

12. 最新の締固め施工管理と深層転圧能力を有する多角形ドラム

ボーマクジャパン(株)：○長田 耕一、倉持 勝裕、加藤 美貴男

1. はじめに

近年、情報化施工への取組みが活発となっており、振動ローラを用いた施工においても、加速度計やGPSを用いた管理手法が開発され、徐々に実用化され始めている。また、道路建設工事の経費削減・工期短縮が求められており、締固め施工においても、盛土における厚層施工化等が検討されてきた。当社では、主としてドイツを始めとした海外での施工工事において、各種技術を適用した振動ローラを提供し、施工品質向上、効率化等へ寄与している。本稿では、これらの技術の概要について、海外における施工例を交えながら紹介する。

2. 締固め管理¹⁾²⁾

締固め施工では、優れた転圧能力を有する振動ローラが多用され、古くから、ローラの振動挙動が地盤の硬さによって変化することが知られている。これに着目し、1980年頃から、振動挙動を計測することにより、地盤の締固め状況をリアルタイムで把握しようとする取り組みが始められている。さらに、計測値に合わせて振動条件を調整することにより、締固め作業を効率・最適化する管理システムの開発が各社にて進められている。

2.1. 締固め度評価

締固め管理では、締固め状態の検出が、最も重要かつ基本であることは言うまでも無い。現時点では、確立された技術は存在しないが、ローラへ加速度計を取付け、検出された周波数特性を、ひずみ率、乱れ率、等の手法により評価する方法が開発・具体化され始めており、具体的な成果も報告されている。一方、当社では、1982年に加速度計を用いた検出器(OMEGAメータ)を開発し、これをベースとした締固め管理ツールを提供してきた。OMEGAメータでは、

地盤へ付加したエネルギーより導出した計算値を出力しており、同じ地盤剛性であっても、地盤条件等により出力値が変化するため、計測値は、固有値ではなく、無次元値として扱う必要があった。

その後、直接地盤剛性を計測する検出手法の開発を進めた結果、2000年に、これを可能としたE_{VIB}メータの開発に成功した。これは、振動輪が受ける反力を用いた方法を採用しており、ローラ変位との関係により、直接地盤剛性を得ることが大きな特徴である。概略検出手法を以下に示す。

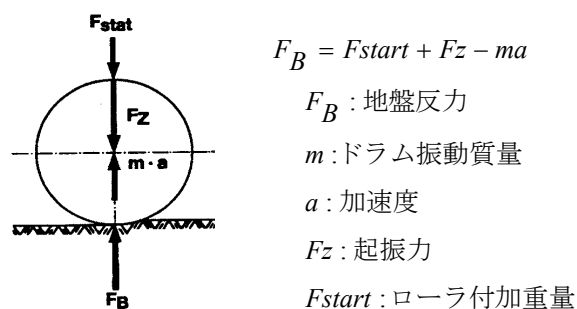


図1 ローラー地盤間の力関係

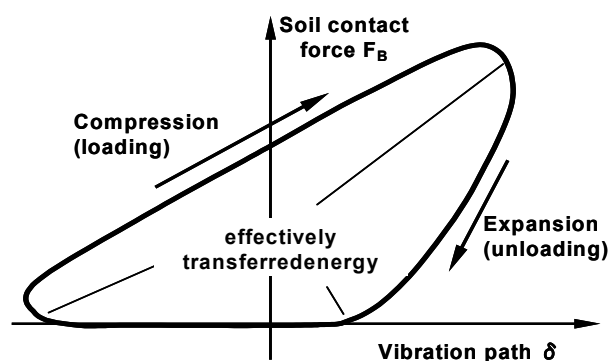


図2 地盤反力-変位線図

まず、振動ローラと地盤間の力の関係を図1のようにモデル化する。本モデルにおける力のつりあい式は、図の右側へ示したとおりである。ローラ本体に関わる緒元は既知であるため、締固め作業中の、加

速度 a を検出することにより、地盤反力 F_B が導出される。次に、導出された F_B を、加速度の2回積分によって得られる変位 δ に対してプロットすると、図2のような曲線が得られる。この曲線の押込み (Compression) 部の直線の傾きが地盤反力係数となり固有値を得ることができる。

2.2. 締固め自動制御 (VARIOCONTROL)

当社では、起振力付加方向を連続的に垂直から水平へと変更できる機構 (VARIO) を組み込んだローラを有しており、前出の E_{VIB} メータ (BTM-E) からの計測値に合わせて起振力付加方向を制御するコントローラと組合わせて、図3に示すような自動転圧制御システム (VARIOCONTROL) を開発・提供している。本システムでは、目標締固め度を E_{VIB} 値として設定することにより、地盤の状況に合わせた転圧力での施工が自動的に行われる。これを用いた施工例

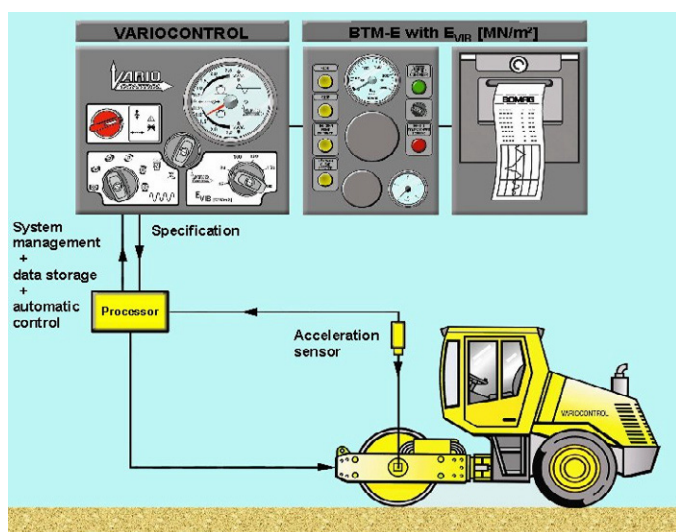


図3 締固め自動制御システム

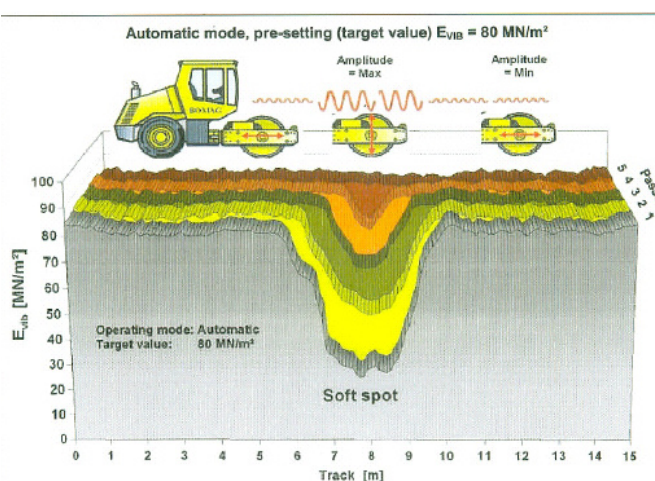


図4 自動転圧制御施工結果例

を図4に示す。転圧前では、非常に軟弱な地盤エリアが存在しているが、5回転圧後には、ほぼ均一な締固め状態となっている。本システムを用いることにより、熟練作業者の勘に頼ることなく、施工後の品質を飛躍的に向上させることが可能となる。

2.3. 転圧管理

前項は、転圧施工作業の自動制御システムであるが、実施工においては、施工現場全体の転圧状態を総合的に管理する必要がある。

当社では、これをディスプレイ表示するとともに、データをメモリーカードにて取出すことが可能となるシステム (BCM) を提供している。更に、これを、GPS と組合わせることにより、より高度な管理が可能となるシステムを構築している。また、舗装施工向けのシステム (Asphalt Manager) では、舗装温度モニタリングも含め管理可能となっている。

3. 多角形ドラムローラ³⁾

施工効率化や工期短縮等の要望に対応するために、メーカ各社では各種転圧能力向上が検討されている。高振幅化など機械的能力の向上が検討されているが、機械構造上の制約等により限界がある。

そこで、ドラムを多角形 (八角形) としたローラを開発・適用しテストを重ねた結果、これまでに無い転圧能力を実現できることが確認された。本ドラムの最大の特徴は、非常に深い層まで到達する転圧能力であり、転圧条件によっては、巻出し厚を2倍以上にすることが可能である。

3.1. 八角形ドラム

ドラムの外形を図5に示す。本ドラムは3つの八角形のドラムを繋ぎ合わせたものであり、各ドラムは、千鳥状に位相をずらして接合されている。幅方向端部へは円形リングが溶接されており、ローラ回送時等の、八角形ドラム先端角部の路面への接触を防止して

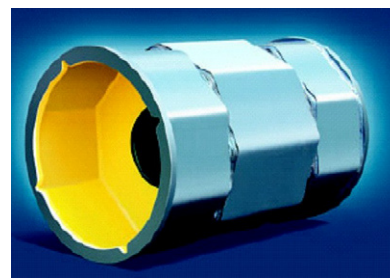


図5 多角形ドラム

いる。これにより、硬い路面においても、高速レンジにて回送することが可能となっている。

従来のドラムに比べて多角形ドラムは非常に優れたセルフクリーニング効果をもっており、スクレーパーを省略することができた。

3.2. 転圧状態

図6に、円形ドラムと多角形ドラムの転圧状態模式図を示す。左端は、従来の円形ドラムを示しており、回転中は転圧力が常に同一方向に作用している。

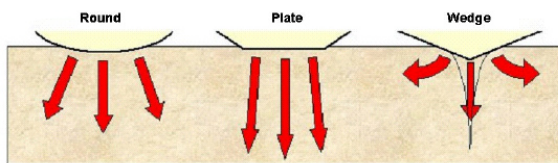


図6 転圧状態模式図

一方、多角形ドラムでは、プレート面とウェッジ面において異なる方向に転圧力が負荷される。プレート面の転圧では、地盤に垂直方向に転圧力が作用し、ウェッジ面の転圧では、地盤を横方向へ押し出す方向へ転圧力が作用する。ローラの回転とともに、通常の転圧状態と、押し広げ状態が繰り返されるため、練り効果と剪断効果が同時に発生する。また、ウェ

ッジ転圧時の前後には、局部的に低圧密部が発生するため、地盤中のエアを表面へ押し出すことも可能となる。

結果として、転圧表面の状態に左右されることなく、多角形ドラムは非常に深い層まで、転圧効果を発揮することが可能となる。

また、地盤の可塑性が向上し、更にはドラムと地盤の接触面が確実に広く取ることができると、ジャンピングやカオス挙動の発生を激減させることが可能となる。従来の円形ドラムで問題となっていたドラム前方での弓状の押し出し変形がまったく発生せず、優れた駆動力を有していることに加え、大幅な転圧回数の削減が可能となっているため、低速走行速度においても、非常に高い転圧力と深層への転圧効果を発揮することができる。

以上のことより、本ドラムはあらゆる地盤に対して良好な転圧が可能であると言えるが、唯一、転圧後の表面層については、プレート面とウェッジ面の特殊な相互作用により、非常にルーズで柔らかくなることも認識しておく必要がある。

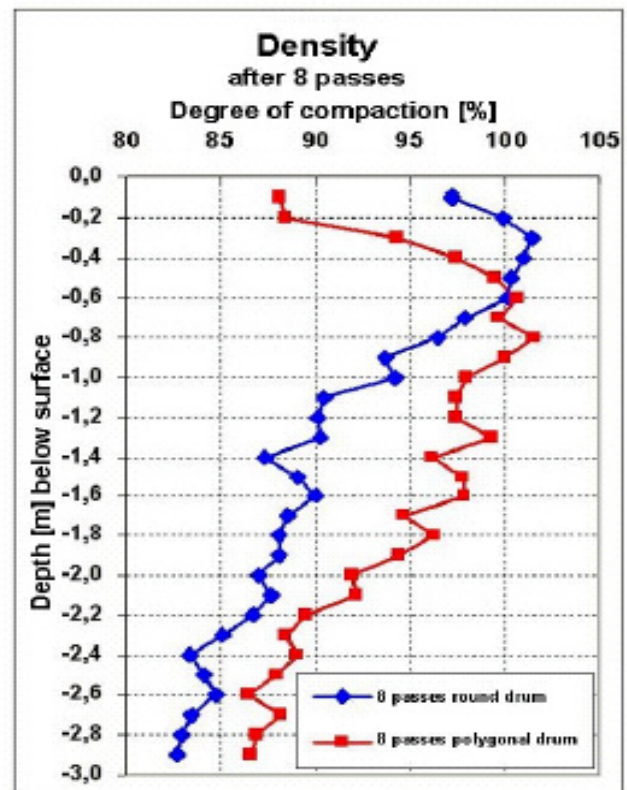
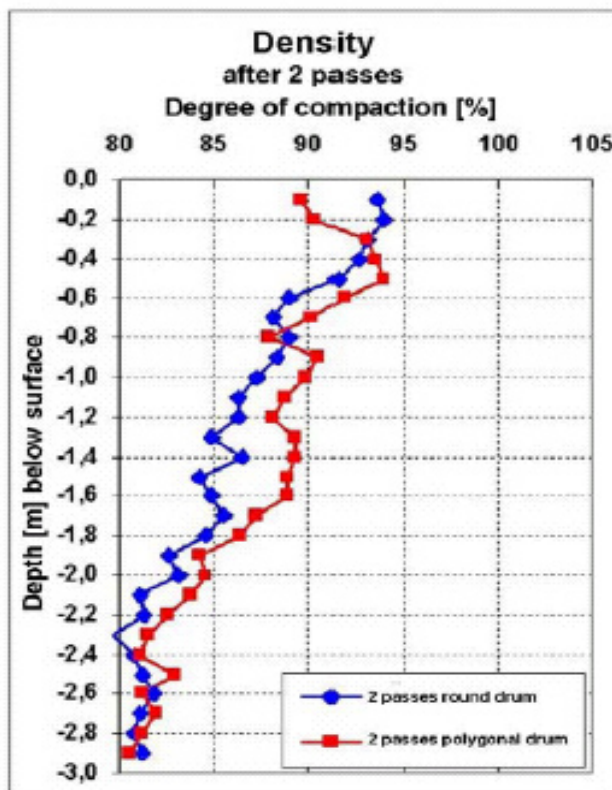


図7 転圧状態比較

3.3. 実施工適用例

ライプチヒ（ドイツ）南部のB 9 5道路建設現場における施工例を紹介する。この地域は、シルト質の軟弱礫粒地盤であり、5 m深さの全土壌入換えによる改質・転圧が必要であった。しかし、コスト圧縮・工期短縮のため、入換え対象層の薄層化の検討が進められ、多角形ドラムによる試験が実施された。

3.3.1. 深層転圧能力

まず、転圧能力検証のため、3 m盛土にて試験を実施した。（バックホーで撒き出し、前転圧無し）多角形、円形ドラムの2台の25トンシングルドラムローラを用い、転圧状態を比較した。2回、8回転圧後の密度計測結果を図7に示す。（2孔式γ線密度計にて10cm 間隔で計測）0.7m 程度より深い層においては、転圧能力の高さが明確であり、最底部においても転圧効果が認められる。

3.3.2. 実施工への適用

前項の結果より、5 m既存層のうち、上部2 mのみを掘削し3 mの既存層を多角形ドラムにて転圧する工法が可能と判断され、効果を最終確認した。

転圧前と、3回、8回転圧後の状態をグラフ化したものを、図8へ示す。約0.7~2.5m まで、締固め度が100%を超えており、2.0~4.0m の範囲で、明確な締固め度の上昇（7~8%）が認められる。4.0m 以上の層では転圧効果が減少し転圧前の状態に近づいている。逆に、地表から0.7m までの層では、締固め度が減少しており、多角形ローラの転圧における大きな特徴の一つが認められる。

3.3.3. 適用分野

多角形ドラムは、非常に高い深層転圧能力を持っていることは、上述を含め多数の実績にて証明されており、国内でも適用分野は広いと思われる。撒き出し厚の増加による工期の短縮、土壌入換え代替工法適用によるコスト削減など従来の振動ローラの能力の限界を超えた活用が考えられる。また、転圧表面の平坦化が必要な場合は、円形ドラムを併用するなど従来技術との組み合わせも含め適用したい。

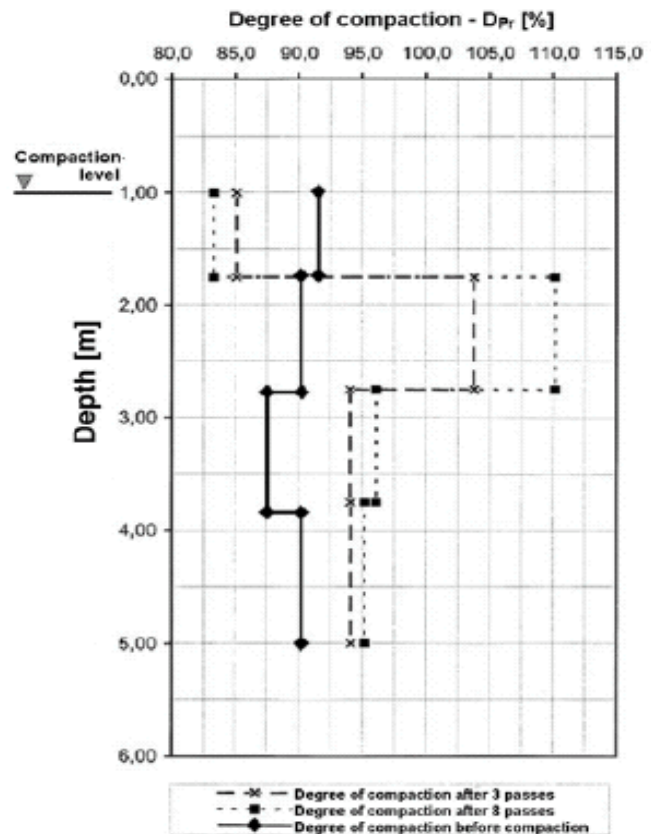


図8 転圧前後の圧密度

4. おわりに

当社の最新技術について、情報化・効率化・低コスト化に関するものを中心に紹介したが、海外では多数の実績があり、広く活用されているものばかりである。しかし、国内への紹介・技術開示が不十分であったため、実施工への適用は進んでいない。今後は、具体的に検討・採用・活用を進めていくために、記載できなかった技術や詳細も含めて、施工関係者等の方々への技術開示を継続し、国内事情に合わせた改良を重ねながら貢献していく所存である。

- ¹ Hans-Josef Kloubert ; New intelligent compaction systems for vibratory rollers ; 2001
- ² Jean-Louis Briaud / Jeongbok Seo ; INTELLIGENT COMPACTION ; Texas A&M University ; Dec.2003
- ³ Hans-Josef Kloubert ; Single Drum Rollers with Polygonal Drum ; BAUMA2004 ; March.2004