

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 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、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。

本報告では、小型締固め機械の性能と品質（締固め状況）の実態を実験により明らかにし、施工条件に応じた適切な施工手法（施工厚さ・締固め回数）および機種を選択を行うための基礎資料を整理した。また、動的平板荷重試験手法および加速度応答法の特性と、従来の品質管理指標である密度との相関性について検証を行い、特性や適用範囲などをまとめた。

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、砂質系、粘性系の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種類の含水比にて締固め回数試験を行い、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た。

2. 研究の目的

本研究では、狭隘部の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、そのための小型締固め機械の最適な選定手法、狭隘部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た。

- ① 土質条件（含水比等）の違いによる小型締固め機械の締固め特性を実験により検証
- ② 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

3. 実験条件

3.1 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。実験ピットはコンクリートで構成されており、実験地盤に影響を与えないように実験ピット底面より高さ 2.8m まで土質材料 A (表-1) で盛り立てを行い基礎地盤を作成し、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。

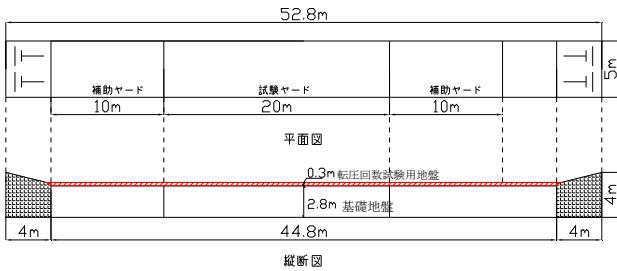


図-1 実験ピット詳細図

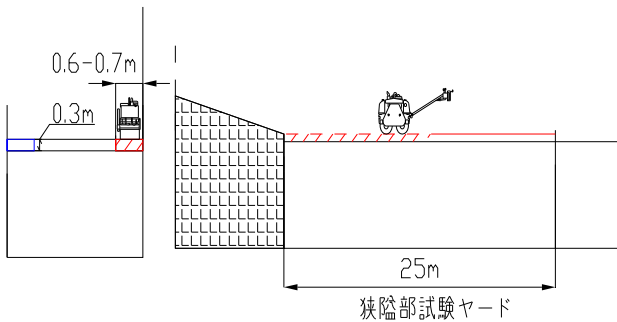


図-2 実験フィールド



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。

3.2 実験土質条件

本実験で使用する土質条件は、砂質系土質 (土質材料

A : F_c 10%相当) 及び粘性系土質 (土質材料 B : F_c 50%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、5)。

表-1 盛土材料の物性

	土質材料 A	土質材料 B
土粒子密度 ρ_s (g/cm^3)	2.675	2.665
細粒含有率 F_c (%)	15.3	57.1
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm^3)	1.674	1.531
最適含水比 w_{opt} (%)	16.3	24.9
実験含水比 w_i (%)	10,15,16,17	24~29

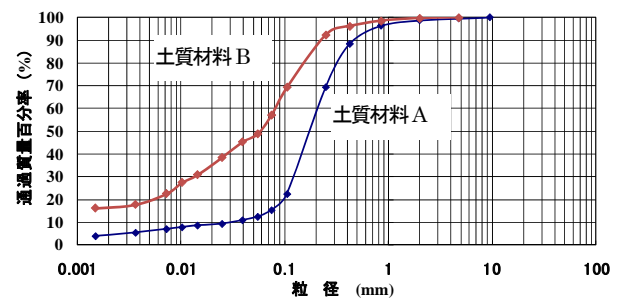


図-3 粒径加積曲線

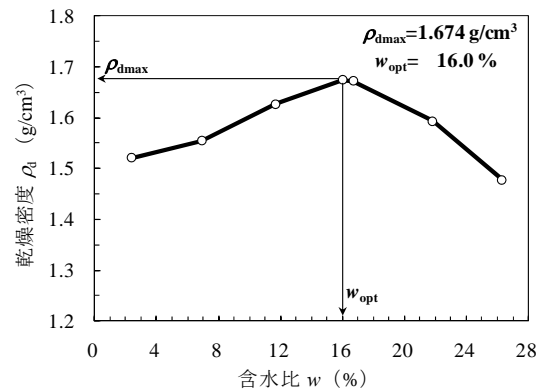


図-4 締固め曲線 (材料 A)

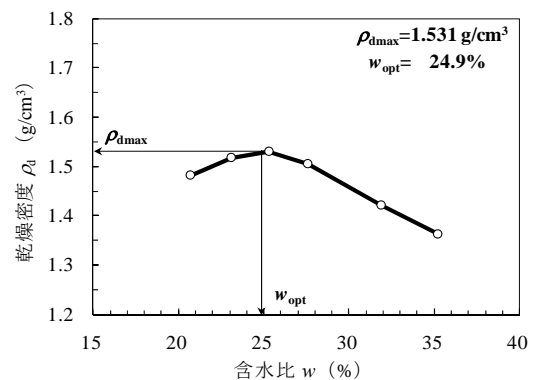


図-5 締固め曲線 (材料 B)

3.3 実験時の含水比条件

本試験では土質材料Aについては含水比を乾燥側11%、最適近傍（乾燥側）15%、最適16%、最適近傍（湿潤側）17%の4種類とした（表-1）。また、土質材料Bについては、粘性系土質であるため含水比の調整が困難なことから、含水比は1種類とした。この際、自然含水比（30～35%）では各小型締固め機械が走行不可であったため、事前に走行試験を行い走行可能な含水比を設定した（表-1）。

3.4 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) 前後進コンパクタ

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。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
締固め回数	2	2	1	1

4. 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、3.1.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-6に示す。

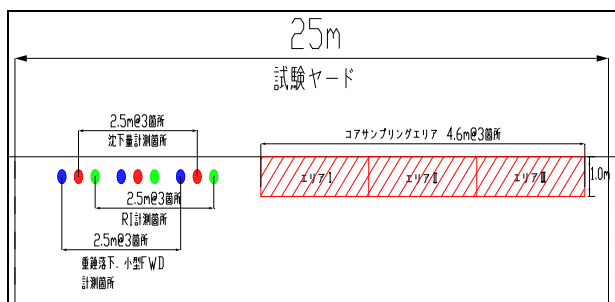


図-6 締固め回数試験計測位置図

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
エコノマイザー値 (加速度応答法)	実験フィールド 10m区間	各締固め時
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。

4.1 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 ϕ 100 mm、高さ 100 mm のものを使用し、地盤の深さ $h=0\sim 10\text{cm}$ 、 $10\text{cm}\sim 20\text{cm}$ 、 $20\text{cm}\sim 30\text{cm}$ 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。

4. 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。

4. 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。

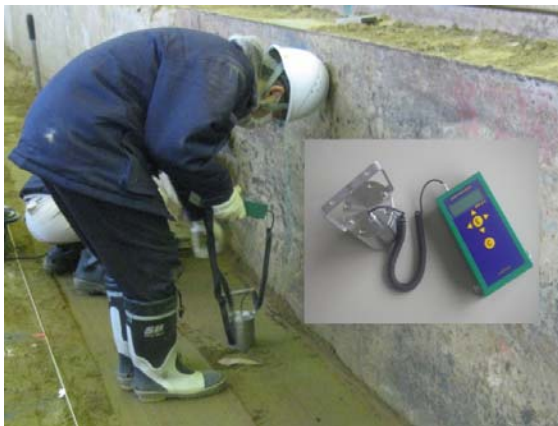


写真-8 超小型動的平板載荷試験装置

4. 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

4. 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. 4 エコノマイザー値(加速度応答法)

加速度応答法とは前後進コンパクタ等の振動式締固め機械の振動挙動が地盤の締固めに応じて変化する現象を利用し、機体に装着した加速度計からの信号を解析することによって、転圧している地点の地盤剛性をリアルタイム算出する手法のことである。

本実験では、この加速度応答法システムであるエコノマイザー⁴⁾を搭載した、BOMAG 社製前後進コンパクタ BPR45/55 with ECONOMIZER を使用した(表-4)。本機の表示部は 10 個の LED ランプにて構成されており、その点灯個数によって地盤剛性の大きさをオペレータに表示することができる(写真-11)。

表-4 BOMAG BPR45/55 with ECONOMIZER 仕様

機械質量(kg)	396
振動起振力(kN)	45
振動振動数(Hz)	70
締め幅(mm)	550



写真-11 ECONOMIZER

計測は、他機種と同様に締め回数試験を行い、実験フィールド中の10m区間(図-6参照)を通過する時のLED点灯状況をビデオにて記録した(写真-12)。



写真-12 エコノマイザー計測状況

5. 実験結果・まとめ

5.1 密度

5.1.1 密度計測結果

土質材料Aの最適含水比16%における、深さ0~100mm、深さ100mm~200mm、深さ200mm~300mmの締め回数-乾燥密度の関係を図-7~9に示す。いずれも3測定点の平均で表している。なお、図中の破線は締め度95%、2点鎖線は締め度90%を示している。

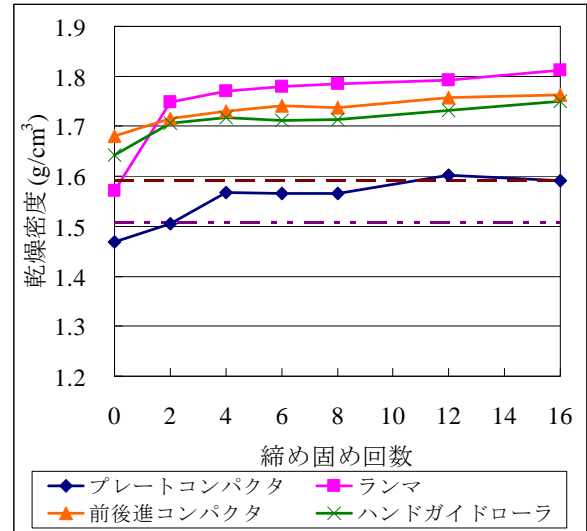


図-7 乾燥密度 (材料A、含水比16%、深さ0~100mm)

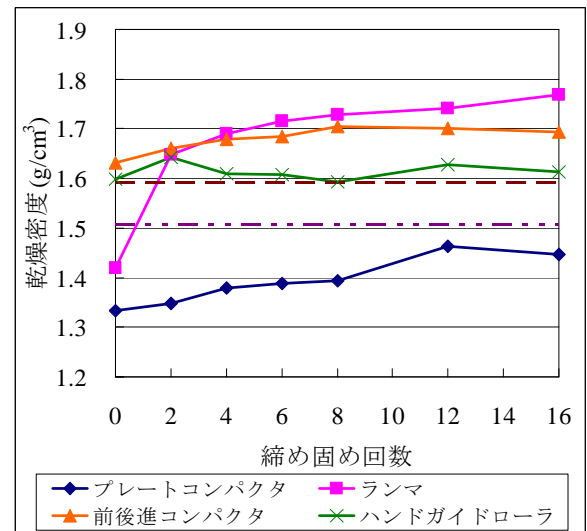


図-8 乾燥密度 (材料A、含水比16%、深さ100~200mm)

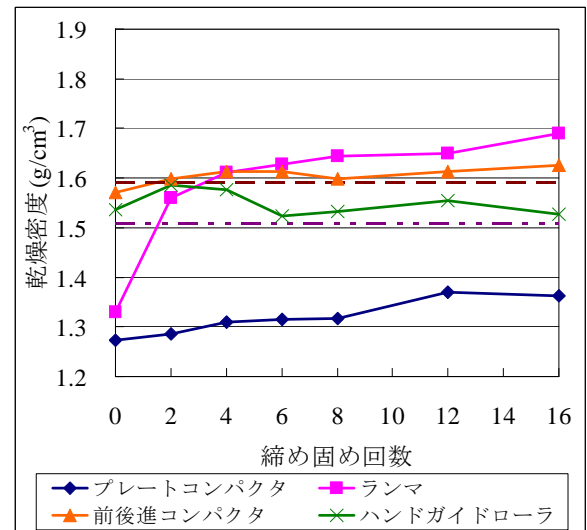


図-9 乾燥密度 (材料A、含水比16%、深さ200~300mm)

これは、「道路土工—盛土工指針」⁵⁾における日常管理値の目安である、路体で90%以上、構造物取付部で95%以上を表している。

図-7~9より、プレート・ランマ・前後進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、締固め初期で急速に密度が増加し、概ね締固め回数6~8回程度で密度増加が収束へ向かっている。

ハンドガイドにおいては、深さ100mmまでは同様の傾向を示すが、深さ100~300mmでは締固めによる明確な密度増加が認められない。これは、ハンドガイドではこの深度へ初期状態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、締固め回数16回後の到達密度は、すべての深さにおいて、ランマ>前後進>ハンドガイド>プレート、という優位差順となっている。

以上の密度特性は、含水比11%、15%および材料Bにおいても同様な結果が得られた。また含水比17%においては、ランマ、前後進、ハンドガイドは地盤不良のため途中で走行が不可となり、データを得ることができなかった。

すべての材料、含水比、深さ、機種における、締固め回数16回後の到達密度(締固め度%)をまとめたものを、図-10に示す。

本図より、すべての材料、含水比、深さにおいて、到達密度はランマ>前後進>ハンドガイド>プレート、という優位差順となっていることがわかる。また、本条件における材料Bの到達締固め度(%)は、材料Aの含水比11%の結果と同等以下であることがわかる。

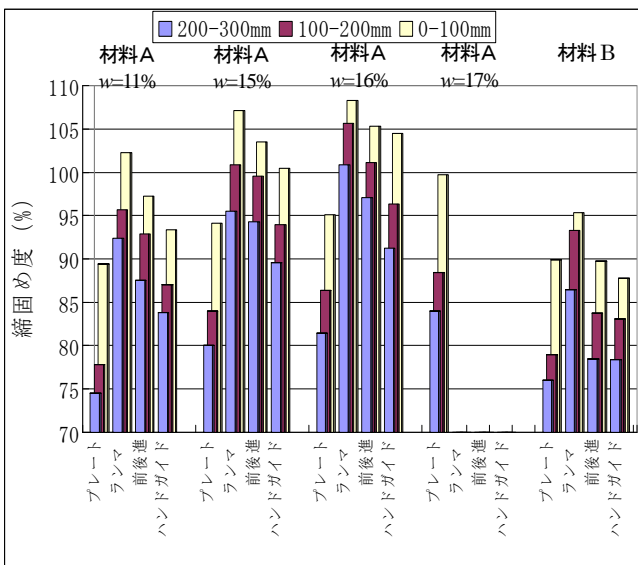


図-10 16回締固め後の締固め度(%)

5. 1 .2 密度計測結果の考察

今回の実験状況および得られた密度計測結果より、以下のことがいえる。

- 1) 砂質系土質(材料A)においては、含水比17%でプレートを除く機械が走行不可となった。したがって、この材料Aで施工する場合は、含水比を最適含水比16%かそれより乾燥側に調整する必要がある。
- 2) 材料A、含水比11%、15%、16%における、各小型締固め機械の締固め特性を表-5にまとめる。本表は、機種選択、施工厚さの設定、締固め回数の設定の際に参考とすることができる。

表-5 小型締固め機械の締固め性能特性

締固め機械		プレート			ランマ		
含水比(%)		11	15	16	11	15	16
深さ(mm)	0-100	—	○	○	◎	◎	◎
	100-200	—	—	—	○	◎	◎
	200-300	—	—	—	○	○	◎
締固め回数		6~8			6~8		
締固め機械		前後進			ハンドガイド		
含水比(%)		11	15	16	11	15	16
深さ(mm)	0-100	◎	◎	◎	○	◎	◎
	100-200	○	◎	◎	—	○	◎
	200-300	—	○	◎	—	○	○
締固め回数		6~8			6~8		

◎：締固め度95%以上 ○：締固め度90%以上95%未満

- 3) 粘性系土質である材料Bは、下記の理由により、そのままでは盛土材料に不向きである。
 - ・ 自然含水比(30~35%)状態では締固め機械が走行できなかった。
 - ・ 含水比25~29%に乾燥させれば、締固め機械の走行は可能であるが、含水比調整は非常に難しい作業であり、実施現場で行うには現実的でない。
 - ・ 締固めが可能まで乾燥させたとしても、到達密度(締固め度)は、砂質系土質(材料A)より劣る。

5. 2 走行速度

5. 2 .1 走行速度計測結果

材料Aの含水比11%、15%、16%および材料Bにおける走行速度を図-11に示す。

本図より、速度はすべての材料・含水比においてハンドガイド>プレート≒前後進>ランマの順であり、ハンドガイド以外では材料・含水比間でのばらつきはあまりなかった。ハンドガイドの含水比 11%、15%と 16%および材料 B の結果が乖離しているが、これは実験の間にメーカ点検があり、走行速度の調整 (3.0km/h がカタログ定格) を行ったためである。点検前 (含水比 11%、15%)、点検後 (16%、材料 B) の結果がそれぞれほぼ等しいことから、本来ならばハンドガイドの走行速度も材料・含水比間のばらつきはほぼないものと推測できる。

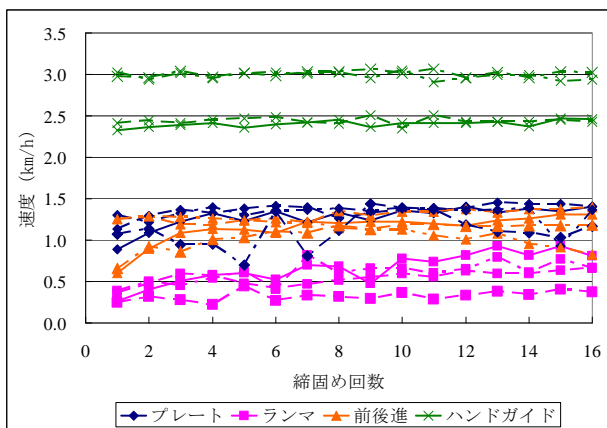


図-11 走行速度

破線 : w=11%、実線 : w=15%、2点鎖線 : w=16%、1点鎖線 : 材料B

各小型締固め機械の平均速度 (ハンドガイドローラは 3.0km/h を平均速度とした) と締固め幅から、単位時間当たりの締固め可能面積を算出すると、図-12 のようになる。本図から、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。

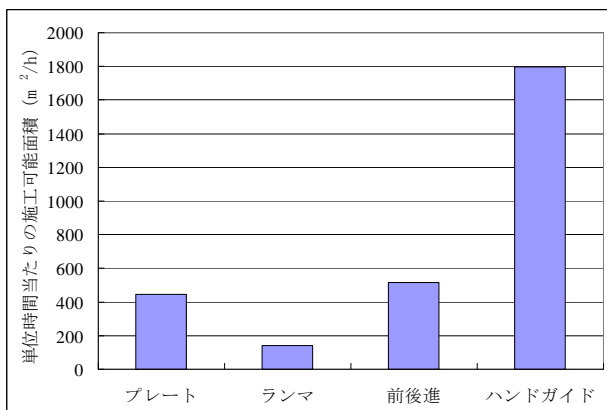


図-12 単位時間当たりの施工可能面積

5. 2 .2 走行速度計測結果の考察

今回の実験状況および得られた走行速度計測結果より、以下のことがいえる。

- 1) 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けの機種であり、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・前後進は中規模向けの機種であることがいえる。

5. 3 地盤反力係数

5. 3 .1 地盤反力係数計測結果 (重錘落下試験)

すべての材料・含水比における、重錘落下試験によって得られた K_{30}' と小型 FWD 試験によって得られた K_{30}' の関係を図-13 に示す。なお本報告では、動的試験 (重錘落下試験・小型 FWD 試験) によって得られた地盤反力係数を、平板載荷試験により得られた地盤反力係数 K_{30} と区別するため、 K_{30}' と記載することとした。

本図より、両者には強い相関があることがわかる。よって、本報告では重錘落下試験によって得られた K_{30}' を動的試験の代表値として述べるものとする。

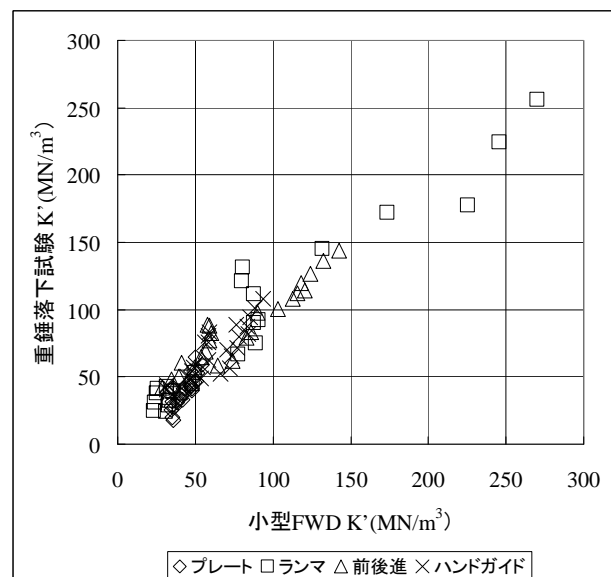


図-13 重錘落下試験 K_{30}' - 小型 FWD K_{30}' の関係

材料 A の含水比 11%、15%、16%、および材料 B における、締固め回数-乾燥密度 (深さ 0-300mm 平均) の関係を図-14 (a), (b), (c), (d) に示す。また、締固め回数-重錘落下試験によって得られた K_{30}' との関係を図-15 (a), (b), (c), (d) に示す。

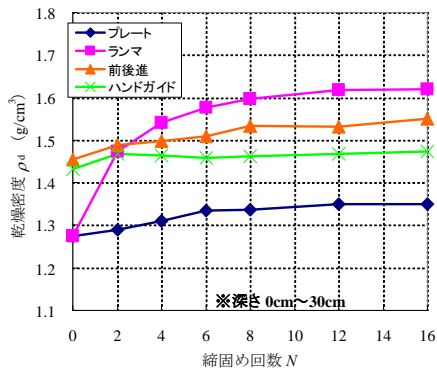


図-14 (a) 締固め回数-乾燥密度 (材料A、含水比 11%)

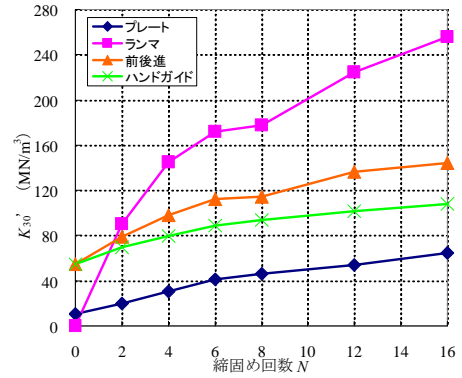


図-15 (a) 締固め回数- K_{30} ' (材料A、含水比 11%)

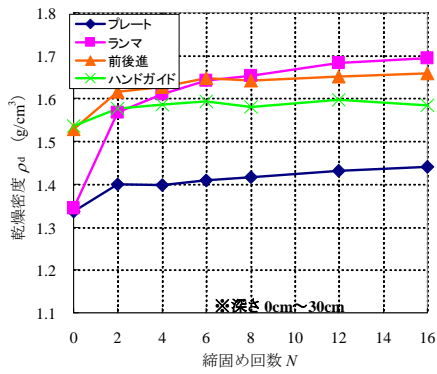


図-14 (b) 締固め回数-乾燥密度 (材料A、含水比 15%)

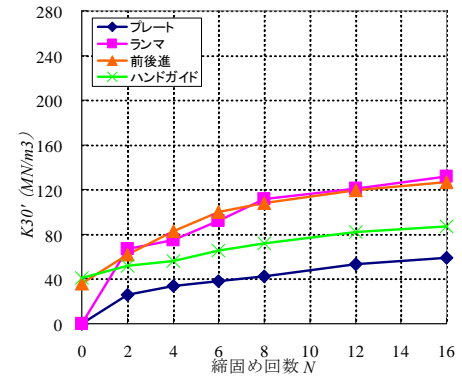


図-15 (b) 締固め回数- K_{30} ' (材料A、含水比 15%)

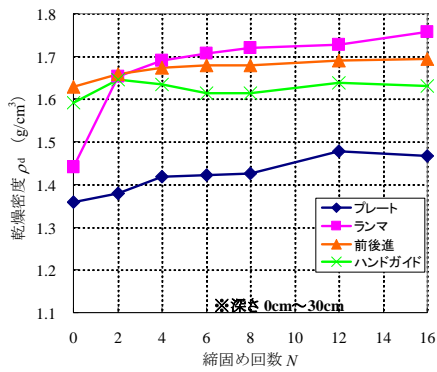


図-14 (c) 締固め回数-乾燥密度 (材料A、含水比 16%)

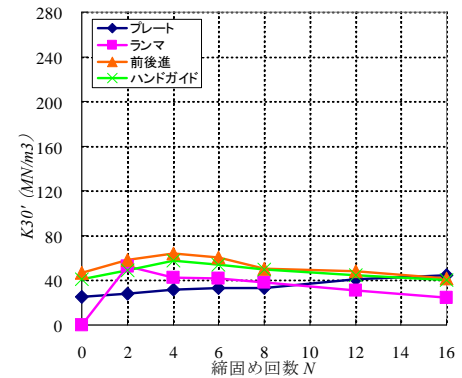


図-15 (c) 締固め回数- K_{30} ' (材料A、含水比 16%)

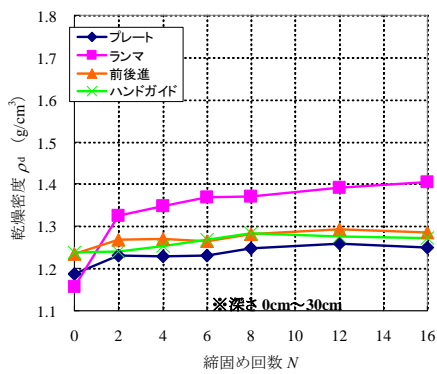


図-14 (d) 締固め回数-乾燥密度 (材料B)

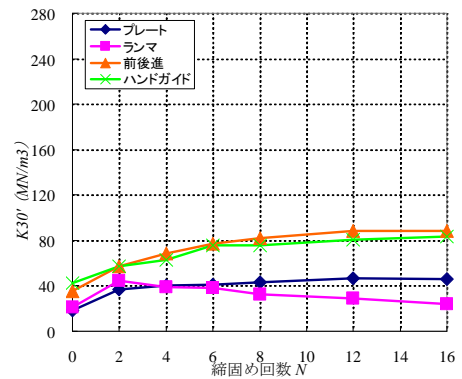


図-15 (d) 締固め回数- K_{30} ' (材料B)

図-14.15より、材料A、含水比11%、15%では、すべての小型締固め機械において、締固め回数が増加すると乾燥密度、 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。しかし含水比16%になると、ランマ、前後進といった締固め効果が大い（締固めエネルギーが大い）機械では、締固め回数が増加すると密度は増加するが、 K_{30}' は逆に減少している。同様に材料Bにおいては、最も締固め効果が大いランマにて、密度と K_{30}' の逆転現象が確認できる。また、材料Aにおいて16回締固め後の到達乾燥密度および到達 K_{30}' をみると、含水比11%から最適含水比である16%に上昇するにつれて、到達乾燥密度は上昇するが、到達 K_{30}' は減少していることがわかる。

次に、各含水比における乾燥密度- K_{30}' の関係を図-16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-16によると、材料Bおよび材料Aの含水比16%では、密度と K_{30}' に良好な相関性は確認できなかった。一方、含水比11%、15%においては、両者に良好な正の相関があることがわかった。しかしながら、その相関は、各含水比にて独立しており、両者は一様な相関を示してはいなかった。

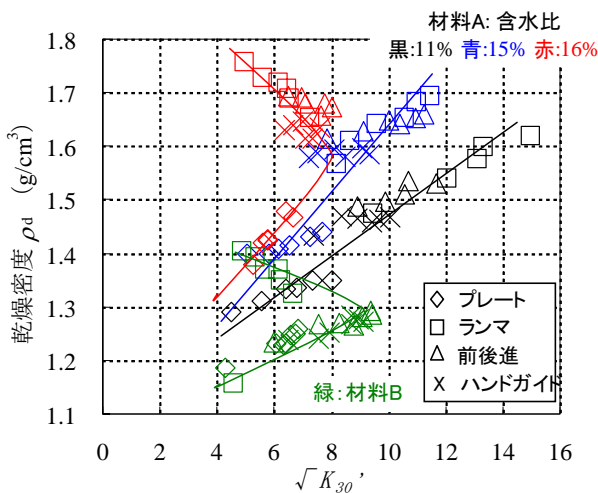


図-16 乾燥密度- K_{30}'

5.3.2 地盤反力係数計測結果の考察

今回の実験状況および得られた地盤反力係数計測結果より、以下のことがいえる。

- 1) 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、材料Aの含水比11%、15%においては、良好な正の相関があることがわかった。しかしながら、その相関は、各含水比にて独立していることもわかった。したがって、 K_{30}' を乾燥密度の代替指標とし

て使用するには、材料の含水比を最適含水比より乾燥側に、かつ施工中は一定に保つ必要があるが、実際の施工現場では現実的ではないといえる。

- 2) 材料Aにおける K_{30}' は、乾燥密度の傾向と違い、含水比が最適含水比に向かうにつれて低下していた。これは、盛土の強度を示す指標の一つである地盤反力係数 K_{30}' と、従来の品質管理指標である乾燥密度が、相反する傾向を示すことを表している。したがって、より高度な盛土構造物を得るためには、乾燥密度のみではなく、地盤反力係数など他の指標も含めた品質管理を行う必要があるのではないかと推察できる。
- 3) 重錘落下試験は、1点の計測に約5秒程度、また小型FWD試験は1点の計測に約5分程度で行うことができる。これに対し、平板載荷試験は1点の計測に2時間程度必要である。したがって、重錘落下試験、小型FWD試験といった動的試験は、平板載荷試験に比べ簡易かつ短時間で計測することができるため、計測点を増やすことができる。よって、上記2)で述べたように、地盤反力係数が今後品質管理指標として用いられるならば、動的試験（重錘落下試験・小型FWD試験）は、より均一な品質管理を行うためには非常に有効である。

5.4 エコマイザー値

5.4.1 エコマイザー値計測結果

エコマイザー値の計測は、材料Aの含水比11%、15%、16%、18%にて行った（含水比17%を目標とし調整を行ったが、18%にての実験となった）。また、ビデオにて撮影したLED点灯状況から、点灯個数にその点灯秒数をかけた点灯個数の総和をレーン走行時間（秒）にて除して、刻々の点灯個数を走行延長にて平均化した「平均LED点灯個数」を算出した。以下その「平均LED点灯個数」を用いて解析を行う。

各含水比における締固め回数と、平均LED点灯個数、締固め度（0~30cm平均）、重水落下試験による K_{30}' の関係を図-17~20に示す。各値の相関を見るため締固め度の値はグラフが重なるよう図示している。なお、含水比18%において締固め回数8回を越えると、前後進コンパクタは走行不能となり、データの取得はできなかった。

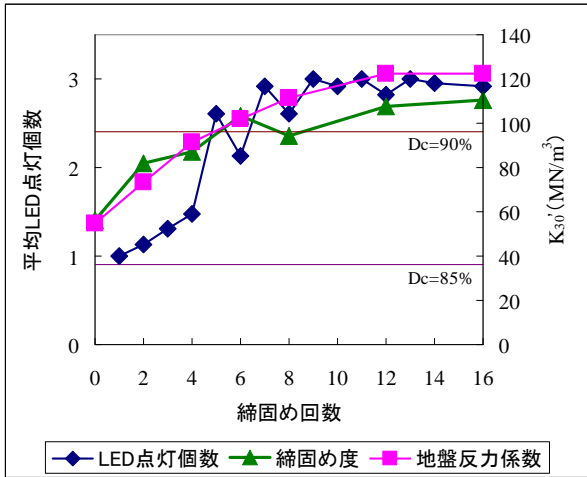


図-17 締固め回数-LED点灯回数-締固め度- K_{30}'
(含水比 11%)

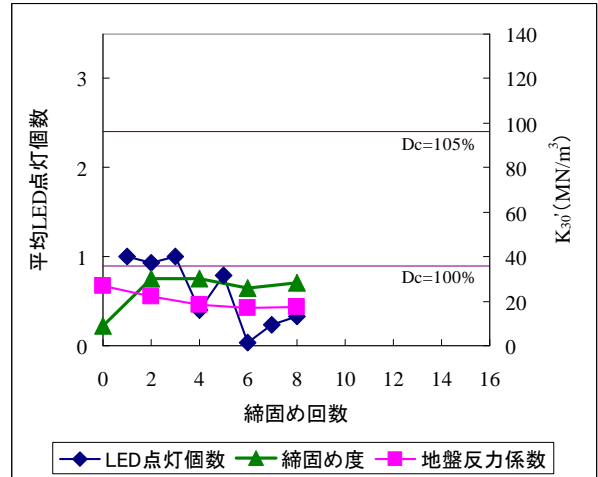


図-20 締固め回数-LED点灯回数-締固め度- K_{30}'
(含水比 18%)

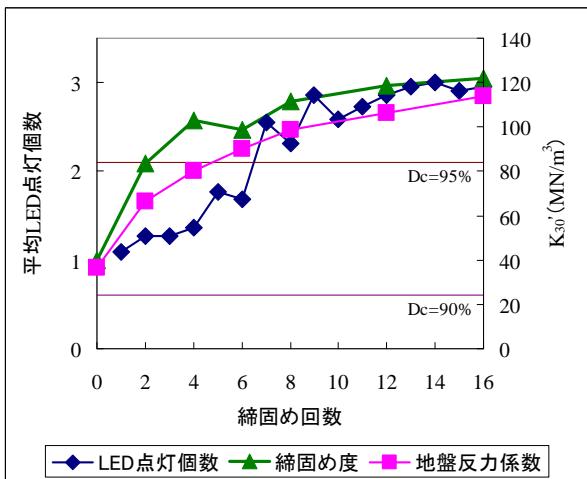


図-18 締固め回数-LED点灯回数-締固め度- K_{30}'
(含水比 15%)

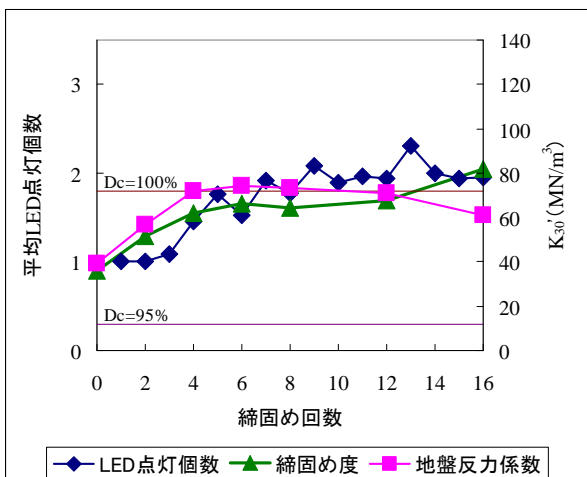


図-19 締固め回数-LED点灯回数-締固め度- K_{30}'
(含水比 16%)

図-17~20によると、LED点灯回数と締固め度、および K_{30}' との関係は、各含水比においてそれぞれ比較的良好な関係があることがわかる。特に最適含水比より乾燥側(11、15%)にて良好な関係がある。

次に、LED点灯回数と締固め度との関係を図-21に、LED点灯回数と K_{30}' との関係を図-22に示す。

図-21によると、LED点灯回数と締固め度は良好な相関があると言えるが、その相関は含水比によって大きく異なっており、両者は一意的な関係になっていない。一方、図-7によるとLED点灯回数と地盤剛性値の関係は、含水比の変化に対してもほぼ一意的な関係を示している。

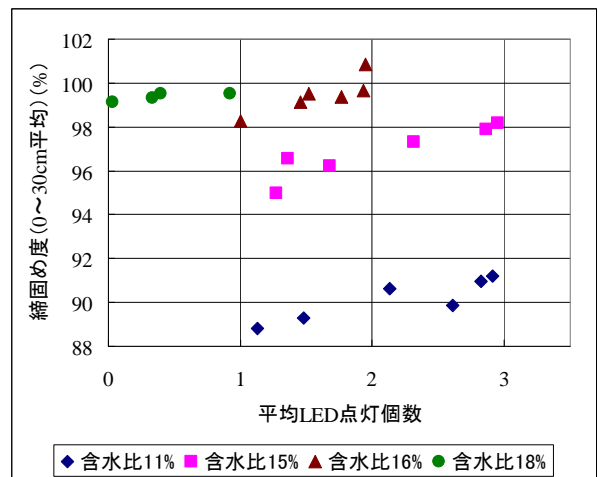


図-21 LED点灯回数-締固め度

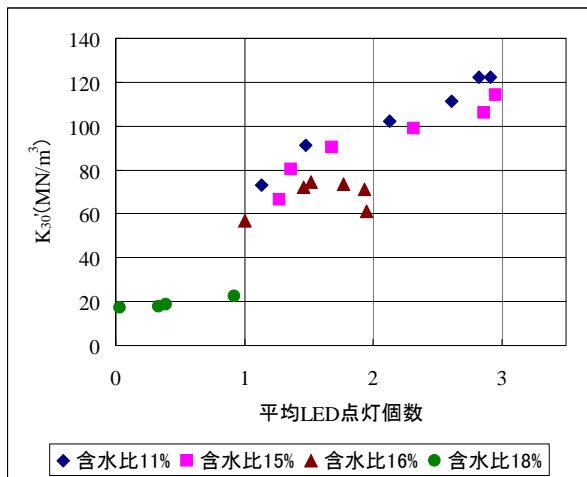


図-22 LED点灯個数-K₃₀'

5. 4 .2 エコマイザー値計測結果の考察

今回の実験状況および得られたエコマイザー値計測結果より、以下のことがいえる。

- 1) LED点灯個数と締固め度は良好な関係があるが、その関係は、含水比によって大きく異なっている。したがって、LED点灯個数を締固め度の代替指標にするには、施工中の含水比を一定に保ち、かつその含水比における両者の関係を求めておくか、あるいは想定されるすべての含水比における両者の関係を求めておく必要がある。しかしながら、それは実際の施工現場では現実的ではないといえる。
- 2) LED点灯個数とK₃₀'との関係は、含水比によらずほぼ一意的であり、LED点灯個数を地盤剛性値の代替指標にすることは可能であるといえる。
- 3) エコマイザー（加速度応答法）は、締固めを行いながらリアルタイムで計測することが可能なため、計測点数を増やすことが可能である。また、GNSSな

どの位置情報システムと組み合わせれば、施工範囲を面で管理することも可能である。したがって、5.3.2章2)で述べたように、地盤反力係数が今後品質管理指標として用いられるならば、エコマイザー（加速度応答法）は、より均一な品質管理を行うためには非常に有効であることが考えられる。

6. 今後の課題

本年度の実験では、砂質系土質および粘性系土質について締固め回数実験を行い、狭隘部施工に最適な小型締固め機械や施工手法を決定する際のガイドラインとして、各機種の締固め特性、推奨施工種類などをまとめることができた。また、狭隘部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の候補として、動的平板載荷試験および加速度応答法の特長、適用範囲なども明らかにすることができた。しかし、実施工現場では多種多様の土質、現場環境、施工機械によって施工されているため、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、上記ガイドライン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) 橋本 毅：BOMAG エコマイザー，建設機械，2008.8
- 5) 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

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. Setting of degree of compaction for satisfying strength and deformation resistance required in the design is the most widely used for the quality control on road embankment, traditionally. In order to satisfy the ability required to an embankment, it is necessary to establish how to select effectual compaction machine, compact by the machine, and evaluate the rain or earthquake safety of the embankment, additionally. Especially, on the small area operation (ex. Backfilling close to structure), it is more difficult to get high quality result of compaction.

In this research, compaction tests were conducted with light equipments (compaction machines) under the some material. From the result of this test, a fundamental guideline for selecting the best working method and the best machine was created. And, some method of quality control to get better quality was suggested.

Key words : Embankment, Compaction machine, Quality control, Soil density, Water content, Light equipment, Small area,