

道路盛土による軟弱地盤の長期沈下と二次圧密

Long-Term Settlement and Secondary Compression of Clayey Soft Ground by Road Embankment

白子 博明 (しらこ ひろあき)

㈱建設企画コンサルタント土質技術部 部長

杉山 太宏 (すぎやま もとひろ)

東海大学工学部土木工学科 助教授

外崎 明 (とのさき あきら)

金沢工業大学環境系土木工学科 教授

赤石 勝 (あかいし まさる)

東海大学工学部土木工学科 教授

1. はじめに

粘性土や有機質土の室内一次元圧密試験を実施するとほとんどの土で二次圧密が観察される。二次圧密は室内圧密試験固有の現象であり、層厚が大きく長期間にわたる実際地盤の圧密では、一次圧密と分離して表れないと考えられている¹⁾。しかしながら、実際の軟弱地盤における長期沈下では、室内一次元圧密試験で観察される二次圧密に類似した時間の対数に比例する沈下が観測されている。また、道路盛土や宅地造成盛土の設計時点では考慮されていない二次圧密的長期沈下に伴う不同沈下によって、路面の段差、地下埋設管の勾配変化や切断、そして家屋の傾斜など各種不具合が発生している^{2)~5)}。

室内一次元圧密試験における二次圧密と自然含水比の間には、固有の関係が存在すると言われている⁶⁾。軟弱地盤の長期沈下が二次圧密によるものとするれば、自然含水比は長期沈下の大きさを推定する有効な手段となる。しかし、軟弱地盤の盛土施工による沈下計測が行われても、二次圧密と自然含水比の関係を調べ報告された事例は少ない。また、室内試験のように一次元圧密条件と考えられる宅地造成のような面的盛土の長期沈下と、平面ひずみ条件と考えられる道路盛土の長期沈下が、いずれも自然含水比と一定の関係にあるかどうか明らかではない。

この論文では、軟弱地盤に施工された宅地造成盛土ならびに道路盛土の長期沈下と自然含水比の関係を調べ、道路盛土の長期沈下が大きく現れる結果を示す。この理由を、有効主応力比 $K(=d\sigma'_3/d\sigma'_1)$ を変化させた室内三軸異方圧密試験の二次圧密により検討した結果について報告する。

2. 長期沈下と自然含水比

現場で観測される長期沈下と室内圧密試験の二次圧密を比較する。

一般に二次圧密係数 c_α は、間隙比 e を用いて式(1)で表されることが多いが、土質工学会用語辞典では、式(2)のように時間目盛り1サイクル当たりの鉛直ひずみで定義している⁷⁾。一次元条件におけるこの鉛直ひずみは、体積ひずみに対応していると理解される。

$$c_\alpha = de/d \log_{10}(\text{time}) \quad (1)$$

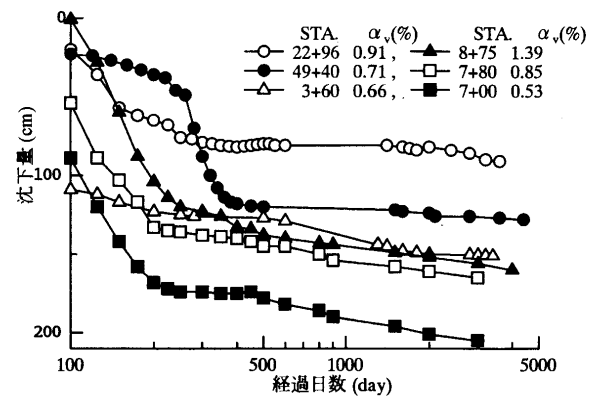
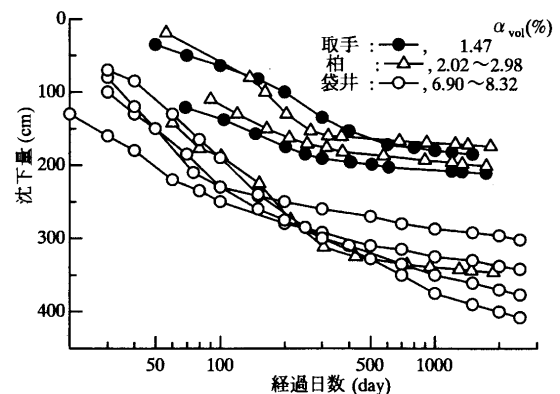
図-1 東名高速道路厚木地区の沈下量の観測結果⁸⁾

図-2 宅地造成盛土による沈下量の観測結果

$$\alpha = dv/d \log_{10}(\text{time}) \quad (2)$$

道路盛土による沈下量は、盛土直下に集中局所的な変形となり周辺地盤の体積変化とせん断変形の和として考慮する必要があるため、間隙比で二次圧密を表す式(1)では不十分である。本論文では、ひずみで定義された式(2)の α を使用し、これを二次圧密係数と呼ぶ。

図-1 は東名高速道路厚木地区⁸⁾、図-2 は東京近郊の宅地造成地で観測された地表面沈下量の観測結果である。図-1 中の STA. は道路の沈下測定位置を表すステーション番号で、 α_v は地表面沈下量を軟弱層厚で除した鉛直ひずみから計算した二次圧密係数である。一方、図-2 では、宅地造成盛土を一次元圧密状態と仮定し、体積ひずみ (=鉛直ひずみ) で計算した α_{vol} を示している。すべての沈下量は、経過日数500日から1000日以降で時間の対数に比例し、室内圧密試験で観察される二次

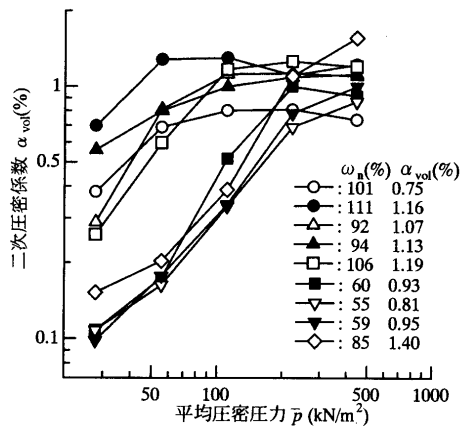


図-3 標準圧密試験による二次圧密係数 (厚木地区)

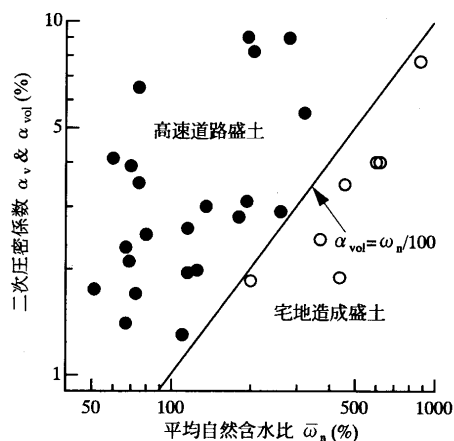


図-4 道路と宅造盛土の二次圧密係数と平均自然含水比

圧密に類似している。

厚木試験盛土工事が行われた地点の隣接地から、深さ方向に採取した乱さない粘性土試料によって標準圧密試験を行い、二次圧密係数 α_{vol} と平均圧密圧力 \bar{p} の関係を調べたのが図-3である。図に併記した α_{vol} は各試料の最大値で、深度(地層)により自然含水比 w_n や α_{vol} が異なるのは当然であるが、標準圧密試験の値は平均的に図-1の値と近いものである。

ところで、ほとんどの軟弱地盤は成層して堆積しており各層ごとに物理的・力学的性質が異なる。地表面沈下量から求めた図-1や図-2の二次圧密係数 α_v と α_{vol} は、自然含水比の異なる軟弱層全体の平均値と考えられるので、軟弱層各層厚の重み付き平均で地盤全体を代表する平均自然含水比 \bar{w}_n を決定し、軟弱地盤の α_v , α_{vol} と \bar{w}_n の関係を調べたのが図-4である。図に示した測定地点の盛土高さは4mから10m、軟弱層厚は4mから24mである。一次元圧密条件下の宅地造成盛土による二次圧密係数 α_{vol} は、 $\alpha_{vol} = w_n / 100$ 線⁶⁾(図の実線)よりもやや下側に位置するものが多いのに対し、平面ひずみ条件下の高速道路盛土による α_v は、実線よりも上側に大きく離れたデータが多い。つまり、自然含水比から推定する道路盛土による地盤の二次圧密係数 α_v は、過小な値を与えることになる。また、自然含水比から推定可能とされる α_{vol} は、一次元圧密試験結果に基づいた体積ひずみ (=鉛直ひずみ) によって定義されたもので

表-1 再構成試料の物理的性質

試料	ρ_s (t/m ³)	ω_L (%)	ω_p (%)	粒径区分(%)		
				砂	シルト	粘土
A	2.672	82.6	20.8	5.0	41.0	54.0
B	2.654	99.6	42.8	9.1	39.4	51.5
C	2.641	65.4	35.8	14.8	49.2	36.0

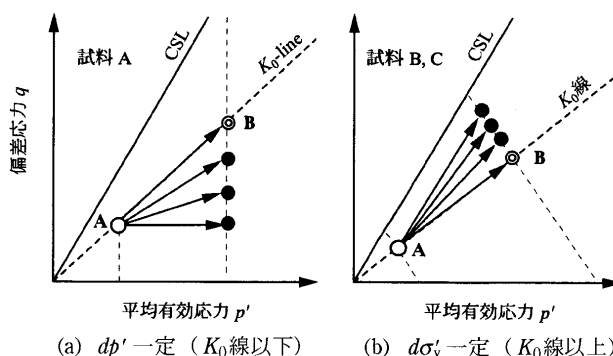


図-5 異方圧密試験の圧密圧力載荷経路

あり、図-4のように道路盛土による地盤の二次圧密係数が宅地造成盛土のそれより大きくなるのは、せん断変形が影響していると推察される。そこで、圧密圧力増分を変化させた三軸異方圧密試験により、二次圧密係数に及ぼすせん断変形の影響について調べた結果を以下に述べる。

3. 異方圧密粘土の二次圧密

3.1 試料および実験方法

実験に用いた再構成粘土の物理的性質を表-1に示した。円柱供試体の上下、円周方向に濾紙を巻き上下ならびに放射状排水条件として、圧密中に供試体が破壊しないように図-5(a),(b)の応力経路で異方圧密圧力増分を段階的に加えた。圧密中の排水量と軸変位を測定し、体積ひずみと鉛直ひずみによる二次圧密係数をそれぞれ α_{vol} と α_v と定義した。 α_v にはせん断ひずみ成分が含まれるので、道路盛土による地盤の二次圧密係数 α_v に近いと考えられる。

3.2 実験結果と考察

試料Aにより図-5(a)の載荷経路で異方圧密した体積ひずみの経時変化が図-6で、圧力増分ならびにその有効主応力比 K は図中に示すとおりである。圧密終了時の平均有効応力増分 dp' は等しいので、体積ひずみの差は偏差応力増分 dq の違いによるものである。 dq の増加すなわち有効主応力比 K の減少に伴い発揮される負のダイレイタンスによって、二次圧密係数 α_{vol} は増加することがわかる。

道路盛土荷重による軟弱地盤内の有効応力は、 K_0 線より上側に位置する。図-5(b)のように K_0 線より上側で異方圧密した試料Bの体積ひずみと鉛直ひずみの経時変化が図-7(a),(b)である。両ひずみとも圧密経過時間200分前後から時間の対数に比例し、これは試料Cでも同様であった。

図-8は、図-7より得られた二次圧密係数 α_{vol} なら

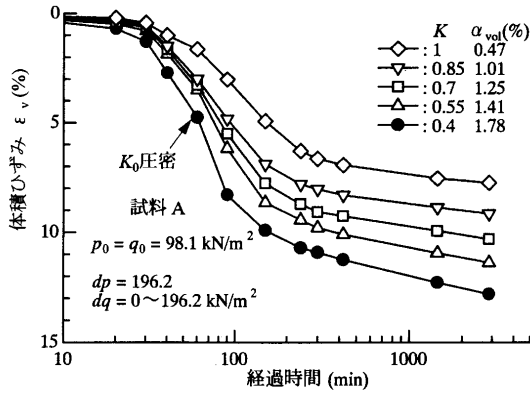


図-6 K=0.4~1.0の体積ひずみの経時変化 (試料 A)

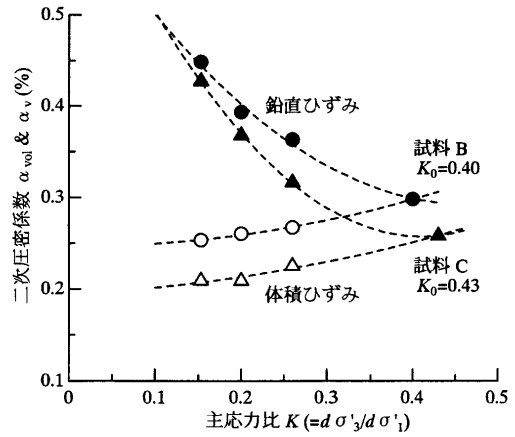
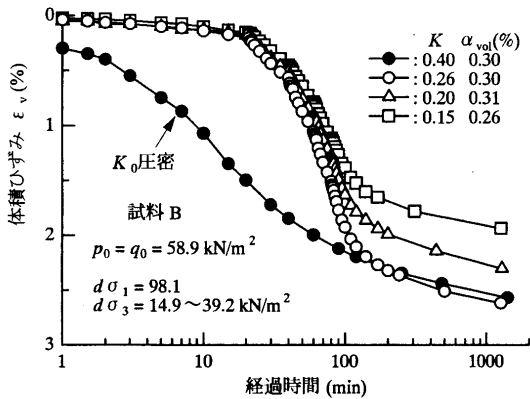
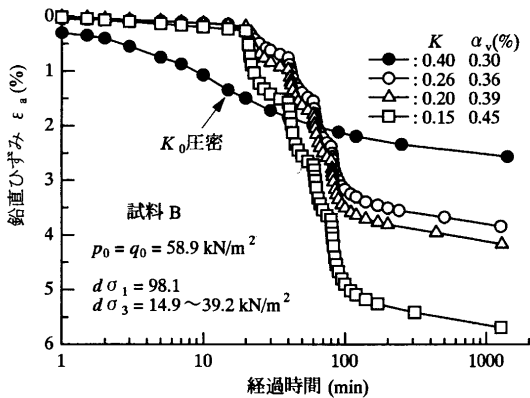


図-8 二次圧密係数と有効主応力比



(a) 体積ひずみの経時変化



(b) 鉛直ひずみの経時変化

図-7 K=0.15~0.4のひずみの経時変化 (試料 B)

びに α_v と有効主応力比 K の関係を調べたものである。 K_0 線より上側では、 K が減少しても α_{vol} はほとんど変わらないが、 α_v は明らかに増加している。 K がさらに減少して限界状態線 CSL に近づいた状態になると、 α_v は無限大になって排水クリープ破壊に繋がると考えられる。

以上の結果からわかるように、軸対称条件にある異方圧密試験の二次圧密は有効応力に依存している。また、せん断変形を含む鉛直ひずみで定義した二次圧密係数 α_v は、体積ひずみによる α_{vol} よりも大きい。これは、平面ひずみ条件下の道路盛土の長期沈下が、一次元圧密

の宅造盛土のそれより大きい図-4の結果と対応している。したがって、道路盛土の長期沈下は、せん断変形が要因となり、自然含水比による推定値より大きくなると思われる。

4. おわりに

高速道路盛土(平面ひずみ条件)と宅地造成盛土(一次元条件)による軟弱地盤の地表面沈下計測結果を比較したところ、前者の方が大きい結果となった。この理由を三軸異方圧密試験の二次圧密係数によって検討した。有効主応力比 K を変化させた試験から、 K_0 圧密より K が減少する、すなわちせん断応力が増加すると、体積ひずみで定義した二次圧密係数 α_{vol} は K_0 圧密と同程度か、やや減少するのに対して、鉛直ひずみによる二次圧密係数 α_v は増加する結果が得られた。一次元圧密試験の体積ひずみと鉛直ひずみは等しい。したがって、体積ひずみ \neq 鉛直ひずみとなる道路盛土の長期沈下は、含水比が等しければ宅地造成盛土より大きくなる可能性がある。これは、実盛土の計測結果とも対応するものである。

参考文献

- 1) 土質工学会編：土質工学ハンドブック，pp. 147~148, 1965.
- 2) 今井五郎：わかりやすい土質力学原論 (第1回改訂版)，土質工学会 pp. 187~239, 1992.
- 3) 竹嶋正勝：軟弱地盤盛土における長期沈下に関する二、三の知見，土と基礎，Vol. 27, No. 3, pp. 37-44, 1979.
- 4) 稲田倍穂・赤石 勝・山田道男・似内政康：標準圧密試験結果を利用した二次圧密の予測，土と基礎，Vol. 29, No. 3, pp. 25~29, 1981.
- 5) 進藤 卓，森重龍馬：鉄道構造物の変位，土と基礎，Vol. 22, No. 12, pp. 13~20, 1974.
- 6) Mesri, G.: Coefficient of Secondary Compression, Proc. of ASCE, SM1 pp. 123~137, 1973.
- 7) 土質工学会：土質工学用語辞典，pp. 103, 1990.
- 8) 日本道路公団試験所：軟弱地盤における盛土の沈下事例集，試験所技術資料，第302号，1977.

(原稿受理 2002.4.23)