

20. 狭隘部に用いる小型締固め機械の締固め特性の分析

(独) 土木研究所
(独) 土木研究所
(独) 土木研究所

○ 橋本 毅
藤野 健一
小橋 秀俊

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、品質管理手法を選択することは、非常に重要である。

しかしながら、小型機械の締固め特性について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が現在存在していない。一部、高速道路施工現場にて、小型機械の比較実験を行った事例はあるが¹⁾、体系立てられた十分なデータ数が得られていないのが現状である。

そこで本研究では、高速道路の他に一般道路、河川堤防での盛土施工も視野に入れ、狭隘部の盛土締固め施工時における、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土槽実験を実施した。

2. 実験概要

2.1 実験フィールド

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。まず十分に締固めた実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、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相当の実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)

2.2 実験土質

本実験で使用する土質としては、砂質系の土質

を使用した。使用した土の粒径加積曲線を図-1に、物理特性を表-1に示す。



写真-1 実験フィールド

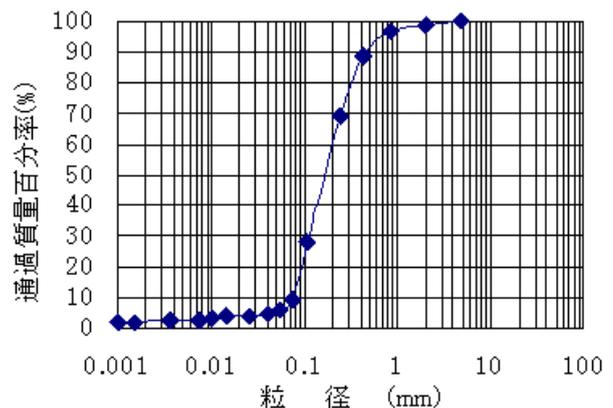


図-1 粒径加積曲線

表-1 土質材料の物理特性

| 実験項目 | 実験地盤 |
|---|-------|
| 土粒子密度 ρ_s (Mg/m ³) | 2.675 |
| 細粒分含有率 F_c (%) | 10 |
| 最大乾燥密度 ρ_{dmax} (Mg/m ³) | 1.674 |
| 最適含水比 W_{opt} (%) | 16.0 |

実験中の含水比は最適含水比付近になるよう調整した。

また、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）にてクローラ締め固めを2回（往復）行った状態を初期締め固め条件とした。

2.3 締め固め機械

本実験に使用した締め固め機械の仕様を表-2に示す。小型締め固め機械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。

現場での状況を再現するため、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）

表-2 締め固め機械仕様

| | 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 |
| 締め固め幅(mm) | 350 | 265 | 445 | 650 |

2.4 計測項目

計測項目の一覧を表-3に、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。

(2) 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) 可搬性・操作性

可搬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。

表-3 計測項目一覧

| 計測項目 | 測点数 | 計測回数 |
|--------------------|-----|----------------------------|
| 密度・含水比 コアサンプリング | 3 | 締め固め0, 2, 4, 6, 8, 12, 16後 |
| 沈下量 | 3 | 締め固め0, 2, 4, 6, 8, 12, 16後 |
| 機械走行速度 | - | 各締め固め時 |
| 可搬性・操作性 | - | 各締め固め時 |

3. 実験結果および考察

3.1 密度・含水比（コアサンプリング）

コアサンプリングによる、深さ0～100mmの乾燥密度を図-2に、深さ100mm～200mmの値を図-3に、深さ200mm～300mmの値を図-4に示す。いずれも3測定点の平均で表している。

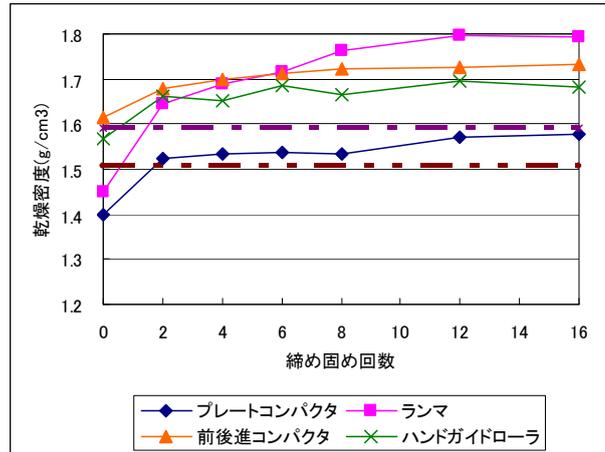


図-2 締め固め回数－乾燥密度（深さ0～100mm）

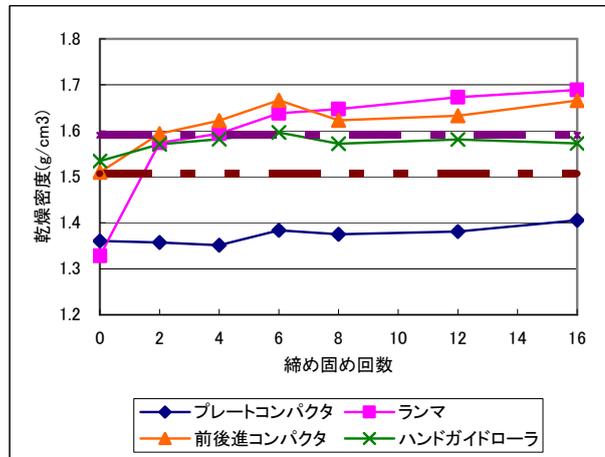


図-3 締め固め回数－乾燥密度（深さ100～200mm）

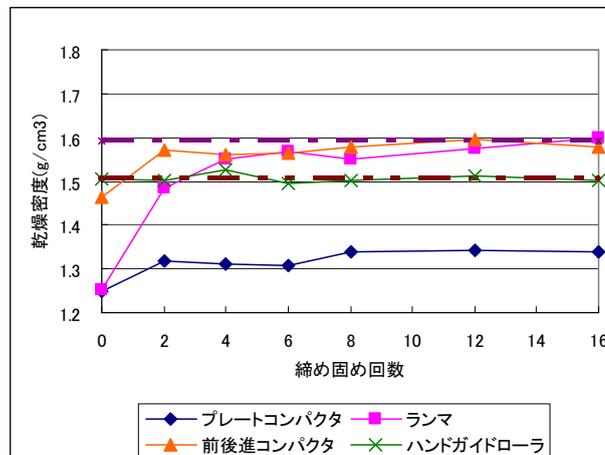


図-4 締め固め回数－乾燥密度（深さ200～300mm）

図-2、図-3、図-4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密度も増加している。特に締固め初期（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。

ただしハンドガイドローラにおける、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。

「道路土工—盛土工指針」²⁾による締固め日常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。図-2、図-3、図-4 に本土質の締固め度 90%を 1 点波線で、95%を 2 点波線にて記載している。これによると、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。

以上の結果より、本土質における締固め能力を比較すると、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。施工厚さを厚くしたい場合は、ランマか前後進コンパクタを選択するべきといえる。

3.2 沈下量

沈下量の測定結果を図-5 に示す。いずれも 3 測定点の平均で表している。

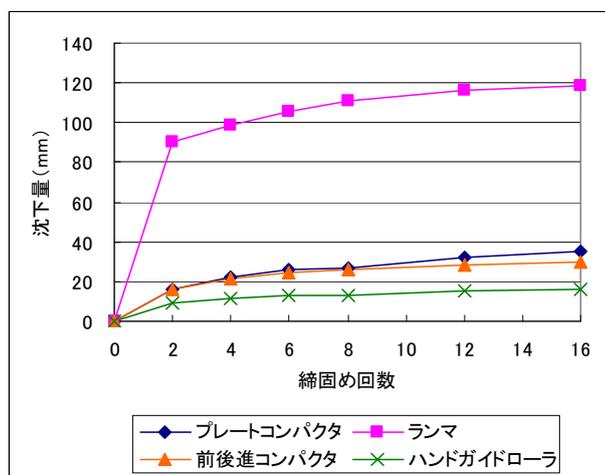


図-5 締固め回数—沈下量

図-5 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-6 に示す。

図-6 より、乾燥密度と沈下量には 1 次正の相関があり、沈下量を品質管理の指標とすることが可能であるといえる。

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。これは初期締固め条件（締固め 0 回）のグループ分けに等しい。

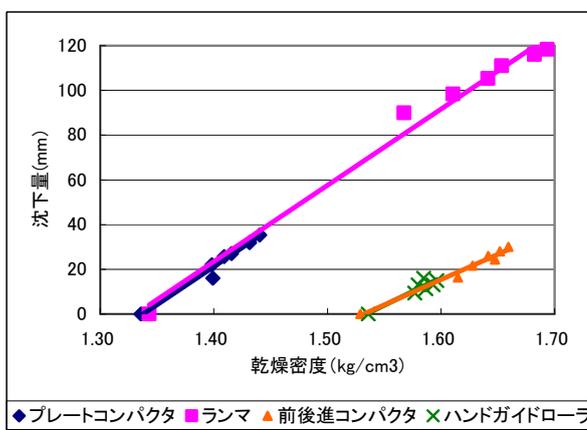


図-6 乾燥密度—沈下量

3.3 機械走行速度

機械走行速度を図-7 に示す。

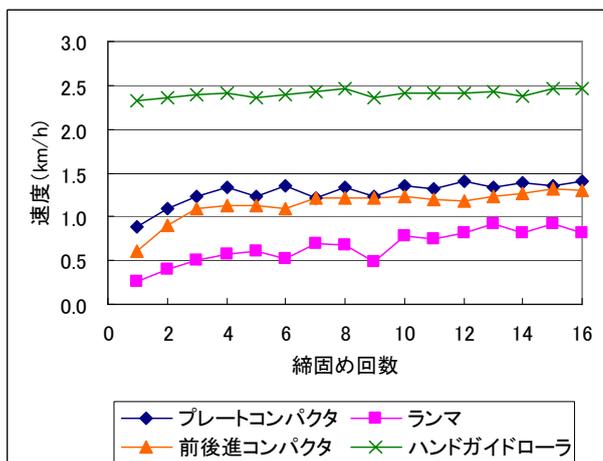


図-7 機械走行速度

図-7 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-4に示す。

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ことがわかり、ランマは比較的小さい施工面積向きの機械であるといえる。

表-4 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 |

3.4 可搬性・操作性

実験時において、可搬性・操作性について検証を行い、結果を以下に述べる。

(1) 可搬性（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用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、また移動用オプションも用意されているため、比較的可搬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、可搬性は良好とはいえない。

(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。ただし、ランマは他に比べて反力が大きく、取り扱いには注意が必要である。また、前後進コンパクタは重量が重く、全長も長いので、構造物近傍での操作には同じく注意が必要である。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ため、操作性は良好とはいえない。

以上の結果より、施工現場の状況（広さや形状など）、クレーンやフォークリフトなどの設備の有無なども、機種を選択する際に十分考慮しなくてはならないといえる。

4. まとめ

以上の実験結果から、下記の点がいえる。

① 施工条件に応じた機種・施工厚さ選定の際には、表-5を参照することができる。

表-5 施工適用案

| | | 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 |
|--------------------|-----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 深 さ | 0-100mm | ○ | ◎ | ◎ | ◎ |
| | 100-200mm | — | ◎ | ◎ | ○ |
| | 200-300mm | — | ○ | ○ | — |
| 単位時間当たり 締固め可能面積 | | 448 m ² /h | 175 m ² /h | 508 m ² /h | 1563 m ² /h |
| 可搬性 | | 良 | 良 | 可 | 優 |
| 操作性 | | 優 | 良 | 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 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から小型締固め機械による狭隘部締固めに際して、(大型機械と同様な)締固め回数による品質管理手法が使用できる。
- ③ すべての機械において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ることから、小型締固め機械による狭隘部締固めに際して、沈下量による品質管理手法が使用できる。

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) 横田、中村：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、No. 717、pp14-19、2009
- 2) (社)日本道路協会：道路土工 盛土工指針、(社)日本道路協会、pp219-220、2010