

情報化施工における転圧管理システム CIS の適用事例について

酒井重工業(株) 事業推進部 小葉 はるな
同 技術研究所 眞壁 淳
前田道路(株) 東京支店 上野 健司

1. はじめに

舗装工事の情報化施工においては、施工の効率化、コスト低減および品質の向上を目的として、敷きならし機械への三次元マシンコントロール（以下、3D-MC と称す）の適用が増加しつつある。中でも位置情報検知装置である自動追尾トータルステーション（以下、TS と称す）との併用による施工方式は、複雑な設計形状の路面整形にも高精度かつリアルタイムで位置情報を把握できるため、施工効率と精度が従来に比べて飛躍的に向上している¹⁾。一方、最近では舗装転圧作業の分野でも情報化施工への適用要求が高まっている。既に路体・路床などの土工事分野では、転圧回数管理装置や加速度応答法による締固め品質管理機器（酒井重工業製 Compaction-Control-Value：以下、CCV と称す）等が開発され、リアルタイム転圧管理手法として、その適用性が評価されてきた²⁾。以下に紹介する最近開発された転圧管理システム（酒井重工業製 Compaction-Information-System：以下、CIS と称す）は、加熱アスファルト混合物の転圧時にも使用可能であり、舗装工事の新たな情報化施工品質管理ツールとして期待されている。本報文では、TS 式 3D-MC を適用した路盤工事およびアスファルト舗装工事における CIS の転圧施工例を紹介すると共に、品質検査の一手法であるブルーフローリング（以下、PR と称す）の代替ツールとしての適用性を報告する。

本システムは所要の締固め品質の均一化向上に資するシステムである。CIS はセンサ類（CCV、TS 受光機等）、ディスプレイ、車載用施工情報入出力解析ソフトおよびオフィス用データ処理ソフトで構成される。また、アスファルト舗装転圧時は、ローラ前方に放射型温度センサを設置する。大型ディスプレイには転圧回数、CCV および路面温度の分布がリアルタイムで表示される。従来他社モデルに比べ、表示画面が大きく見やすい。また、Windows ベースで操作が容易である。そのため、オペレータおよび現場監督は容易に締固め状況が把握できる。なお、測定されたすべての施工情報は、USB メモリを介してデータ移動を行い、オフィス用データ処理ソフトにてデータ管理と帳票化が可能である。



図-1 CIS システム（ハード）概要

2. CIS システム概要

2.1 システム概要

CIS のシステム概要を図-1 に、画面表示例および 4t 振動コンバインドローラ（酒井重工業製 TW502 型：以下、振動コンバインドと称す）への取付け状況を図-2 に示す。図例は CCV 分布の表示である。所要転圧回数に応じて色を自由に設定可能である。また、CCV および路面温度は左上端のタッチキーによって切替える。さらにディスプレイ上端の数値は、作業速度、路面温度、CCV および振動数をリアルタイムで表示する。

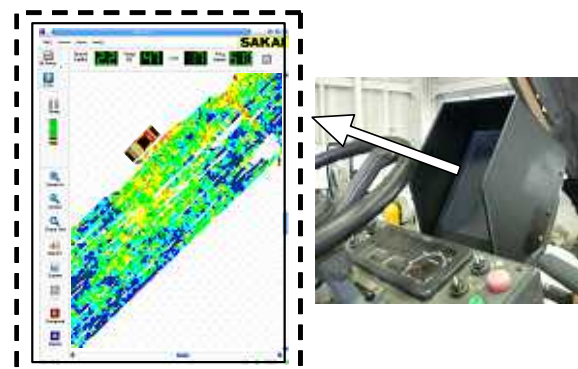


図-2 CIS 画面表示例とローラへの搭載状況

2.2 CCV 計測方法

一般に振動ローラ転圧時の地盤からの応答加速度は、地盤の状態（硬軟）によって変化する。図-3に転圧回数と応答加速度の関係を示す。図中(A)は、転圧回数2回目の応答加速度を示し比較的地盤が軟弱である。図中(B)は、転圧回数8回目の応答加速度を示し転圧回数2回目に比べ締固めが進行し地盤が硬化している。図より、転圧回数の増加に伴い、複数の周波数成分が合成され、応答加速度が変化していることがわかる。

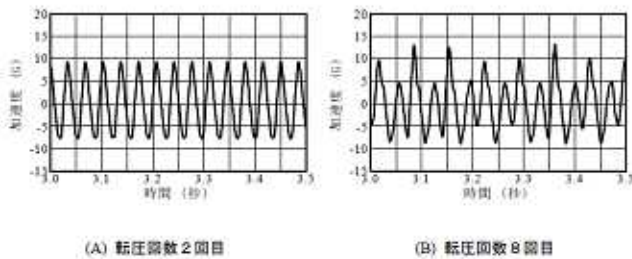


図-3 転圧回数と応答加速度の関係

CCVは、このような応答加速度の変化を捉え数値化したものである。検知された応答加速度信号を高速フーリエ変換(FFT)して、振動輪の基本振動周波数 F_0 を検出する。次に基本振動周波数 F_0 を含む6種類の周波数 ($1/2 F_0, F_0, 3/2 F_0, 2 F_0, 5/2 F_0$ および $3 F_0$) に対応するバンドパスフィルタでフィルタリングし、図-4に示すように各周波数における加速度振幅スペクトル ($A_1 \sim A_6$) を検出する。

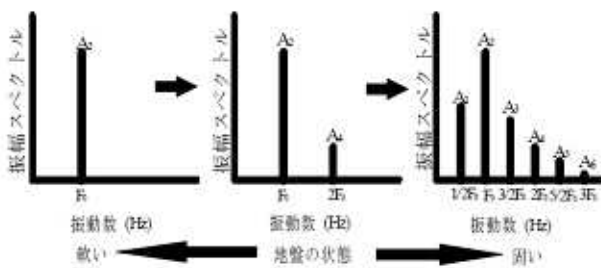


図-4 地盤の硬軟による振幅スペクトル

検出された振幅スペクトルから以下の演算式によりCCV(無次元量)を算出する。このように算出されたCCVは、ローラ転圧時の地盤の硬軟(剛性)として表現できるものである。

$$CCV = \{(A_1 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6) / (A_1 + A_2)\} \times 100$$

CISでは、上述したCCVと同様に転圧回数および路面温度をリアルタイムで計測している。また、施工エリアをメッシュ分割することで、メッシュ上をローラが通過した時の計測データを色付けし

その分布を表示している。

3. 舗装転圧工事におけるCISの適用性

3.1 路盤転圧工事への適用事例1

施工現場は、総施工面積 38,000 m^2 、横断勾配 2.5 %のモータープール予定地である。路盤材料は、下層路盤は再生クラッシャーラン(RC40, 20 cm)、上層路盤は再生粒調碎石(RM40, 20 cm)である。複雑な横断と縦断勾配に沿って撒きだし厚を短期間に確保するためにTS式3D-MCを用いた。これは、自動追尾TS(TOPCON製:GPT-9600(写真-1))とターゲットプリズム(写真-2)により敷きならし機械の位置を検出し、その結果を無線で敷きならし機械にフィードバックして排土板の高さと勾配を自動制御(高さ方向の精度は ± 5 mm程度)している。

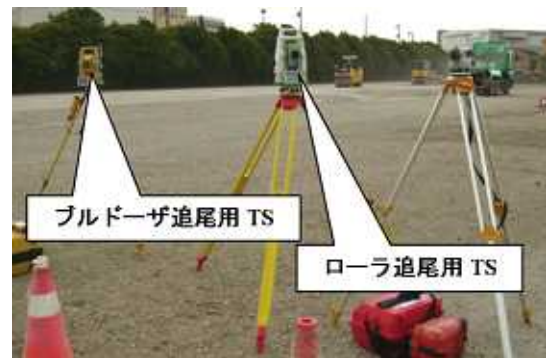


写真-1 ブルドーザおよびローラ用自動追尾TS



写真-2 3D-MC付ブルドーザでの敷きならし状況

前述の通り、CISはリアルタイムに転圧管理が可能であるが、ここでは、試みとして従来のPRの代替検査ツールとしての適用性を検証した。ローラの位置検出にはTS(Leica製:TPS-1200)を用いた。CISにて既施工部全面を測定した後、図-5に示すCCV分布図を基にCCV値の高、中、低のエリアを各々4箇所選択し、ハンディFWD(以下、HFWDと称す)によって地盤剛性(以下、K値と称す)を測定した。図-6に示すように、CCV値とK値の相関関係($R^2 = 0.83$)は良好であり、CISは施工後の品質検査ツールとしても有効であった。

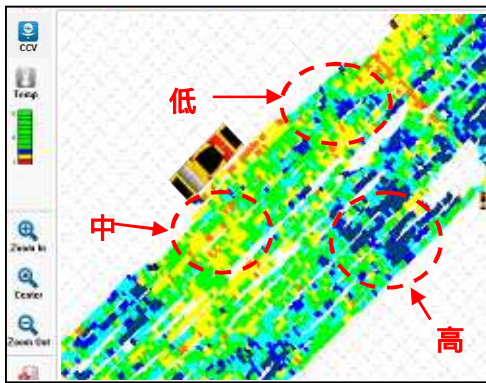


図-5 CCV 値の分布表示例

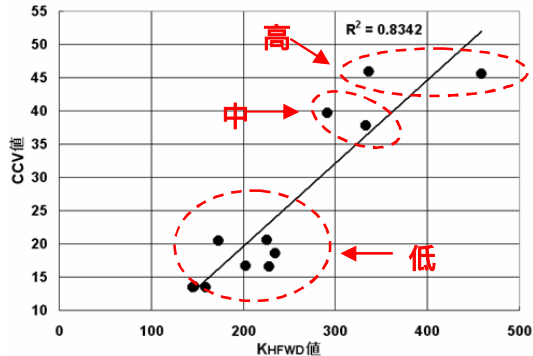


図-6 CCV 値と K_{HFW} 値の関係

3.2 路盤転圧工事への適用事例2

施工現場は、総施工面積1,400 m²、道路延長約400 mの町道である。10tマカダムローラと15tタイヤローラによる転圧後に、前項と同様にCISにて施工部全面を測定した。写真-3は、CISを搭載した振動コンバインドによる測定状況である。なおローラ的位置検出には、自動追尾TS (Trimble製: SPS930) を用いた。図-7にCCV分布を示す。図より、路肩部のCCV値が相対的に低い。これは、端部に材料を拘束する型枠が無く、施工部外側への材料の押出しによる転圧不足が要因と見られた。本現場では、HFWHDとの比較は行えなかったものの、目視確認により転圧不足が懸念された端部でCCV値が低く、傾向が一致した。



写真-3 CISによるCCV測定状況

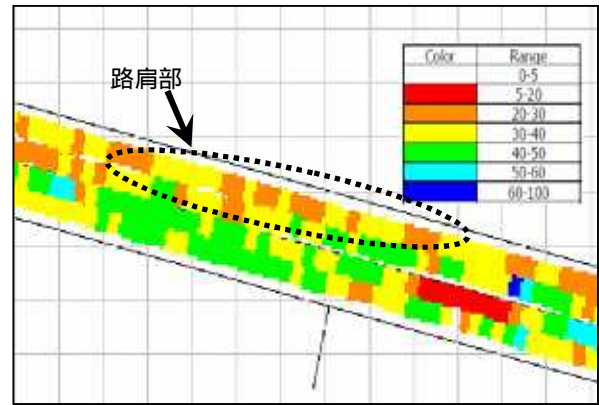


図-7 CCV値の分布表示例と分布割合

3.3 表層転圧工事への適用事例

3.2項の路盤上に敷設したアスファルト混合物 (再生密粒度アスコン(13), 仕上り厚5cm) の転圧中にCISの適用性を検証した。アスファルトフィニッシャーで敷きならし後、CISを搭載した振動コンバインドにて初期転圧を行った。写真-4に初期転圧状況を示す。また、二次転圧には15tタイヤローラを用いた。本現場では無振動仕様が転圧条件であったため、振動加速度応答値によるCCVは測定していない。従って、本項では、転圧回数と路面温度の測定結果を評価することとした。



写真-4 初期転圧状況

図-8に初期転圧開始時の路面温度分布を示す。図より、ほぼ全面で100度以上であり、適切な温度範囲内の施工であったことがわかる。図-9に転圧回数分布を示す。本施工では、所要の転圧回数が3回以上であり、要求された転圧回数を満足していることが本図より明らかである。しかしながら、転圧回数の分布には、転圧回数が少ない箇所と多い箇所が混在しており、過転圧による不均一な締固めが懸念された。

CISでは、転圧施工中にオペレータに対して、適切な施工温度の把握・確認および所要の転圧回数が均一に転圧することを促すことができる。従っ

て、施工の効率化や締固め品質の向上だけでなく、従来人力にて計測・管理していた温度測定や転圧回数測定等の省人化を含めた施工全体のコスト低減に寄与することができる。また、帳票化された施工データは、将来的な修繕・補修時期の予測や修繕方法に対しても利用できるものと思われる。

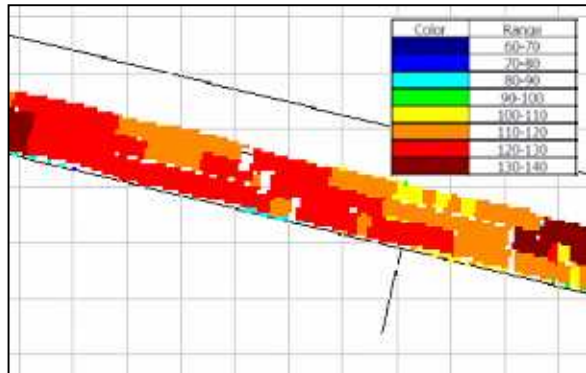


図-8 初期転圧開始時の路面温度分布

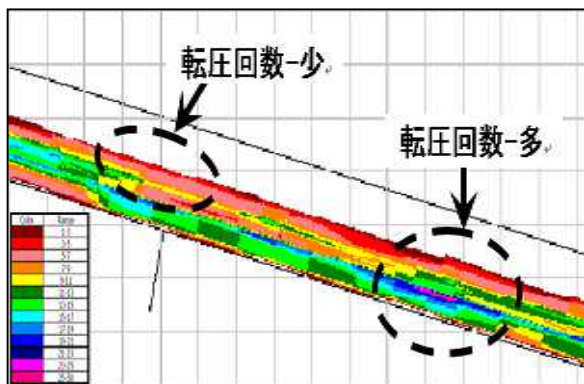


図-9 転圧回数分布

4. まとめ

前述した施工結果より、CISは、転圧施工中にCCV値、転圧回数および路面温度等をリアルタイムで管理できるだけでなく、施工後の品質検査（PR）の代替ツールとしても有効であることが明らかになった。また、路盤施工においては、敷きならしから転圧まで同じ地形（位置）データを用いたことでデータの一元化も図られた。これらのまとめを以下に示す。

4.1 施工品質の向上

CISは、従来の局所的かつ少数の測定数と比べて施工全面を測定できると共に視覚的に不良箇所を容易に発見できるので、品質の飛躍的な向上が期待できる。また、PRの代替ツールとして品質検査が可能である。

4.2 施工の効率化とコスト低減

CISでは、オペレータがリアルタイムで転圧回数の過不足を確認できるため、施工の均一化と効率

化（無駄の排除）を図ることができる。また、従来人力にて計測・管理していた温度測定や転圧回数測定等の省人化を行うことができ、施工コストの低減にも寄与できる。

4.3 舗装の長寿命化とメンテナンス費用の低減

締固め品質の向上は、舗装の長寿命化に伴う補修工事等の作業ならびに費用を低減することに寄与する。また、CCV、転圧回数および路面温度により転圧不足や過転圧が懸念される箇所を予測することができれば、検査や補修作業の効率化を図ることができる。

4.4 教育

CISにより測定された施工情報は、電子データとして保存できるので、帳票作成および転圧ローラのオペレータ教育等にも適用できるものと思われる。

参考文献

- 1) 菊池・上野：3Dマシンコントロールのブルドーザへの適用，建設機械，44・3，pp22-25，2008．3．
- 2) 藤岡・北村：ローラ加速度応答法を用いた道路路床の品質管理に関する研究（その1，2），第39回地盤工学会資料，pp1343-1345，2004．7．