
 特集 IT と建設の機械化

大規模高盛土工事の 合理化施工法の開発

—第二東名・伊佐布 IC 工事—

板垣 光春・小池 正己・皿海 章雄

第二東名高速道路の大規模高盛土工事の施工においては、高速道路としての高い品質の確保、発生土の有効活用、かつ経済性と工期短縮を実現するために、

- ① 大型施工機械による施工、
- ② 一層仕上がり厚 60 cm の厚層締固め、
- ③ 盛土のゾーニング設計の採用、

を施工方針として掲げている。この方針に沿って合理的な施工を行うために、最先端の情報技術を駆使した施工管理システム「IT 土工システム DREAM」を開発した。本システムを第二東名伊佐布インターチェンジの大規模高盛土工事に適用した結果、施工方針の実現において課題であった点を解決し、高品質化、省力化、迅速性、安全性の面で効果があることを確認した。

キーワード：土工、大規模高盛土、合理化施工、施工管理、締固め管理、出来形管理、IT

1. はじめに

静岡県域に建設中の第二東名高速道路は、道路構造として速度 140km/h の走行可能性と 6 車線断面への対応が図られ、著しく高速走行性が向上したものとなっている。こうした道路線形・構造の計画上から、路線が現東名に比べて北側の山岳地に設置されており、そのため土工区間においては、総盛土量が約 4,900 万 m³ 以上となり、一箇所あたり 100~1,000 万 m³ という大規模で高盛土となる工事を計画している。

日本道路公団静岡建設局では、高速道路としての高い品質の確保、発生土の有効活用、かつ経済性と工期短縮を実現するための指針^{1),2)}を策定し、次のような施工方針を示している。

- ① 大型施工機械による土工の実施

- ② 320 kN 級振動ローラによる一層仕上がり厚さ 60 cm という厚層締固めの実施
- ③ 道路盛土の機能的特性を考慮したゾーニング設計と施工の採用

この施工方針に沿って大規模高盛土工事を合理的に進めるためには様々な問題が生じ、これらを解決するために最先端の情報技術を活用した施工管理システム「IT 土工システム DREAM」を開発し、現在施工中の第二東名高速道路伊佐布インターチェンジ工事（以下、伊佐布 IC 工事、と呼ぶ）に導入した。本報文では、本システムの概要と適用効果について報告する。

2. 大規模高盛土工事の施工上の課題

第二東名の大量大規模高盛土工事では、46 t 級ガンプトラック、32 t 級ブルドーザ、320 kN 級振動



写真-1 大型施工機械による盛土施工状況

ローラ等の大型施工機械を採用し、一層仕上がり厚 60 cm の厚層締固めを行うため、施工の効率化が図れるとともにコストの大幅な縮減を実現することとなった（写真-1 参照）。

しかし一方では、大型施工機械の採用によって実現する大土量の高速施工化は、以下に示す新たな課題を生じることとなった。

- ① 従来の RI やタスクメータによる締固め管理では、測定頻度や面的な締固め状況の把握、安全性の面で問題があり、新たな品質管理手法の確立が必要。
- ② 1 万 m³/日におよぶ多種・大量の搬入土砂をゾーニング設計に応じて、適切な盛土ヤードに迅速に誘導する手法の確立が必要。
- ③ 搬入管理や品質管理および土量管理の施工管理情報が膨大となり、これらを合理的に扱う手法の確立が必要。

上記の問題を解決するためには、単一の技術の採用に留まらず、総合的な管理システムが必要とされ、大規模高盛土の合理化施工法という観点から、最先端の情報技術を駆使した統合的な施工管理システム「IT 土工システム DREAM (Directive Earthwork Management)」(以下、DREAM システム、と称する)を構築した。

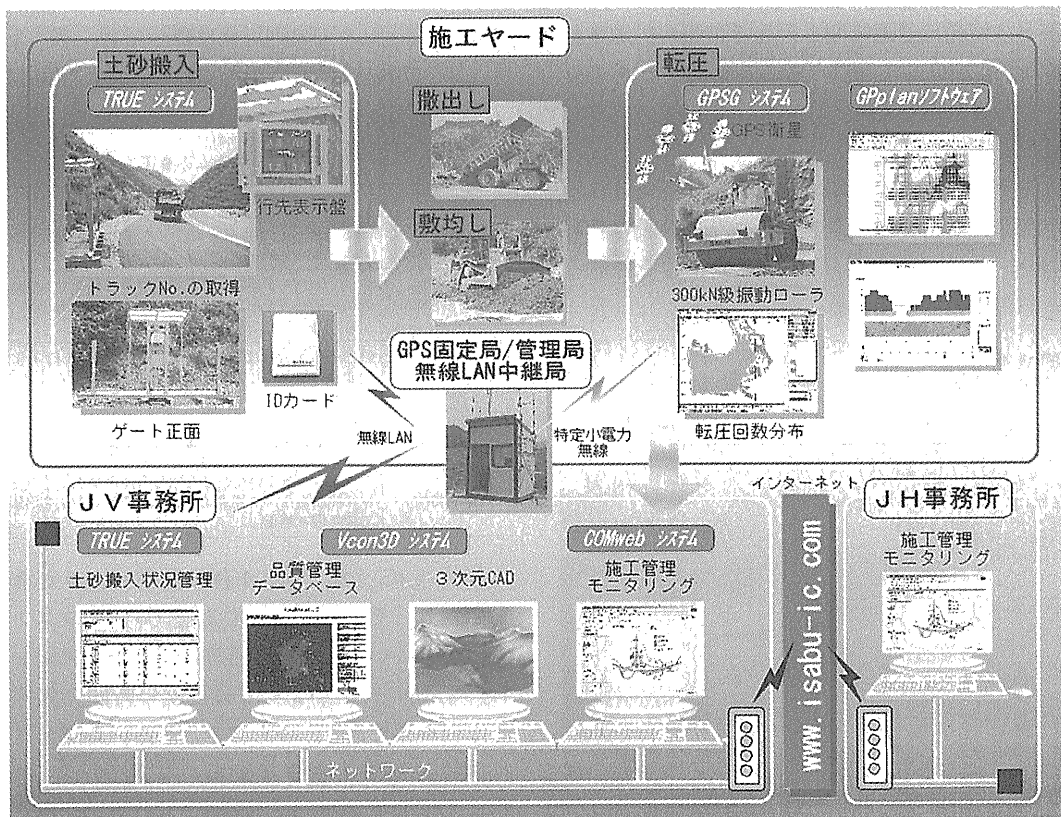


図-1 DREAM システム概念図

3. DREAM システム³⁾

DREAM システムは、盛土の品質管理として重要な施工規定方式による締固め管理をはじめとした大規模高盛土の高速施工を十分な品質を確保しながら実現できるものであり、4つのサブシステムから構成されている。

DREAM システムの概念図を図-1 に示す。

(1) 土砂搬入管理 TRUE システム

TRUE (Truck Entrance) システムは、複数の他工事から搬入される多種類の土砂種別に応じて、ゾーニング施工として適切な盛土ヤードに車両を誘導するシステムである。搬入車両は土砂搬出JV名称、土砂種別、車両No. を書込んだIDカードを携帯しており、時速20 km/h以下のスピードで停止することなく入門ゲートを通過する。その際、リードライトアンテナが非接触でカード情報を読み取り、適切な盛土ヤードを電光掲示板に表示して運転手に知らせる。読取ったIDカードの情報は通過時間と行き先情報が付加され無線LANを介して事務所の運土管理サーバへ転送・蓄積される。写真-2 に TRUE システムの稼働状況を示す。

入場ゲートにおいては、IDカードの読取り不良が生じた場合を考慮して退避エリアが設けられており、そこでは再度IDカードの情報を読取ることが可能となっている。



写真-2 TRUE システム稼働状況

(2) 締固め管理 GPSG システム

大規模高盛土工事に、従来のRIやタスクメータによる締固め管理を適用した場合、測定頻度や面的な締固め状況の把握、安全性の面で問題があった。こうした問題を解決するため、GPSを用いた施工規定方式による締固め管理手法を採用した。

この方法は、振動ローラにGPSを搭載し、盛土ヤードの転圧回数と施工層厚を管理するものである。しかしながら、GPS単体のみを使用したこの方法では、伊佐布IC工事のような山間部においては地形等の影響によりGPS受信データが欠損したり、精度低下を生じたりする欠点がある。このため、実施工に適用するにはあらゆる場所で高精度の位置情報を取得できる工夫が求められている。

この対策として、3軸光ファイバージャイロと車速センサを組合せた3軸ジャイロシステム機能をGPSシステムと連動させ、GPS欠損時においても高い精度でデータ補完する新たなシステム、GPSG (GPS & Gyro) システムを考案し、実用化を図っている。この実用化に際しては、表-1 に示す5種類の補正方法を考案して、走行軌跡精度の向上を図っている。

表-1 GPSG システムの補正方法

補正名称	補正内容
カルマンフィルタ補正	GPSの位置座標とジャイロ・車速センサの誤差をリアルタイムで補正。
ドリフト補正	光ファイバージャイロ自体の機械的な特性で、計測時間に比例して検出角度が遷移していく現象をリアルタイムで補正。
アスムージング	計器の敏感性により大きくばらつくロール角(γ)を計測値の全体的な変化を抑えて、リアルタイムで良好なデータに平滑化する処理。
後進補正	後進時における振動ローラの機械的および構造的挙動により発生する誤差をリアルタイムで補正。
内挿補間補正	ジャイロのみで走行軌跡を求める場合に生じるジャイロ計測誤差を、既知点情報を基に最小二乗法を適用して後処理で補正。

伊佐布IC工事では、4台の振動ローラが稼働しており、そのうち2台に3軸ジャイロシステムを搭載している。狭隘な谷地部での盛土においては、GPSデータが2~10分程度の時間で欠損する 경우가多々あり、本システムの導入効果は非常に大きいものとなっている。写真-3は、振動ローラキャビン内のモニタを示したものであり、オペレータは自らの転圧状況をリアルタイムで確



写真-3 振動ローラでの転圧確認状況

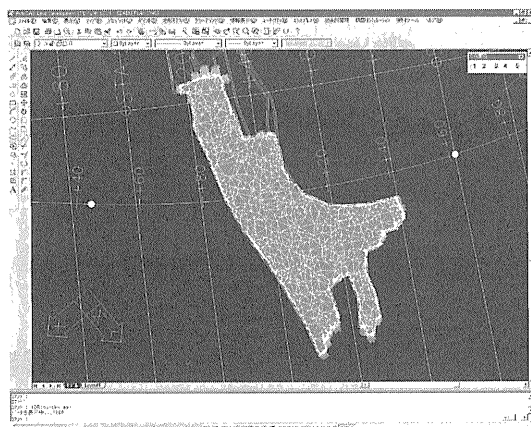


図-3 転圧完了部の数値地形モデル

をもとに3次元CADで数値地形モデルを作成し(図-3参照),これを前回の転圧ステップまでの現況地形モデルに合成することで,更新地形モデルを作成する。更新地形モデルからは,任意断面における断面図や3次元的な鳥瞰図の作成,切盛土量の算出が可能となっている。

DBMSは,GPSシステムからの品質管理情報,TRUEシステムからの土砂搬入情報等をデータベースに蓄積する。品質管理情報の主要情報である転圧結果情報は,盛土の施工領域を50cm四方のグリッドメッシュを単位として蓄積するため,施工エリア全体のデータ量は膨大なものとなり,DBMSを使用したデータ管理が重要となっている。

GPSシステムの転圧結果などDBMSに集積された情報は一元管理され,その情報は,3次元CADのデータ表示機能などを利用して瞬時に

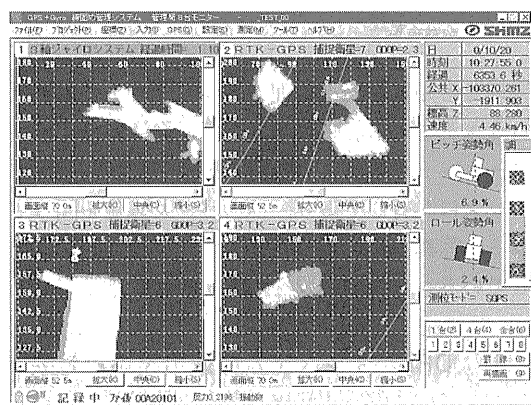


図-2 振動ローラ稼働状況の事務所監視画面
(8台まで監視可能,同画面表示は4台まで)

認しながら緻密に施工できるようになっている。

同時に転圧状況は,現場に設置された無線LANを介して事務所に転送され,リアルタイムに監視することができる(図-2参照)。

(3) 出来形管理 Vcon 3D システム

大規模盛土工事は,大土量と広範な施工ヤードが対象で品質,土量,出来形管理が煩雑かつかなりの労力を必要とする。特に,高速施工下でゾーニング施工を行うためには盛土の出来形を迅速に把握することが重要である。Vcon 3D (Volume Control by 3D CAD) システムは,作業の迅速化と省力化を目的に出来形図面,土量計算,品質管理帳票の作成を自動化したものであり,3次元CADシステムと施工情報を一元管理するデータベースマネジメントシステム(DBMS)の2つのパートで構成されている。

GPSシステムで取得した高精度の位置情報

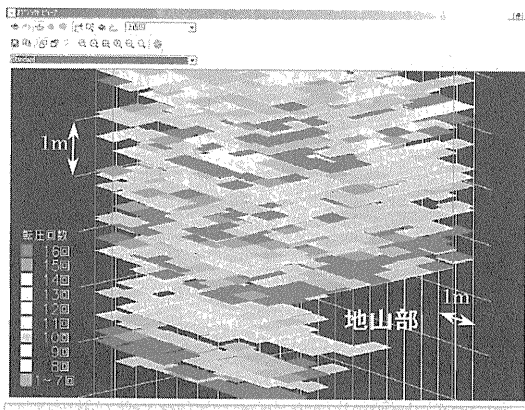


図-4 転圧回数分布の3次元表示

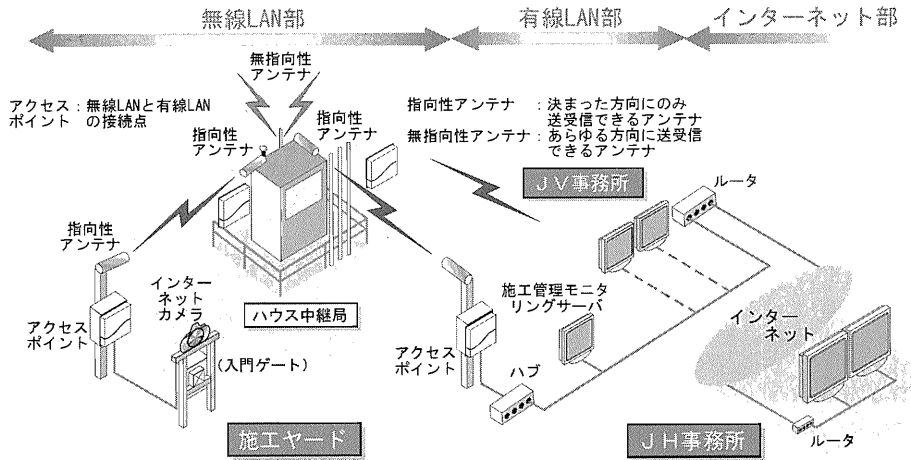


図-5 DREAM システムのネットワーク状況

つビジュアルに表現することが可能となる (図-4 参照)。

(4) 統合情報化 COMweb システム

統合情報化を実現する COMweb (Communication Web) システムは、最新の情報通信技術を用いて施工管理情報の受発信を行うものである。

図-5 に示すように、土砂搬入ゲート、施工現場および現場事務所内は、無線 LAN を用いてネットワーク化されており、本通信網を利用することによって、品質管理・土量管理・土砂搬入

管理などの各種施工管理情報がリアルタイムに共有化されている。また、施工者と発注者は、インターネットを経由して各種の施工管理情報をシームレスに共有しており、ペーパーレス化を図っている。写真-4 に無線 LAN と GPS 基地局を兼用しているハウス中継局を示す。

3. DREAM システムの適用実績と効果

(1) TRUE システム

伊佐布 IC 工事では、20 カ月で約 300 万 m³ の盛土を施工し、月の最大盛土施工量は約 23 万 m³ である。この膨大な土量に対しても車両を渋滞させることなく、本システムを用いて迅速かつ安全にゾーニングエリアに誘導できている。

表-2 にゲートの最大通過数と退避ゲートの使用率、図-6 に最大通過時の 1 日当たりのゲート通過時間間隔を示す。

表-2 最大通過数と退避ゲート使用率

項目	頻度	備考
メインゲート	679 台/日	搬入土量 5,870 m ³ /日
最大通過数	85 台/時間	搬入土量 724.4 m ³ /時間
退避ゲート使用率	0.7%	

図-6 より、ピーク状態となるのは通過時間間隔が 3~10 秒であり、これに対して行き指示を行い、車両を通過させている。また、最大通過日 1 日当たりの台数 (679 台) に対して、1/3 以上 (246 台) が 10 秒以内の間隔でスムーズにゲートを通過しており、行き分配ゲートの処理時間と

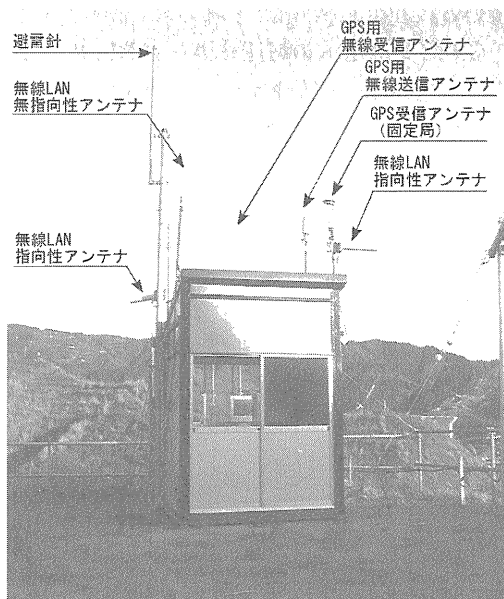


写真-4 ハウス中継局

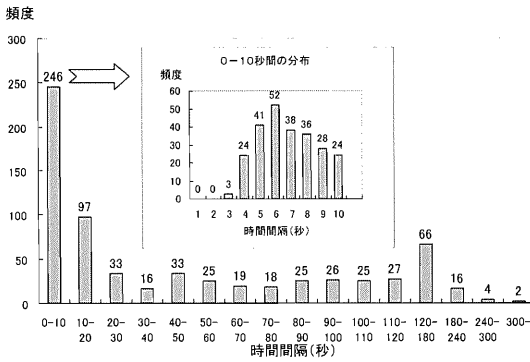


図-6 ゲート通過時間間隔 (1日あたり)

しては十分なレスポンスを実現している。

この通過処理を同様な時間間隔で整理員を設けて行う場合には、ゲートにおいて車両を停車させて搬入盛土ヤードを指示する必要がある、ゲート数と整理員という点で車両の停車・発進という時間ロスも含めて考えれば現場内に広いゲートエリアと多数の人的資源の投入が必要となる。これらを考慮すると本システムの導入効果は十分なものが得られていると判断できる。

(2) GPSG システム

平成 12 年 7 月の本格的な GPSG システムの適用開始から平成 13 年 10 月末までのジャイロ稼働状況を図-7 に示す。

図中には、振動ローラの稼働時間に対して、RTK-GPS (Real-Time-Kinematic GPS), DGPS (Differential GPS), ジャイロが稼働した時間の月別比率と全体比率を示しており、ジャイロシステムは DGPS とジャイロの領域で稼働している。図-7 より、ジャイロシステムの稼働時間を見る

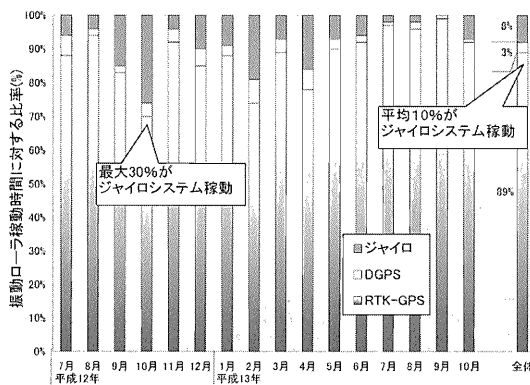


図-7 ジャイロ稼働状況

と月別で最大 30% 程度、全体で約 10% と比較的大きく、伊佐布 IC 工事のような山岳地の造成では本システムの併用により振動ローラ軌跡の十分な捕捉効果が得られるといえる。

また、RTK-GPS が取得できない領域は地山と盛土の境界付近であり、盛土としての安定性確保や不同沈下抑制の観点から重要な部位であるため、この領域における振動ローラ軌跡管理の確実な実施は盛土の品質上から大きい効果があると考える。

(3) 全体の適用効果

表-3 に本システムの適用効果を示すが、大規模高盛土の施工方針である大型施工機械の採用、一層 60 cm の厚層締固め、ゾーニング設計施工を実現するための種々の課題は、DREAM システムの導入効果で解決が図られているといえる。

図-8 は、伊佐布 IC 工事における動態観測による盛土全体の沈下を圧縮率として、盛土厚との関係を示したものである。図-8 から、他事例に

表-3 DREAM システムの適用効果

項目	コスト削減	高品質化	省力化	迅速性	安全性
大規模高盛土の施工方針					
①大型施工機械の採用	◎	×	—	○	×
②1層 60 cm 厚層締固め	○	—	—	○	—
③ゾーニング設計施工	—	◎	×	×	×
DREAM システムの導入					
① TRUE システム	—	◎	◎	◎	◎
② GPSG システム	—	◎	○	◎	◎
③ Vcom 3D システム	—	—	◎	◎	—
④ COMweb システム	—	—	◎	◎	—

凡例 ◎: 効果大, ○: 効果小, —: 効果なし, ×: 逆効果

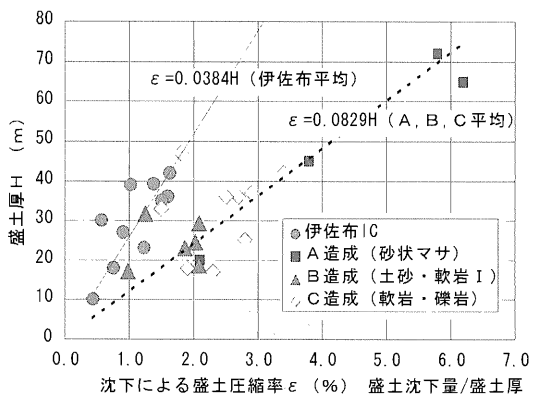


図-8 動態観測による盛土本体の沈下

比べて伊佐布 IC 工事の沈下量は約 1/2 程度と小さくなっていることが分かり、この相違の要因には、GPSG システムにより振動ローラの走行軌跡を 100% 取得し、オペレータが自らの転圧状況をリアルタイムに確認して管理し、施工の緻密さが向上したことが挙げられる。

4. おわりに

DREAM システムは、大規模高盛土の合理化施工法という観点から、最先端の情報技術を駆使し、統合的な施工管理システムとして開発・実用化したものである。

今後は、工事の施工規模や要求に応じて各サブシステム単独、あるいは、組合せで適用する事例も増えてくると考えられる。そのため、各サブシステムについて従来手法と比較した場合の費用対効果を明確にすることが重要と考える。

最後に、本報告が土工現場への IT 活用に際して、何らかの参考になれば幸いである。 **J C M A**

《参考文献》

- 1) 日本道路公団静岡建設局：第二東名高速道路高盛土および大規模盛土設計施工指針（案），1998年3月

- 2) 日本道路公団静岡建設局：第二東名高速道路長大切土のり面設計部施工指針（案），1998年5月
- 3) 日本道路公団静岡建設局：IT 土工システム DREAM Guidance，2001年4月

【筆者紹介】

板垣 光春（いたがき みつはる）
日本道路公団静岡建設局
清水工事事務所
清水南工事区
工事長



小池 正己（こいけ まさみ）
日本道路公団静岡建設局
清水工事事務所
清水南工事区
主任



皿海 章雄（さらがい あきお）
清水建設株式会社
土木本部
技術第一部
主任



大深度地下空間を拓く建設機械と施工技術

最近の大深度空間施工技術について取りまとめました。主な内容は鉛直掘削工、単円水平掘削工、複心円水平掘削工、曲線掘削工等実施例を解説、分類、整理したものです。工事の調査、計画、施工管理にご利用ください。

頒 価 2,310円(本体価格2,200円) 送料500円

申込先 本部：FAX.03-3432-0289

社団法人 日本建設機械化協会

東京都港区芝公園3-5-8(機械振興会館) TEL03-3433-1501 FAX03-3432-0289