

高有機質軟弱地盤上の宅地盛土のサーチャージ工法による長期圧密沈下対策（その1）

株式会社 フ ジ タ
山元町 震災復興整備課

○福島伸二・北島 明・山本真弘・橋詰哲治
庄司正一・佐藤 修

§ 1. まえがき

宅地造成は地盤沈下に起因した問題が多く、特に高有機質土層 Apt を含む地盤では長期圧密沈下が大きく不等沈下対策の検討が必要となる¹⁾。山元町復興事業・新山下駅周辺地区市街地整備では Apt 層を含む軟弱地盤上に防災集団移転用地を建設するために平均高 3.0m の盛土を造成しており、Apt 層の層厚が 1.5～3.0m（平均 2m）と薄いものの二次圧密沈下が大きく木造住宅サイクル年数 30 年の不等沈下を基準値以下できないと想定されたため、対策としてサーチャージ工法を採用している。一方、宅地は防災集団移転地であるため引渡しまでの期間が短く、サーチャージ工法の載荷期間を十分とれない問題もあった。本稿は載荷期間が短くとも不等沈下を基準値以下にできるサーチャージ盛土の仕様を検討するために実施した室内圧密試験の結果と、これを実施レベルで確認した盛土試験結果について報告する。

§ 2. 造成地の地層構成概要

造成地は山元町役場の東方約 0.8km、太平洋岸から約 2.3km に発達した沖積低地にあり、海岸線に沿って平行に分布する浜堤と丘陵地との間の後背湿地に位置した東西方向に細長い概ね 850m×450m の扁平な長方形形状をした開発総面積 34.3ha（戸建住宅用地約 12.32ha、教育施設用地約 1.65ha、商業用地約 1.47ha、道路用地約 9.79ha、調整池用地約 3.03ha、公園・緑地約 3.05ha、公益用地約 2.24ha、その他 0.75ha）である。後背湿地は表土層 Ts、軟弱な Aptt、比較的安定した砂質土層 As からなる軟弱地盤を形成し、主に水田として土地利用されていた。Apt 層は海側から丘陵地側に向かって北西方向に 1.5～3.0m（平均 2m）と変化するものの、造成地内では比較的一様な層厚にある。

§ 3. サーチャージ工法を施さない場合の圧密試験

室内圧密試験は、図1に示す土層構成あり、かつ後述する試験盛土場所ご選択した位置を対象に、直径 $D=100\text{mm}$ 、高さ $H=100\text{mm}$ の供試体を用いる中型圧密試験機により実施した。供試体は Apt 層の中間深さの約 1.5m まで掘り下げ、圧密リング兼用サンプラー（ $D/H=100\text{mm}/100\text{mm}$ ）を鉛直方向に貫入させてから掘り出して採取し、上・下端面をストレートエッジで整形し、含水比変化が生じないようにビニールシートで密封して試験室に運んだ。Apt 層は自然含水比 $w=140\sim170\%$ 、密度 $\rho_d=0.48\sim0.56\text{g/cm}^3$ であった。供試体と原位置地盤の関係は、排水距離 H_0 を片面排水として高さと同じ $H=H_0=10\text{cm}$ としたので、Terzaghi の圧密理論の H^2 乗則によると、室内試験では現場での1ヶ月が Apt 層の平均厚を $Z=2\text{m}$ （両面排水、排水距離 $H_{Dr}=Z/2=100\text{cm}$ ）とすると $(H_{Dr}/H_0)^2 \times 1\text{ヶ月} = 30^2 \times 24^{\text{時間}} / 10^2 = 72\text{時間}$ に相当する。

サーチャージを施さない場合の圧密試験は一連の盛土過程を再現した条件で実施した。Apt 層の初期圧密応力 σ_{v0} は層内中間深さで考えると $\sigma_{v0} \approx 10\text{N/m}^2$ となる。宅地盛土による応力は平均高 3m に相当

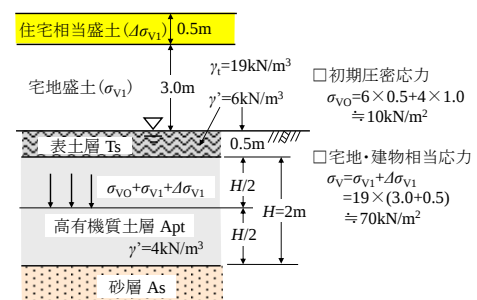


図1 室内圧密試験で想定した Apt 層の盛土条件

する応力 σ_{v1} と 1～2 階建ての建物相当応力を再現した高さ 0.5m の盛土による $\Delta\sigma_{v1}=10\text{kN/m}^2$ からなり $\sigma_v=\sigma_{v1}+\Delta\sigma_{v1} \approx 70\text{kN/m}^2$ となる。 $\Delta\sigma_{v1}$ は宅地引渡しまでの撤去するので、一種のプレロードに相当する。試験は初期応力状態 $\sigma_{v0}=10\text{kN/m}^2$ で 24 時間予備圧密し、宅地盛土応力 $\sigma_{v1}=60\text{kN/m}^2$ と建物相当応力 $\Delta\sigma_{v1}=10\text{kN/m}^2$ による $\sigma_{v1}+\Delta\sigma_{v1}=60+10=70\text{kN/m}^2$ を加えて

$$\sigma_v = \sigma_{v0} + \sigma_{v1} + \Delta\sigma_{v1} = 10 + 60 + 10 = 80\text{kN/m}^2$$

まで増加させて施工計画で想定した宅地引渡し期間の 1 ヶ月に相当する $t_{UL}=7.2$ 時間だけ圧密を継続させてから、 $\Delta\sigma_{v1}=10\text{kN/m}^2$ を除荷して実施した（ $\sigma_v=10 \rightarrow 80 \rightarrow 70\text{kN/m}^2$ ）。建物の建てる前の応力状態を基準にした見掛けの OCR は $OCR=(\sigma_{v0}+\sigma_{v1}+\Delta\sigma_{v1})/(\sigma_{v0}+\sigma_{v1})=1.14$ である。供試体の沈下ひずみ ε_v は予備圧密後の高さ H_0 を基準に、所定の経過時間 t までの沈下量 ΔH を測定し $\varepsilon_v=(\Delta H/H_0) \times 100(\%)$ で算定した。

図2は試験から得られた ε_v と圧密時間 $\log t$ の関係を示す。図から、 ε_v は $\sigma_{v0}+\sigma_{v1}+\Delta\sigma_{v1}$ による即時沈下、間隙水の排出を伴う一次圧密沈下が続き、 $\Delta\sigma_{v1}$ の除荷により膨張（リバウンド）するものの再度沈下に転じ、 $\log t$ にほぼ比例した二次圧密沈下となることがわかる。図中には二次圧密係数

$$\varepsilon_d = \Delta\varepsilon_v / \Delta(\log t) = 2.89\%$$

を示したが、これは ε_v が二次圧密領域に達したと思われる

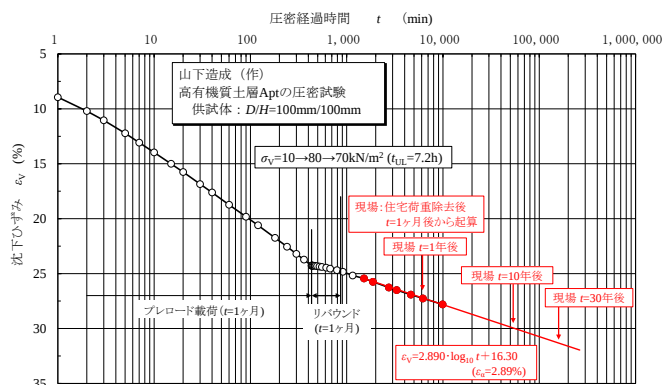


図2 基本試験 ($\sigma_v=10 \rightarrow 80 \rightarrow 70 \text{ kN/m}^2$)における $\varepsilon_v \sim \log t$ 関係

$t=1,500$ 分以降の $\varepsilon_v \sim \log t$ 関係 (●印) を近似した直線 $\varepsilon_v = 2.890 \cdot \log_{10} t + 16.30$ の傾きによる値である。 $\Delta\sigma_{v1}$ の除荷によるリバウンドは現場時間ではほぼ1ヶ月、すなわち $\Delta\sigma_{v1}$ の載荷後2ヶ月で収束している。そこで、図には、 $\Delta\sigma_{v1}$ を載荷後2ヶ月 (室内試験では2ヶ月 $= 2 \times 30 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間} \times 60 \text{ 分} / 100 = 864 \text{ 分}$) から起算して1年後 (864分 $+ 1 \text{ 年} \times 365 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間} \times 60 \text{ 分} / 100 = 6,120 \text{ 分}$)、10年後、30年後の ε_v の予測値を示す。

建物の不等沈下の基準値は30年間で地盤傾斜角 3/1000 以下であるが¹⁾、ここではリスク回避上より厳しい 2/1000 以下を目標とした。2/1000 以下は建物幅を 10m とすると 2cm 以下の不等沈下であり、Apt 層の平均層厚 $Z=2\text{m}$ に対して層厚変動を建物内で $\pm 20\%$ 程度と想定すると、残留沈下 S を $S/200 = (S \pm 2)/(200 \pm 40)$ より $S=10\text{cm}$ 以下とする必要がある。図2から、30年後の S を建物相当のプレロード $\Delta\sigma_{v1}$ だけでは 10cm 以下 (Apt 層厚 $Z=200\text{cm}$ の $\varepsilon_v = S/Z = (10/200) \times 100 \leq 5\%$) とならず、何らかの対策が必要ながわかる。

§4. サーチャージ盛土条件を再現した圧密試験

サーチャージ盛土条件を再現した圧密試験はサーチャージ載荷期間の影響を調べるための試験Aと、サーチャージ応力の影響を調べるための試験Bを実施した。

試験Aは $\sigma_{v0}=10\text{kN/m}^2$ による24時間圧密後に、 $\sigma_{v1}=60\text{kN/m}^2$ に $\Delta\sigma_{v1}=10\text{kN/m}^2$ と $\Delta\sigma_{v2}=30\text{kN/m}^2$ を加えた $\sigma_v = \sigma_{v0} + \sigma_{v1} + \Delta\sigma_{v1} + \Delta\sigma_{v2} = 10 + 60 + 10 + 30 = 110\text{kN/m}^2$ として、 $\Delta\sigma_{v1} + \Delta\sigma_{v2}$ の載荷時間 t_{UL} を試験A1: $t_{UL}=3.6\text{hr}$ (現場での0.5ヶ月)、試験A2: 7.2hr (1ヶ月)、試験A3: 10.8hr (1.5ヶ月)、試験A4: 21.6hr (3ヶ月) と変えたもので、各試験の見掛けのOCRは $OCR=1.57$ である。図3は $\sigma_v=10 \rightarrow 110\text{kN/m}^2$ 、 $\Delta\sigma_{v1} + \Delta\sigma_{v2}=40\text{kN/m}^2$ ($t_{UL}=7.2\text{hr}$) とした試験A2による $\varepsilon_v \sim \log t$ 関係を示す。図4は試験A1～A4における $\varepsilon_v \sim \log t$ 関係の二次圧密域 (●印部分) の近似直線の傾きによる ε_a と t_{UL} の関係を示す。図から、 t_{UL} が長いほど ε_a が低下し二次圧密沈下を小さくできるものの、施工計画で設定した $t_{UL}=1$ ヶ月 (室内7.2時間) は $t_{UL} \sim \varepsilon_a$ 関係の ε_a が急減する期間に相当しており効果的なサーチャージ期間であることがわかる。

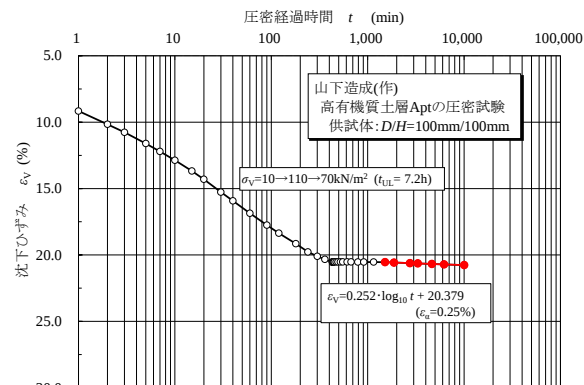


図3 試験 A2=B2 ($t_{UL}=7.2\text{hr}$) における $\varepsilon_v \sim \log t$ 関係

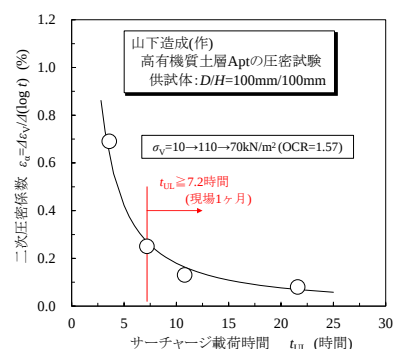


図4 試験 A1～A4 から得られた $\varepsilon_a \sim t_{UL}$ 関係

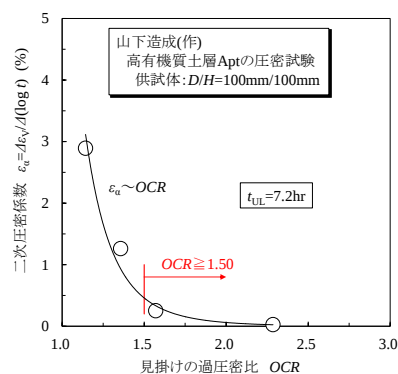


図5 基本試験と試験 B1～B3 から得られた $\varepsilon_a \sim OCR$ 関係

試験Bは $t_{UL}=7.2$ 時間として、 $\Delta\sigma_{v1} + \Delta\sigma_{v2}$ のうち $\Delta\sigma_{v2}$ を $\Delta\sigma_{v1} + \Delta\sigma_{v2} = 10 + 15 (30, 80) \text{ kN/m}^2$ と変えた試験B1: $\sigma_v=10 \rightarrow 95 \rightarrow 70\text{kN/m}^2$ ($OCR=1.36$)、試験B2(=A2): $\sigma_v=10 \rightarrow 110 \rightarrow 70\text{kN/m}^2$ ($OCR=1.57$)、試験B3: $\sigma_v=10 \rightarrow 160 \rightarrow 70\text{kN/m}^2$ ($OCR=2.29$) である。試験B3の $\varepsilon_v \sim \log t$ 関係は図3に示した試験A2である。図5は以上の試験と図1 (基本試験, $OCR=1.14$) の $\varepsilon_v \sim \log t$ 関係の近似直線の傾きによる ε_a とサーチャージ応力の指標にした見掛けのOCRの関係を示す。図から、 ε_a の低下にはサーチャージ応力が大きいほど効果的で、 $OCR \geq 1.5$ であればサーチャージを施さない場合の1割以下にでき十分な効果を得られることがわかる。【(その2)に続く】

【参考文献】1) 社)日本建築学会編：小規模建築物基礎設計指針，(社)日本建築学会，pp.278-280，2008。