

ドイツにおける ICT を利用した締固め管理技術

橋 本 毅

締固め施工における情報化施工の管理要領としては、国内では国土交通省より、「TS・GPSを用いた盛土の情報化施工締固め管理要領（案）」が2003年に策定されている。

また海外では、欧州、米国などにおいて、ローラに搭載した加速度計による地盤剛性計測装置を利用した締固め品質管理技術が研究されており、特にドイツにおいては品質管理要領がすでに策定されている。

本稿ではこのドイツにおける ICT も盛り込まれた締固め施工の品質管理要領について、その施工における概略を日本の管理要領と比較して紹介する。

また、この転圧品質管理技術のアスファルト転圧への応用状況と、必要なシステムの概略についても述べる。

キーワード：情報化施工、ローラ、締固め、品質管理、振動、加速度、GPS (GNSS)、TS

1. はじめに

2008年に「情報化施工推進戦略」がまとめられ、建設現場への様々な情報通信技術（ICT）の導入が加速している。ローラによる締固め施工においても、「ローラの軌跡管理による面的な品質管理技術（締固め）」が実用化の段階にあり、近年この技術を用いる施工現場が急速に増加している。そしてその際の施工・品質管理要領書としては、「TS・GPSを用いた盛土の情報化施工締固め管理要領（案）」（以下「TS・GPS—」）が2003年に国土交通省より策定され、施工現場で使用されている。

海外では、欧州、米国などにおいて、ローラに搭載した加速度計による地盤剛性計測装置を利用した締固め品質管理技術が研究されており、特にドイツにおいては品質管理要領がすでに策定されている。

本稿ではこのドイツにおける ICT も盛り込まれた締固め施工の品質管理要領「ZTVE-StB94/97」について、その施工における概略を日本の管理要領と比較して紹介する。

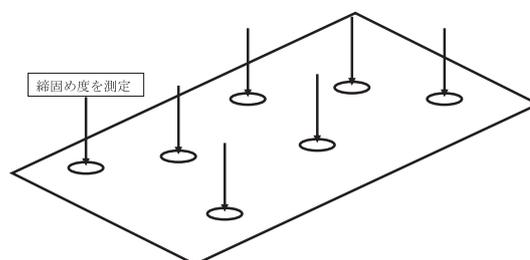
また、この ICT を利用した転圧品質管理技術のアスファルト転圧への応用状況と、必要なシステムの概略についても述べる。

2. 日本における盛土の締固め管理要領

まず、日本における ICT を利用した締固め品質管

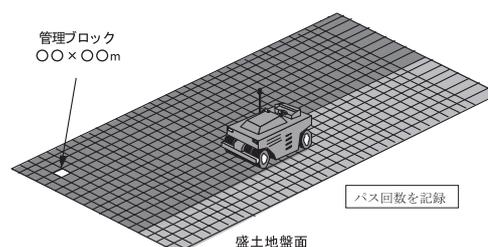
理技術（「TS・GPS—」）の概略を説明する。

従来の締固め品質管理手法は、転圧後、その施工面積に応じた測定ポイント数の管理基準値（締固め度）を測定・確認することによって行っている（図—1）。



図—1 従来の品質管理手法 点（ポイント）で管理

これに対し「TS・GPS—」では、ローラにGNSSなどの位置情報を確認できる機器を搭載し、その位置情報を元に施工面全体の転圧回数を管理する。これにより、従来のポイントにて管理する手法に比べ、施工面全体（100%）の品質を管理することが可能となり、品質の向上・施工の効率化などが期待できる（図—2）。



図—2 情報化施工による品質管理 施工面全体で管理

3. ドイツにおける盛土の締固め管理要領

「ZTVE-StB94/97」は道路土工の品質管理要領として策定されたものであるが、ICTを利用した盛土の品質管理基準として、空港などの施工現場にも適用されている。

本要領によると、盛土の締固め品質管理手法は、表一1の3種類の手法から選択することができる。

表一1 ドイツにおける盛土締固め品質管理手法

「ZTVE-StB94/97」(ドイツ道路土工品質管理要領)における品質管理手法		
M1	M2	M3
施工後、施工面積に応じた数の検査ポイントをランダムに抽出。そのポイントの品質を検査する。	振動ローラに計測器(加速度計+応答値解析機構)を搭載し、施工面全体(100%)の品質を検査する。	試験施工により施工方法を決定。施工後、比較的転圧不十分な箇所(ウィークポイント)を特定し、そのポイントの品質検査を行う。ポイント数は施工面積に応じて設定される。(M1手法の約1/3)

このうち、M2手法がICTを利用したものであり、CCC(Continuous Compaction Control)と呼ばれている。日本における「TS・GPS」に相当するものであるといえる。

このM2手法も、ポイントではなく施工面全体での品質管理を目的としている点は「TS・GPS」と同様であるが、施工においての内容には大きな2つの相違点がある。以下、この相違点について解説する。

また近年ドイツでは、手順の簡略化のためにM3手法にICTを導入する事例も増加している。その手法については次章に説明する。

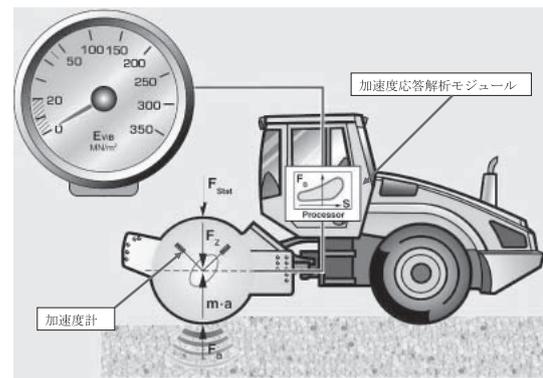
(1) 管理基準値(表一2)

ドイツでは、ローラに搭載した測定器によって得ら

表一2 管理基準値比較表

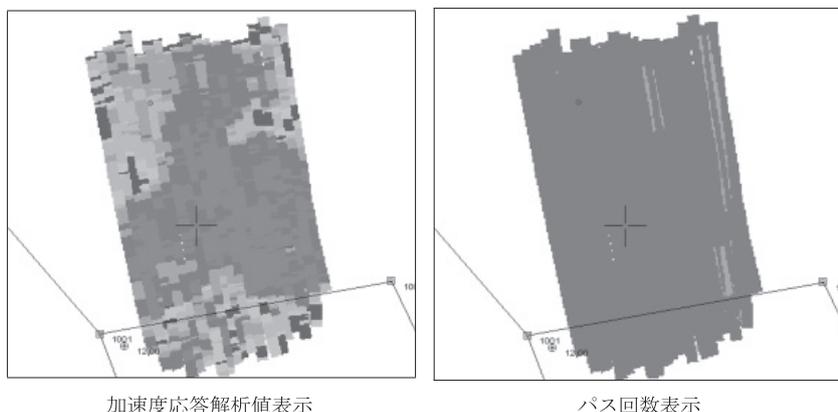
	ドイツ ZTVE-StB94/97	日本 TS・GPS
管理基準値	加速度応答解析値	パス回数
適用土質	一部適用できない土質がある。(粘性土等)	ローラが使用できるすべての土質に適用できる。
適用機械	振動ローラのみ	すべてのローラに適用できる。
校正	必要： 従来の基準値(密度、支持力等)との関係を調べる。	必要： 従来の基準値(締固め度)との関係を調べる。

れる値を管理基準値として採用している。これは振動ローラに加速度計を搭載し、それから得られる振動応答値を解析して得られる値である。この解析に使用する解析式は各ローラメーカーなどから様々なものが提案され製品化されているが、どれも地盤剛性や締固め度と相関関係を持っている値である(図一3)。



図一3 加速度応答解析値

この加速度応答解析値を用いる手法は、ローラに計測器を搭載し、実際に地盤の状況を計測しながら走行できるために、走行軌跡やパス回数などによらない地



図一4 転圧結果表示の比較
加速度応答解析値を利用すると、パス回数表示ではわからない地盤の状況がわかる

盤の状態を直接把握できることが特徴である。(巻き出し材料のばらつきやスポット・エリア的な不良箇所を把握することが可能) (図-4)。

しかしながら、この加速度応答解析値は、その原理上粘性土には適用できず、また砂質土系でも一部適用できない土質があることが判っている。したがって、適用できる土質かどうかを事前に把握することが重要となり、適用できない場合は他の手法を選択しなければならない。

またこの加速度応答解析値は絶対的な指標を表すことはできない。すなわち土質条件、含水比、ローラの振幅、振動数、走行速度、進行方向などによって値が左右されるため、本解析値を品質管理に使用する場合は、それら条件を等しくした試験施工を行い、従来の品質管理基準(締固め度や支持力など)との校正を施工毎に行う必要がある。(パス回数管理においても、従来の品質管理基準とパス回数との関係を求めておく必要はある)。「ZTVE-StB94/97」(およびその技術文書である「TPBF - StB PartE2」)では、その校正の手順についても細かく規定されている。

また、本手法は振動しないロードローラ(マカダムローラ)やタイヤローラには適用できない。これはドイツではそのような振動しないローラはほとんど使用されていないことが背景にあるといえる。

(2) 位置情報取得機器 (表-3)

表-3 位置情報取得機器比較

	ドイツ ZTVE-StB94/97	日本 TS・GPS
位置情報取得機器	規定なし	RTK-GPS または TS

「TS・GPS」では、位置情報計測機器として、RTK-GPSあるいはTS(トータルステーション)の使用が規定されている。これらは水平方向の精度が数cmと非常に高精度であるが、反面価格が非常に高いものである。

対して、「ZTVE-StB94/97」では位置情報取得機器については特に規定されていない。発注者、施工者、場合によってはコンサルタント等が、施工現場の状態(広さや周辺環境等)と経験から様々な機器を選択できることになっている。

前述の日本で使用されている機器以外では、D-GPS(ディファレンシャル-GPS)やローラに搭載された距離計などが用いられている。

特に距離計を用いた手法は、トラックレーン管理手

法と呼ばれ、予め施工範囲をいくつかのレーン(ローラ幅以下)に区切っておき、各レーン毎に、加速度解析値を距離計による位置情報と共に記録し、プリンタにて出力する。それらの印刷情報を横方向に並べ、施工面全体の品質管理を行う手法である(図-5)。

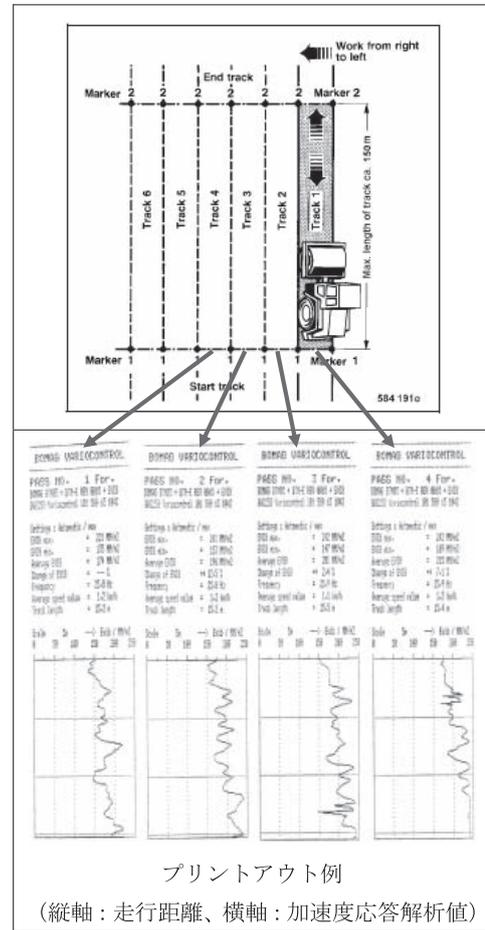


図-5 トラックレーン管理手法
GNSSを使用しない手法

この手法は、位置情報の誤差が積み重なるために広い施工現場には不適であるが、位置情報を取得する機器と記録・出力する機器が距離計とプリンタのみとなるため、GPS等を用いる手法に比べ、非常に安価となるのが特徴である。

4. M3手法へのICTの導入

M2手法は、施工毎の校正が必ず必要なため、手順が非常に煩雑となり、また施工条件が変化した場合は校正を新たにやらなくてはならないなど、制約も多い。このような煩雑さを回避するために、ICTをM3手法に導入する手法が近年多く採用されている。

M3手法とは、前述のように、試験施工により施工方法(機械の種類、パス回数など)を決定し、施工後、

専門家による目視や、プルーフローリングなどで比較的転圧不十分な箇所（ウィークポイント）を特定し、そのポイントの品質検査を行う手法である。

このウィークポイントの特定に ICT が利用できる。すなわち、M2 手法で用いられる、位置情報取得機器と加速度計を搭載したローラをプルーフローリング的に使用し、加速度応答解析値の大小によってウィークポイントを特定するものである。この手法ならば、加速度応答解析値の校正は必要なく、またウィークポイントの締め固め品質が所定の規格を満たしていた場合は、施工面全体（100%）の品質を検査したことと同様となる。

5. アスファルト転圧への応用

「TS・GPS」および「ZTVE-StB94/97」は土工転圧における ICT を盛り込んだ品質管理要領であり、舗装転圧における同様の品質管理要領は、日本、ドイツ両国とも未だ策定されていない。

舗装転圧の品質管理を行う場合は、土工転圧の締め固め度に相当するアスファルト密度を管理するだけでなく、転圧の際のアスファルト温度を管理することも重要となる。そのため、ローラメーカーなどからローラに搭載する非接触温度計が開発・販売されている（図-6）。

ドイツでは現在、前述の加速度応答解析値と、これら温度計により測定されるアスファルト表面温度を、

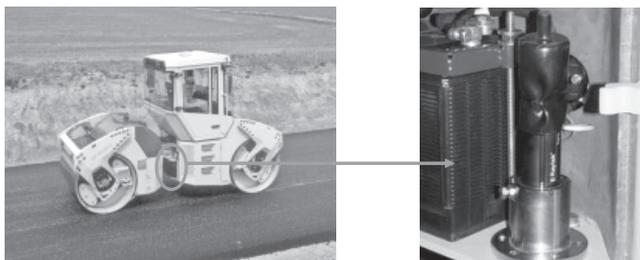


図-6 非接触式温度計
アスファルト表面温度を計測できる

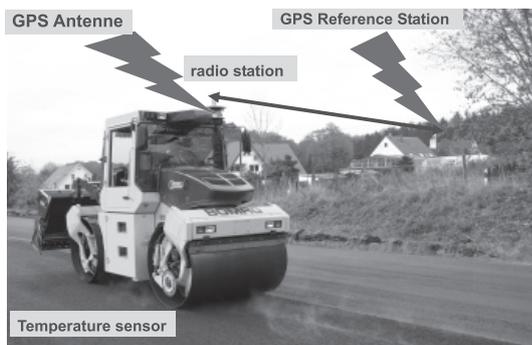


図-7 ICT を使用した舗装転圧試験施工
ドイツ A30 高速道路

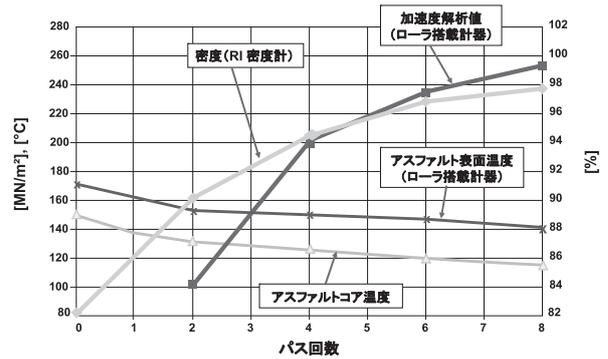


図-8 加速度解析値と表面温度の従来指標との関係

位置情報と共に記録し、品質管理に使用する研究が行われている（図-7，8）。今後品質管理要領の策定が期待される。

6. 必要なシステムの概要

「ZTVE-StB94/97」の M2 手法などで用いられるシステムは、以下の3つの機器によって構成される（図-9）。

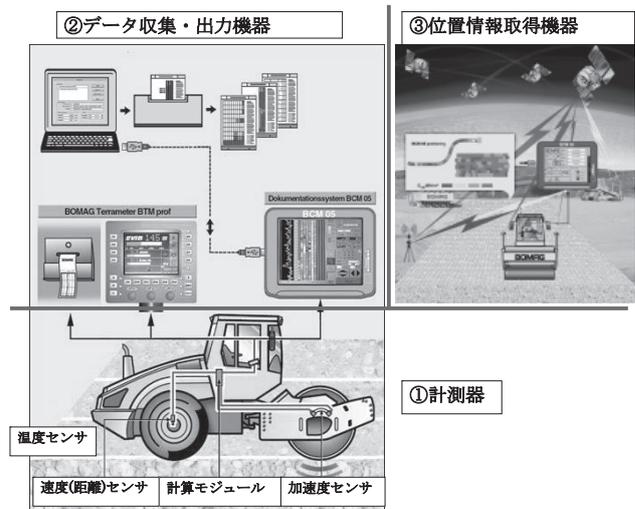


図-9 システム構成

- ①計測器：加速度計，温度計，距離計
- ②データ収集・出力機器：車載 PC など
- ③位置情報取得機器：GNSS，TS など

ドイツでは、これらのシステムはローラメーカーや計測器メーカーなどから販売されており、普及が進んでいる。

日本の「TS・GPS」で必要な機器は上記の②③であり、日本では主に計測器メーカーなどから販売されている。

また、ドイツではこれらのシステムを小型のハンドガイド型転圧機へも導入しようとする動きもあり、シ

システム全体ではないが加速度応答解析機構は既に開発・販売されている（図－10）。



図－10 加速度応答解析機構を搭載した小型転圧機

7. おわりに

以上、ドイツにおける ICT を利用した締固め品質管理要領について、施工における日本との相違点、アスファルト転圧への応用状況、必要なシステムについて解説した。

ドイツ国内において、この ICT を利用した締固め品質管理がどの程度普及しているかの統計的なデータはないが、ある独ローラメーカーの調査では、空港や高速道路などの大規模工事では全体の約 50～60%の施工現場で既にこの ICT を利用した締固め品質管理（M2 または M3 + ICT）が導入されているようであり、今後増加する傾向にあると予想されている。

また日本では、「TS・GPS」を採用する施工現場はここ数年で急激に増加しているが、ドイツと同様の加速度応答解析値を用いた品質管理手法は現在研究が行われている段階であり、海外ローラメーカーが販売しているシステムや国内ローラメーカーやゼネコンなどが

開発したシステムなどを用いて試験施工、あるいは従来手法と平行したデータ収集などが行われている。（施工業者が社内品質情報として自主的に行う場合もある）。

日本にて加速度応答解析値を採用するためには、日本とドイツとの施工方法の違い（材料や機種）を十分把握することや、100%検査結果値に対する合否判定基準などを事前に検討しなければならない。

さらに、「パス回数」、「加速度応答解析値」には、それぞれ長所短所が存在するので、それぞれを状況に応じて使い分けられるようにする検討なども必要である。

また、位置情報取得機器についても、現場の状況に応じて安価な機器（ドイツにおける「トラックレーン手法」など）の採用などの研究も情報化施工の普及に効果があるのではないと思われる。

日本での今後の研究に期待したい。

J C M A

《参考文献》

- 1) ZTVE-StB94/97 : German Regulation, 1994/1997
- 2) TS・GPS を用いた盛土の情報化施工締固め管理要領（案）：国土交通省, 2005
- 3) 情報化施工推進戦略：国土交通省, 2008
- 4) 情報化施工ガイドブック：(社)日本建設機械化協会, 2009
- 5) BOMAG GmbH 社内資料, 2007

【筆者紹介】

橋本 毅（はしもと たけし）
ボーマクジャパン(株)
技術・サービス部 技術グループ
課長

