

軟弱地盤の盛土造成に伴う圧密沈下のバーチカルドレーン工法による促進効果確認

株式会社フジタ 技術センター 正会員 ○北島 明
 株式会社フジタ 土木本部 正会員 福島伸二
 株式会社フジタ 大阪支店 非会員 藤澤篤史・香東光秀

§1. まえがき

工業団地や流通基地などの大規模用地は高速道路や幹線道路への交通アクセスに優れた丘陵地や中山間地を切・盛土して造成されることが多い。丘陵地や中山間地には地質年代の侵食により形成された谷筋に堆積した軟弱地盤からなる埋没谷が入り込んでいる場合が多く、埋没谷の軟弱地盤上に盛土を造成すると盛土荷重による圧密沈下が問題になりやすい。特に、大規模な切・盛土造成では斜面高や盛土厚が大きくなり、軟弱地盤には層厚が小さくとも過大な圧密沈下が生じるだけでなく、盛土斜面下でのすべり破壊の問題も生じる。本稿では、ある中山間地における切・盛土による用地造成工事において、埋没谷に堆積した軟弱地盤の盛土造成による圧密沈下を促進させるために適用したプラスチックボードドレーン工法（PBD 工法）¹⁾の効果を、盛土の造成中と完了後のある一定期間までに軟弱地盤に生じた沈下を実測値を用いて確認した結果を報告するものである。

§2. 用地造成に伴う盛土下の軟弱地盤の圧密沈下対策

用地造成工事は滋賀県南東部の JR 草津線甲賀駅から北東方向に約 2km にある丘陵地を切・盛土して約 15.8ha の工業団地用地を造成したものである。地山は 200～300 万年前の第四紀更新世に堆積したシルト・砂岩層を挟む泥岩層からなる古琵琶湖層群である。計画地内には丘陵地山を侵食した数筋の埋没谷に堆積した $N=0 \sim 3$ 、層厚 $H=5 \sim 6\text{m}$ の軟弱地盤 Ac があり、盛土造成では図 1 に概念的に示すように、盛土斜面下ではすべり安定性の確保、盛土用地部下では圧密沈下が問題となった。軟弱地盤は層厚がさほど大きくないものの、最大厚約 $H_B=14\text{m}$ の盛土を造成するため、用地の供用に悪影響を及ぼす圧密沈下だけでなく、谷底面が泥岩地山からなり排水面として期待できないので片面排水の圧密沈下となり収束まで長期間を要することが予想された。

軟弱地盤の盛土による圧密沈下の検討は軟弱地盤範囲が最も広い図 1 に示す計画盛土高 $H_B=12\text{m}$ の SG1 断面を対象とした。軟弱地盤の厚さは 5.6m で、圧密試験結果によると圧密係数 $c_v=0.0565\text{m}^2/\text{day}$ 、体積圧縮係数 $m_v=6.40 \times 10^{-4}\text{m}^3/\text{kN}$ であった。対象断面における最終沈下量 S_f は盛土（単位密度を $\gamma=20\text{kN}/\text{m}^3$ ）による圧密応力増加が $\Delta p=\gamma \cdot H_B=20 \times 12=240\text{kN}/\text{m}^2$ なので、 $S_f=m_v \cdot \Delta p \cdot H=6.40 \times 10^{-4} \times 240 \times 5.6=0.86\text{m}$ と推定された。図 2 は SG1 断面における無対策での圧密沈下量 S の Terzaghi の圧密理論による経時期間 t の関係を破線により示す。盛土速度は一層 30cm 厚で行い、一日の平均的盛土厚を 10cm に設定した。計画高 12m まで盛土するのに必要な日数は、定休日と天候を考慮で一ヵ月当りの平均稼働日数を 20 日に設定すると 180 日となる。圧密度 $U=90\%$ （時間係数 $T_v=0.848$ ）までに要する期間 t_{90} は、基盤層が透水層として期待できないため、盛土層底面にサンドマット層を設けて片面排水条件とすると排水距離 H_D が層厚 $H=5.6\text{m}$ になり、盛土の瞬時載荷条件において $t=(H^2/c_v) \cdot T_v=(5.6^2/0.0565) \times 0.848=471$ 日、漸増載荷条件では上記の日数に盛土に要する日数の半分の 90 日を加えた 561 日となる。以上のことから、一次圧密沈下の終了にはさらに日数を要し、PBD 工法による圧密促進を行うことにした。圧密促進の

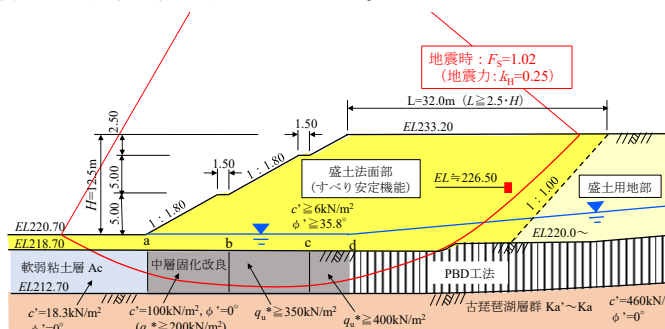


図1 盛土の斜面部と用地部における問題 (SG1 断面)

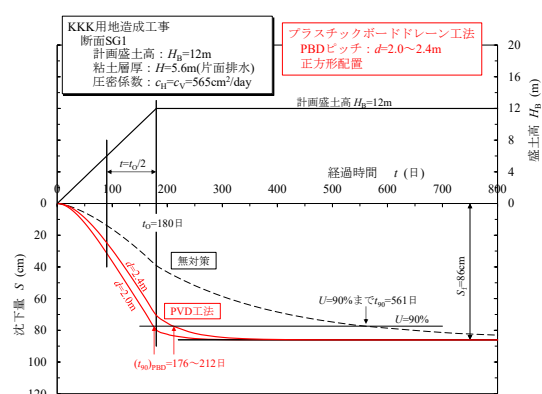


図2 PBD 工法による圧密促進の検討 (SG1 断面)

目標は 1 年以内に一次圧密沈下を収束させ、用地引渡しまでに可能な限り二次圧密沈下を生じさせておくこととした。

§3 PBD 工法による圧密沈下促進対策

図 2 は PBD の配置間隔 d を決めるために、PBD の砂粒換算径を $d_w=5\text{cm}$ （ドレーン比 n は $n=d/d_w$ ）として、有効円径 $d_e=1.128 \cdot d$ の正方形配置で、 d を $d=2.0, 2.4\text{m}$ と変えて圧密促進効果を検討した結果を示す。瞬時載荷での S ($=S_f \cdot U$) は水平方向圧密係数 c_{H1} が圧密試験による値 c_v と等しいとにおいて

$$U=1-\exp\{-8 \cdot T_v/F(n)\}$$

$$T_v=(c_v/d_e^2) \cdot t, \quad F(n)=n^2 \cdot \ln(n)/(n^2-1)-(3 \cdot n^2-1)/(4 \cdot n^2)$$

キーワード：軟弱地盤、圧密沈下、PBD 工法

連絡先 〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1 株式会社フジタ 技術センター土木研究部 ☎ 080-9097-2062

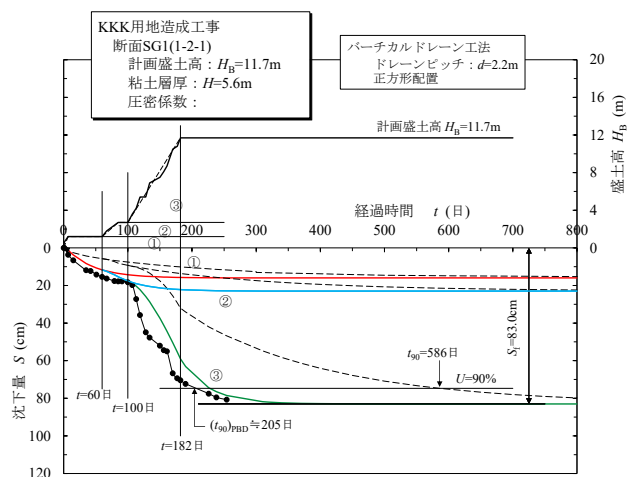


図3 PBD工法を施工した軟弱地盤の沈下性状 (SG1断面)

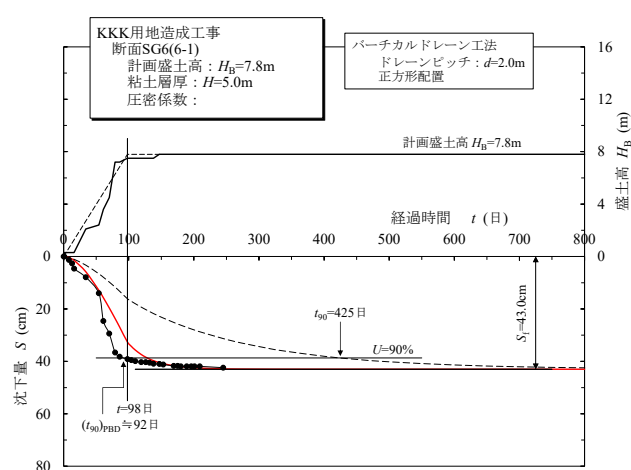


図4 PBD工法を施工した軟弱地盤の沈下性状 (SG6断面)

を求め、さらに漸増載荷補正を行って求めた $S \sim t$ 関係を実線により示した。図中の破線は無対策での $S \sim t$ 関係である。図から、PBDを $d=2.0 \sim 2.4$ mで配置すれば、 $U=90\%$ 到達時期を561日から176～212日(平均200日)まで短縮でき、一次圧密沈下も1年以内でほぼ収束できることがわかる。そこで、 d は軟弱地盤の H や施工を6カ所分散施工しても引渡し時の時間が確保できるかどうか、などを考慮して $d=2.0, 2.2, 2.4$ mと3種類で変えた。軟弱地盤面は水平ドレーンを敷設してから盛土材をブルドーザにより層厚1m程度撒き出してPBDの施工機械の走行基盤とした。また、盛土地盤は圧密沈下により地下水位以下に水没しない条件にあるので、浮力による圧密荷重の減少はないものとした。

§4 PBD工法による沈下計測による圧密促進効果確認

図3はSG1断面、図4はSG6断面におけるPBD工法を施工した軟弱地盤の上面に設置した沈下板により測定した $S \sim t$ 関係(●印)をそれぞれ示す。これらの図には、PBD対策時の理論的な $S \sim t$ 関係として、盛土段階を実際の施工状況を考慮していくつかに分けて、各段階での沈下実測値を双曲線近似して推定した ΔS_f と室内試験による c_v を用いて $\Delta S \sim t$ 関係を求め、全段階で合算したものを実線により示した。また、比較のために無対策時の理論曲線も同様に各段階での $\Delta S \sim t$ 関係を合算してものを破線により示した。図から、SG1では盛土は途中に一時的な盛土休止がありほぼ3段階に分けて実施され、沈下もこれに対応して段階的に生じていることがわかる。PBDの効果は $U=90\%$ に達するまでの日数 t_{90} で評価すると、PBD対策時の実測沈下は無対策時の $t_{90}=483$ 日に対して、 $(t_{90})_{PBD} \approx 205$ 日に短縮され、 $205/483=1/2.36$ と想定1/3近く短縮できたといえる。図4のSG6では盛土がほぼ1段階で連続的に実施されたようで、実測 $S \sim t$ 関係は沈下が理論曲線より速く進行し、PBD対策時には無対策時の $t_{90}=425$ 日に対して $(t_{90})_{PBD} \approx 92$ 日と、 $92/425=1/4.62$ 倍と想定以上の効果が得られている。以上の結果は、実測沈下が両地点ともに理論曲線に対して全体的に盛土の初期から中期に想定より早く沈下が進み、沈下収束に向かう段階などで比較的一致している傾向を示している。これは圧密荷重が大きく沈下進行により c_v が急減したためと考えられる。

図5は他地点でも図3や図4と同様に求めた関係図から読み取

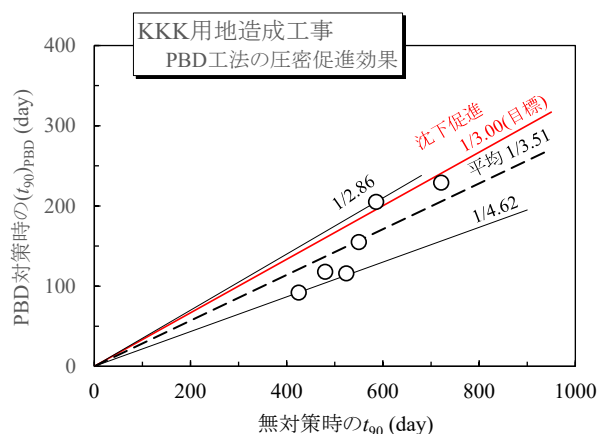


図5 PBD工法による圧密促進効果

った無対策時の t_{90} と、PBD対策時の $(t_{90})_{PBD}$ を比較した結果を示す。図から、図2においてPBDにより $U=90\%$ 到達を無対策時に比べて平均1/3まで短縮することを目標としたが、すべてがこれと同等か上回る効果(1/2.86～1/4.62, 平均1/3.51短縮)が得られたことがわかる。今回の例は、PBD工法による圧密促進効果が想定した効果を得られたが、想定したよりもやや遅れた結果となった他の例²⁾と対比をなしている。これは、もともと、軟弱地盤が層厚や沈下量も小さいため間隙からの排水量も少なく排水障害に在る圧密遅れが生じなかったことなどが理由と考えられる。

§5 あとがき

軟弱地盤の圧密促進対策として適用したPBD工法の効果を実測沈下の経時変化を用いて評価を試み、以下の結論が得られた。PBD対策による実測沈下は圧密試験で得られた c_v と、実際の盛土載荷条件を考慮して推定した理論的沈下とほぼ同じか、やや早く進行し、 $U=90\%$ に達するまでの日数は1/3程度に短縮する効果が得られた。なお、ここでのPBD効果は無対策の場合との直接比較ではなく、実測沈下と圧密試験による c_v 値から推定した無対策時の理論的沈下を基準に評価した結果であることを付記しておく。

【参考文献】1)嘉門雅史, 三浦哲彦監修: プラスチックボードドレーン工法 その理論と実際, 鹿島出版界, 2009. 2)福島伸二, 他: 軟弱地盤の盛土造成による圧密沈下におけるPBD工法の圧密促進効果, 土木学会第73回学術講演会概要集, III-180, pp.359-360, 2018.