

盛土施工の効率化と品質管理の向上技術に関する研究①

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 25

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、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・地震による盛土の崩壊は、その被災事例調査結果や模型実験によれば、締固め不足が要因の一つであることが明らかになってきた¹⁾。現行盛土の品質については、設計において与えられた土に対して所要の締固め度を達成することで品質を規定しているが、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傾向がある。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、そのための締固め機械の最適な選定手法、盛土の品質をより総合的に判断するための品質管理手法を提案することを目的として、狭隘部施工現場を模擬した実験フィールド（砂質系土質、粘性系土質を対象）において、狭隘部締固めに使用される小型締固め機械を用いた締固め回数実験を実施した。

昨年度まででは、砂質土（FC10 相当）と粘性土（FC50 相当）にて実験を行い、各土質および施工含水比における小型締固め機械の締固め性能や、小型締固め機械に搭載された加速度システムの適用性などについてまとめることができた。

本年度では、昨年度までの実験に引き続き、別個の土質（FC5 相当）を用いて同様の実験を行った。本報ではこの結果を報告する。

キーワード：盛土、締固め、小型締固め機械、品質管理、密度、狭隘部

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傾向がある。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、小型締固め機械の締固め特性は一般的によく知られておらず、機種を選定や施工方法、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、それらの到達密度

の違いを明らかにしている。²⁾

こうした状況を踏まえ、本研究では、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、狭隘部締固めに用いられている代表的な小型締固め機械を用いた締固め回数実験を行い、施工条件に応じた小型締固め機械の選定、施工手法（施工厚さ）、各種品質管理に用いられる計測方法の盛土の品質管理への適用性の検討を行ってきた。

昨年度まででは、砂質系（FC10 相当）、粘性系（FC50 相当）の2種類の材料、および砂質系においては4種類、粘性系については1種類の含水比にて実験を行い、各土質および施工含水比における小型締固め機械の締固め性能や、小型締固め機械に搭載された加速度システムの適用性などについてまとめることができた。

本年度では、昨年度までの実験に引き続き、別個の土質（FC5 相当）および1種類の含水比にて同様の実験を行った。本報ではこの結果を報告する。

2. 実験条件

2.1 実験フィールド

本実験は土木研究所構内の土工実験棟実験ピットにて行った。図-1に実験ピットの詳細を示す。昨年度作成した基礎地盤（実験ピット底面より高さ 2.8m まで）を使用し、その上に実験に使用する材料を仕上がり厚さ 300mm となるよう盛り立て、実験地盤を作成した。

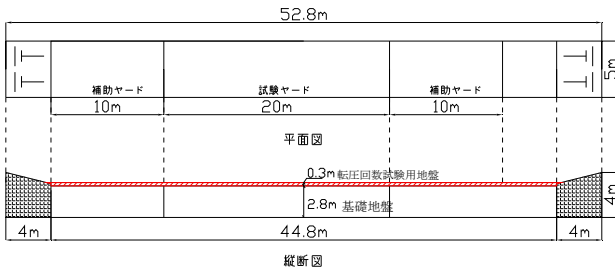


図-1 実験ピット詳細図

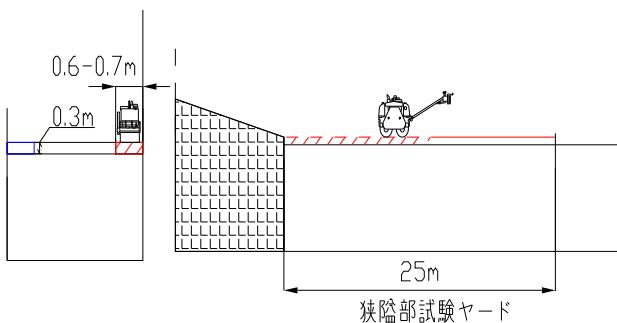


図-2 実験フィールド



写真-1 実験フィールド

さらにその片側の壁を構造物に見立て、図-2 および写真-1 に示すように、壁際を幅 600~700mm（使用する機械による）、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。

2.2 実験土質条件

本実験で使用する土質条件は、砂質系土質（ F_c 5%相当）を使用した（表-1）。使用した土の粒径加積曲線を図-3 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、突き固めによる土の締固め試験（JIS A 1210）の A-c 法で算出したものである（図-4）。

表-1 盛土材料の物性

	土質材料
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.647
最大粒径 D_{max} (mm)	9.5
細粒分含有率 F_c (%)	4.3
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.571
最適含水比 w_{opt} (%)	18.2

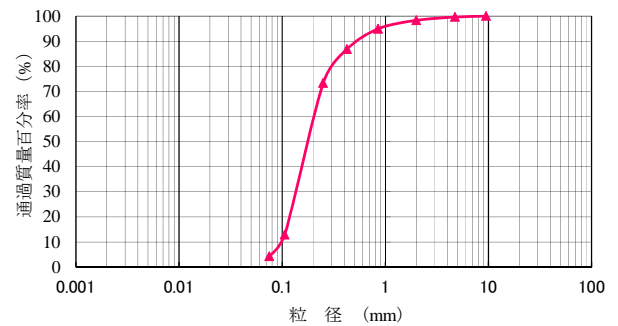


図-3 粒径加積曲線

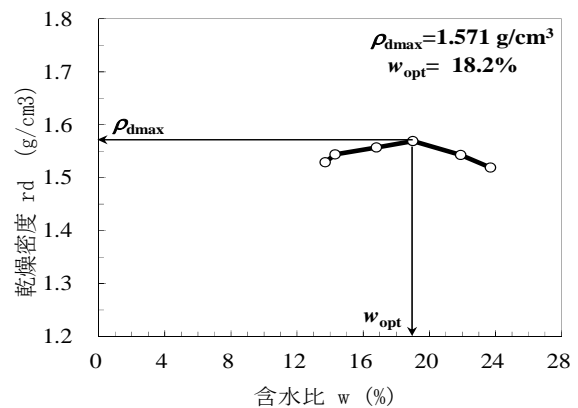


図-4 締固め曲線

2.3 実験時の含水比条件

本試験での含水比は、機械の走破性なども考慮し、最適含水比よりやや乾燥側 16%とした。

2.4 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締固め機械で、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。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。重量 60kg～80kg 程度のものが一般的である。



写真-3 ランマ

(3) 前後進コンパクト

平板の上にエンジンと 2 軸の起振体を装備した締固め機械で、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。重量 300kg～400kg 程度のものが一般的である。



写真-4 前後進コンパクト

(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。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

本実験では、以上に示した 4 種類の小型締固め機械を対象とし、一般的に市場性の高い仕様を持つ機械を選択、使用した。本実験に使用した小型締固め機械の具体的な仕様を表-2 に示す。

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
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
締固めレーン数	2	2	1	1

3. 実験内容

表-2に示す小型締固め機械に関する土の締固め能力を検証するために締固め回数試験を行った。試験は、2.1.章にて示した実験フィールドを、各機械にて16回往復し、各種データを計測することにより行った。なお、各機械は現場での使用条件を想定して、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、各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。

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。

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-5に示す。

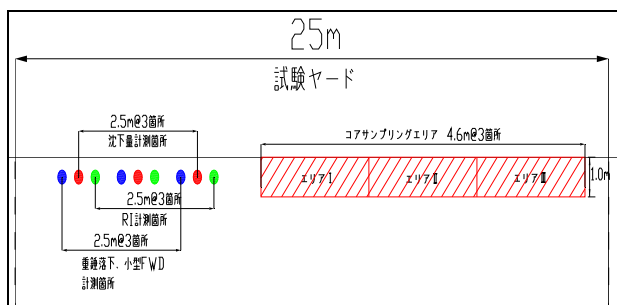


図-5 締固め回数試験計測位置図

表-3 計測項目一覧

計測項目	測点数(距離)	計測回数
密度・含水比 (コアサンプル)	3	締固め回数 0,2,4,6,8,12,16 回後
沈下量 (レベル測量)	3	締固め回数 0,2,4,6,8,12,16 回後
地盤反力係数 (小型FWD)	3	締固め回数 0,2,4,6,8,12,16 回後
地盤反力係数 (重錘落下試験)	3	締固め回数 0,2,4,6,8,12,16 回後
走行速度	実験フィールド 10m 区間	各締固め時
地盤反力係数 (平板載荷試験)	3	締固め回数 16 回後



写真-6 締固め回数試験状況

以下に各計測項目の詳細について説明する。

3. 1 密度・含水比（コアサンプリング）計測



写真-7 コアサンプリング状況

密度・含水比計測については、JGS1613-1995「コアカッターによる土の密度試験方法」（以下、「コアサンプリング」という）による計測を行った（写真-7）。コアカッターは、内径φ100 mm、高さ100 mm のものを使用し、地盤の深さh=0~10cm、10cm~20cm、20cm~30cm ごとに計測を行った。計測点は、図-6 に示すとおりエリアI、エリアII、エリアIIIの3箇所とした。

本測定では、サンプリングに1点当たり30分程度、サンプルを乾燥させるのに13時間が必要である。

3. 2 走行速度

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。

3. 3 地盤反力係数（重錘落下試験）計測

土木研究所で開発された超小型動的平板載荷試験装置 IST-03（Impact Soil Tester 3、写真-8）³⁾を用いて、落下させた重錘が地盤と衝突するときの弾性変形抵抗から地盤のバネ係数度を計測し、平板載荷試験（JIS A 1215）による K_{30} （地盤反力係数）を求めた。なお、本計測試験のことを、以下重錘落下試験という。



写真 - 8 超小型動的平板載荷試験装置

3. 4 地盤反力係数（小型FWD試験）計測

小型FWD（Falling Weight Deflectometer）による動的載荷試験を行った。重錘を試験地盤に自由落下させた時の地盤のたわみや衝撃時の加速度などを測定し、平板載荷によって求められる K_{30} 相当値を計測した（写真-9）。



写真 - 9 小型FWD試験状況

3. 5 地盤反力係数（平板載荷試験）

前述の「重錘落下試験」「小型FWD試験」の値を校正するために、JIS A 1215「地盤の平板載荷試験方法」に準拠した手法により、 K_{30} を求めた（写真-10）。本試験は、締固め試験終了時（締固め回数 16 回終了後）のみ試験

を行った。



写真 - 10 平板載荷試験状況

4. 実験結果

4. 1 密度計測結果

深さ 0~100mm、深さ 100mm~200mm、深さ 200mm~300mm の締固め回数-乾燥密度の関係を図-6~8に示す。いずれも 3 測定点の平均で表している。なお、図中の破線は締固め度 95%、2 点鎖線は締固め度 90%を示している。これは、「道路土工-盛土工指針」⁴⁾における日常管理値の目安を表している。

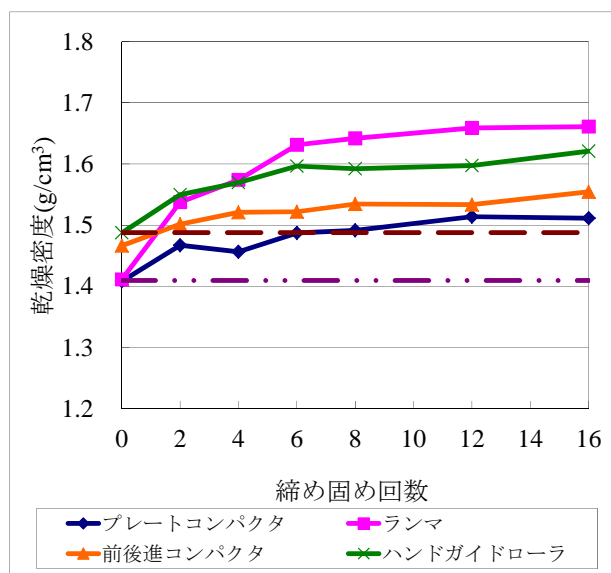


図-6 乾燥密度 (深さ 0~100mm)

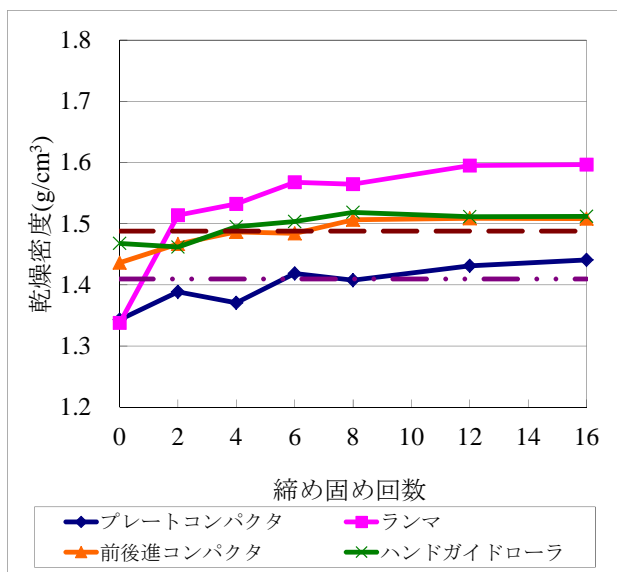


図-7 乾燥密度 (深さ 100~200mm)

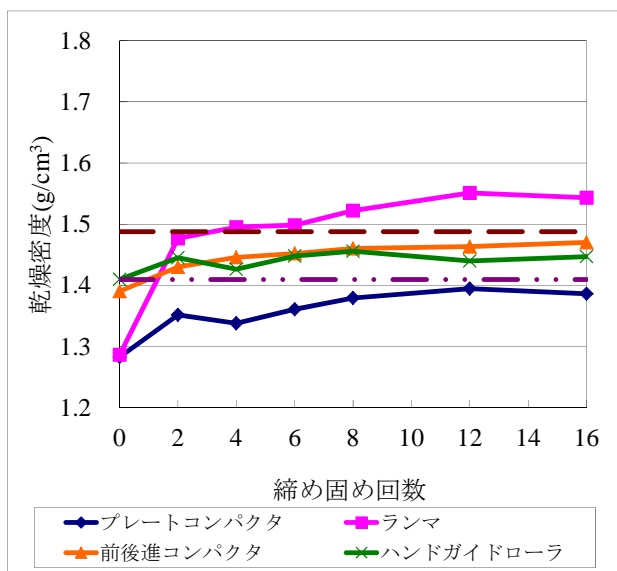


図-8 乾燥密度 (深さ 200~300mm)

図-6~8 より、すべての機械において、締め固め初期で急速に密度が増加し、概ね締め固め回数6~8回程度で密度増加が収束へ向かっている。これは昨年度までの実験結果と同様の傾向である。

次に締め固め回数16回後の到達密度(締め固め度%)をまとめたものを、図-9に示す。

図-9より、締め固め回数16回後の到達密度は、深さ0~100mmにおいて、ランマ>ハンドガイド>前後進>プレートという優位順に、また深さ100~300mmにおいて、ランマ>前更新<ハンドガイド>プレート、という優位差順となっている。昨年度までの結果に比べ、深さ0~100mmの結果は、ハンドガイドと前後進の順位が入れ替

わっている。これは本年度の土質の場合、前後進コンパクタによる締め固めで地表面が乱されてしまった可能性が考えられる。

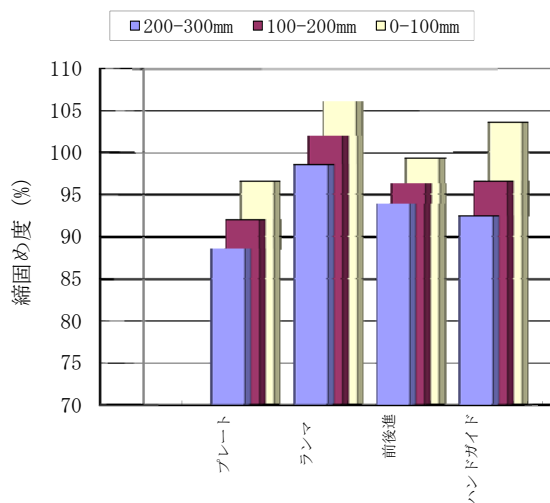


図-9 16回締め固め後の締め固め度(%)

4.2 走行速度計測結果

走行速度計測結果を図-10に示す。

本図より、速度はハンドガイド>プレート<前後進>ランマの順であることがわかる。

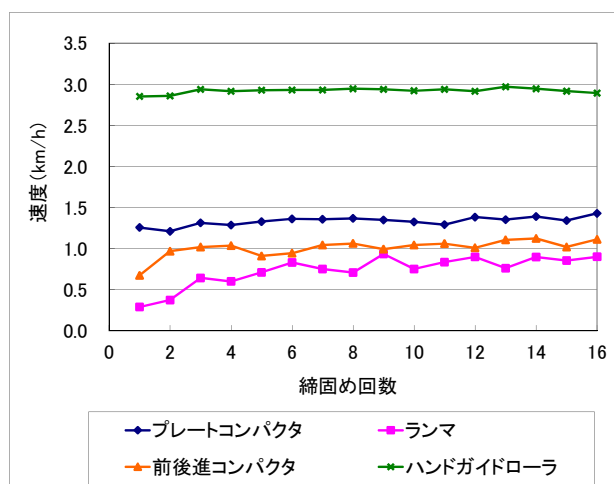


図-10 走行速度

各小型締め固め機械の平均速度と締め固め幅から、単位時間当たりの締め固め可能面積を算出すると、図-11のようになる。本図から、締め固め可能面積はハンドガイド>前後進<プレート>ランマの順であり、ランマの値を基準とした場合、前後進、プレートは約3倍、ハンドガイドは約10倍の面積を施工できることがわかる。これは昨年

度までの実験結果と同様の傾向である。

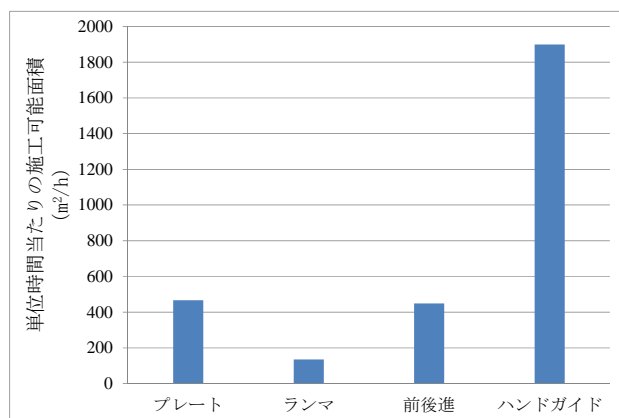


図-11 単位時間当たりの施工可能面積

4. 3 地盤反力係数計測結果 (重錘落下試験)

締め固め回数-乾燥密度 (深さ 0-300mm 平均) の関係を図-12 に示す。また、締め固め回数-重錘落下試験によって得られた K_{30}' との関係を図-13 に示す。

図-12, 13 より、すべての小型締め固め機械において、締め固め回数が増加すると乾燥密度、および K_{30}' も共に増加しており、乾燥密度と K_{30}' には良好な関係があることがわかる。次に、乾燥密度- K_{30}' の関係を図-14 に示す。なお、図中の K_{30}' については平方根を取った値となっている。図-14 によると、両者に良好な正の相関があることがわかる。これは昨年度までにおける、砂質度 (FC10 相当) 含水比乾燥側の結果と同様の傾向である。

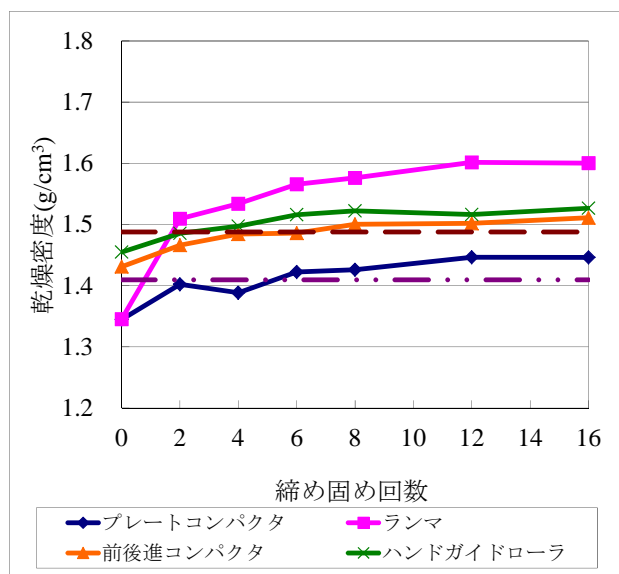


図-12 締め固め回数-乾燥密度

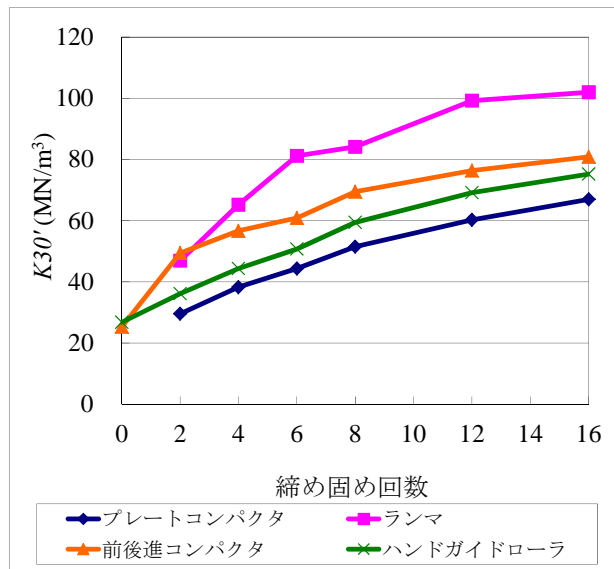


図-13 締め固め回数- K_{30}'

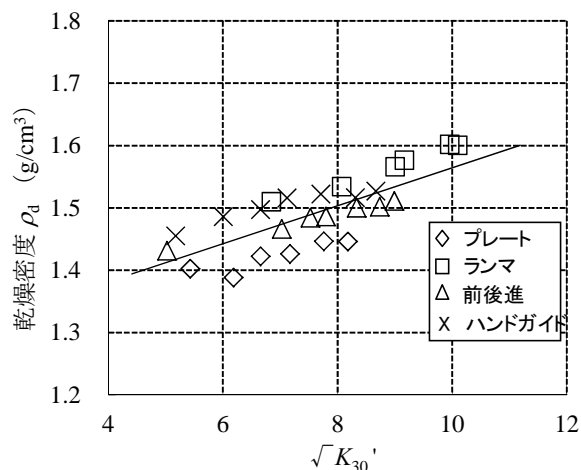


図-14 乾燥密度- K_{30}'

5. まとめと今後の課題

今回の実験によって得られた結果より、以下のことがいえる。

- 1) すべての機械において、締め固め初期で急速に密度が増加し、概ね締め固め回数 6~8 回程度で密度増加が収束へ向かっている。これは昨年度までの実験結果と同様の傾向である。
- 2) 締め固め回数 16 回後の到達密度は、昨年度までの結果に比べ、深さ 0~100mm の結果は、ハンドガイドと前後進の順位が入れ替わっている。これは本年度の土質の場合前後進コンパクタによる締め固めで地表面が乱されてしまった可能性が考えられる。
- 3) 今回の土質における各小型締め固め機械の締め固め特性

を表4にまとめる。本表は、機種選択、施工厚さの設定、締固め回数設定の際に参考とすることができる。

表4 小型締固め機械の締固め性能特性 (FC5)

締固め機械		プレート	ランマ	前後進	ハンド ガイド
深さ (mm)	0-100	◎	◎	◎	◎
	100-200	○	◎	◎	◎
	200-300	—	◎	○	○
締固め回数	6~8				

◎: 締固め度 95%以上 ○: 締固め度 90%以上 95%未満

- 4) 速度と締固め幅から算出した位時間当たりの締固め可能面積は、ハンドガイド>前後進≒プレート>ランマの順であり、ランマはマンホール等構造物まわりといった狭隘部向きの機種であり、ハンドガイドは埋設管の埋め戻しなどの広い場所向けの機種であることがいえる。また、プレート・前後進は中規模向きの機種であることがいえる。これは昨年度までの実験結果と同様の傾向である。
- 5) 地盤反力係数 K_{30} と従来の品質管理指標である乾燥

密度は、良好な正の相関があることがわかった。したがって、 K_{30} を乾燥密度の代替指標として使用することは、本実験条件の下では可能であるといえる。これは昨年度までにおける、砂質度 (FC10 相当) 含水比乾燥側の結果と同様の傾向である。

本年度の実験では、昨年度までの実験に引き続き、FC5 相当材料においての、各機種の締固め特性などをまとめることができた。今後は他の土質 (砂礫質土、碎石など) や他の重量クラスの機械、他の計測システムについて実験を行い、本研究のさらなる充実を図っていきたい。

参考文献

- 1) 松尾 修: 道路盛土・河川堤防の設計と締固め土の締固めと管理, 基礎工, 2009
- 2) 横田聖哉, 中村洋丈: 高速道路における小型施工機械を用いた締固め特性, 建設の施工企画, 2009. 11
- 3) 境友昭, 極檀邦夫: 重錘落下による地盤反力係数の測定, 第 41 回地盤工学会研究発表会, 2006
- 4) 社団法人日本道路協会: 道路土工-盛土工指針,

A RESEARCH OF IMPROVEMENT OF WORKABILITY AND QUALITY CONTROL METHOD FOR COMPACTION WORK ON EMBANKMENT

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2009-2013

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

Author : FUJINO Kenichi

MOTEKI Masaharu

HASHIMOTO Takeshi

Abstract : The compaction work is very important operation for the quality of embankment. Even now, many embankments have been collapsed by huge earthquakes and heavy rains. It has become clear that main factors why an embankment is collapsed are poor drainage and also no enough soil compaction. To get high quality result of compaction work, it is necessary to establish how to select effectual compaction machine and how to make compaction work. Especially, on the small area operation (ex. Backfilling close to structure), it is more difficult to get high quality result of compaction. Therefore, the compaction machine and the compaction method is more important on such operation.

Until the last year, compaction tests were done with light equipment (compaction machines) on the two materials (FC10 and FC50). From the result of this test, a fundamental guideline for selecting the best working method and the best machine was created. On this year, some additional test was done with same equipment on the other material (FC5). The result of this test expanded the guidelines.

Key words : Embankment, Compaction machine, Soil density, Light equipment, Small area,