



東日本大震災復興道路工事に 最先端施工技術を駆使し、 信頼性の高い土木構築作業を 実施している地元工務店の紹介

独立行政法人土木研究所技術推進本部先端技術チーム 招聘研究員 ふくかわ みつお 福川 光男

1. はじめに

土木工事において最先端施工技術を駆使しているのは高度な総合的施工技術を保有する大手ゼネコンの分野と思われがちであるが、果たしてそうであろうか？ 年々土木工事発注量の減少が続く厳しい状況下においては施工マネジメントに偏った経営の合理化？ と現場作業は専門施工会社に依存した組織のスリム化を余儀なくされている。果たして、最先端施工技術を駆使して施工の合理化と品質を追求する基盤はあるのか？ いささか疑問を感じている昨今である。そのような折、一昨年の暮れ（2011年）に知人から復興道路として全線開通が急がれている三陸縦貫自動車道の土工工事において、まだ運用間近の電子基準点ネットワーク機能を活用した衛星測位仮想基準点方式＝ネットワーク型VRS（Virtual Reference Station）-RTK-GPS（以下「VRS-RTK」という）システムを活用して検測ローバによる土工工事の出来高管理や高い締固め効果のある特殊ローラを使用して転圧パターン管理を行っている地元業者の存在の情報を得た。早速、インターネットでの検索を行ったがHPの開示は行ってないようであった。そこで直接現場を訪問し、最先端土工技術を駆使して、品質の高い施工を行っている40代前の若い社

長との面談を通して強固な土工構築にかける意気込みに深い感銘を受けた。

2. 株式会社佐藤工務店会社概要 と事業展開履歴

創立35年を迎える機械土工を主とした、従業員40名程度の地元の施工会社であり、米どころである宮城県北部に位置する大崎平野にて農業の生産性を高めるための水田圃場整備への参画に伴い、湿地ブルドーザを用いた機械化施工を展開した。その後、回転レーザコントロールを用いた排土板制御システムを導入し、飛躍的に作業の効率化と施工品質を高めた。この農業土木での経験と実績を基に、本格的に一般土木への参画を図った。主な取引先は国土交通省東北地方整備局、東北農政局、東北防衛局、宮城県土木であり宮城県古川市地方生活圏を中心に公共事業を主体とする事業展開をはかっており、近年では石巻、仙台地方生活圏でも工事を行っている。農業土木でのレーザコントロールシステムの活用経験があったのが現在情報化施工システムの導入を円滑に行われた要因の一つであることが推測できる。現在は先代社長の高品質高効率施工の意思を継いでご子息の佐藤敦社長がさらに最先端施工システムの導入に積極的に取り組み、実質的な効果と発注者からの高い評価を受けている。

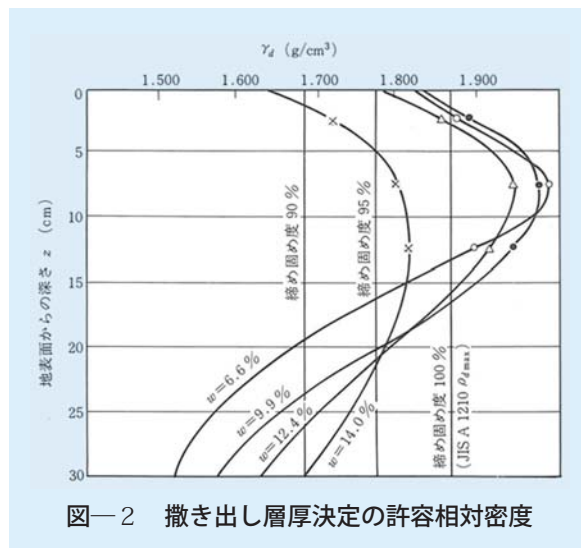
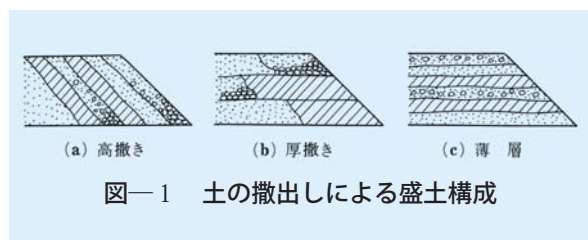
3. 施工現場の様相と要求される施工品質

東日本大震災の復興道路・復興支援道路としての役割を担って早期の開通が望まれている三陸縦貫自動車道は津波の被害を回避することを考慮してルートは山側を取っている。しかし、地形はリアス形状であるため、南三陸町工区での土工事は切り、盛り土工が交互に連続となり、30mを超える高盛り土の箇所も多い複雑な形状であり、であるからこそ地震等の自然災害に対応できる信頼性の高い施工が望まれている。盛り土工区の施工品質を高めるには盛り土材の性状管理とともにバラツキの少ない盛り土材撒き出し層厚管理および有効な締め固め方法（転圧機種）の選定とムラの少ない転圧パターン管理が必要になる。

4. 重視する盛り土作業

(1) 盛り土材撒き出し層厚管理

盛り土工にはその使用目的において材料の撒き出し方法があるが（図一1）、特に、交通荷重を受ける道路土工では高い支持力機能を持たせるために作業手間はかかるが何層にも撒き出し作業を重ねていく薄層盛り土工が採用される。その際の撒き出し厚さは極めて重要な管理項目である。なぜならば後工程のローラによる締め固め作業では深さ方向における能力に（いくら転圧力を高めても）一定の限界があり、撒き出し層厚のバラツキは直接締め固め密度に影響を与え、路床、路体の支持力のバラツキにつながる。撒き出し層厚は施工前に実施される試験盛り土の結果から規定の厚



さが定められる。高盛り土工の場合には必要な構築高さに応じて何層にも規定厚さの撒き出し作業と締め固め作業を伴ったプロセスを重ねて路体、路床の構築作業を行う（図一2）。

① 従来の撒き出し作業管理方法

盛り土工における撒き出し層厚の管理の重要性に伴い、道路土工では路体、路床盛り土工において厳しい管理基準を設けているが、実際の施工方法は作業エリア内に設置した撒き出し高さ指標（丁張り、多段トンボ）をブルドーザの操作員が目視での操作判断を行いながらの作業となる（写真一1）。作業精度を確保するために作業目安指標を多く設置すれば作業の障害になり、少なくすれば操作判断に支障をきたすことになる。果たしてこの施工方法で管理基準を満たすことができる



か？ 高度な操作技能が要求される作業である。

② 現場の環境に適応した制御方法の選択

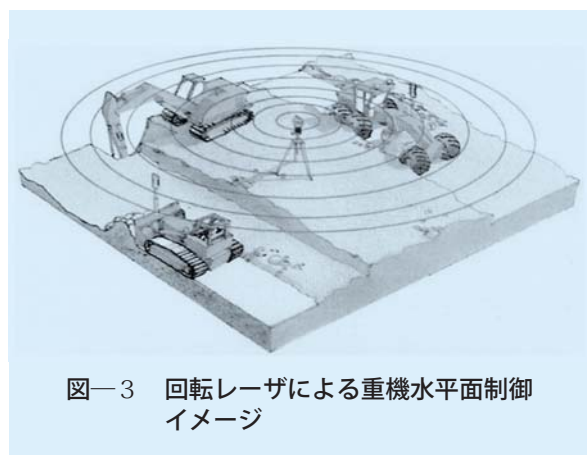
当初、撒き出し層厚管理に衛星測位機能を使用した3次元自動制御機構の採用を検討したが複雑な山間地区での施工であるため衛星からの信号を補足しにくく断念していた。

そこで、レーザ光を水平方向に回転させて基準高さ面を形成させ、ブルドーザに装着させたレーザ受光装置との組み合わせにより敷き均し高さを制御させるレーザレベルシステムを採用して、品質の高い施工を合理的に実施していた（写真—2）。このシステムはオプトニクス機能を活用した機構として水田の圃場整備や空港、ダム等の大規模な工事での材料撒き出し作業に使用されている実績のある信頼性の高い操作支援システムである（図—3）。

しかし、多層施工の場合や頻繁に傾斜が変化する施工現場ではその都度レーザ発光器をリセット



写真—2 レーザコントロールブルドーザ



図—3 回転レーザによる重機水平面制御イメージ

する必要があり手間のかかる作業が伴い、今回のような比較的小規模な土工工事での実績は少ないと思われた。このように現場の状況に合わせて、手持ちの施工技術を活用し、あえて従来の管理方法に比較して施工品質の高度化を優先した管理方法を採用する姿勢に感心させられた。このような選択が信頼性を高めている要因であろう。

③ 電子基準点網整備により山間地でのVRS-RTKシステムの運用機能が高まる

複雑形状の山間地での施工であるからこそ設計デジタルデータを活用した情報化施工システムの必要性が高いが、わが国では衛星測位機能を使用するためのデータ送信機器機能の制約があり、補正用の基準局を使用するRTKシステムでは運用が制限されていた。一方、国土地理院が地殻変動観測に設置している電子基準点網の機能を活かして、補正用基準局の設置が不要なネットワーク型RTKシステムはその利便性からも工事基準点測量などへの活用により急速に普及の拡大がなされてきていた。今回の震災以後その必要性はさらに高まった。しかし、この機能を移動測位機能が必要な建設機械の操作制御に使用するには（測量面での活用には測位に必要な時間を容認できる面もあるが）機能面で満足できない面があり、精々平面測位機能のみを活用した締め固め用ローラの転圧管理に使用されていた。そのような折、災害復旧の面からも測量活用面での電子基準点機能にさらなる利便性を高める早急な改善が望まれていた。そこで、従来のGPS（米国の人工衛星網）にロシアのグロナス衛星網機能を加える整備が行われ、マルチGNSS測位データの提供が開始され（平成25年5月より全国展開予定）、大幅に測位可能時間帯、測位精度、上空視界制約の改善がなされた。また同時に携帯電話網の整備、使用料の改定が進んだことによりネットワーク型RTKシステムの活用可能エリアが拡大され、山間地での実用性の高い3次元測位が可能となった。また建設機械への活用の可能性も高まった。

④ わが国初のVRS-RTKによるブルドーザ3D-MCシステム

2012年12月に株式会社佐藤工務店によって国内では初めて東日本地域で試験運用されたマルチGNSS対応のVRS-RTKシステムを使用した建設機械（コマツD65型ブルドーザ）の3次元マシンコントロール3D-MC（トプコン社製）の運用が災害復興工事現場で開始された（写真—3）。補正用基準局を設置した従来のGNSS-RTKによる建設機械の3D-MCは大手のゼネコンなどにより大規模な工事で使用された実績は多数あるが、工事期間の短い比較的小規模な土工工事でその高い利便性を生かしたGNSS-VRS-RTK-3D-MCの国内初運用が地元の施工会社によって行われた意義は大きい。さらに、これらのデジタル設計データを用いるシステムは正確に作業プロセスデータを残すことが可能になり、作業のトレーサビリティを明らかにすることで、施工の信頼性を高める効果もある。またこのシステムの運用には普及促進を願う各社の協力があったことが推測される。電子基準点からのデータを使用して仮想基準点の補正データを配信するサービスは測量用補正データサービスの多くの実績を持つ株式会社ジェノバ社の協力があった。

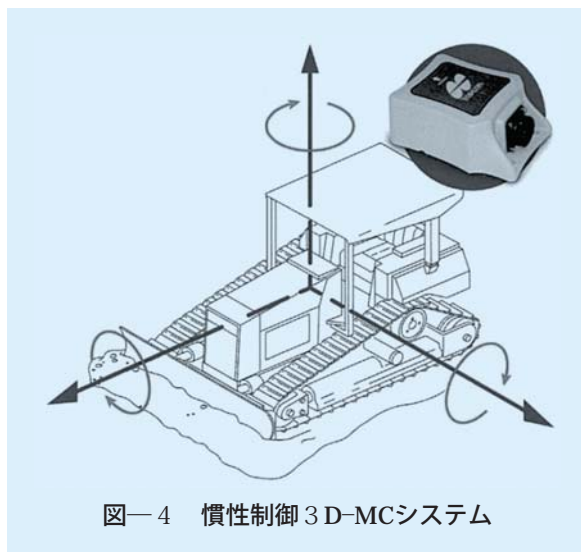


写真—3 GNSS-VRS-RTK制御稼働中の3D-MCブルドーザ

⑤ ブルドーザの作業速度を約2倍にした動的制御機構の採用

マルチGNSS-RTKによって衛星測位精度を高めることが可能となり高精度での施工が可能とな

った。しかし、次に望まれるのが作業速度の向上である。ブルドーザを使用して材料の撒き出し作業において単に制御データの処理能力を高めても負荷状況によりトラクタ本体が激しく上下左右に不規則な動きが発生する。そのため、静的な制御機構では作業装置の応答機能に限界があり、作業速度を増すことは不可能であった。そこで制御装置にトプコン社で開発され、国内販売間もない、慣性制御機構を組み込んだ新しいシステムの採用により応答性の高い動的な制御を行い、人的操作では不可能な高速度作業を可能とした（図—4）。



図—4 慣性制御3D-MCシステム

(2) 盛り土材締め固め作業

次に、撒き出された土砂を所定の強度を効率よく得るためには撒き出し層厚管理、性状管理とともに締め固め作業は上部からしか荷重を掛けることができないので土質に適應する転圧機構の選択が必要となる。

① 高効率な締め固め機種を選択

この地区の土質は軟岩質性状であったので土取り掘削時に団塊状になりやすいため、ドイツBOMAG社製の締め固め時に凸部による破碎機能と平面形状による深層部締め固め機能を持ち合わせた多角形状（図—5）の特殊ローラが採用されていた（写真—4）。海外での使用実績はかなりあるが、わが国では一部大規模工事での試験施工で深層締め固め効果が実証されたのみで一般工事



図一五 BOMAG社のポリゴンドラム



写真一四 稼働中のBOMAG社のポリゴンローラと佐藤社長

での使用実績は未無であった。故に、導入に当たっては実証実験を繰り返し、その効果を実証することによって、発注者側の理解と承認を得た。その結果、従来の振動ローラと比べて、高品質な締め固め作業が実施された。固着になりがちな従来の仕様規定から機能を重視した性能規定に則した機種を選択に発注者の決断と施工者側の努力を評価したい。

② VRS-RTK機能を使用したローラ転圧パターン管理

さらにこの締め固め用高機能振動ローラを効率よく転圧作業をさせるため、撒き出しブルドーザに使用されているVRS-RTKシステムを使用して転圧パターンの管理（写真一五）を行っている。そのため資格はあるが経験の浅い？ おばさん（失礼！）でも操作ができる体制を取っていた。



写真一五 ローラに取り付けられた転圧パターンのモニター

5. 効率的な出来形・出来高管理（VRS-RTK機能を使用し、並行して実施される出来形・出来高計測作業）

最先端施工技術を駆使して進められる土工作业と並行して出来形・出来高を同じくVRS-RTK測位システムによって受信ローバを使用しての実施が可能となり、工事の進行状況、施工品質をいち早く把握することができ質の高い施工管理が可能となった（写真一六）。



写真一六 測位中のRTKローバ

6. 適機能を適工種へ（付帯工事の合理化施工の必要性）

山間地をルートとする道路土工での工種は伐採工に始まり、掘削工、盛り土工、カルバート工、

法面工，排水構造物，取り付け道路工，そして運搬付帯工など多岐にわたる。故に盛り土工のみ合理化しても関連付帯工事を合理化しなければバランスのとれた全体の工程管理につながらない。

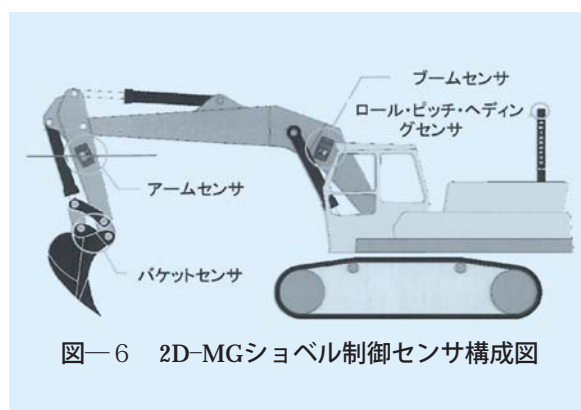
特に，感心したのは油圧ショベルの操作制御に姿勢記憶機能をもったライカ社の2次元ショベルガイダンスシステムを導入して法面整形作業の効率化を図っていたことである（写真—7）。海外ではすでに1万台以上の使用実績があるが，わが国では未だ広く普及されていないシステムである。しかし，これをいち早く導入されていた。ショベルは移動した後，本体を固定した状態で作業を行うため明確な基準位置を設定できれば，バケット先端位置や作業角を演算で算出でき，操作キャビン内に設置されたモニタにバケットの動きと相対して任意の位置に作業計画ラインを描くことができる（図—6）。衛星測位やTS機能を使用した3D-MGシステムもあるが購入価格が高額であり，用途に応じた機能選択の必要性も重要である。

7. まとめ

ICT（Information and Communication Technology）機能を活用した情報化施工システムの普及とともに機能面での技術的な進歩もそして運用するための基盤整備の充実も着々と進んできている。より良いシステムを適切に選択し，活用して，最適化を進めることが自然災害にも対応できる品質の高い強固な土木構造物を合理的に構築していく最も有効な手段と考えられる。今回，株式会社佐藤工務店の土工工事へのICTシステム活用



写真—7 2D-MGショベルでの法面整形作業



図—6 2D-MGショベル制御センサ構成図

事例を通して改めて感じる事ができた。システムのほとんどを自社所有として，使用目的に適応する作業装置のアタッチメント類の改良開発など施工に関するノウハウを蓄積し，常に，施工の合理化と高品質化を目指しながら健全経営を達成している頼もしい地元の工務店である。今後のさらなる活躍を期待したい。

【参考文献】

- 1) 社団法人土質工学会「土の締固めと管理」土質基礎工学ライブラリー36（平成3年8月30日）