

重要構造物に近接する軟弱地盤における 大規模盛土

福永初男¹・清水一郎²・宮腰豊³

¹(独)鉄道・運輸機構 所長 宇城鉄道建設所 (〒869-0502 熊本県宇城市松橋町松橋402-4)

²(独)鉄道・運輸機構 副所長 宇城鉄道建設所 (〒869-0502 熊本県宇城市松橋町松橋402-4)

³正会員 工修 (独)鉄道・運輸機構 宇城鉄道建設所 (〒869-0502 熊本県宇城市松橋町松橋402-4)

九州新幹線の熊本総合車両基地は盛土構造となっており、JR 鹿児島本線と国道3号線、市道道路橋など重要構造物に囲まれている。建設地の地盤は極めて軟弱な粘性土が厚く堆積しているため、圧密促進工法により地盤改良を行うこととした。盛土施工に先立ち、プレロード工法、真空圧密工法の2種類の試験施工を行い、各工法の圧密促進の有効性及び盛土周辺へ与える変位を確認した。

実施工では試験施工の結果を踏まえて安全を確認しながら工事を進め、着工から約2年の期間で安全に車両基地全体の盛土を完了させることができた。本発表では盛土の試験施工から施工完了までの設計経緯及び施工結果の概要を報告する。

キーワード： 軟弱地盤, 施工管理, 計測

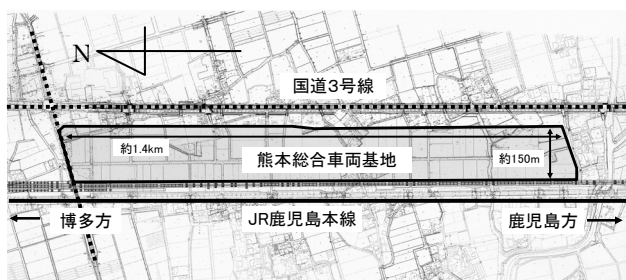


図-1 熊本総合車両基地平面図

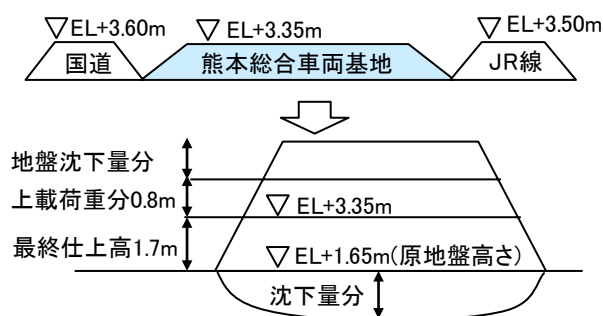


図-2 プレロード工法盛土模式図

1. はじめに

九州新幹線博多～新八代間は平成22年度末の完成に向けて工事中である。熊本総合車両基地は九州新幹線熊本駅から南に約10kmの場所に位置し、九州新幹線で使用する車両の検査・修繕・整備・留置を行う基地として建設中である。

(1) 熊本総合車両基地について

熊本総合車両基地は南北に延長約1,400m、東西に約150mの約210,000m²の広さであり、西側は国道3号線、東側はJR鹿児島本線に囲まれた立地となっている(図-1参照)。熊本総合車両基地は大雨時の浸水被害を避けるために盛土構造となっている。図-2に車両基地周辺構造物との高さ関係及び後述するプレロード盛土の模式図を示す。当基地の最終盛土仕上げ天端高はEL+3.35mであり、原地盤高さEL+1.65mからの差1.7mが盛土高さとなる。さらに軌道・列車荷

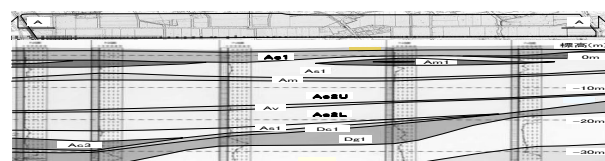


図-3 車両基地地質縦断面図

重に相当するプレロード荷重分0.8mと地盤の沈下量分を加えた高さが盛土施工高となる。

また、図-3に車両基地縦断方向の地質図を、図-4に車両基地北側の柱状図を示す。地質条件はGL-20m前後まで粘性土主体の地質となっており、特に地表

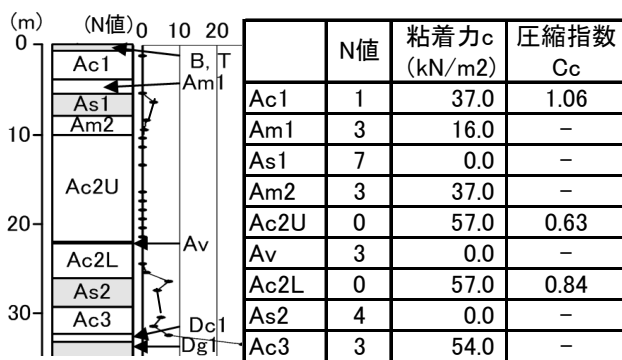


図-4 地質柱状図

付近のAc1層、GL-10m～GL-20m付近のAc2層については極めて軟弱な粘土層となっている。工事前の地質調査結果より、これら軟弱層は圧密により大きな沈下が予想されていた。

(2) 盛土設計・施工条件について

盛土の設計・施工に当っては下記の3点を満たすことを条件とした。

- ① 工期内に盛土工事を完了できる工法とする。
- ② 供用時に有害な残留沈下が発生しない程度まで圧密促進を行う。
- ③ 周辺の重要構造物に影響の無いよう施工する。

①については、後の設備工事等の工程を考慮すると全ての盛土工事を24ヶ月以内に完了させる必要があり、それを達成できる施工法を検討する必要がある。②については建物部においては過去の事例などから一次圧密の残留沈下量が5cm以内、軌道部においては10cm以内と設定した。圧密促進工法はプレロード工法を基本とした。③については、当現場のように極めて軟弱な地盤では盛土による周辺への地盤変位の影響が想定されるため、変形抑止工を検討することとした。

変形抑止工としては、生活用水として井戸水を使用している当該地域の周辺環境に配慮して「真空圧密工法」と、盛土施工に伴う沈下に対して鋼矢板により縁を切る「鋼矢板工法」の2工法を検討した。

真空圧密工法は地盤内の気圧（大気圧）を鉛直ドレーン材と真空ポンプを用いて減圧することにより地盤内の間隙水圧を低下させ圧密を促進させるとともに地盤の強度増加を図る工法であり、過去の施工事例から盛土の変形抑止の効果があることがわかっていった。

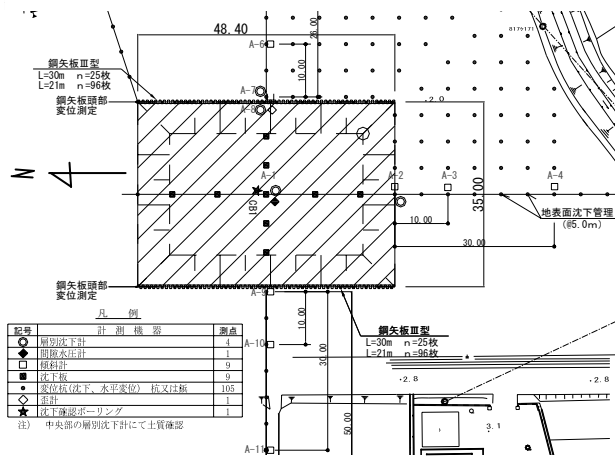


図-5 試験盛土A（プレロード＋鋼矢板工法）

2. 試験施工

(1) 試験盛土計画

先に述べた設計・施工条件を検証するために2種類の試験盛土を計画した。

・試験盛土A

プレロード工法による基本的な沈下特性、変形特性を評価するための盛土。

・試験盛土B

真空圧密工法による基本的な沈下特性、変形特性を評価するための盛土。

a) 試験盛土A

盛土形状と計測機器設置位置を図-5に示す。盛土高さは円弧すべりが生じない最大盛土高4.0mとし、のり面勾配は1:1.5とした。

また、変形抑止工法の効果を確認するため盛土長辺方向48.4mののり尻に鋼矢板（FSPⅢ型）を打設した。鋼矢板は経済性・施工性や地下水の流動阻害の問題を考慮し、5枚のうち1枚のみを支持層（Dg1）まで打設して残りを軟弱層で（GL-19.2m）で打止める「部分着底式」を採用した。鋼矢板工法の効果を検証するため、盛土短辺方向35.0mののり尻は矢板無しとした。

b) 試験盛土B

盛土形状と計測器設置位置を図-6に示す。圧密沈下や側方変位が大きいと考えられるAc1、Ac2(U, L)層まで改良するものとし、地表面より深度21.5mまでドレーンを打設(1mの正方配置)した。盛土高さは沈下後に所定の仕上り高さになることを想定して3.5mとした。

盛土のり尻のうち3側面は真空圧密載荷時に、上部砂層(As1層)を通して盛土範囲外からの遮水を主目的として地表面から長さ9mの鋼矢板（FSPⅢ型）で取

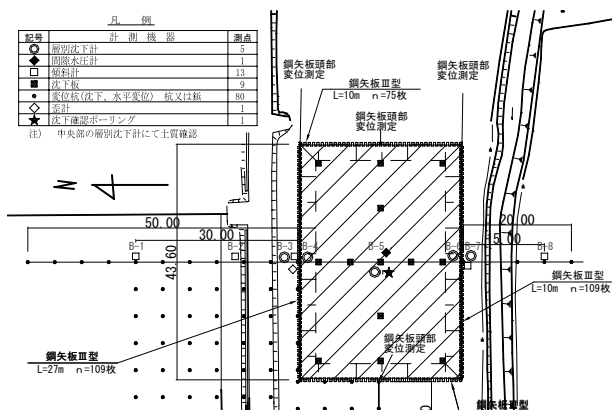


図-6 試験盛土B (真空圧密工法)

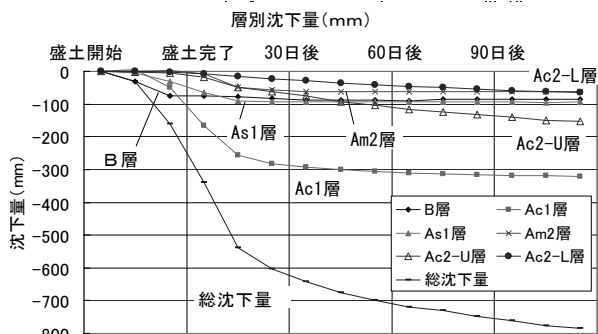


図-7 層別沈下量 (試験盛土A)

囲んだ。北側面ののり尻には変位抑止工法の効果を確認するため、地表面から深さ26mの砂礫まで矢板を着底させた。

当試験で負圧载荷による地盤の変位速度についても検討するため、負圧载荷を20kN/m²毎に段階的に上げていくこととし、最大80kN/m²まで载荷する。

(2) 試験結果

a) 試験盛土A

図-7に盛土中央部における層別沈下計の計測結果を示す。上部の粘性土層のAc1層は施工終了から2ヶ月後で変位が収束へ向かい、圧密がおおむね終了したと判断できた。一方、下部粘性土層のAc2(U, L)層は盛土開始から110日経った時点でも圧密沈下が進行中であった。

盛土完了時を基準とした双曲線法による沈下予測では、盛土完了から180日後の圧密度は6割程度であり、目標値である残留沈下量10cm以下に達するまでには約1年が経過することが予想された。これより、プレロード工法では工程確保のためにはドレーン工法などを併用して工期短縮を図る必要があることがわかった。

図-8に盛土部および周辺地盤の沈下計測結果を示す。無対策である南北方向と比べ、矢板を打設した東西方向の鉛直変位は、矢板外側での沈下量が小さくなっており、鋼矢板工法の効果が発揮されている

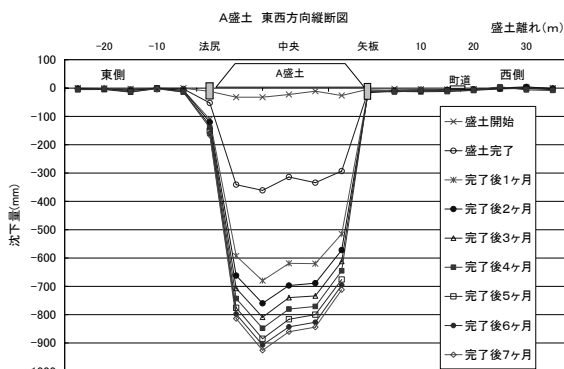
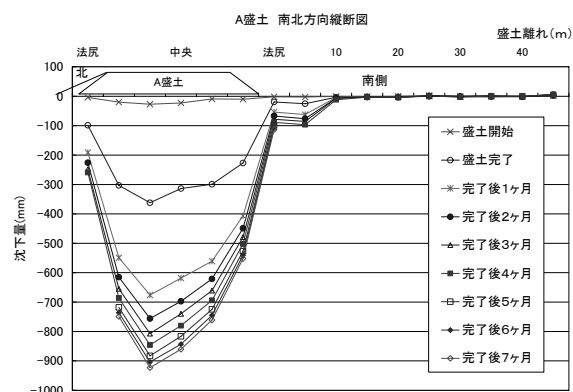


図-8 沈下量 (試験盛土A)

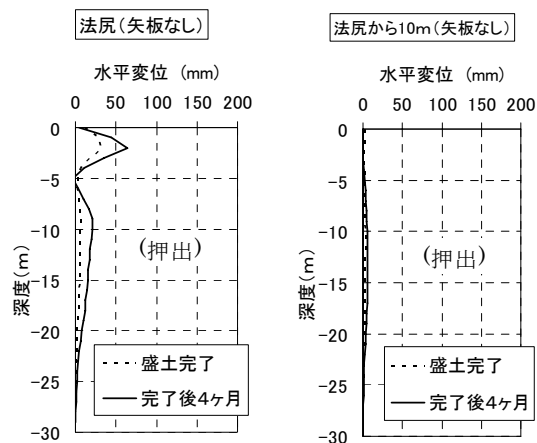


図-9 水平変位量 (試験盛土A)

ことがわかる。一方、無対策の南側ではのり尻から5m地点では100mm程度の沈下が発生したが、のり尻から10m地点ではほとんど沈下は無かった。図-9に傾斜計による水平変位の計測結果を示す。水平変位は、鋼矢板が設置されていない箇所ののり尻については上部粘土層で最大60mm程度の変位が生じており、下部粘土層においても20mm程度の変位がある。しかし10m離れた地点ではほとんど変位は見られなかった。以上の結果から無対策でものり尻から10m離隔があれば影響は小さいことがわかった。

b) 試験盛土B

図-10に载荷履歴と層別沈下量を示す。真空圧の段階的の荷により変位も段階的に増加している。試験

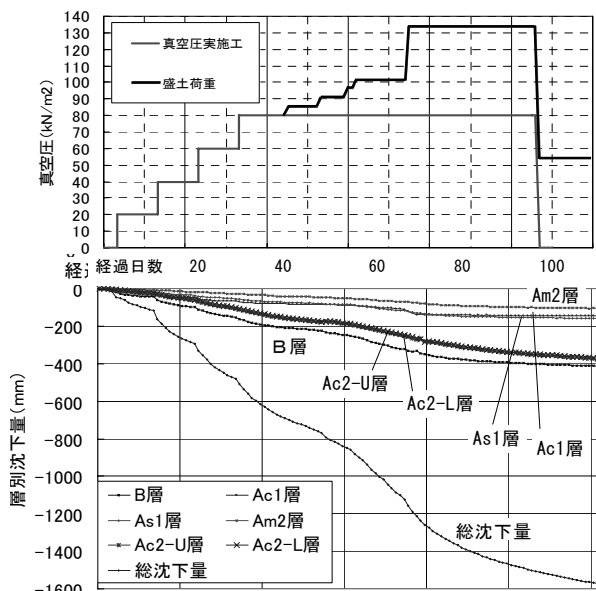


図-10 層別沈下量（試験盛土B）

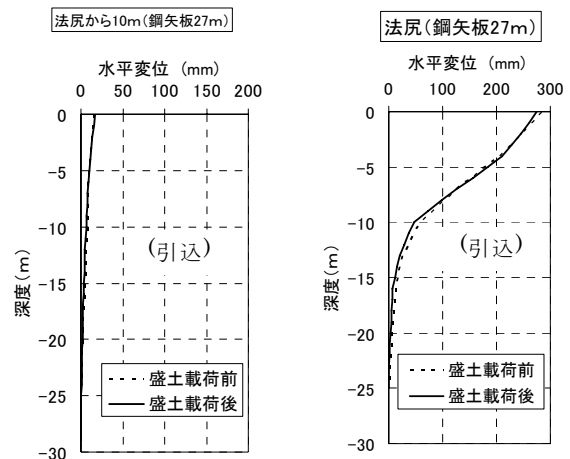


図-12 水平変位量（試験盛土B）

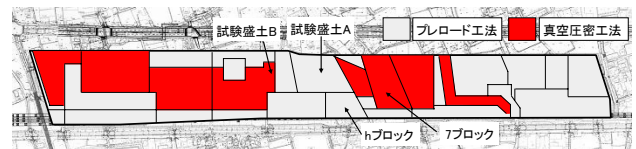


図-13 盛土工法区分図

止効果は低く、鋼矢板工法を併用しても周囲の変位を低減させることが難しいことがわかった。

3. 本施工

(1) 施工計画

熊本車両基地では、場所により用地取得時期に差があったり、盛土後の設備工事の着工時期に差があることから、基地全体を約30個のブロックに分けて盛土の施工を行った。用地取得が遅く工期が少ないブロック、引き続き設備工事等のため早期に盛土を仕上げる必要のあるブロックでは圧密促進性の高い真空圧密工法を採用することを基本とした。

また、試験施工の結果より、今回の施工条件ではプレロード工法に比べて真空圧密工法の変形抑止効果は低いことがわかった。そのため真空圧密工法を適用する場合には近接するJR在来線と十分に離隔を確保し、さらに盛土に先行して施工する新幹線本線高架橋の場所打ち杭へ影響しないよう既設の杭から10m以上の離隔を確保することを基本条件とした。

以上を踏まえ図-13のとおり車両基地内の盛土工法区分を決定した。プレロード工法では基地外部の重要構造物との離隔を10m以上確保できていたもので、法尻の変形抑止工のための鋼矢板は用いないこととした。また、試験施工結果を踏まえ、1mの正方形ピッチでプラスチックボードドレーンを打設することで圧密速度の向上を図った。プラスチックボードドレーンの先端は透水層を避けるために圧密層（AC2L層）下端から1mの位置になるよう設置した。

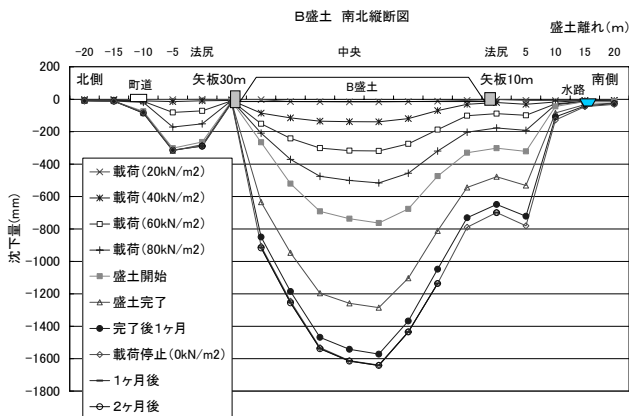


図-11 沈下量（試験盛土B）

盛土A同様、Ac1層では盛土施工終了後まもなく圧密が収束しており、Ac2層は圧密の進行が遅い。しかし、試験盛土Aと比べると短時間で大きな沈下が生じており、特にAc2層では試験盛土Aの2～4倍程度の変位が発生し、真空圧密工法とドレーンの併用による促進効果が表れている。また施工開始時から最大負圧を載荷した場合は、60日程度で所定の沈下量に達すると予測され、十分な施工速度を確保ができることが確認できた。

図-11に盛土部および周辺地盤の沈下計測結果を示す。北側の深さ26mの鋼矢板は、南側の9mの鋼矢板に比べのり尻付近の沈下を大幅に低減させることができたが、のり尻から10mの地点では最終的に南北共に100mm程度の沈下が発生し、差異は見られなかった。また、図-12に傾斜計の計測結果を示す。北側のり尻では盛土中央方向へ約300mmの大きな水平変位が発生しており、のり尻から10m離れても20mm程度の引き込みが確認された。

以上の結果より、真空圧密工法自体による変形抑

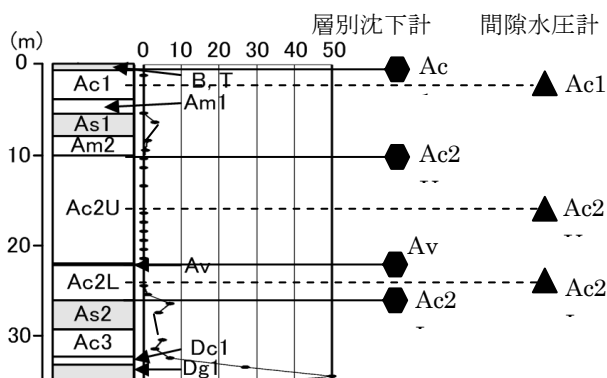


図-14 計測機器配置図

真空圧密工法については真空圧70kN/m²以上を目標に設定した。また、真空圧密工法では砂層からの通水を防止するため、10mの矢板のみを施工ブロック外周に設置することとした。

(2) プレロード工法

a) 施工管理について（プレロード工法）

プレロード工法の施工では地表面における沈下量により管理を行った。双曲線法により盛土開始時点からの計測データを基に最終沈下量を推定し、残留沈下量が10cm以下となってから除荷することを基本としたが、圧密層が厚い箇所では残留沈下量10cmと設定すると非常に多くの期間を要するため、圧密度90%に達した時点で除荷しているブロックもある。

また、いくつかのブロックにおいては各圧密層においても確実に圧密が進行しているか確認するために層別沈下計、間隙水圧計を設置してデータを収集した。計測機器の配置図を図-14に示す。

b) 施工データについて（プレロード工法）

図-15にプレロード工法により施工を行った「hブロック」の沈下計測データ及び間隙水圧計データを示す。

盛土開始から計測を開始しており、横軸の時間軸は1目盛りを30日としている。

盛土完了から除荷までの期間はおおよそ90日で、その間の沈下量は約1140mmであった。一方、試験施工時には盛土完了から90日後の沈下量は約500mmであり、今回補助工法として施工したプラスチックボードドレーンの効果が十分あったことが確認できる。なお、このブロックでは圧密度が90%に達したことを確認して除荷を行っている。

グラフ形状よりAc1～Am2層、Ac2U層については圧密はほぼ収束していると判断できる。As2層から下層についてはほとんど沈下はみられなかった。

間隙水圧計のデータについて、Ac2U層、Ac2L層において盛土完了後にさらに間隙水圧が上昇する現象が

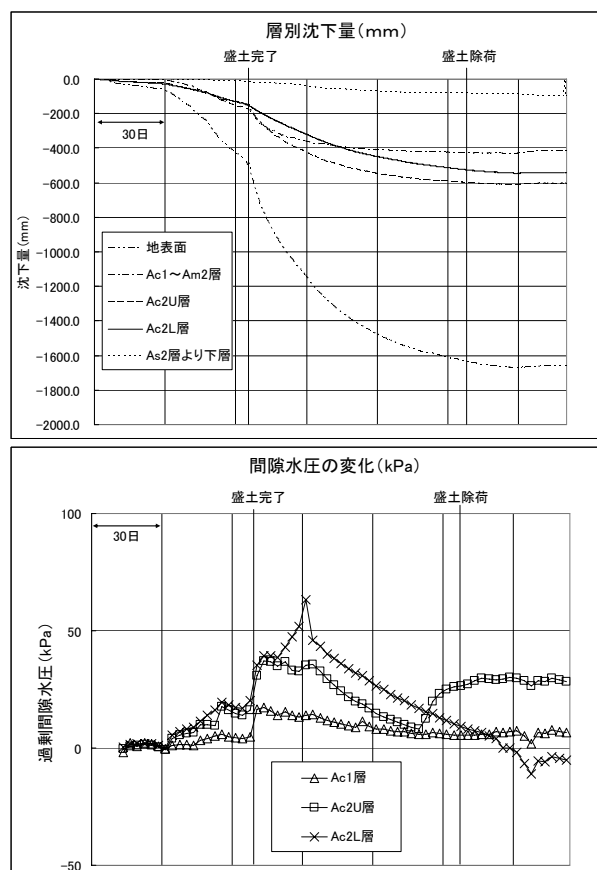


図-15 プレロード工法計測データ

確認された。

これは他のブロックの間隙水圧計においても同様に確認され、機器の不具合ではないと考えられる。これまでに国内の海成粘土層の圧密報告から同様な現象が報告¹⁾されており、高い骨格構造をもつ粘土の場合、圧密過程において骨格構造の破壊（低位化）が生じると有効応力の低下により過剰水圧の上昇が起こるとされている。本工事においてもAc2U層、Ac2L層について高い骨格構造を持つ粘土の特徴が確認されており、上記報告と同様な現象が発生している可能性があると考えられる。

(3) 真空圧密工法

a) 施工管理について（真空圧密工法）

真空圧密工法についても地表面における沈下量により管理を行った。本工事では真空設備設置後に仕上げ高さに地盤の沈下量分を加えた高さまで盛土を行い、その後高真空N&H工法施工技術資料²⁾に基づいて最低40日間の真空載荷を行うこととした。真空停止の判断は地表面沈下量により行うが、試験施工の結果より真空圧密工法では真空圧により強制的に沈下を進行させているため、沈下曲線に収束傾向が現れにくく、双曲線法により最終沈下量を求めると過大な沈下量が算出されてしまうことがわかっていた。

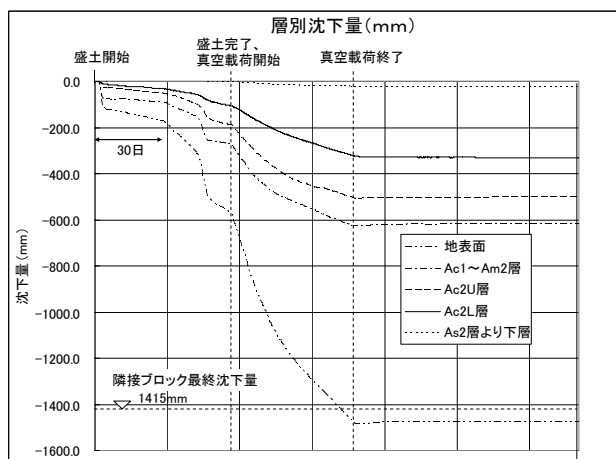


図-16 真空圧密工法計測データ

そこで、地盤条件が同じ隣接するプレロード工法のブロックで双曲線法により算出される最終沈下量を適用し、残留沈下量が10cm未満であることを確認し真空停止することとした。プレロード工法による最終沈下量は将来的な上載荷重の作用により決定されるため、残留沈下量を少なくするためには合理的な判断基準であると考えた。真空圧密工法については明確な管理手法が確立されていないこともあり、本工事では上記のように設定した。

真空圧密を行ったブロックについてもいくつかのブロックに層別沈下計を設置してデータを採取した。

b) 施工データについて（真空圧密工法）

図-16に真空圧密工法により施工を行った「7ブロック」の層別沈下計のデータを示す。データは真空設備設置が完了し、盛土施工を開始した時点から計測を行っている。盛土施工直後に一時的に沈下が発生しているのは気密シートの漏気チェックを行うため一時的に真空稼働させたためである。

グラフより、地表面沈下量は設定最終沈下量を超え、真空稼働最低期間40日を越えた時点で停止している。各層についても真空載荷開始時点から大きな沈下を示し、真空載荷終了まで収束傾向が確認できなかった。As2層から下層については「hブロック」と同様にあまり沈下がみられなかった。真空圧については稼働期間中、常時80KPa以上を確保できた。

(4) プレロード工法と真空圧密工法の比較

先に述べたように、プレロード工法と真空圧密工法では同程度の地表面沈下量を確認して載荷を停止してきた。ここで、比較的距離が近く、地質状況が似ていると考えられる「hブロック」と「7ブロック」について各圧密層の沈下量に着目してそれぞれの沈下特性の比較を行った。

図-15に示した「hブロック」のAc1～Am2層、Ac2U層、

表-1 工法別圧密度の比較

	hブロック (プレロード工法)	7ブロック (真空圧密工法)
Ac1層～Am2層	93%	132%
Ac2U層	78%	63%
Ac2L層	65%	37%

Ac2L層の沈下について、双曲線法で最終沈下量を算出するとそれぞれ460mm、820mm、760mmとなり、除荷時点での圧密度はそれぞれ93%、78%、65%となった。

一方この最終沈下量を用いて真空圧密工法「7ブロック」の各層の真空停止時の圧密度を算出するとそれぞれ132%、63%、37%となる（表-1）。この結果より、地表面に近いAc1～Am2層ではプレロード工法より圧密が進行している一方で、GL-10～-25mのAc2U、L層ではプレロード工法ほど圧密が進行していないことが確認できる。これは真空ポンプに近い地表面付近では真空圧が効果的に作用している一方で、深い層では真空圧が作用しにくいと考えられる。

これは高真空N&H工法施工技術資料にも記載があるとおり、深度が深くなるほど真空載荷圧が減少する場合があることを裏付けるデータと考えられる。

4. その他計測工

車両基地盛土施工中、西側に隣接するJR在来線および北側のご線橋橋脚の変位計測を実施し、盛土による変位が無いか確認を行った。その結果、両者とも有害な変位を与えることなく無事に施工を完了することができた。

5. さいごに

熊本総合車両基地盛土工事では厳しい工程の中、二種類の圧密促進工法を採用し、無事工期内に盛土工事を完了した。試験施工によりそれぞれの工法の特徴を把握し、効果的に実施に反映させることができたと考えている。現在のところ盛土完了後の残留沈下はほとんど確認されていないが、今後供用開始までの約2年間注意深く計測を続けていきたい。

参考文献

- 1) 野田利弘ほか: 骨格構造の進行性破壊による間隙水圧上昇を伴う長期・大沈下挙動の圧密計算, 第40回地盤工学研究発表会概要集, pp. 20-33, 2005.
- 2) 高真空N&H工法-改良型真空圧密工法-技術資料, 真空圧密技術協会, 2004.