

(解説)

土木機械の施工管理システム

Construction Management Systems for Civil Engineering Machinery



水谷元彦*(工博)

Dr. Motohiko Mizutani

In collaboration with our customers, KOBELCO CRANES CO., LTD. has developed a construction management system based on the TRD method which makes underground walls visible and enables easier and more precise operation. This development process has led to more stable operation, along with a highly precise and homogeneous wall body, and has contributed to improvements in the TRD construction method. This article introduces examples of underground visualizations for the TRD method and other methods of construction.

まえがき = 近年の IT 化の波は土木施工業界も例に漏れず、押寄せている。一方で、耐震偽装問題や環境問題などにより、業界の施工エビデンスに対する認識や企業コンプライアンス意識も年々高まりつつある。本稿では、近年のコベルコクレーン(株)土木機械分野における TRD (Trench cutting Re-mixing Deep wall method) 工法を中心とした施工エビデンスを自動的に記録、管理できる施工管理・遠隔管理・制御技術について、報告する。

1. 地中連続壁施工機械 TRD の概要

1.1 地中連続壁分野における TRD 工法の位置付け

地中連続壁は、構造物の基礎壁として用いられる本設壁と、地下構造物建設中に周囲地盤土圧を一時的に支え、かつ地下水の流入を防ぐための仮設壁との2つに大別される。TRD 工法はソイルセメント仮設壁工法の1つであり(図1)、従来からの SMW 工法(ソイルセメントミキシングウォール)の次に施工実績が多い工法として、TRD 工法協会やメーカーの努力により認知が進んでいる(図2)。

1.2 主な特徴

TRD 工法は、従来工法と比較して、以下の特徴を有する。

1.2.1 壁の連続性

工法原理上、等厚壁の横方向への連続性が確保される。また本稿で触れるように、壁の法線方向のリアルタイム精度管理により、高い鉛直性を保ちながらの施工が可能である。

1.2.2 高い安定性

TRD 工法の施工機械は、施工深さ(実績では最大 56.7 m)に関わらず、地上突出部分の高さを 10m 程度に抑えられ、原理上転倒絶無である。

1.2.3 広範囲な適用地質と省コスト

掘削幅程度の転石や玉石が存在する硬質地盤に対して

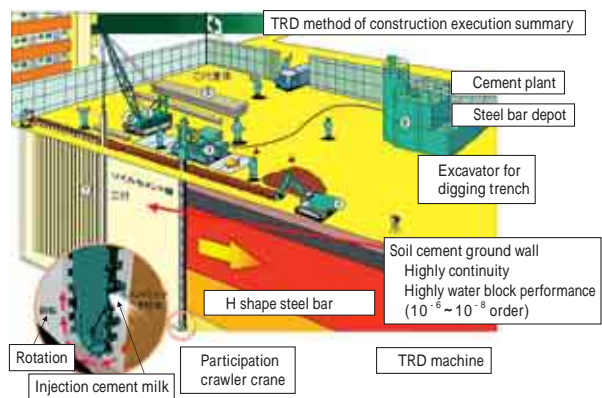


図1 TRD 工法施工概要図

Fig. 1 TRD method of construction execution summary

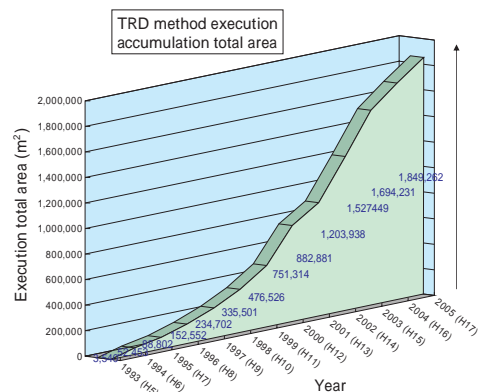


図2 TRD 工法の年度別施工総面積実績 (累積 m²)

Fig. 2 Execution accumulation total area (m²) results of TRD method per year

も、高い比重の掘削混合土に乗せて掻き出す、あるいは石の強度によっては粉砕するなど、掘削能力が高く、工期の短縮やコスト削減が可能である。

本稿では、これらの特徴に加え、壁品質の均一化、効率施工化というさらに高い付加価値や、差別化のための技術を以下に紹介する。

*コベルコクレーン(株) 開発本部

2. TRD 統合モニタリングシステム KTMS の開発

TRD 工法による施工分野を広げていく過程において、高い施工難度を克服するためのシステム開発を進めてきた。代表的なシステムとして、KTMS (KOBELCO TRD Monitoring System) の各種機能について説明する。KTMS は、TRD 工法による施工状況や機械負荷を統合的に可視化することにより施工管理を支援するシステムである。

2.1 施工位置認識機能の開発

TRD 工法では、固化材打設位置や壁芯位置及び日々の作業進捗を正確に認識するために、各作業工程の距離などを自動的に認識する必要がある。そこで、自動追尾測距儀を用いて正確な位置を測定する機能を実現した。現場条件にフレキシブルに対応するための施工座標変換インタフェースを開発し、施工機と地中壁の相対的な位置変位を画面上にリアルタイムに表示することができる (図 3, 図 4)。

2.2 自力建て込み対応型地中傾斜測定機能の開発¹⁾

KTMS 開発以前の地中傾斜測定システムでは、一旦カッタポスト全長を施工深度まで自力で掘り進んで接続完了してから傾斜計を挿入してシステムを稼働させるため、自力建て込み中に発生した鉛直方向の曲がりや計測、補正する手立てがなかった。特に強固な地盤の場合、変位が推定以上に大きくなり、カッタポスト建て込み用自力建て込み掘削をやり直す事例もあった。

自力建て込み掘削時のカッタポストの接続・切り離しに対応できるよう、絶縁不良に強いデジタルシリアル伝送対応の傾斜計を採用し、さらに伸張性の高いカールコ

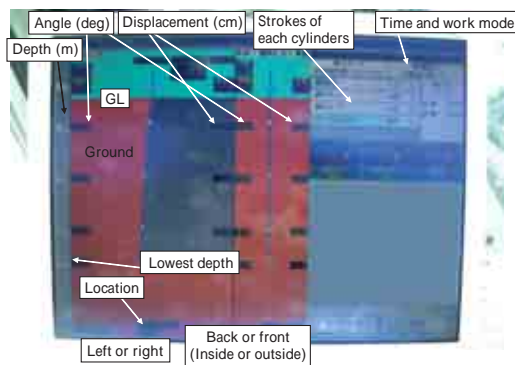


図 3 KTMS ver.1.0 での施工時のメインモニタ画面

Fig. 3 Main monitor screen at the time of execution in KTMS ver.1.0



図 4 自動追尾測距儀による絶対位置計測

Fig. 4 Absolute position measurement by automatic tracking range finder

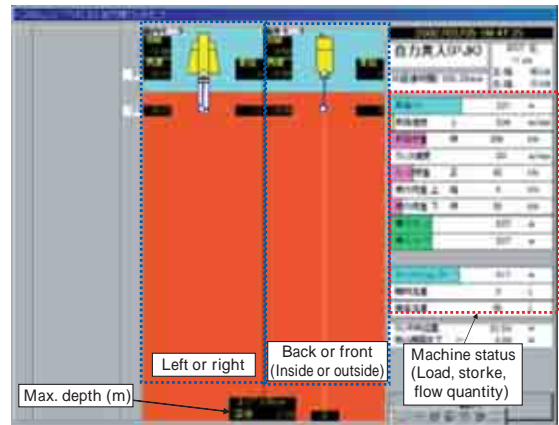


図 5 KTMS ver.1.0 での(カッタポストの)自力建て込みモニタ画面
Fig. 5 Self digging monitor screen in KTMS ver.1.0

ード対応を施した傾斜計とケーブルにより、自力建て込み中のリアルタイムモニタリングを可能とした (図 5)。

2.3 遠隔稼働管理機能の開発²⁾⁻⁵⁾

TRD 工法で一般的な 3 パス施工は、主に 4 つの工程と 2 つの準備、終了工程に区分できる。KTMS 開発以前は、この作業区分ごとにオペレータが開始時間、開始位置、終了時間、終了位置、積算流量値の記録などを手書きで行ってきたが、より正確な記録を自動的に行うための遠隔稼働管理機能を開発した。

施工記録データは 1 時間ごとの定時記録データとして送信され、現場情報や工程区分情報などの施工終了データは 1 日の施工終了時のシステム終了時に送信する形をとっている。

送信方法としては、携帯電話回線を用いて添付ファイル形式で電子メール送信し、システムに登録した電子メールアドレスやサーバへ転送される仕組みとなっている。さらに現場管理者は帳票出力用ソフトウェアを用いて必要な帳票を作成できる。

このように KTMS を搭載した機種であれば、機械と離れた場所においてもその日の施工状況を手にとるように把握できる。

2.4 攪拌度合も加味した新しい品質管理機能⁶⁾

KTMS での品質管理機能では、オペレータは常に現状の施工区分を意識し、その範囲での固化材投入量 (必要セメント量) と必要攪拌量を意識しながら、施工を進めることになる。攪拌具合の評価に関しては TRD のカッタを攪拌羽根に見立て、単位体積を単位時間で何回攪拌したかを示す攪拌指数という評価量を定義することで、定量評価できる仕組みを築いた。これによりオペレータは、セメントを注入する施工区分において固化材投入量及びその場所での累計攪拌指数が適正值に達しているかを常に確認しながら施工を進めることが可能となった (図 6)。

2.5 機械負荷履歴及び施工進捗度確認機能

これまで、硬い地層に遭遇して施工スピードが徐々に落ちてくるなどの施工計画を狂わすような状況の発見は、オペレータの経験に頼らざるを得なかった。そこで、過渡的な状況判断を支援する機能を開発した。オペレータは施工中に画面の指定箇所をタッチすれば機

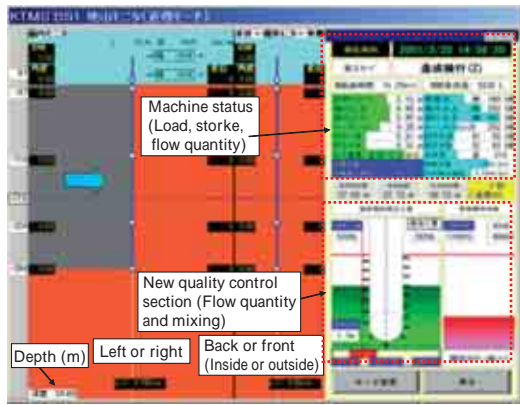


図6 KTMS ver.2.0でのメイン施工モニタ画面例
Fig. 6 Main monitor screen during execution of KTMS ver.2.0

械負荷推移グラフと位置、流量推移グラフを画面上に表示でき(図7)、オペレータの掘削操作が適切であるか否か、1日の施工計画に悪影響を及ぼすような事象はないか、など、施工を順調に進める上で適切な情報をいち早く提供可能となっている。

2.6 施工時画面の再生機能

本機能は主に管理者が施工状況確認のために用いる機能であるが、取り込んだ施工データを用いて施工時画面を動画再生することを可能にしている。また、施工上のトラブルや機械故障が発生した場合の詳細状況確認にも有効な情報を提供するものである。この機能は、施工機上においてだけではなく、遠隔地においても遠隔稼働管理機能によって施工状況を確認することが可能である。

3. 他の土木機械施工管理・制御システムへの応用

KTMS ハードウェア、ソフトウェア技術を活かして開発したコベルコクレーン(株)の土木機械施工管理システムの事例を、以下に紹介する。

3.1 多軸柱列式地中連続壁施工管理への応用(株菱備新栄殿)

本システムは、ユーザ所有の柱列式仮設壁工法機の壁精度と注入品質向上のために開発したもので、具体的には、当社製パイルドライバ機 130P を使用した施工機に下記のような後付改造を施し、最新鋭のリアルタイム施



図8 3軸オーガアタッチメントを取付けた130Pへの施工管理システム装着事例
Fig. 8 Execution management system of 130P

工管理を実現している。傾斜計や流量計を用いた管理技術についてはTRDの施工管理ハードウェアと同じものを用い、信頼性を確保した上で、全く異なる工法に適用させるためにソフトウェアのカスタマイズを行い、以下の機能を実現した。

- 1) 3軸オーガの中心軸を包むケーシングの深度方向に複数の傾斜計を取付け、施工中の傾斜を監視する(図8)。
- 2) 車載流量計を取付け、単位深度あたりの固化材投入量を把握する。
- 3) トップシーブ部にレーザ距離計を設置し、正確なオーガ先端深度を計測する(図8)。
- 4) 運転席に大型パネルコンピュータを設置し、掘削状況をリアルタイムに把握する(図9)。
- 5) 各施工単位(パネル)ごとに品質管理帳票が作成可能である。

本システムは、地下鉄建設用の山留壁などの工事で活用されている。

3.2 WWM工法掘削機の開発(鹿島建設(株)殿)

WWM(ラッピングウォールメソッド)工法は、大阪府下の高速道路の土留壁設置工事における特殊な施工課題を解決するために鹿島建設(株)が考案した工法であり、コベルコクレーン(株)はその中で掘削機及び制御装置一式の開発を担当した。特殊な施工課題とは、上被り深度

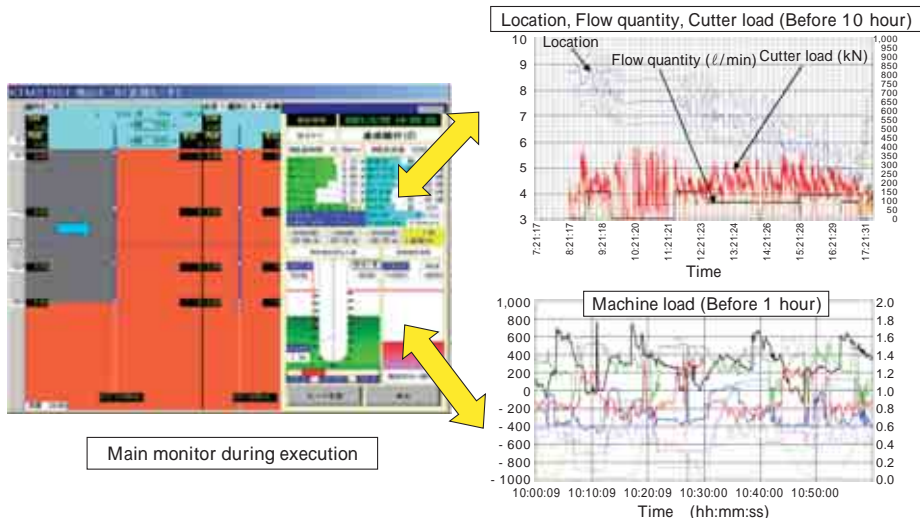


図7 KTMS ver.2.0での施工進捗度確認(過去10時間)及び機械負荷確認(過去1時間)
Fig. 7 Execution progress degree confirmation of KTMS ver.2.0

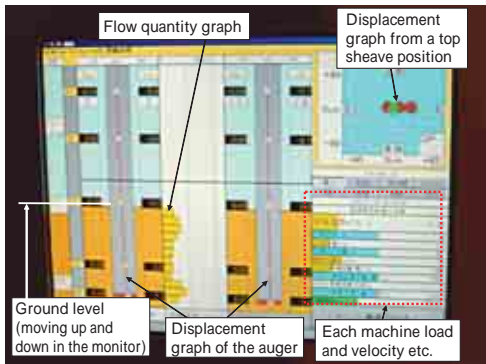


図9 3軸オーガ用施工管理装置のメイン画面
Fig.9 Main monitor of 130P attached execution control system

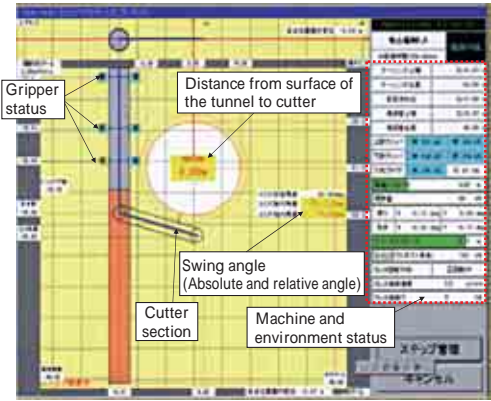


図12 WWM 掘削機制御用モニター画面例
Fig.12 WWM method excavator control monitor example

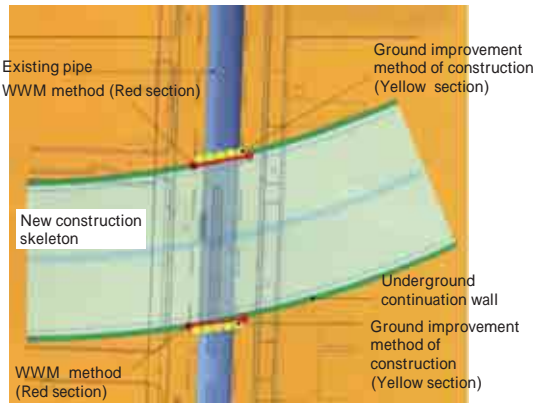


図10 WWM 工法施工概要水平面図
Fig.10 Horizontal plane figure showing WWM construction method

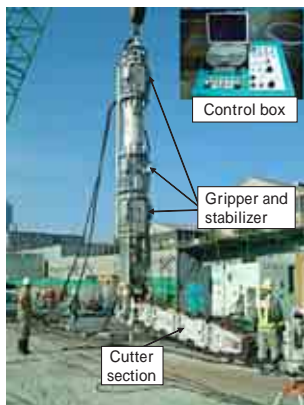


図11 WWM 掘削機全景 (2003年9月)
Fig.11 WWM method excavator whole view (In Osaka at Sept. 2003)

27mにある既設共同溝(直径6m)の直上に地中高速道路を築造する必要があり、高速道路と共同溝とが水平面上に交差する場所において高速道路用山留止水壁と共同溝とが2箇所で見交錯してしまうというものである(図10)。

本施工課題を解決するためには、共同溝に接近してその側方及び下側をえぐるように掘削できる機械が要求された。また地中20~40mの地下において正確に位置制御しながら、全ての動作を地上にて操作する必要があった。そのため当社では、1.5mのケーシング内に挿入可能で、約6mの腕長さを持つ掘削機構が90度屈曲可能なWWM工法掘削機を製作した(図11)。本掘削機には通常は、回転するカッタチェーンが装着されているが、共同溝壁外面に50cmの離隔距離を残し掘削完了し、一度掘削機を地上に引上げてカッタチェーンを取外してジェット噴射装置を取付け、残りの50cm部分の裏込め固化

部分をはじき飛ばす仕様としている。また万一の制御不能時に備え、指定油圧ラインの圧力を抜くと屈曲した掘削機構が自然と鉛直に戻る機能や、2重の掘削機構角度測定機能など、特殊な施工事情に合わせた機能を持たせている。

WWM工法は、掘削した土砂を掘削安定液と置換しながら地上へ排出し、出来形確認後にトレミー管によるセメント注入を行い、共同溝下部にも山留壁を築造する工法である。

WWM工法掘削機では全ての操作を地上にある制御装置で行い、PCモニターで共同溝との離隔距離をセンチメートル単位でグラフィカルに視覚化することでオペレータの操作を支援した(図12)。現地作業終了後、WWM工法は2005年度の国土交通省技術開発賞を受賞した。

むすび=一般的に土木機械用アタッチメントはノウハウの塊であり、専門製造メーカーが多く存在し、コベルククレーン(株)もベースマシン供給メーカーとして専門製造メーカーと協力しながら顧客の要望に応えてきた。一方でDJM(Dry Jet Mixing)工法、TRD工法、WWM工法など、特定分野においては施工ノウハウを知ることが機械開発の必須要件であることから、コベルククレーン(株)はベースマシンの供給だけでなく実際に仕事を行うアタッチメントに関する技術の獲得にも邁進した。最終的には、アタッチメントを使いこなす領域まで踏込むことで工法の定量評価及び顧客の施工エビデンスの可視化を実現し、工法差別化を促進できた。低コストで高品質な社会インフラの整備に資する機械を供給するのが、建設機械メーカーとして進むべき方向であり、今後も顧客のより高い要望に応えられるよう技術研鑽を積んでいく所存である。

最後に、施工技術全般においてご指導、ご鞭撻頂いた鹿島建設(株)、(株)菱備新栄、TRD工法協会会員各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 特許: 第3613144号.
- 2) 特許: 第3687575号.
- 3) 特許: 第3835341号.
- 4) 特許: 第3811756号.
- 5) 特許: 第3811757号.
- 6) 特許: 第3849693号.