

戦-1 盛土施工の効率化と品質管理の向上技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 23

担当チーム：技術推進本部先端技術チーム

研究担当者：藤野健一、茂木正晴、大槻崇、岩谷隆文、橋本毅

【要旨】

締固めは盛土の品質を大きく支配する重要な工法である。近年、豪雨・地震による盛土の被災事例において、締固め不足はそれら被災の要因の一つであると考えられている。現行の方法では、設計において与えられた土に対して所要の締固め度を規定しているが、盛土に求められる品質の要求（豪雨・地震に対する耐災害性）が従前より増してきた現在、締固め度の設定だけでなく、それを確実に達成するための適切な締固め機械の選定、施工手法、および品質管理手法を高度化する必要がある。特に構造物近傍の裏込め部や地中埋設物の埋め戻し工などの狭隘部は、構造物や既存地盤との接合部であり、締固め不足により段差が生じやすい特徴がある。そのため狭隘部の締固めはより一層慎重に行う必要がある。

そこで、本研究では、狭隘部の盛土締固め施工時において、品質の均一性確保のための施工手法、そのための施工機械の最適な選定手法、締固め品質管理手法を明確にすることを目的として、狭隘部締固めに使用される小型締固め機械特性に関する基礎データ収集のための実験を実施した。

実験の結果、狭隘部施工時に使用される小型締固め機械の性能と品質（締固め状況）の実態について明らかになり、施工条件に応じた適切な施工手法（施工厚さ）および機種を選択を行うための提案資料を作成することができた。また、品質管理に使用できる管理項目について、いくつかの候補を示すことができた。

キーワード：盛土、締固め、裏込め、締固め機械、小型、狭隘部、品質管理

1. はじめに

構造物近傍の裏込め部や地中埋設物の埋め戻し工などの狭隘部の締固めには小型の締固め機械が用いられる。これら狭隘部は、構造物や既存地盤との接合部であり、締固め不足により段差が生じやすい特徴がある。そのため狭隘部の締固めはより一層慎重に締固める必要がある。

現在日本国内で一般的に使用されている小型締固め機械は4種類有り、重量クラスも50kg～700kgと幅広い。当然締固め能力や施工の容易さ等も機種毎、重量クラス毎に異なっており、施工条件などにより適切な機械、施工手法さらに品質管理手法を選択することは、施工を行う上で非常に重要である。

しかしながら、小型機械の締固め特性は一般的によく知られておらず、機種の選定や施工方法、品質管理手法などに関する明確なガイドラインなども現在存在していない。

横田 2009 は、3種類の小型締固め機械を用いて、高速道路施工現場にて試験施工を行い、それらの機械の到達密度の違いを明らかにしている。¹⁾

本報告では、高速道路の他に一般道路、河川堤防での盛土施工を視野に入れ、深さ方向の密度分布や機種毎の

締固め可能面積、運転の容易さなどを明らかにすることにより、施工条件に応じた機種選択、施工手法（施工厚さ）、品質管理手法について述べることとする。

2. 研究の目的

本研究では、狭隘部締固めにて使用される小型締固め機械において、次の項目を達成することを目的とする。

- ① 施工・土質条件に応じた機種選択ガイドラインの提案
- ② 機種や施工・土質条件による施工手法（施工厚さ・運転手法）の提案
- ③ 締固めの品質管理手法の提案

上記の目的を達成するために本研究では、試験場内に構造物近傍の狭隘部と同等の実験フィールドを作成し、3種類の土質（砂質土、礫質土、粘性土）および3種類の含水比（最適含水比、乾燥側含水比、湿潤側含水比）を用い、様々な機種・重量の機械における締固め特性の検証を行うこととした。

本年度においては、最適含水比の砂質土を対象に、一般的に広く普及している4種類の小型締固め機械を選択して検証を行った。

3. 実験概要

3. 1 実験フィールド

実験は図-1 に示す土木研究所構内の土工実験棟試験ピットにて行った。実験に際しては、図-2 に示すように十分に締固めた基礎地盤・校正地盤・試験地盤をピット内に製作し、その片側の壁を構造物に見立て、図-3 および写真-1 に示すように、壁際を幅 600～700mm (締固め機械による)、深さ 300mm、長さ 25m にわたり掘削し、そこへ仕上がり厚さ 300mm 相当の試験地盤と同じ材料を盛り立てて実験フィールドを製作した。



写真-1 実験フィールド

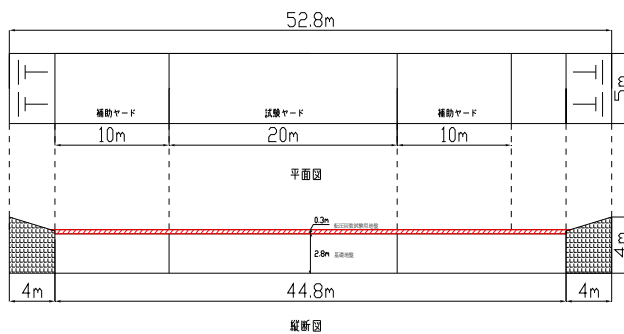


図-1 試験ピット



図-2 実験用地盤

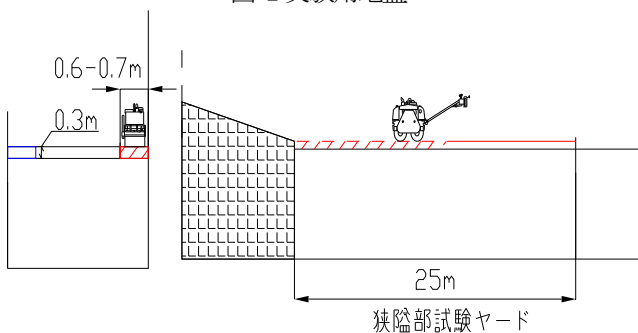


図-3 実験フィールド

3. 2 実験土質条件

本試験で使用する土質条件としては、砂質系の土質を使用した。粒土特性は、基礎地盤では $F_c13\%$ 、締固め回数試験用地盤には $F_c10\%$ のものを使用した。使用した土の粒径加積曲線を図 4、5 に、物理特性を表-1 に示す。また、表 1 に示す最大乾燥密度 ρ_{dmax} 、最適含水比 w_{opt} は、突き固め試験 (JIS A 1210) の c-A 法で算出したものである。

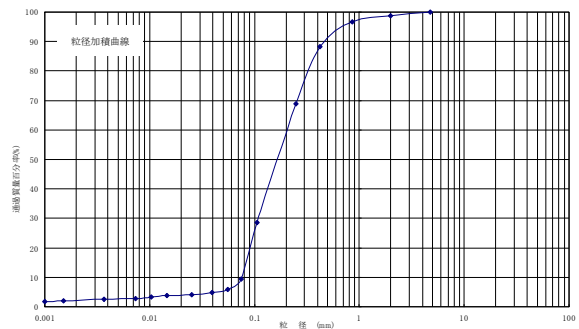


図-4 粒径加積曲線 (基礎地盤用)

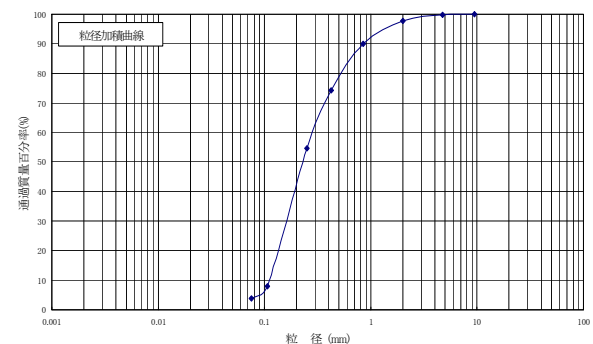


図-5 粒径加積曲線 (締固め回数試験用)

表-1 土質材料の物理特性

試験項目	試験地盤	基礎・校正地盤
土粒子密度 ρ_s (Mg/m ³)	2.675	2.707
細粒分含有率 Fc (%)	10	13
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (Mg/m ³)	1.674	1.801
最適含水比 W _{opt} (%)	16.0	14.4

また、締固めを行う盛り立て材料は、試験中の含水比が14～16%になるよう調整した。

3. 3 締固め機械

今日一般的に広く普及している小型締固め機械には、大きく分けて次の4種類が存在する。

(1) プレートコンパクタ

平板の上にエンジンと1軸の起振体を装備した機械で、自重と起振体の振動力により締固めを行う。また振動力により前進方向にのみ走行するがオペレータが走行速度の調整を行うことはできない。日本では重量50kg～90kg程度のものが一般的である。



写真-2 プレートコンパクタ

(2) ランマ

エンジンの回転力をクランクで上下運動に変換し、スプリングを介してプレートに伝達して締固めを行う。軸が前方に傾いているため、前進方向にのみ走行する。オペレータが走行速度の調整を行うことは基本的にできない。日本では重量60kg～80kg程度のものが一般的である。



写真-3 ランマ

(3) 前後進コンパクタ

平板の上にエンジンと2軸の起振体を装備した機械で、自重と起振体の振動力により締固めを行う。またオペレータ手元の走行レバーを操作することによって2軸起振体のタイミングを変化させ、前後進することが可能である。日本では重量300kg～400kg程度のものが一般的である。



写真-4 前後進コンパクタ

(4) ハンドガイドローラ

鉄輪と駆動機構、および振動起振体を装備した非搭乗型の小型振動ローラである。オペレータ手元の走行レバーを操作することによって前後進することが可能である。日本では重量500kg～700kg程度のものが一般的である。



写真-5 ハンドガイドローラ

本実験に使用した締固め機械の仕様を表-2に示す。上記小型締固め機械4種類について、それぞれ最も広く普及していると思われる機械を選択した。

表-2 締固め機械仕様

	プレート コンパクタ	ランマ	前後進 コンパクタ	ハンドガイド ローラ
メーカー	三笠	三笠	三笠	三笠
型式	MVC-F60	MT55L	MVH-306DS	MRH-600DS
機械質量 (kg)	66	62	330	600
締固め幅 (mm)	350	265	445	650
実験フィールド幅 (mm)	750	550	500	700
締固め回次数	2	2	1	1

機械はすべて定格状態にて運転するものとし、速度調整が可能な機械である前後進コンパクタ・ハンドガイドローラは最高速度に設定した。(走行レバーFull状態)

また、機械は助走区域でその都度旋回し、締固めはすべて前進にて行った。

3. 4 計測項目

計測項目の一覧を表-3に示す。また、各計測位置について、図-6に示す。

表-3 計測項目一覧

計測項目	測点数	計測回数
密度・含水比 (コアサンプル)	3	締固め0, 2, 4, 6, 8, 12, 16回後
沈下量	3	締固め0, 2, 4, 6, 8, 12, 16回後
地盤反力係数 (動的平板載荷試験器)	3	締固め0, 2, 4, 6, 8, 12, 16回後
地盤反力係数 (小型FWD試験器)	3	締固め0, 2, 4, 6, 8, 12, 16回後
機械走行速度	-	各締固め時
機動性・操作性	-	各締固め時

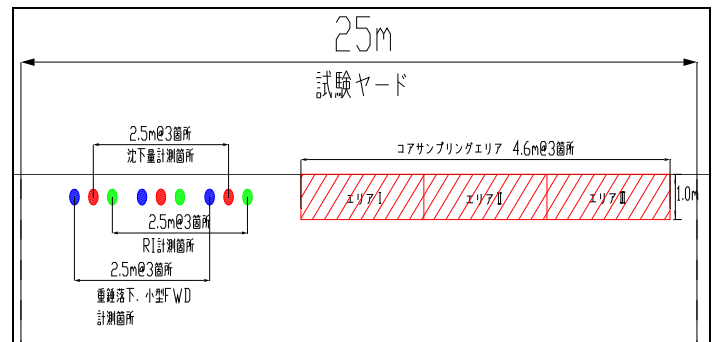


図-6 計測位置

初期締固め条件（締固め0回）は、ランマ・プレートコンパクタ使用時は、材料盛り立て後、人員にて踏み固めた状態を、また前後進コンパクタ・ハンドガイドローラ使用時は、材料盛り立て後、0.1m³クラス油圧ショベル（自重2.7ton）にてクローラ締固めを2回（往復）行った状態を初期締固め条件とした。

主な計測項目の概要を以下に示す。

(1) 密度・含水比（コアサンプリング）

内径100mm、高さ100mmの円筒形コアサンプラーを用い、1測定ポイント毎に表面深さ0mm～100mm、深さ100mm～200mm、深さ200mm～300mmの3サンプルを採取し、密度・含水比を測定した。



写真-6 コアサンプラー

(2) 地盤反力係数（動的平板载荷試験器）

アプライドリサーチ社製 IST03 を使用した。これは小型の重錘を地面へ自由落下させ、衝突時の速度および反力から地盤の地盤反力係数を算出するものである。

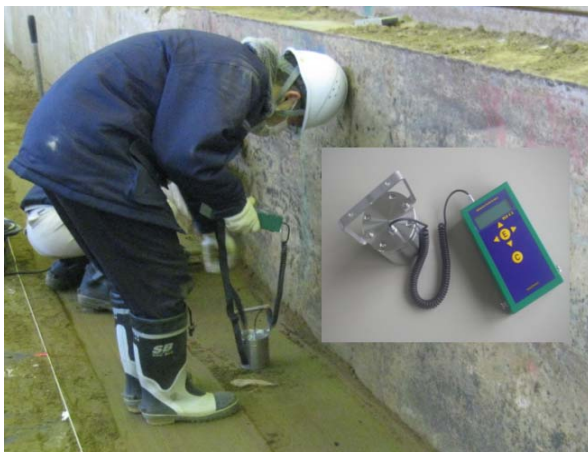


写真-7 動的平板载荷試験器

(3) 地盤反力係数（小型 FWD 試験器）

人力で持ち運びができる小型の FDW 試験器である、東京測器社製 KFD100A を使用した。



写真-8 小型 FWD 試験器

(4) 機械走行速度

機械走行速度は、実験フィールド中の 10m 区間（図-6 参照）を通過する時間をストップウォッチにて測定し速度を算出した。



写真-9 締固め状況

(5) 機動性・操作性

機動性とはトラックなどの輸送機器から施工現場までの移動の容易さであり、操作性とは施工時のハンドリングの容易さである。実際の運用・運転などを通して、評価を行った。

4. 実験結果

4.1. 密度・含水比（コアサンプリング）

コアサンプルによる、表面～深さ 100mm の乾燥密度を図-7 に、深さ 100mm～200mm の値を図-8 に、深さ 200mm～300mm の値を図-9 に示す。いずれも 3 測定点の平均で表している。

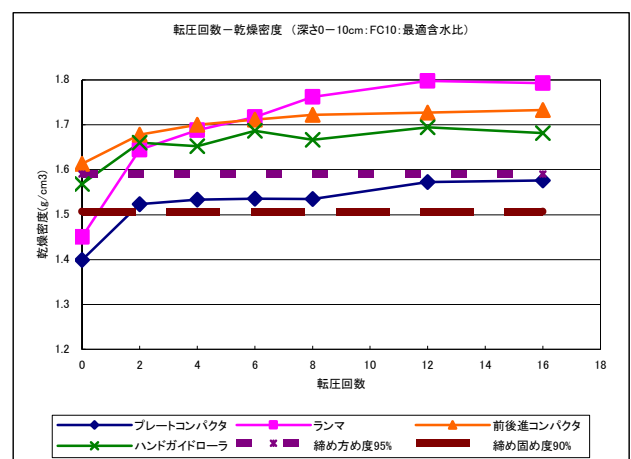


図-7 乾燥密度（コアサンプル 深さ 0～100mm）

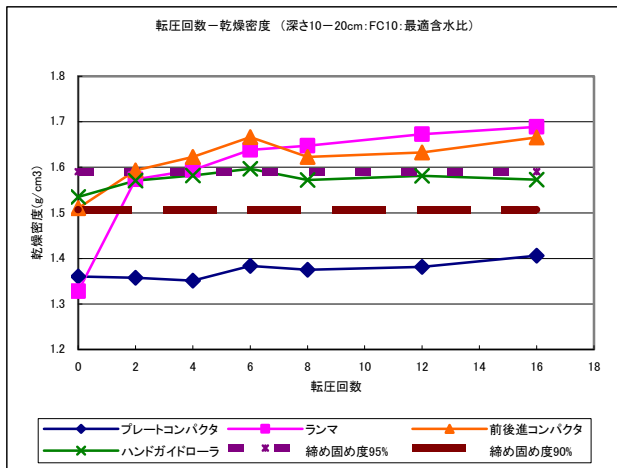


図-8 乾燥密度 (コアサンプル 深さ 100～200mm)

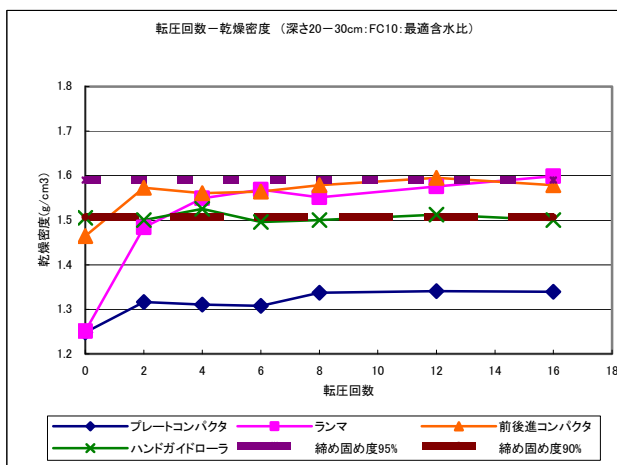


図-9 乾燥密度 (コアサンプル 深さ 200～300mm)

図-7、図-8、図-9より、プレートコンパクタ・ランマ・前後進コンパクタはすべての深さにおいて、締固め回数が増加するとともに密度も増加しており、締固め初期（2～4回）で急速に密度が増加し、概ね締固め回数8回程度で密度増加が収束へ向かっている。ハンドガイドローラにおいては、深さ200mmまでは同様の傾向を示すが、深さ200～300mmでは締固めによる密度増加が認められない。これは、ハンドガイドローラではこの深度へ、初期状態（0.1m³クラス油圧ショベル（自重2.7ton）による締固め）以上の締固め効果を与えることが出来ない、ということを示している。

また、すべての深さにおいて16回締固め後の到達密度は、ランマ≧前後進コンパクタ>ハンドガイドローラ>プレートコンパクタの順になっている。

「道路土工盛土工指針」による締固め管理基準値の目安は、路体で締固め度90%以上、構造物取付部で同95%以上（いずれもA法）となっている。ランマ・前後進コ

ンパクタでは、すべての深さで締固め度90%以上、200mmまでで95%以上を達成している。ハンドガイドローラでは、200mmまでで90%以上、100mmまでで95%以上を達成している。プレートコンパクタでは100mmまでで90%以上を達成しているが、95%以上を達成することはできなかった。

4.2. 沈下量

沈下量の測定結果を図-11に示す。いずれも3測定点の平均で表している。

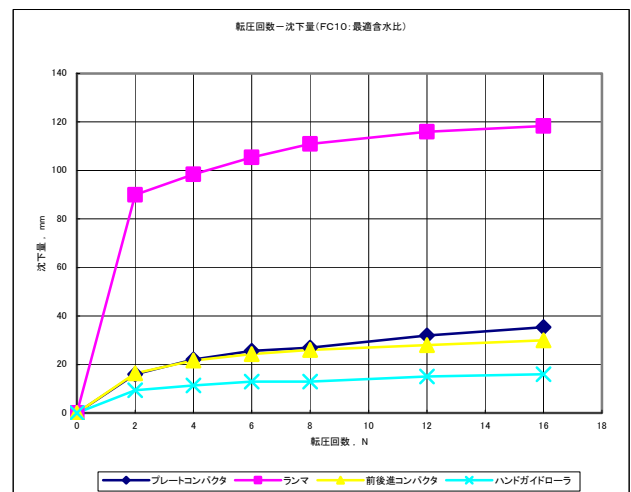


図-11 沈下量

図-11より、すべての機械において、締固め回数が増加するとともに沈下量も増加している。乾燥密度0～300mmの平均との相関図を図-12に示す。

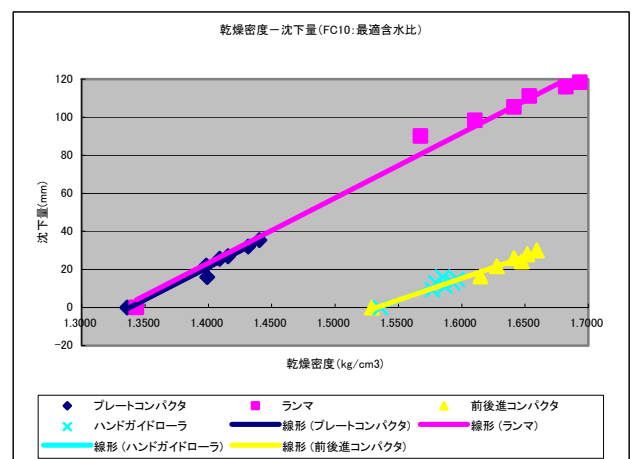


図-12 乾燥密度－沈下量

図-12より、乾燥密度と沈下量には1次の正の相関があるといえる。そこで相関係数を算出すると表-4のように

なる。

表-4 乾燥密度－沈下量 相関係数

プレートコンパクタ	ランマ	前後進コンパクタ	ハンドガイドローラ
0.983	0.992	0.989	0.934

いずれの相関係数も非常に高い正の相関を示しており、乾燥密度と沈下量には高い1次の正の相関があるといえる。また、グラフの傾きおよび切片は、プレートとランマ、前後進コンパクタとハンドガイドローラでそれぞれほぼ一致している。これは3.4章に示す初期締固め条件（締固め0回）のグループ分けに等しい。

4.3. 地盤反力係数（動的平板载荷試験器）

動的平板载荷試験器による地盤反力係数 K30 相当値を図-13 に示す。いずれも3測定点の平均で表している。なお、プレートコンパクタおよびランマにおいて、初期締固め条件（締固め0回）時すなわち人員にて踏み固めた状態では、本試験器での測定は不可能であった。

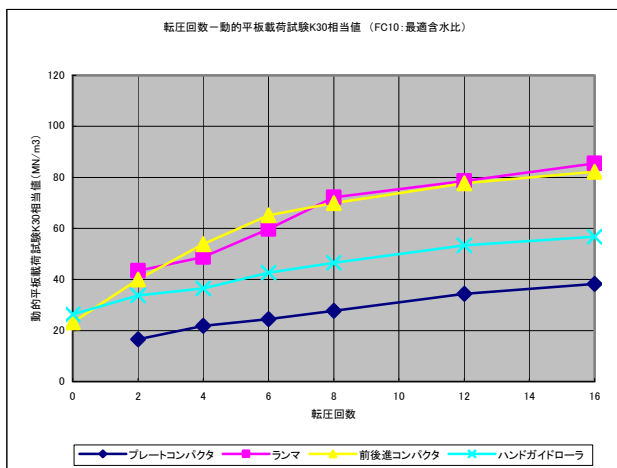


図-13 地盤反力係数（動的平板载荷試験器）

図-13 より、すべての機械において、締固め回数が増加するとともに地盤反力係数も増加している。また、密度の結果とは異なり、16回締固め後でも明確に値が収束傾向にあるとはいえない。

16回締固め後の地盤反力係数は、ランマ≧前後進コンパクタ>ハンドガイドローラ>プレートコンパクタの順になっており、密度の結果と同様である。

乾燥密度 0～300mm の平均との相関図を図-14 に示す。

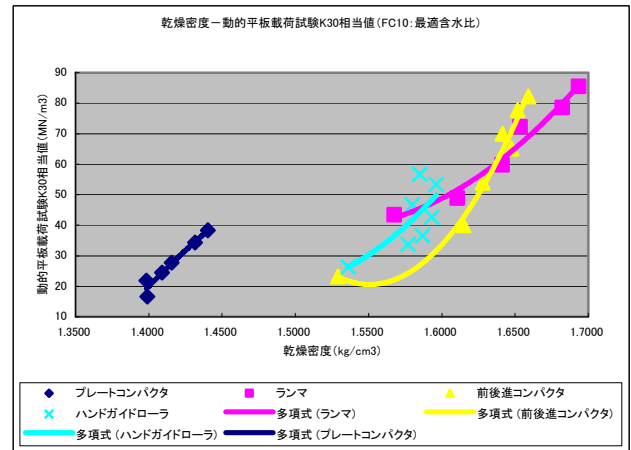


図-14 乾燥密度－動的平板载荷 K30

図-14 から、すべての機械において、乾燥密度と動的平板载荷試験器 K30 相当値は、正の相関を表しているといえるが、1次の正の相関があるとはいえず、またグラフの傾向も各機種毎に異なっている。

4.4. 地盤反力係数（小型 FWD 試験器）

小型 FWD 試験器による地盤反力係数 K30 相当値を図-15 に示す。いずれも3測定点の平均で表している。

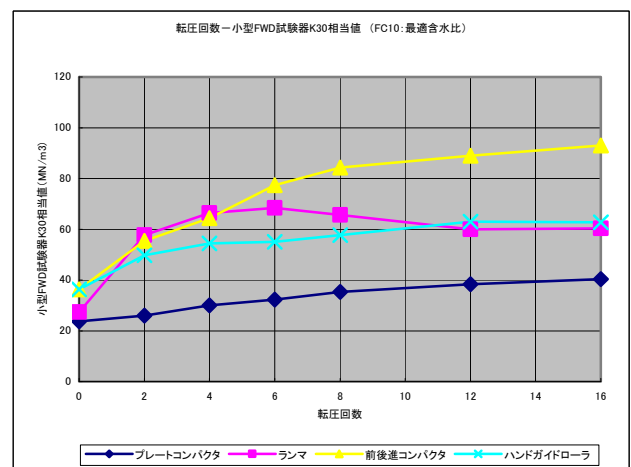


図-15 地盤反力係数（小型 FWD 試験器）

図-15 より、プレートコンパクタ・前後進コンパクタ・ハンドガイドローラにおいては、締固め回数が増加するとともに地盤反力係数も増加しており、前章の動的平板载荷試験結果と同様な結果である。しかし、ランマにおいては、6回締固めにて最大値を示したのち、値は減少している。これは、ランマの強力な転圧力によって表面に発生した不均質な状況が、小型 FWD 試験器に影響を与えているのではないと思われる。

乾燥密度 0~300mm の平均との相関図を図-16 に示す。

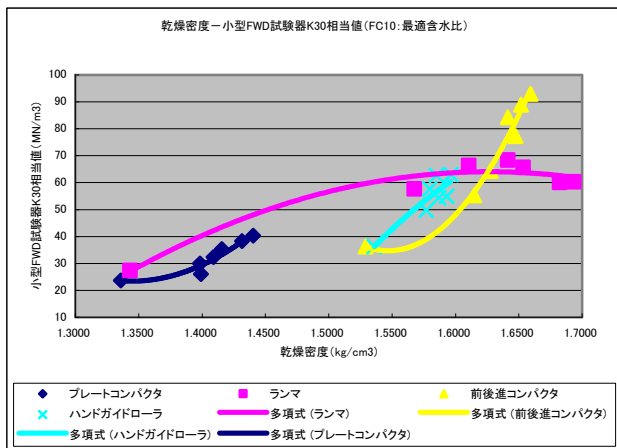


図-16 乾燥密度－小型FWD 試験器 K30 相当値

図-16 から、ランマにおいては、乾燥密度と小型 FWD 試験器 K30 相当値は正の相関を示してはいない。またプレートコンパクタ・前後進コンパクタ・ハンドガイドローラにおいては、正の相関を表しているといえるが、1 次の正の相関があるとはいえず、またグラフの傾向も各機種毎に異なっている。

4.5. 機械走行速度

機械走行速度を図-17 に示す。

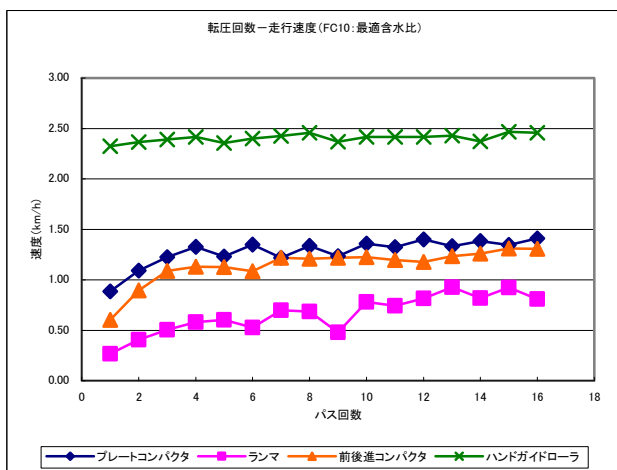


図-17 機械走行速度

図-17 より、プレートコンパクタ・ランマ・前後進コンパクタにおいては、締固め回数が増加するとともに走行速度も増加している。特に締固め初期（1～4回）で急速に速度が増加している。それに対し、ハンドガイドローラにおいては、締固め回数が増加しても、走行速度はほとんど変化しない。これは、プレートコンパクタ・

ランマ・前後進コンパクタは平板式締固め機械であり、走行速度は地盤状況に影響を受けるためと考えられる。特に締固め初期の地盤は非常に軟らかく、平板式締固め機械の速度に著しい影響を与えているといえる。対してハンドガイドローラは鉄輪式締固め機械であり、走行速度は地盤状況に比較的影響を受けないと考えられる。

各機械の平均速度と締固め幅から算出した、単位時間当たりの締固め面積を表-5 に示す。

表-5 単位時間当たり締固め面積

プレートコンパクタ	ランマ	前後進コンパクタ	ハンドガイドローラ
448 m ² /h	175 m ² /h	508 m ² /h	1563 m ² /h

これによると、ランマは同じ時間内にハンドガイドローラの約 1/9、前後進コンパクタ約 1/3 の面積しか締固めすることができないといえる。

4.6. 機動性・操作性

実験時において、機動性・操作性について検証を行い、結果を以下に述べる。

(1) 機動性（輸送車から施工現場までの移動）

ハンドガイドローラは振動を切って自走できるため、トラックなどの輸送車両から施工現場への移動は容易である。これに対し、ランマ・プレートコンパクタは平板式締固め機械であるため、コンクリート上などを自走することはできない。しかし両者は重量が 60kg 程度と比較的軽量であり、また写真-10 に示すような移動用オプションも用意されているため、比較的機動性は良好であるといえる。同様な平板式締固め機械である前後進コンパクタは重量が 300kg 程度あり、また前述のような移動用オプションは用意されていないため、輸送用車両が施工現場近傍まで近づかなければならず、さらに移動式クレーンなどの積み下ろし機器が必要となる。



写真-9 移動用オプション

(2) 操作性（施工現場でのハンドリング性能）

ランマ・プレートコンパクタ・前後進コンパクタは平板式締固め機であり、小さくジャンプしながら締固めを行っているため、ハンドリングは容易である。条件がよければその場旋回も可能である。ただし、前後進コンパクタは重量が重く、また全長も長いいため、構造物近傍での操作には注意が必要である。ハンドガイドローラは重量が600kgと重く、操舵するためにはハンドルを押し引きしてローラを引きずるしかないため、操作性は良好とはいえない。

5. 考察

5.1 機種選択および施工手法について

本結果より、各機種および施工手法（施工厚さ）の選択をする際に重要な点を以下に述べる。

(1) プレートコンパクタ

本実験結果による締固め能力は他の機械に比べ低く、締固め度90%以上を要求されている場合は施工厚さ100mm以下で施工しなければならない。また95%以上を要求されている場合は、本機械を使用する際には注意が必要である。

反面、機動性・操作性には非常に優れた機械であり、単位時間当たりの施工可能面積も中程度ある。

そのため、施工厚さに注意が必要であるが、比較的中～大規模の幅広い狭隘部施工に適している機械と考えられる。

(2) ランマ

本実験結果による締固め能力は4機種中最高クラスであり、締固め度90%以上を要求されている場合は施工厚さ300mmまで、また95%以上を要求されている場合でも施工厚さ200mmまで施工可能である。

機動性・操作性に優れた機械であるが、単位時間当たりの施工可能面積は4機種の中で最も少ない。

そのためマンホールなどの構造物周りといった非常に狭い部分かつ軽快な取り回しを要求される場面に適している機械と考えられる。

(3) 前後進コンパクタ

本実験結果による締固め能力は4機種中最高クラスであり、締固め度90%以上を要求されている場合は施工厚さ300mmまで、また95%以上を要求されている場合でも施工厚さ200mmまで施工可能であ

る。

操作性は比較的優れた機械であるが、機動性は悪く、施工現場までの運搬法に注意が必要となる。また単位時間当たりの施工可能面積は4機種の中で中程度である。

そのため、運搬法が確保できるならば、広い面積を厚層で施工することができ、施工時間を最も短縮できる機械である。比較的大規模な施工現場に適している機械と考えられる。

(4) ハンドガイドローラ

本実験結果による締固め能力は4機種の中で中程度であり、締固め度90%以上を要求されている場合は施工厚さ200mmまで、また95%以上を要求されている場合では施工厚さ100mmまで施工可能である。

自走が可能のため、施工現場までの機動性には優れた機械であるが、現場での操作性（ハンドリング性）重量が重いいため劣っている。また走行速度を速くできるため、単位時間当たりの施工可能面積は4機種の中で最高である。

そのため、道路埋設物の埋め戻しなど、施工エリアが直線形状でかつ長距離である施工現場に適している機械であると考えられる。

5.2 品質管理手法について

本結果より、各指標が狭隘部締固めの品質管理に適用できる可能性について以下に述べる。

(1) 締固め回数

締固め度密度測定の結果から、すべての機械において締固め回数の増加とともに密度が増加していることがわかる。このことから小型締固め機械による狭隘部締固めに際しても、大型締固め機械と同様な締固め回数による品質管理手法が使用できると考えられる。すなわち試験盛土を行うことにより、基準締固め回数を決定し、すべての施工面積がその締固め回数を満足するように締固めを行う手法である。しかしながら、小型締固め機械による狭隘部締固めにおいて、締固め回数を正確に確認することは困難であると予想されるため、時間による代替指標などのさらなる検証が必要と考えられる。

(2) 沈下量

沈下量は締固めの指標である密度と1次の強い正の相関関係があったため、品質管理指標として使用できる可能性があるといえる。

また、前述のとおり乾燥密度－沈下量の関係における傾きと切片は、初期状態などによって決定できる可能性があるといえるため、他の土質条件や機種にてさらなる検証を行い、沈下量による品質管理手法の検討を行うことが必要と考えられる。

(3) 地盤反力係数 K30 相当値

動的平板载荷試験器および小型 FWD 試験器による地盤反力係数 K30 相当値はランマ以外は密度と正の相関はあるため、品質管理指標として使用できる可能性があるといえる。しかしながら、1 次の正の相関ではなく多項式の関係が強く、また各機種によって関係グラフの傾向は異なるため、品質管理指標に使用する際は注意が必要である。これは、乾燥密度と地盤反力係数において、上昇の収束状態が異なることが主原因であるため、この点においてさらなる検証が必要と考えられる。

また、ランマについては密度と正の相関関係が得られなかったため、今回の結果のみでは品質管理に使用することは困難であり、さらなる検証が必要と考えられる。

6. まとめ

- ① 施工条件に応じた機種・施工厚さ選定の際には、表-7を参照することができる。

表-7 ガイドライン (案)

		プレート コンパクタ	ランマ	前後進 コンパクタ	バッドガイ ローラ
深 さ	0-100mm	○	◎	◎	◎
	100-200mm	—	◎	◎	○
	200-300mm	—	○	○	—
単位時間当り 締固め可能面積		448 m ² /h	175 m ² /h	508 m ² /h	1563 m ² /h
機動性		良	良	可	優
操作性		優	優	良	可

◎ : 締固め度 95%達成

○ : 締固め度 90%達成

注：本表は、本実験条件における結果であり、各種締固め機械の性能を保証するものではない。

- ② 小型機械による狭隘部締固めの品質管理指標として、締固め回数、沈下量は使用できる可能性がある。動的平板载荷試験器および小型 FWD 試験器による地盤反力係数 K30 相当値は使用に注意が必要である。

本報告は、1 種類の土質条件にて、各代表的な機械を用いた結果である。今後の課題としては、細粒分の多い土質や様々な含水比でのデータ計測・収集を行い、同様の傾向が得られるか実験を進めたい。また、締固め機械の重量クラス差による締固め性能にどれほどの差異があるものか、併せて実験等で明らかにし、より詳細な機種・施工手法選定のためのガイドライン作成を行いたい。

品質管理手法の提案においては、締固め回数の代わりに締固め時間を用いる手法や、沈下量による指標について、さらなる検証を行いたい。さらに加速度応答システムを小型締固め機械に搭載して活用する手法などの可能性についても検証を行いたい。

参考文献

- 1) 「建設の施工企画」No. 717, pp14-19, 2009
- 2) 道路土工 盛土工指針, (社) 日本道路協会

A research of improvement of workability and quality control method for compaction work on embankment.

Budged : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2009-2011

Research Team : Construction Technology Research
Department (Advanced
Technology Research Team)

Author : FUJINO Kenichi
MOTEGI Masaharu
OOTSUKI Takashi
IWATANI Takafumi
HASHIMOTO Takeshi

Abstract : The compaction work is very important operation for the quality of embankment. To get high quality embankment, it is necessary to improve the method of compacting operation, of selecting a suitable compaction machine and of compaction quality control.

Especially, on the small area operation (ex. Backfilling close to structure), it is more difficult to get high quality result of compaction.

On the such small area, the light equipments (Rammer, Vibratory plate compactor, Hand-guided vibratory roller) are usually used for compaction.

The aim of this research is making a suggestion about suitable methods of operation, of selecting a machine and of quality control, for small area compaction. So, to get fundamental performance data of light equipments, the compaction test was done.

From the result of this test, we created a first guideline for selecting the best working method and the best machine. And, we suggested some possible method of quality control for the small area compaction.

Key word : Embankment, Compaction, Backfilling, Compaction machine, Light equipment, Small area, Quality control