

最大高さ 48mの関東ロームと稲城砂の互層宅地高盛土の構築

大成建設(株) 正会員 ○岩崎 孝夫, 清水 裕雄
宮崎 尚人, 春藤 周平
忠野 祐介
南山東部土地区画整理組合 遠藤 浩司

1. 事業概要および工事概要

東京都稲城市の南山東部地区では、事業面積約 87.5ha（東西約 1.3km，南北約 1.0km）の土地区画整理事業に基づく宅地造成工事が進められている。事業後には、公共用地 34.8ha，宅地 52.7ha に整理され，約 2,550 世帯，計画人口 7,600 人が住まわれる街を完成する。本報では，当事業地内の根方谷戸地区に造成された高さ 48m，盛土量が約 100 万 m^3 の宅地盛土としては国内最大級の高盛土について述べる。

2. 高盛土構築にあたっての技術的課題

根方谷戸地区は侵食崖を含む集水地形であり，過去には大雨によって幾度の土砂災害が発生していた。当地区の土砂災害防止および全体造成計画における土量バランスの整合を取ることを目的に，当事業地内で発生する関東ロームと稲城砂を使用した盛土計画が必要であった。両者ともに特殊土に分類される土質である。関東ロームは，多孔質粘土で高含水比であるため，過剰間隙水圧が発生しやすく，有効応力の低下に伴う施工中の不安定化と，消散遅れによる残留変位が生じやすい特徴を有する。一方，稲城砂は細粒分を含む砂であり，10-6m/s 程度の中位の透水性であること，雨水浸食に弱いことが特徴として挙げられる。これらの特殊土を用いた宅地高盛土の構築にあたっては，特殊土の特性を最大限考慮した高盛土構造の計画が求められた。

3. 設計概要¹⁾

「関東ローム高盛土法面の設計施工指針」（東京都多摩都市整備本部）には，関東ロームと良質土を互層で構築した法面において，はらみ出しが減少した施工例が記載されている。この事例に倣い，関東ロームの圧密促進を念頭に稲城砂との互層構造を基本構造として設計検討を実施した。図 1 および図 2 に，根方谷戸高盛土の平面図および縦断面図を示す。詳細設計の結果，以下 5 点の対策を講じることとした。

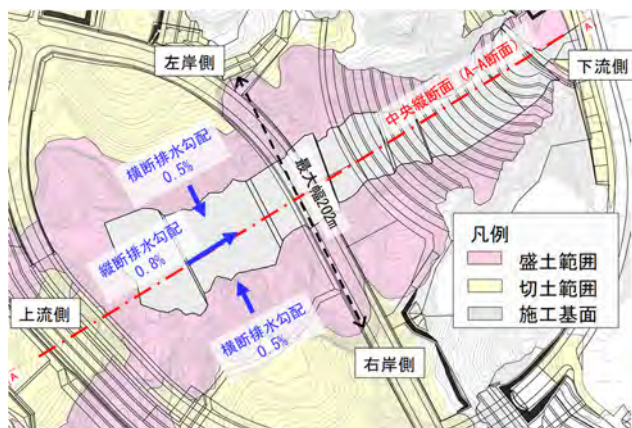


図 1 根方谷戸高盛土の平面図

- (i) 常時・地震時の安定計算結果を踏まえ，盛土基礎部に堆積する軟弱沖積砂質土層を改良径 700mm の砂杭による締固め工法により改良する。さらに盛土法先には，セメント改良土による押さえ盛土を設置する。
- (ii) 2次元浸透流解析結果を踏まえ，盛土内に滞水させないために，稲城砂各層の下端全面に高透水の排水シートを設置する。さらに，盛土内からの早期排水を目的として，盛土高さ 9m 毎および盛土基礎面の水平碎石排水層，縦断方向中央部の鉛直碎石排水層を設ける。（4章で詳述）
- (iii) 排水効果を高めるために，上流から下流に向けた盛土縦断方向および右岸・左岸から中央縦断面に向けた横断方向に排水勾配をそれぞれ設定する。（図 1 参照）
- (iv) 稲城砂は雨水浸食に弱いので，法面を含む盛土表層は関東ロームで構築する。（図 2 参照）
- (v) 関東ロームの圧密促進および施工時の過剰間隙水圧の発生抑制の対策として，各関東ローム層の中心高さの不織布シートおよび帯状ドレーン材を設置する。（5章で詳述）

キーワード 高盛土，関東ローム，稲城砂，圧密，ICT 土工

連絡先 〒163-6008 東京都新宿区西新宿 6-8-1 大成建設(株)東京支店 TEL03-3348-1111

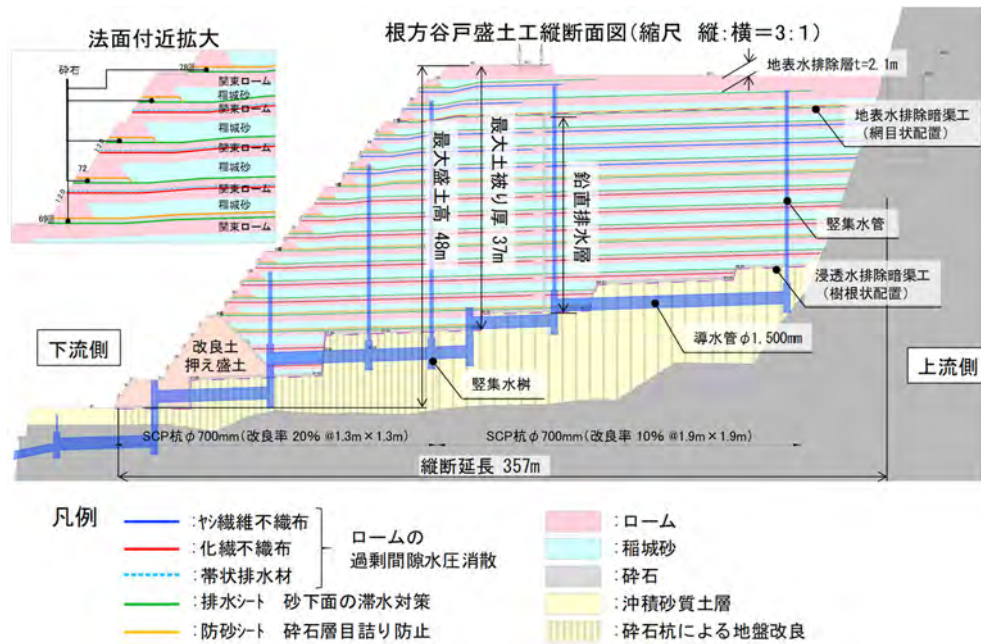


図 2 根方谷戸高盛土の断面図

4. 高盛土の排水対策¹⁾

盛土にとって雨水は天敵であり、盛土内への雨水浸透による有効応力の消失や、盛土背面側の滞水に伴う水圧によって盛土が押し出される等の災害例が数多く報告されている。本工事では、透水性が低く背面側水圧の影響を受けやすい関東ロームと、雨水浸透に伴うサクシオン低下による強度低下が生じやすい稲城砂を用いた盛土であることから、雨水に対する対策に万全を講じた構造としている。盛土内に作用する雨水としては、①表層から盛土に浸透するものと、②盛土外から地山を通じて盛土側面から浸透・滞水するものに大別されるため、それぞれへの対策を講じた。

(1) 盛土表層から浸透する雨水への対策

互層盛土の構造上、盛土内に浸透した雨水は相対的に透水係数が高い稲城砂層を通過することになる。稲城砂は細粒分を含み透水係数が $10^{-6}m/s$ 程度であるため、ローム層との境界付近に滞水することが懸念された。2次元浸透流解析により対策工を検討した結果、稲城砂各層の下端全面に高透水性の排水シートを全面敷設することとした。この排水シートには、施工終了後にも所定の排水機能を有する恒久性が求められたため、長期通水による目詰まりや、上載圧による盛土材のめり込みを考慮した室内試験を実施した。さらに、実規模相当の互層盛土を構築した上での施工試験で稲城砂層への滞水がないことを確認した。

また、盛土表層には厚さ 2.1m のローム層による地表水排除層 (図 2 断面図参照) を設け、さらに表層から深さ約 5m の位置に配された水平排水層には暗渠工を網目状に設けることで、盛土表層から深部へ浸透する雨水を低減する構造となっている。盛土法面も同様にローム層で構築した上で、雨水浸食防止と植生機能の両方を有する多機能シートを法面全面に敷設した。

(2) 地山から浸透する雨水への対策

本工事は集水地形の谷戸に高盛土を構築することから、周囲の地山からの地下水流入が懸念された。そこで、地下水排除工として、高盛土基礎全面に厚さ 0.3m の砕石による水平排水層を設けた上で、図 3 に示すように基礎面の砕石中および地山の沢地形にあ

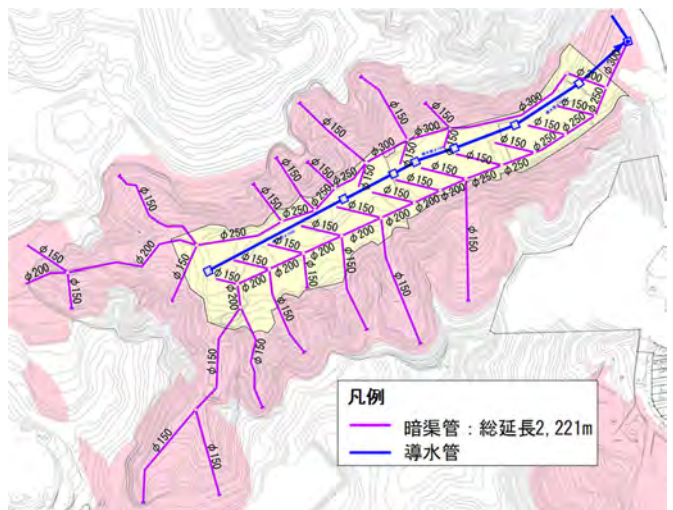


図 3 高盛土基礎面の暗渠工配置図

たる部分に暗渠工を樹根状に張り巡らせることで、地山からの地下水を盛土内に浸透させない構造とした。また、表土撤去・段切り工において湧水が確認された場合には、別途暗渠工を新設する方針とした。

5. 関東ロームの過剰間隙水圧の早期消散対策

盛土材の一つである関東ロームは、火山灰由来の多孔質粘土であり、高含水比で鋭敏比が高いことやチキントロピー性による転圧後の時間経過に伴う強度回復の特異性から、各種施工要領などにおいて様々な知見や留意点が示されている。特に、高含水比に起因した上載荷重の作用による過剰間隙水圧の発生により、盛土の安定性が低下することが懸念されたことから、過剰間隙水圧の早期消散を念頭に盛土構造の設計が行われた。施工中の関東ロームの過剰間隙水圧対策は、「関東ローム高盛土法面の設計施工方針（排水ブランケット工）」（東京都多摩整備本部）に準拠するとともに、関口・太田の弾粘塑性モデルによる2次元FEM変形解析を行い、施工中および施工後に過剰間隙水圧が発生しないこと、施工終了後に高盛土上の宅地に有害な圧密沈下や水平変位が生じないことを確認した。設計検討の結果、過剰間隙水圧の早期消散に向けて、層厚1.2mの関東ローム各層の中央高さに排水ブランケットとなる長繊維不織布のジオテキスタイルを設けることとした。さらに、全面敷設したジオテキスタイル上に帯状の集水ドレーン材を14m間隔で設置することで排水時間の一層の短縮を図った。（図4）盛土高さ9m毎に配した厚さ0.3mの砕石による水平排水層は、滲出水の盛土外への早期排水機能も兼ねており、滲出物は速やかに盛土外に排水される。なお、ジオテキスタイルと集水ドレーン材についても、排水シートと同様に、室内試験で上載圧作用下での排水性能を確認した。



図4 ジオテキスタイル・集水ドレーンの配置

6. 高盛土の動態観測計画と残留沈下量予測

高盛土の動態観測については、本施工前に実施した実規模の盛土試験の結果や2次元FEM変形解析結果等を基に計画立案を行った。高盛土に設置された計測器の配置を図5に示す。計測器は計4種類あり、関東ロームの過剰間隙水圧および稲城砂層および水平排水層への滞水状況を確認するためのキャサグランデ式水位計、盛土の層別沈下量を計測するためのクロスアーム式沈下計、盛土および基礎地盤の水平変位を計測するための傾斜計、法面変位を計測するための法面変位計を高盛土内の複数箇所に設置した。施工期間中は毎日計測監視を行い、2次元FEM変形解析から得られた閾値や施工要領に示された管理基準値を超過した場合には、ただちに施工を中断し、状況観察の上で対策を講じる体制を構築して施工を進めた。

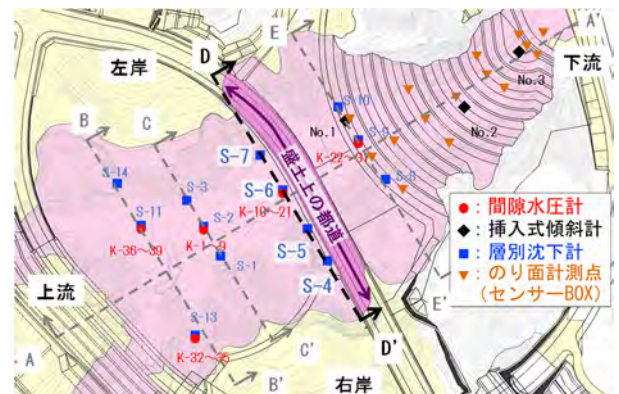


図5 高盛土内の動態観測計器の配置図

図6に盛土内の間隙水圧計と現場内に設置した雨量計の計測結果を示す。高強度降雨に見舞われた際には、一時的に間隙水圧が上昇するタイミングがあったもの

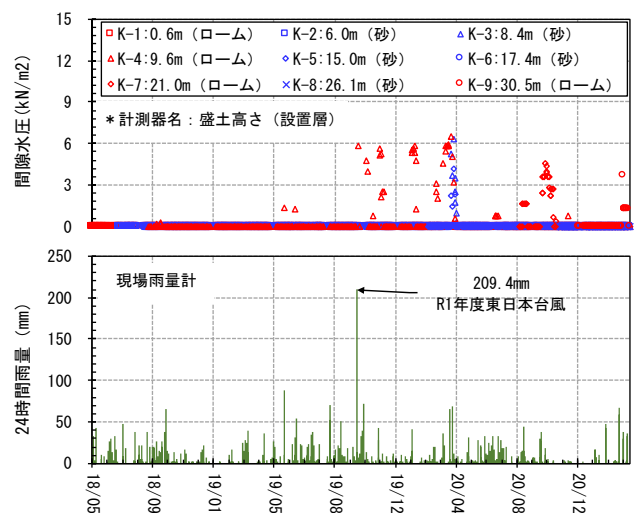


図6 間隙水圧計の計測結果と観測雨量

の、複数の雨水対策や関東ロームの過剰間隙水圧対策により、施工中に盛土の安定性を損なうような過剰間隙水圧は一切発生しなかった。

盛土沈下量については、図 7 に示すように、層別沈下計での実測沈下量と、盛土材料の物性値および施工ステップを考慮した解析モデルによる解析予測を比較しながら施工を進めた³⁾。また、当地区の早期引き渡しに向けて、解析上での沈下予測を行い、必要箇所にプレロード盛土を構築した。盛土完了後には、図 8 に示すように、双曲線法による沈下収束予測を行いながら動態観測を継続した結果、盛土完了から 80 日経過時点で残留沈下量 1.9cm 以下となる結果が得られた。なお、紙面の都合上割愛するが、水平変位は数 cm 程度に抑えられ、法面変位はほとんど発生することなく、施工を完了した。

7. 高盛土工事における施工管理

(1) 土量管理

本工事は、関東ロームと稲城砂を互層に積層する構造であるため、2種類の土質を施工進捗に応じて配分する必要がある。そのためには、計画段階において事業全体の切土工程を鑑みながら、盛土に必要な土質別の土量を常に確保できるかの事前検討が求められた。そこで、計画段階において実施された 1 次元情報のボーリング調査の結果を基に、広域な事業域内の地層構成を把握するために、「GEORAMA for Civil3D」を用いた地層境界深度の推定により、図 9 のような 3 次元の地層構造図を作成した⁴⁾。作成した地層構造図から、計画高まで掘削した際の土質別土量の分布を点交法により求めた。その情報に、事業全体の工程を反映し、年度単位での土質別土量を算出することで盛土構築に必要な土量を確保できるかを検討した。

また、計画履行確認と全体の出来形把握を目的とした 3 次元レーザー測量を実施した。日々地形が変化する造成工事においては、短期間かつ広域に 3 次元測量を行う必要があるため、車載式と UAV 式を組み合わせた測量方式を採用し、事業域全体を起伏が少なく工事用道路が開通している範囲とそれ以外に分割し、前者を車載式、後者を UAV 式に分けて測量を行った⁵⁾⁶⁾。本方式の採用によって、全域を UAV 式での測量に比べて、測量期間を半分以下に短縮することができ、事業面積の約半分である 37ha を 2 日で測量することができた。

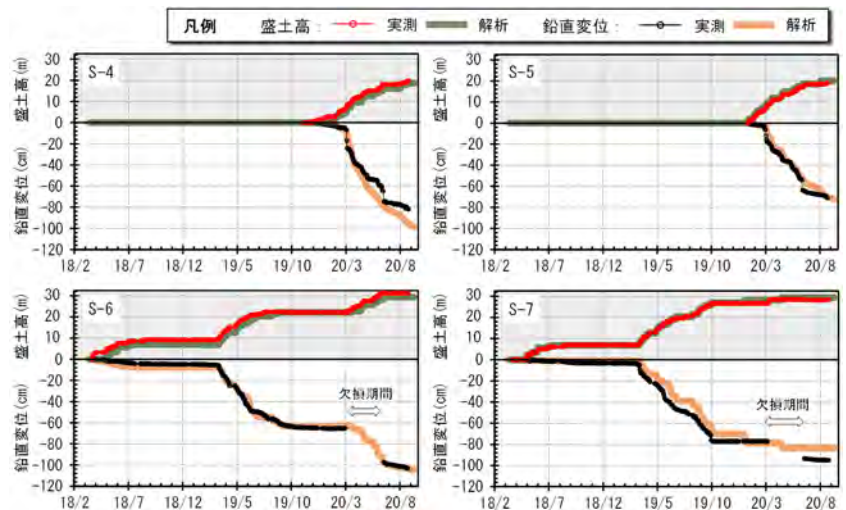


図 7 施工中の実測沈下量と解析結果

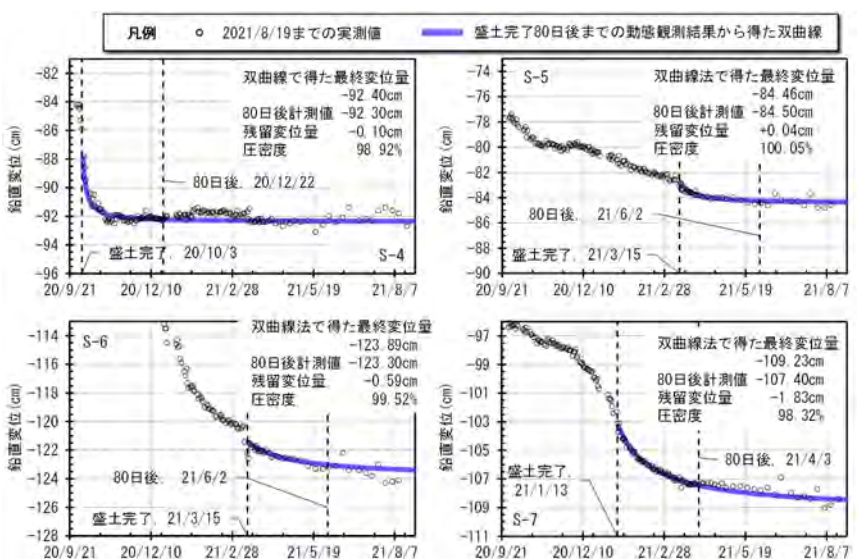


図 8 施工完了後の残留沈下量の推移と双曲線予測結果

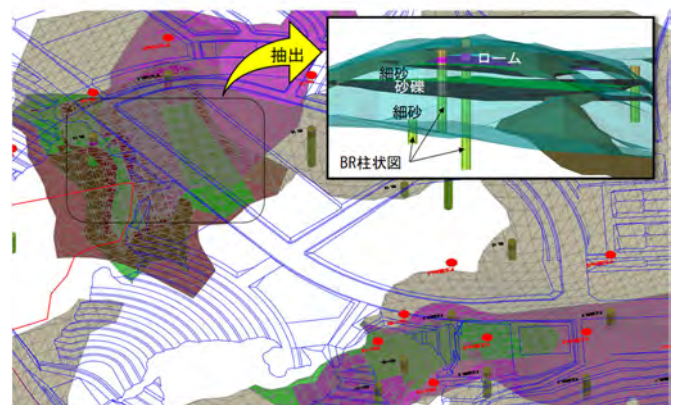


図 9 地層境界面の整理

測量で得られた土量（図 10）は、出来形把握および地層構造図の更新のみならず，土工事全体の土量変化率を把握にも活用することで，盛土工事を含めた土工事全体の数量把握に役立てた。

以上の取組みを通じて，土質別の必要土量の不足が懸念される場合には，一部の造成計画を変更して必要土量を確保するなどの対策を事前にとることができ，切土進捗によって盛土の工程遅延を生じさせることなく工事を完遂した。

(2) 盛土内の排水勾配確保に向けた ICT 土工の導入⁷⁾

盛土内には縦断・横断方向にそれぞれ排水勾配が設けられており，敷き均し高さの面的な管理が重要な位置づけとされたため，高盛土施工開始の 2018 年度より ICT 土工を導入した。本工事では，0.8m³ 油圧ショベル 1 台および 21t 級湿地ブルドーザ 2 台の ICT 建機を導入した。事前に作成した高盛土の 3 次元モデル（図 11）を基準に，敷均しおよび転圧高さの管理，円弧状の法面の整形作業の効率化を図った。位置情報は，ネットワーク型 RTK-GNSS 測位（VRS 方式）を採用し，GPS および GLONASS の衛星情報を利用している。

本工事は，土砂流出防止の観点から，斜面上の樹木の伐採や表土除去，段切りを，盛土施工の進行に合わせて必要箇所のみ順次行う形としている。そのため，盛土高さの低い初期～中期の段階では，樹木等の影響により時間帯・施工場所によっては受信可能な衛星数が少なく，測位精度が低下するケースが散見された。そこで，本工事では十分な測位精度を確保できる受信衛星数を 9 機以上と設定し，時間帯により受信衛星数が 9 機未満となる可能性のある範囲を予めマッピングすることとし，その範囲を施工する際には衛星数と測位精度に特に注意して施工を進めた。また，施工上の都合で鉛直方向の測位精度 30mm の超過が避けられない場合においては，人力での丁張で補填するなどの対策を取りながら施工を進めた。図 12 にマッピング結果の例を示す。上空視界が狭い沢部および比較的急峻な斜面から 10m 程度の範囲に測位精度が不良な範囲の集中が確認できる。特に沢部においては，時間帯によらず受信衛星数が少ない結果となった。なお，中期以降は盛土工事および斜面上の伐採工事の進捗に伴い，測位精度が問題となる範囲は徐々に減少し，上記対応の機会も徐々に減っていった。

準天視界が不良な谷埋め盛土での ICT 土工の実施にあたり，特に施工初期～中期において測位精度の確保

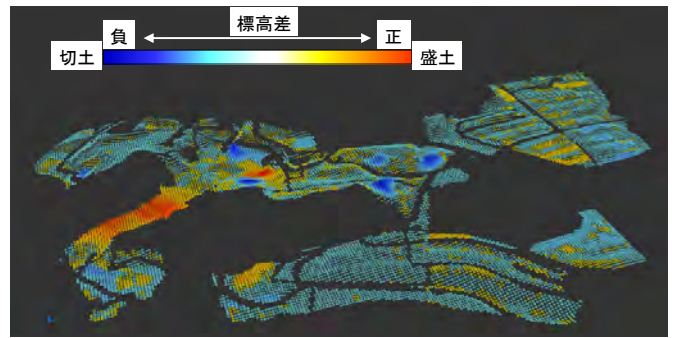


図 10 事業全域の土量計算結果例

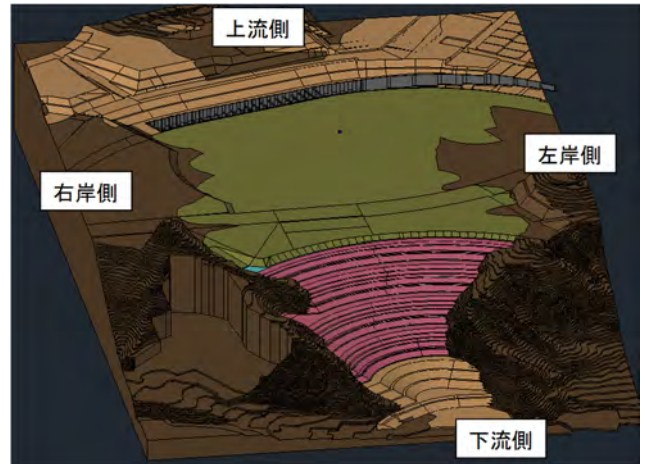
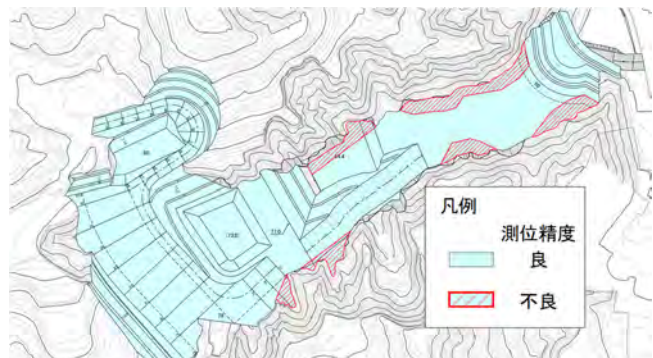
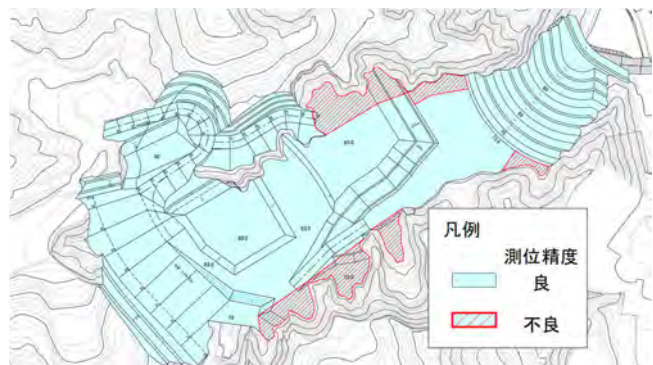


図 11 根方谷戸高盛土の 3 次元図面



(a) 施工初期での測位精度不良範囲



(b) 施工中期の測位精度不良範囲

図 12 測位精度不良範囲のマッピング結果の一例

が難しい場面が散見されたが、事前のマッピングによる施工期間全体を通じて従来施工よりも効率的な施工ができたと考える。また、結果として計画的な人力による測量計画を立案することができたことから、重機が輻輳する現場環境においての労働安全上の効果も得られた。

(3) クラウドサービスを活用した転圧後の密度管理業務の効率化の取り組み⁸⁾

盛土の品質管理項目の一つに、RI 計器による転圧後の密度計測が定められており、「RI 計器を用いた盛土の締固め管理要領（案）」（建設省技調発第 150 号，1996.8）に従い、施工面積 1500m² 毎に 15 点の頻度で計測を実施する計画であった。高盛土は 0.3m 毎に敷均し・転圧を行うことから、総計測点数は 2 万点以上に及ぶ。そこで、電子帳票システム「i-Reporter」を導入し、密度管理業務の効率化を図った。このシステムは、任意書式の電子帳票の作成が可能であり、アクセス権を付与したユーザーの ID、パスワードによる認証システムを有するサーバで帳票データの一元管理が可能である。

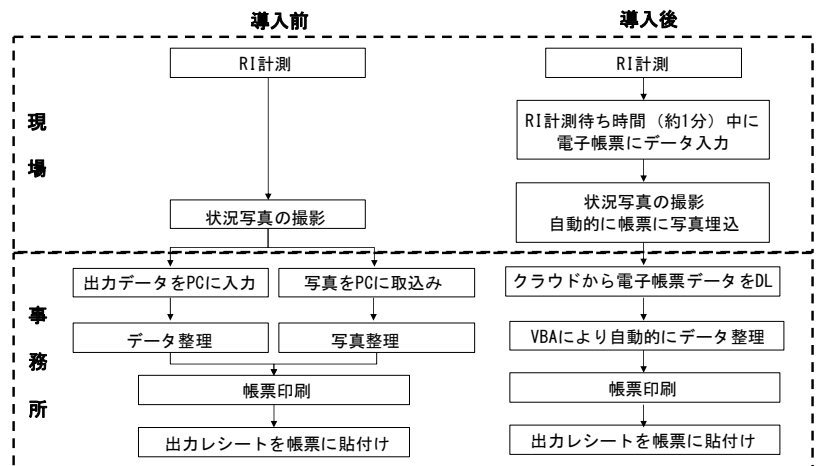


図 13 電子帳票導入前後の作業フロー

図 13 に電子帳票導入前後の作業フローを示す。導入前の計測データの整理作業は、計測結果が印字されたレシートの内容を、事務所に戻ってから手入力していたため、多大な業務時間を費やしていた。また、計測状況を撮影した写真整理についても同様に手作業で帳票に整理していた。その現状を鑑み、電子帳票を導入したフローでは、事務所での作業を極力減らすことを目的にシステムを構築した。具体的には、RI 計器による密度測定時での 1 分程度の計測待機時間を有効活用して、サーバ上の帳票にスマートデバイスからデータ入力作業を行ったり、現場で撮影した状況写真を帳票に自動的に埋め込むようにしたりすることで、事務所でのデータ整理作業は一切発生しない仕様とした。さらに、VBA をベースに、クラウド上からダウンロードした帳票データから、締固め度分布のグラフやデータ一覧表を一括作成できるプログラムを別途構築し、日常の業務のみならず検査資料の作成の省力化も見据えたシステムとした。

本システムの導入によって、1 日の計測点数 100 点あたりの業務時間を試算した結果、データ入力～写真整理までの作業全体を通して 3 時間程度の業務時間短縮を実現した。創出された時間は、作業観察を通じた安全管理や施工計画の立案など、現状ではシステムに取って代わることができない業務に対して注力する時間に充当することができ、結果として本工事の施工全体を通して、無事故・無災害で工事を終えることができた。

8. まとめ

南山東部土地区画整理事業は、事業面積の 23%が緑地を占める緑豊かで、かつ都心へのアクセス性といった利便性を兼ね備えた街を作る事業である。現在までに一部区画は引渡し済みであり、戸建および集合住宅が立ち並ぶ閑静な住宅街や、教育施設、病院等の公共施設、スーパーや薬局といった商業施設が開業しており、街として形成されつつある。

根方谷戸高盛土は、最大高さ 48m、盛土量約 100 万 m³もの宅地盛土としては国内最大級の高盛土である。また、事業全体の造成工事で発生する稲城砂と関東ローム 2 種類の特殊土の特性を最大限考慮した互層構造の採用や、集水しやすい谷地形において、盛土内外の滞水を許容しない万全の排水対策を施した安定性が極めて高い盛土である。2021 年 3 月に完成を迎えた高盛土上には、高盛土と同時期に施工を行った掘割擁壁区間、NATM トンネル区間（名称：稲城よみうりランド坂トンネル）を通じて、多摩 3・4・12 号よみうりランド線が一部暫定区間を含んで 2021 年 9 月 27 日に開通した。川崎市と稲城市を結ぶ広域的な幹線道路にも関わら

ず、狭隘で歩道がなく急カーブ・急勾配の事故多発路線であった旧道から、歩道を含む有効幅員 16m の道路が完成し、交通安全性は格段に向上した。(図 14) また、高盛土上には広域的レクリエーション交流拠点の新たな核となるスポーツ施設や商業・業務施設等の複合施設が建設される予定であり、周辺地域の新たな賑わいが創出される。(図 15) 一方、暫定開通区間であるランド谷戸については、2021 年 11 月より、盛土量が約 70 万 m³ のランド谷戸高盛土の施工が開始される予定であり、根方谷戸高盛土で蓄積した知見や最新技術の積極導入を図って、2025 年 3 月の事業完成に向けて安全かつ着実な施工を進めていく所存である。



図 14 多摩 3・4・12 号よみうりランド線



図 15 完成後の根方谷戸高盛土

参考文献

- 1) 宮崎尚人, 岩崎孝夫, 忠野祐介: 最大高さ 48m の国内最大級の宅地高盛土の構築—その 1: 特殊土の特性を考慮した互層構造と圧密・排水対策—, 土木学会第 77 回年次学術講演会, 2022. (投稿中)
- 2) 岩崎孝夫, 宮崎尚人, 曾田靖章, 近藤令子: 谷戸地での締固め地盤改良の計画と施工管理, 土木学会第 72 回年次学術講演会, VI-871, 2017.
- 3) 忠野祐介, 宮崎尚人, 岩崎孝夫, 大向直樹, 武野哲也: 最大高さ 48m の国内最大級の宅地高盛土の構築—その 2: FEM 圧密変形解析と双曲線法による沈下予測—, 土木学会第 77 回年次学術講演会, 2022. (投稿中)
- 4) 岩崎孝夫, 斎藤博行: 土質別土量を考慮した, 粘性土と砂質土の互層での高盛土計画, 土木学会第 72 回年次学術講演会, VI-868, 2017.
- 5) 忠野祐介, 新井好実, 清水光晴, 伊藤星也: ULS と MMS の併用測量における計測誤差の要因とその解消方法, 土木学会第 74 回年次学術講演会, IV-108, 2019.
- 6) 忠野祐介, 岩崎孝夫, 宮崎尚人, 新井好実: ULS と MMS を併用した 3 次元レーザー測量による土量変化率の算定, 土木学会第 75 回年次学術講演会, VI-1119, 2020.
- 7) 忠野祐介, 岩崎孝夫, 宮崎尚人: ICT 土工を活用した谷埋め高盛土の施工における測位精度低下への対応事例, 土木学会第 76 回年次学術講演会, VI-142, 2021.
- 8) 坂本伸久, 岩崎孝夫, 忠野祐介: 電子帳票の活用による高盛土の品質管理業務の効率化, 土木学会第 76 回年次学術講演会, VI-507, 2021.