

大面積軟弱地盤上の大量盛土工の解析・管理および制御システム

(株) 大林組 名古屋支店 東 正 泰

1. はじめに

テルツァーギの圧密理論が一般的には適用出来ないといわれている超軟弱ビート層を主とする軟弱地盤上において、24万 m^2 におよぶ大面積の深層改良をとまなう大量急速盛土工がはたして、テルツァーギの圧密理論を用いて設計した改良計画どおりに施工仕上り面を所定工期内に許容残留沈下量15cm以下という設計条件内において確保するためには、どのような盛土・時間・沈下解析管理システムをとるのが妥当であるか。またその制御手段としてはどのような補正工法を講じるか。更には、予定最終総沈下量が仮に $\pm 50\text{cm}$ 異なると大面積の改良であることから、土工量も $\pm 12\text{万}\text{m}^3$ も異り、これによって発注者側としても施工者側としてもその資金計画、工程計画に大巾な変動をきたすので修正土工量の推定については早期に結論を出して提示せねばならないという大きな問題が残されていた。

2. 工事概要と地質条件

静岡・清水両市の中小企業の流通機構の合理化の一端として計画された静岡総合卸センター用地造成工事は、造成面積24万 m^2 の大部分が第三系丘陵地と川にはさまれた典型的なオボレ谷地形を呈する沖積層の上に計画され、全土工量100万 m^3 、平均盛土厚6m、平均沈下量2.5mであり、以下にその概要をのべる。

(1) 地質および地盤状況

	層厚(m)	N 値	W_n (%)	$C(\text{ton}/\text{m}^2)$	$C_v(\text{cm}/\text{sec})$	
ビート層	5~7	0	500	0.75	0.4×10^{-3}	正規圧密
非常に軟弱な粘土	5~10	0~3	70	1.5	2.0×10^{-3}	正規圧密
やや硬い粘土	5~10	2~10	50	2.5	5.0×10^{-3}	過圧密
緩い砂礫	5	5~20	—	0	—	
基盤	—	>30	—	—	—	

(2) 設計条件

工期400日、許容残留沈下15cm、施工仕上り高 E.L. 10~11m

スベリに対する安全率1.25以上

(3) 主たる表層処理工

イ) 盲排水溝 ロ) ファゴットシート工 ハ) サンドマット工(50cm厚) ニ) 第一段ステージ盛土工(50~100cm)

(4) 主たる深層処理工

イ) サンドコンパクションパイル工($\phi 700$ 、ピッチ2m、平均長15m)

ロ) サンドドレーン工($\phi 500$ 、ピッチ2m、平均長15m)

ハ) バックドレーン工 ($\phi 120$ 、ピッチ 1.2 m、平均長 10 m)

(5) 盛土内排水設備

イ) 50×75 m 格子で $\phi 600$ 有孔深井戸設置、2 インチポンプによる揚水井とする。

ロ) 50 m 間隔で盛土内横断連続壁構造の盲排水工設備

(6) 盛土工

載荷盛土工および、主要建築構造物予定地区のプレローディング工

(7) 動態観測設備

イ) 沈下計：50 m 格子

ロ) 間隙水圧計：100 m 格子、深さ方向 2 ～ 4 個

ハ) 自記表面変位計：造成用地周辺の河川沿い 50 m 間隔

3. 盛土・時間・沈下解析、管理および制御システム

大面積盛土工における盛土・時間・沈下解析、管理および制御システムとは、盛土の沈下傾向を見ながら早期に実際の傾向を把握して、その盛土荷重を修正することによって設計条件 (工期・残留沈下) を満す施工仕上り面を確保すると同時に、その修正土工量を早期に把むことを目的とするシステムである。このためには沈下管理の省力化と同時に沈下解析のチャート化による簡素化が望まれるわけである。以下にその手順を述べる。

(1) ブロック別分類と標準柱状図の作製

地質調査結果を整理分類して沈下解析を合理的におこなうための基礎資料を作製するために、ヤード全域を平面的に 10 ブロックに区分して、各標準柱状図を作製した。

(2) $(e_0 - e / e_0 + 1) \sim P$ 曲線と $\log C_{vh} \sim \log P$ 曲線の作製

任意の増加荷重 ΔP (1 ～ 15 ton/m²) に対する e の標準曲線を設定し、当初設計では $C_{vh} = 2 C_{vu}$ とした。

(3) 沈下計算方法とブロック図の作製

沈下による水中重量を考慮に入れた沈下を予め仮定しておいて、トライアルによって最終沈下を算出し、計画盛土高を最終沈下量に加えて盛土総厚を算出し、これを平面的に 50 m 格子に区分した。各格子点毎に (60 点) 計画盛土厚、計画仕上り高、沈下量、原地盤高を記入し、この格子点に沈下計および 100 m 格子点 (16 点) には間隙水圧計が各土層の異なる毎に (2 ～ 4 個) 埋設した。

(4) 盛土・時間・沈下理論曲線の作製

50 m 格子点毎の全体工程にあわせた修正理論曲線を作製した。

(5) 盛土・時間・沈下管理図の作製と補正法

50 m 格子毎に設けられた沈下計によって実測時間沈下曲線と修正理論曲線との照合によって計算値の妥当性を検討し、計算に用いた C_v などの妥当性あるいは排水条件の可否を吟味し修正を加えることによって設計修正値を定める。(網干の方法) 同時に実測時間沈下曲線より工期末における残留沈下を推定してこれが設計許容残留沈下量以上の場合、また理論曲線とのズレ、すなわち最終沈下量のズレの大きい場合については下記の方法によって盛土厚を早期に補正することによって許容残留沈下量以

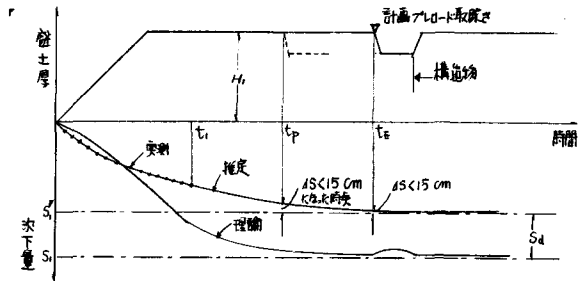
下におさめると同時に修正土工量を早期に把握することによって、資金計画、工程計画の再検討のための一助とする。

残留沈下推定の方法としては、対数形法、双曲線法等があるが、ここでは簡便な双曲線法によって推定した。

下記の補正方法は厳密には理論的でない点もあるが管理方法としては安全側であり、この補正方法の補助手段として揚水井工法を併用することによって、アースワークの精度から見ると十分に満足いく結果をもたらした。

イ) 実測推定最終沈下 (S'_1) が理論最終沈下 (S_1) より小さく、工期末 (t_E) における残留沈下 (ΔS) が 15 cm 以下の場合：

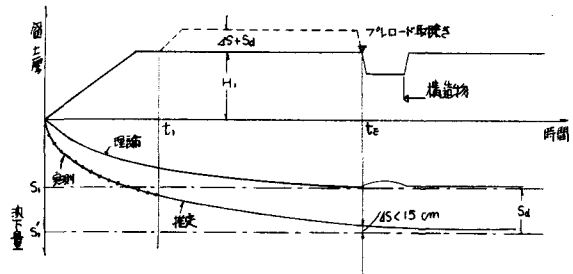
双曲線法によって残留沈下 15 cm 以下になる時点をプレロード取除き時期 (t_P) と計画して、実測沈下時間曲線と照合しつつこれを実施する。



ロ) 実測推定最終沈下 (S'_1) が理論最終沈下 (S_1) より大きく、工期末 (t_E) における残留沈下 (ΔS) が 15 cm 以下の場合：

$$H = S_d + \Delta S = (S'_1 - S_1) + \Delta S$$

の盛土厚を更に追加盛土する。



ニ) 実測推定最終沈下 (S'_1) が理論最終沈下 (S_1) より大きく、工期末 (t_E) における残留沈下 (ΔS) が 15 cm 以上の場合：

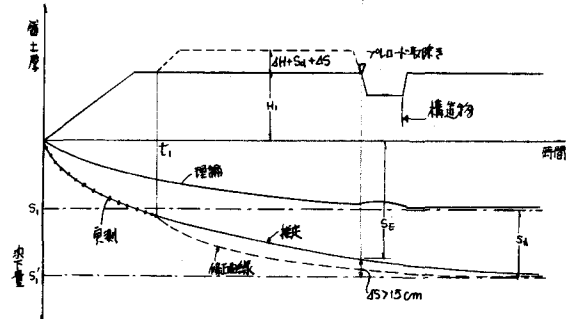
$$S'_1 = \{(e_0 - e_x) / (e_0 + 1)\} H' \text{ より}$$

$$e_x = e_0 - \{S'_1 (e_0 + 1) / H'\}$$

$$= e_0 - \{S'_1 (e_0 + 1) / (H - S_E)\}$$

ただし H : 改良対象層厚

S_E : 工期末 (t_E) における実測推定沈下量



$e - \log P$ 曲線より e_x に相当する P_x を求めて元設計の P との差 ($P_x - P$) より増加盛土厚 ΔH を計算して $H + S_d + \Delta S$ の盛土厚を追加盛土とする。

(6) 補正法の補助工法としての揚水井工法

盛土横断方向に 50 m 間隔で、巾 1 m の硬岩砕による盛土内壁構造盲排水工を設けて、これに 7.5 m 間隔で $\phi 600$ 有孔管を立ち上げて、これを揚水井として、地下水位以下の盛土内水位を 2 インチポンプによって揚水して盛土荷重を増加させることによって、沈下が予定通り進行していない区域については沈下曲線に強制的に載せることに成功した。

(7) 補正法の効果

これらの方法によって盛土開始後4ヶ月目、計画盛土終了後1.5ヶ月目において残留沈下を推定することによって、当初設計において必要土工量89万 m^3 が予定されていたものが、100万 m^3 の土工量が必要ことが判明した。これによって、資金、工程計画を早期に再検討することを可能にした。また、以後の沈下・時間観測から判断してもきわめて精度のよいものになっている。すなわち、沈下時間曲線の確かさを比較するために理論、実測推定、実測各曲線の包括面積で比較した結果、82、95、100；プレロード取除き時点における沈下量で比較した結果85、97、100という具合に管理精度としては、十分なものであることが判明した。

4. 超軟弱ビート層の大面积の地盤改良工法上の2、3の問題点と対策

(1) 地盤強度のきわめて軟弱な場合、第一段の盛土施工中に軟弱表層の部分的なスベリや側方流動によってせっかく打設したドレーンが切断されることがあるので、ドレーン打込前に軟弱地盤上に、ファゴットシートを布設し、サンドマットを敷設して、第一段盛土を施工することによって軟弱表層を安定させておいてからドレーンを打設する方法が合理的であった。

(2) 用地造成工事のような場合、軟弱層厚にくらべて非常に広い載荷をうけて側面を完全に拘束された状態で鉛直方向にのみ圧密の行われる1次元的な仮定が巨視的には成立し、しかもビート層の組織は繊維質であって圧縮性が非常に大きい透水性もわりあいよいわけであり、2次圧密の問題が残るとしても、実際には盛土終了時には最終沈下の70%程度は終了しているので、早期の残留沈下予測が可能であった。同時に脱水効果を促進させる目的でサンドマットの施工管理を厳重におこない、盲排水溝の設置、盛土内に揚水井を設けてポンプアップの併用等の積極的な脱水工法をとることが是非必要である。さらに、脱水量と沈下量との関連を検討するために流量測定管理もおこなったが、きわめてよい相関を示した。

(3) サンドコンパクションパイルは盛土周縁の河川側の斜面の安定を目的として適用した。サンドドレーン、バックドレーン工法は一義的には盛土の安定を保つための対象地盤の強度増加を目的とし沈下促進対策としては、二義的に考えて、一応圧密理論にのっとり設計々算に適用した。

(4) 載荷盛土、プレロードおよび揚水井工法は、地耐力(6ton/ m^2 、残留沈下15cm)を確保すると同時に沈下促進対策を主眼において適用した。

5. 当システムの有効性と将来性

今後ますます増大すると思われる用地造成等の超軟弱地盤上における大面积の大量急速盛土施工において、このような盛土・沈下・時間解析、管理および制御システムの必要性は、切取地山の土工量管理の精度向上と同様にますます強くなると思われる。

すなわち、現在の圧密理論の仮定と実際とが十分合致しないかぎり、設計→施工→実測管理→補正施工のサイクルが生じてくる、これらの処理を多量、じん速におこなうためには以上のべたシステムが有効であったわけであるが、さらに、このシステムを厳密に分析、体系化して、盛土安定、土取場の採土速度、そして、全体工程を組込んだプログラミングによって精度と能率を向上させうるわけである。また、当システムを利用することによる管理費の工事に対する比率は、当初2%であったものが3%に増大したが、このシステムを採用しない従来の方法によると工程の遅延や二度手間による推定工事費の増額12%を考えると、多少の手間は要するが当システムを採用することによって発注者、施工者共にきわめて有効な資本投下ならびに工事管理がなされたことになる。