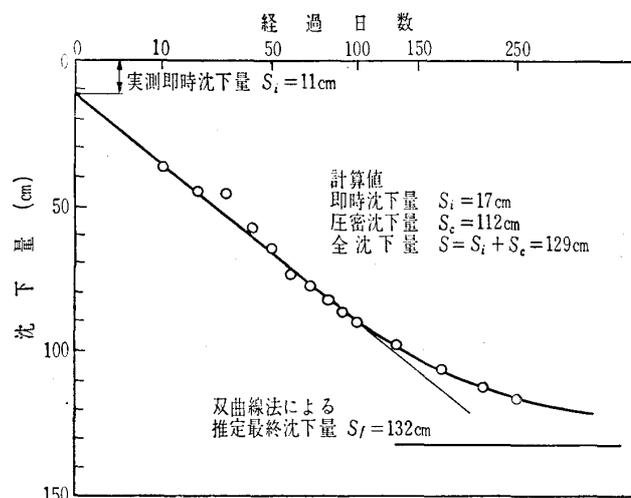
以上の三方法によって軟弱層厚Dを変化させ、即時沈下量 S_i を計算し、比較したのが図—6である。持永・世良の方法は、D、Bによって S_i は変化せず一定値をとる。スケンプトン・ピエラムの方法はDによって S_i は変化しないが、Bに比例して増加するなどの各方法の特長を図—6は示していると思われる。

現場で観測される全沈下量から即時沈下量を切り離して測定できないため即時沈下計算法の妥当性を実測値によって検証するのはかなり困難である。厳密性を欠く点があるが、つぎのような方法で実測値から即時沈下量を推定してみた。

愛甲試験盛土N区間では盛土荷重が経過日数とともにほ



図—6



図—7

ぼ直線的に増加しているのを瞬間荷重条件に変換する。圧密沈下曲線の初期の部分は、沈下量と時間の平方根とが直線関係にあることから図—7に示すように理論的な圧密開始点を求めれば、その点が即時沈下量と考えられる。

実測値	計算値
即時沈下量 $S_i = 11 \text{ cm}$	$S_i = 17 \text{ cm}$
全沈下量 $S = 132 \text{ cm}$	圧密沈下量 $S_c = 112 \text{ cm}$
(実測値に双曲線法を用い; 全沈下量 $S = S_i + S_c$ て推定した最終沈下量)	$= 129 \text{ cm}$

しかし漸増荷重を瞬間荷重に変換できるのは圧密沈下量に限定されるが、盛土施工中の実測沈下量には即時沈下量が含まれていることや圧密特性の異なる多層地盤の圧密初期の沈下量の直線性に問題がある。

3.2 側方地盤への影響範囲

盛土荷重によって側方地盤に生ずる変動には、セン断変形と圧密変形の両者が混在している。また現場においてそれらを別個に測定することは、ほとんど不可能である。したがって、ここでは盛土荷重によって軟弱地盤にスベリ破壊が生じたときのセン断変形によって検討することにする。

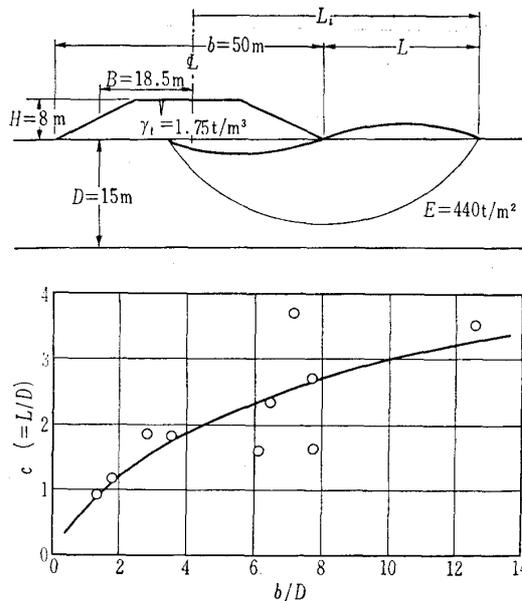


図-8

これまでに建設省、日本道路公団および国鉄などが施工した軟弱地盤の盛土で、破壊または破壊に近い変状がみられ、かつ詳細な観測によって動態がほぼ明らかにされている約10か所を選んでその実態を調べた。この結果から側方地盤の隆起範囲 L を、盛土敷幅 b と軟弱層厚 D の比 b/D に対してプロットしたのが図-7である。この図によると軟弱層厚 D の判定や軟弱層基盤の傾斜などによってかなりの差はみられるが、破壊時に生ずる地盤変動は b/D とかなり相関しているようである。

提案法

図-8を求めた平均的条件として、 $b \doteq 50\text{m}$ 、 $D \doteq 15\text{m}$ 、 $E=440\text{t/m}^2$ 、 $q=14\text{t/m}^2$ を用いれば、 $E/q \doteq 31$ 、 $B=18.5\text{m}$ であるから、図-4より $I_i=2.9$ となる。

$$L_i = I_i \cdot D = 2.9 \times 15 \doteq 44\text{m}$$

実測データ

$b/D \doteq 3.3$ 、図-8より $C=1.6$ 、 $L=CD=1.6 \times 15=24\text{m}$

したがって盛土中央からの距離は49mとなる。

これらの結果から提案法によって側方地盤に対するセン断変形の影響範囲をある程度予測できるように思われる。

4. あとがき

計算図表を用いて、盛土に伴う軟弱地盤の即時沈下量およびセン断変形の側方への影響範囲を求める簡易な方法について述べた。しかし、実際の地盤は複雑な層構成をしており、これらの正確な予測には、十分な土質調査、試験とともに厳密な解析が必要である。

参考文献

- 1) A.W. Skempton and L. Bjerrum; A Contribution to the Settlement Analysis of Foundations on Clay. Géotechnique, Vol. 7(1957)
- 2) 持永龍一郎・世良至; 名神高速道路大垣地区の盛土の沈下について。第3回土質工学研究発表会講演集, (1968)
- 3) Mikasa M; On the Settlement of Clay Layer by Partial Load. Proc. 1st Japan National Congress, Appl. Mech. (1951)
- 4) 日本道路公団京浜建設局; 東名高速道路愛甲試験盛土工事報告書 (昭41)

(原稿受理 1976.12. 7)

土質工学会論文報告集購読のお勧め

社団法人 土質工学会

土質工学会では、多くの方に「土質工学会論文報告集」を購読していただくため、年間予約購読の便宜をはかっております。

購読料として年額4,000円を納めていただきますと、年4冊(季刊)送料学会負担にて、お手もとまでお送りいたします。

多くの方のご購読をお待ちいたしております。

○土質工学会の会員(正, 学生, 特別)の方に限ります。

○購読料(年間)4,000円

○申込書は請求がありしだいお送りいたしますので下記へご連絡ください。

連絡・申込先

〒105 東京都港区西新橋1-13-5 東亜別館内 土質工学会会員係 電話 03-502-6256~9