

盛土施工の効率化と品質管理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：寒地基礎技術研究グループ（寒地地盤）
 研究担当者：西本聡、佐藤厚子、安達隆征

【要旨】

盛土の品質は、盛土の締固め度により管理しているのが一般的である。現在、盛土の締固め度は、盛土材料の最大乾燥密度に対する、盛土施工中の乾燥密度の割合で求めている。施工中の盛土の乾燥密度は砂置換法で測定していることが多い。砂置換法は、測定や結果の判明までに時間を要するため、工事の進捗に影響を与える。また、手間と時間を要することから、代表地点の測定により、盛土全体を管理している。そこで、簡易な方法により、盛土全体を管理できれば、高品質の盛土を施工することができる。

本研究では、盛土の現状を把握するとともに簡易で面的に盛土の品質を管理できる方法として、衝撃加速度を用いた盛土の品質管理を行うために、含水比、材料の影響など衝撃加速度試験の適用範囲を検討した。また、実際に行われている盛土施工方法に関するデータを収集し、材料に適した盛土施工機械を分類した。

キーワード：盛土、品質管理、密度、強度、衝撃加速度

1. はじめに

締固めは盛土の品質を大きく支配し、十分に締め固めた盛土は常時では十分な安定性を確保している。盛土が十分に締め固められているかどうかは、一般的に盛土材料の最大乾燥密度に対する施工中の盛土の乾燥密度である締固め度で判断されている。盛土の乾燥密度は砂置換法により求めていることが多い。しかし、測定に手間がかかることと結果の判明までに時間を要することから、簡易で施工直後に盛土の品質を管理できる方法の確立が求められている。そこで、盛土施工の実態を把握し、管理方法の妥当性を検証することとした。

北海道開発局では、盛土の品質を簡易、迅速、安価に実施できる方法として衝撃加速度により盛土の乾燥密度を推定する方法が仕様書に掲載されている。面的、多点測定が可能な方法である衝撃加速度試験により、盛土のばらつきと、衝撃加速度試験の適用範囲を検証した。さらに盛土施工機械と盛土の品質も調査した。

2. 北海道開発局の盛土の品質管理方法¹⁾と問題点

北海道開発局の道路盛土および河川堤防の品質管理方法を表-1に示す。全ての方法で、測定は1,000m³に1箇所である。

表-1 北海道開発局の道路盛土および河川堤防の品質管理方法

項目 管理値	試験方法	基準値	摘要
締固め度	砂置換法	85%以上	—
飽和度 空気間隙率	砂置換法	85～95% 2～10%	監督員と協議の上
締固め度	衝撃加速度による方法	基準締固め度に対応する衝撃加速度	現場密度の測定の代わりに用いている
強度	球体落下試験(D 値)	6.3cm	明確な最大乾燥密度がない場合
	衝撃加速度	63G	

D値と衝撃加速度は、1箇所につき10点計測し中央6点の平均を測定箇所の値とする。

締固め度による方法は盛土の密度を測定し、締固め度が基準値以上であることを確認する方法である。締固め度管理は、道路土工、河川土工ともに北海道では多く用いられている方法である。

飽和度・空気間隙率管理は、締固め度は満足できないが、建設機械の走行を確保でき施工可能な強度である場合には、監督員と協議の上用いることができる方法である。

衝撃加速度は、砂置換法や飽和度・空気間隙率による管理が結果の判明まで時間を要するため、現場で施工直後に品質管理ができる方法として寒地土木研究所が開発した方法である。北海道開発局独自の試験方法で、盛土の密度を推定する方法である。

球体落下試験または衝撃加速度は、明確な最大乾燥密度が得られない材料の品質管理を行う方法である。

このほかに、試験施工を行い施工方法に盛土の品質管理を行う工法管理規定がある。

これらの方法には、次のような問題が含まれている。砂置換による密度の測定は、1箇所につき、1孔の測定であるため、締固め状態が良好である箇所を選んで測定される場合があり、実際に最低値管理が徹底しているかどうかの問題がある。また、基準値を決めるための室内試験は盛土施工時と土質が変化したときに実施するが、材料が適切に判断されているかが問題である。

衝撃加速度は、あらかじめ室内において密度との関係を求めておき、現場の衝撃加速度から密度を推定するものである。衝撃加速度は含水比や礫の影響を受けると考えられ、現状では、対応できる含水比の範囲や礫の混入など明確になっていない。また、明確な最大乾燥密度を得ることのできない火山灰について設定された基準値が合致していない場合がある。

3. 盛土施工の実態と管理基準値の妥当性の検証

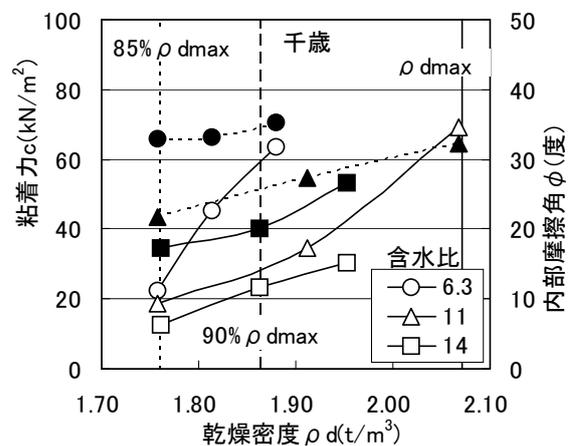
3.1 締固め度と含水比が強度へ与える影響

北海道開発局では、盛土の品質として締固め度 85%以上あることを基準としている。同じ締固め度であっても含水比が異なれば強度が異なる。そこで、9種類の試料について締固め度と含水比を変えて非排水非圧密条件(UU)で三軸試験を実施し、粘着力と内部摩擦角の変化を求めた。

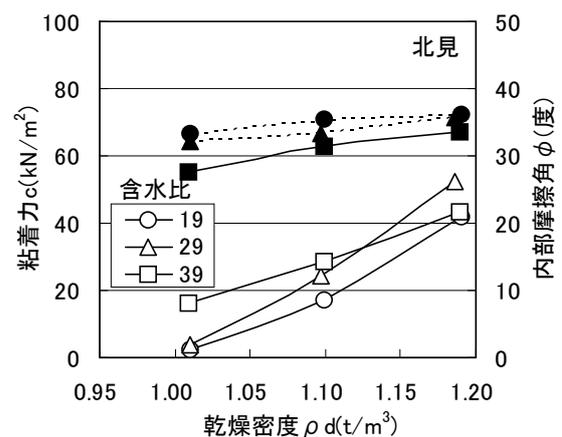
図-1は、締固め度を変えて作製した供試体のせん断強度を含水比ごとに示したものの例である。aは、礫質土で明確な最大乾燥密度を得ることのできる試料である。bは、明確な最大乾燥密度を得ることのできない火山灰である。いずれの試料であっても乾燥密度が大きくなる

と粘着力と内部摩擦角は大きくなる傾向にある。最大乾燥密度が明確な a では、11%が最適含水比であるが、最適含水比よりも低い含水比のとき、密度増加により粘着力の増加が大きくなった。同じ密度で比較すると、含水比が高くなると粘着力と内部摩擦角のいずれも低くなった。乾燥密度が大きくなると土質の強度は大きくなるが、わずかな含水比の増加により強度が低下する。他の試料でも同様の傾向であった。明確な最大乾燥密度を得ることのできない b では、含水比の増加による強度低下は a ほど大きくない。

全体的な傾向として、最大乾燥密度を得ることができる材料は、含水比増加による強度低下が大きく、明確な最大乾燥密度を得ることのできない材料は含水比増加による強度低下が小さかった。



a. 明確な最大乾燥密度を得ることのできる材料



b. 明確な最大乾燥密度を得ることができない材料

図-1 締固め度とせん断強度の関係(UU)の例

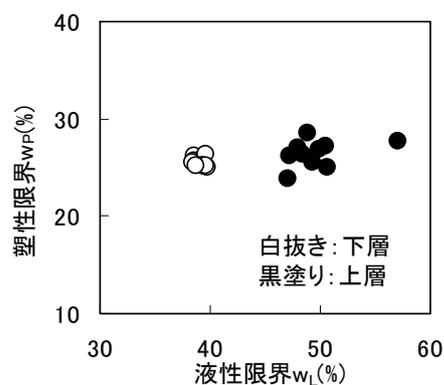
3. 2 盛土施工の実態

3. 2. 1 材料のばらつき

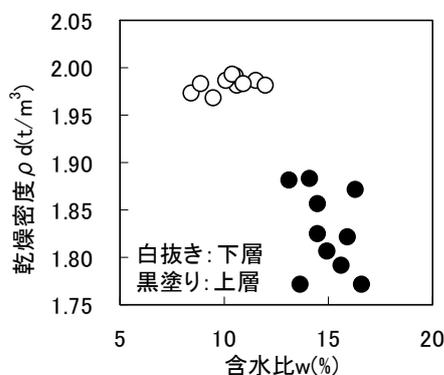
密度による盛土の品質管理を行う場合は、施工後の盛土より乾燥密度を計測し、これとあらかじめ使用する材料の基本物性値から得られる最大乾燥密度との比を求め、85%以上であることを確認する。施工する材料は1種類として、通常は1回の試験である。しかし、土材料は必ずしも同一な材料であるとは限らない。そこで、材料のばらつきを求めることとし、2つの現場で試験を行った。

1つの現場では、採取した試料について締固め以外の基本物性値を求めた。他の現場では、細粒分質砂質礫について異なる日に施工した上層と下層から試料を採取し基本物性値を求めた。なお、いずれも幅20m、長さ50mの範囲でそれぞれ10箇所から試料を採取した。

材料のばらつきの例として、図-2 a. に採取した試料の液性限界と塑性限界の関係を示す。異なる日に施工した上層と下層は見た目ではほぼ同じ材料であった。下層はほぼ同じ材料と考えられるが、上層は液性限界のばらつきが大きい。さらに上層と下層では、塑性限界はほぼ等



a. 液性限界と塑性限界



b. 最適含水比と最大乾燥密度

図-2 礫質土の基本物性値の例

しいものの両者は液性限界が異なっている。また、図-2 b. に同じ材料の最適含水比と最大乾燥密度を示す。実際の試験では両者で最大乾燥密度が異なっている。特に上層では最大乾燥密度のばらつきが大きい。

この現場では、下層はほぼ同じ材料により盛土したと考えられるが、上層は盛土施工時に多種多様な材料が混合された可能性が高く、締固め管理基準値にも影響がある。現行では、監督員の判断により材料の変化を確認しながら、材料試験を随時追加することになっているが、この対応はかなり難しいものと思われる。したがって、締固め基準値を決めるための物性値試験は監督員の判断に任せるだけではなく、例えば以前実施していた材料試験の頻度である 5000m³ に1回など適当な頻度を決めて実施した方がよい。

3. 2. 2 材料試験のデータと現場のデータの違い

北海道の42箇所について実際に施工で使用された材料の最大乾燥密度と施工前に実施した材料試験の最大乾燥密度を比較し、図-3 に示す。材料の土質にかかわらず、施工前に実施した材料の最大乾燥密度と実際に施工で使用された材料の最大乾燥密度はほぼ等しいが、中には、乾燥密度の差が0.5t/m³程度の場合もあり、締固めの管理基準値とすると品質を満足できない場合や締固め不足の盛土となる場合がある。

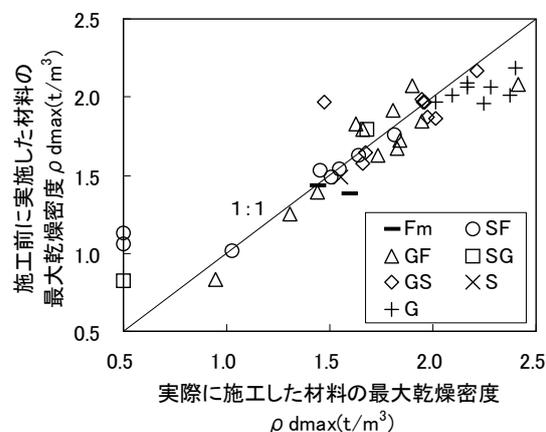


図-3 実際に施工で使用された材料と施工前に実施した材料の最大乾燥密度の関係

3. 2. 3 施工現場内のばらつき

現場のばらつきと基準値の関係を求めるため、明確な最大乾燥密度を得ることができる材料13試料について測定した密度の平均値、最低値と締固め度の関係を求めた(図-4)。13箇所の調査現場のうち、No.1、No.4、No.5、No.13の4箇所で締固め度85%を下回る箇所があった。

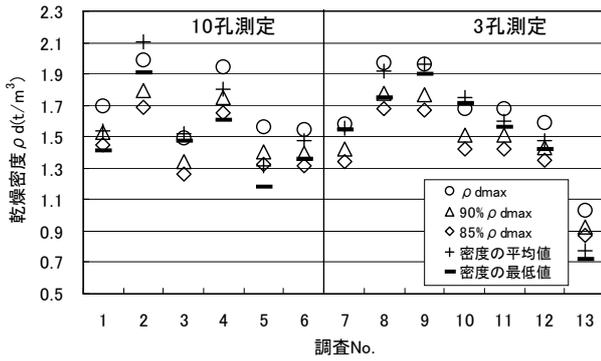


図-4 盛土の乾燥密度と基準締固め度の関係

このうち、No.1 および No. 4 は、平均値では締固め度 90% を上回っている。現在の品質管理方法は 1 孔測定 の最低値管理であるため、No.1 や No.4 で盛土の品質は不合格となる可能性があり、逆に No.5 や No.13 でも合格となる可能性がある。

各現場の平均値を示す「+」印は、No.5 および No.13 を除いて締固め度 90% を示す「△」印よりも大きくなっている。これらの傾向は、10 孔の測定と 3 孔の測定でも同様であり、現場の測定は 3 孔の測定でも良いと思われる。

以上より、現行の最低値 1 孔、締固め度 85% の管理よりも平均値 90% の管理とすることを提案する。なお、測定は 3 孔とする。

3. 3 衝撃加速度による盛土の品質管理方法の検証

3. 3. 1 衝撃加速度による盛土品質管理

図-5に示すように、物体が地面に衝突してから静止するまでに、その物体に負の加速度が働く。ある物体を自由落下させたとき、この物体が地面に設置してから静止するまでの加速度を衝撃加速度として測定した場合、土の締固め度に応じて衝撃加速度も変化する。したがって衝撃加速度を用いることにより、施工現場でリアルタイムに締固めの良否の判定が可能である。

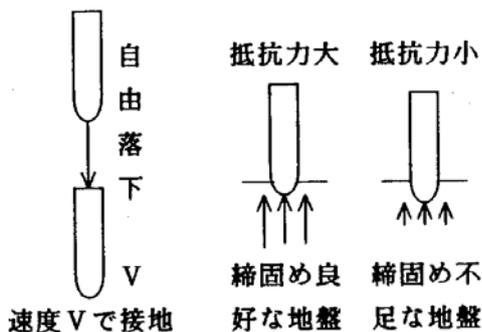


図-5 衝撃加速度

寒地土木研究所ではこの考えに基づき衝撃加速度を求める試験機を開発している。北海道開発局では、この試験機を用いて盛土の品質管理を行うことができる。品質管理方法は以下の通りである。図-6に示すように、締固め試験により、基準となる締固め度を求める。15cm モールド、2.5kg ランマーを用いて、突き固め回数を 1 層あたり 10、25、40、55 回の 3 層で突き固めを行い、各突き固め回数における衝撃加速度を測定し、衝撃加速度 (I) と乾燥密度 (ρd) の関係を求める。突き固め試験で得られた最大乾燥密度の 85% に対応する衝撃加速度を基準となる衝撃加速度 (I₀) とする。現場で衝撃加速度を求め、基準となる衝撃加速度以上であるかにより盛土の品質を管理する。

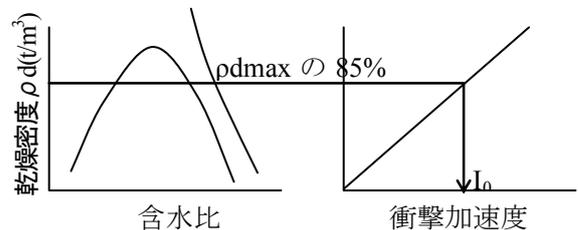


図-6 基準となる衝撃加速度

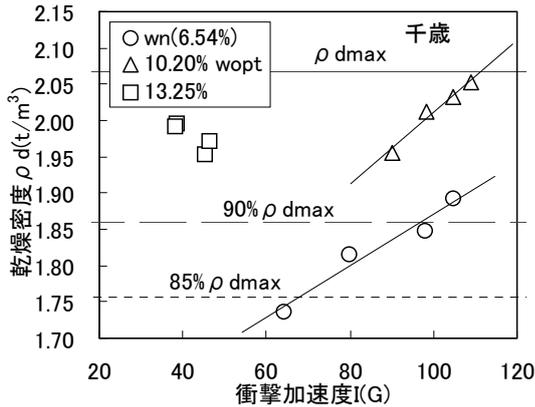
3. 3. 2 含水比と礫の混入が衝撃加速度へ与える影響

衝撃加速度による盛土の品質管理方法は、あらかじめ室内において突き固め回数を変えたときの衝撃加速度と乾燥密度の関係を求め、この関係から現場の密度を推定し、締固め度を求めるものである。この方法によれば、簡易、迅速、安価に盛土の品質管理を行うことができる。しかし、衝撃加速度は含水比の変化による影響を受けることが考えられることから、9 試料について自然含水比 (w_n) を中心として 3 種類の異なる含水比で、突き固め回数を変えて衝撃加速度と乾燥密度の関係を求めた。

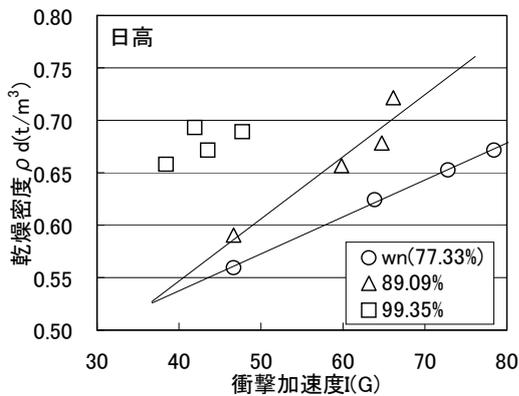
また、礫に直接ランマーが当たると衝撃加速度の値が大きくなることから、礫の混入が衝撃加速度に影響を与え、衝撃加速度の測定が正しく行われな可能性もある。衝撃加速度による密度の推定は、衝撃加速度と乾燥密度が良好な相関関係にあることが前提となる。そこで、礫質土 23 試料について突き固め回数を変えて衝撃加速度と密度の関係を求めた。

(1) 含水比が衝撃加速度に与える影響

同一試料について、含水比を変えて衝撃加速度と乾燥密度の関係を図-7に示す。明確な最大乾燥密度を得ることのできる a. では、自然含水比と最適含水比では、衝撃加速度と乾燥密度は相関性の高い比例関係にある。同じ衝撃加速度では、含水比が低いと低い密度となるので、



a. 明確な最大乾燥密度を得ることのできる材料



b. 明確な最大乾燥密度を得ることのできない材料

図-7 含水比の異なる試料の衝撃加速度と乾燥密度の関係例

室内試験時の含水比と現場施工の含水比はなるべく近い方がよい。明確な最大乾燥密度を得ることのできないb.では、自然含水比とこれより約10%湿潤側の含水比で、衝撃加速度と乾燥密度は相関性の高い比例関係にあった。いずれも含水比が高い場合、突固め回数を変えても衝撃加速度と乾燥密度に明確な関係は見られなかった。他の材料でもこのような関係が見られた。衝撃加速度による密度の推定では、衝撃加速度と乾燥密度が良好な相関関係になれば適用できない。自然含水比と最適含水比付近では、衝撃加速度と乾燥密度は、良好な比例関係を示した。

そこで、どのような土質で衝撃加速度と乾燥密度が比例関係になるのかを確認するために、比例関係を示さなかった材料の物性値を確認した。表-2はこれらをまとめたものである。衝撃加速度と乾燥密度とが比例関係にならなかったものは、試験時の含水比が最適含水比よりも高く、最適含水比に対する試験時の含水比が1.2倍程度

表-2 衝撃加速度と乾燥密度の関係

	最適含水比 wopt(%)	含水比 w(%)	コーン指数 qc(kN/m ²)	w/wopt
千歳	10.7	13.25	269	1.24
留萌	25.8	31.04	381	1.20
池田	22.2	27.12	299	1.22
根室	20.9	26.13	337	1.25
鹿追	33.0	40.85	61.3	1.24

であった。また、トラフィカビリティ試験によるコーン指数が300kN/m²程度であり、転圧しにくい材料であった。このような含水比状態では、衝撃加速度による品質管理を行うことができない場合がある。

(2) 礫の混入が衝撃加速度に与える影響

礫分の影響を明らかにするために、礫質土21試料について突き固め回数を変えて衝撃加速度と密度の関係を求めた。さらに両者の相関係数を求めた。これらの材料について礫補正が必要な材料について、礫補正の対象となる礫の混入率と相関係数の関係を図-8に示す。試験を行ったうち2試料が衝撃加速度と乾燥密度に良好な比例関係が見られなかった。このうち1試料は、トラフィカビリティ試験によるコーン指数、300kN/m²以下であり、施工が困難であると予想される。これ以外は、礫の混入率にかかわらずほとんどの試料で良好な比例関係が見られた。衝撃加速度と乾燥密度の関係を求めるための試験は、15cmモールドを使用するので、この試験が可能な37.5mm以下の粒径であれば、礫の混入の影響はないと思われる。これ以上の礫が混入する材料については、室内試験により、衝撃加速度と乾燥密度の関係を求めることができないので、衝撃加速度試験による適用が困難と考えられる。

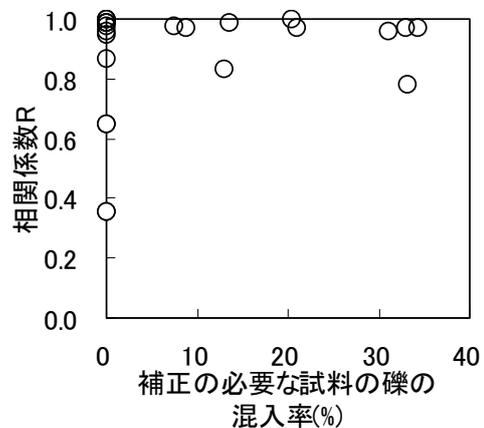


図-8 礫補正が必要な試料の礫混入率と相関係数

3. 3. 3 最大乾燥密度が得られない材料の品質管理値の検討

北海道の火山灰質粗粒土の中には、締固め曲線で明確な最大乾燥密度を得ることができない材料がある。この場合、北海道開発局では、盛土の品質管理を球体落下試験によるD値または、衝撃加速度試験による衝撃加速度(I)で行う。

衝撃加速度を導入する以前は、試験盛土による転圧回数、盛土沈下量、密度の変化などとD値を総合的に検討してD値の基準値を定めた。このことから、衝撃加速度による盛土の管理を導入するとき、D値の基準値と衝撃加速度を比較して衝撃加速度の基準値を決めた²⁾。しかし、十分転圧してもこのとき決めた基準値を満足できない現場が発生していることから、基準値の見直しを検討することとした。

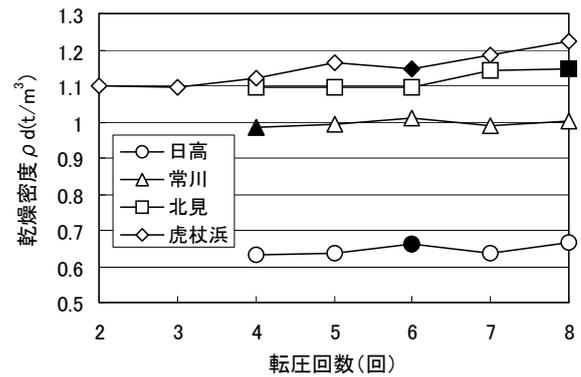
最大乾燥密度が明確に得られない火山灰質粗粒土5試料について転圧回数を変えて密度と衝撃加速度を求めた(図-9)。図中黒塗りは実際の施工時の転圧回数である。

日高、常川では転圧回数を大きくしても盛土の密度の増加はほとんどない。北見、虎杖浜では転圧回数を大きくするとわずかながら盛土の密度の増加が見られる。衝撃加速度については、虎杖浜で転圧回数の増加にしたがい衝撃加速度が大きくなっている。日高、北見では転圧回数の増加とともに衝撃加速度はわずかな増加が見られる。常川では転圧回数の増加とともに衝撃加速度は大きくなりその後、小さくなった。

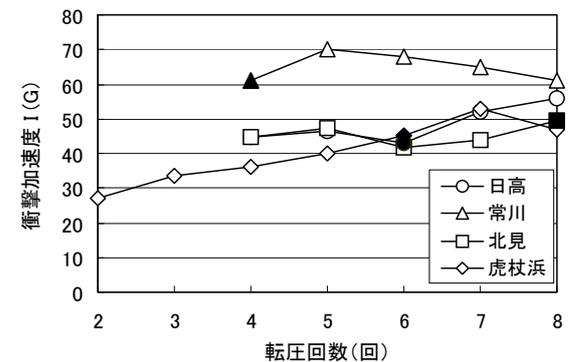
この5箇所の転圧試験では常川をのぞいて、転圧回数を大きくしても基準値である63Gの確保は困難であると考えられる。この試験施工では、すべての現場でタイヤローラでの施工ができ、コーン指数 $q_c=1000\text{kN/m}^2$ 以上であることから、良好な盛土であると判断できる。基準値である63G以下でも盛土としては十分であると考えられることから、基準値の見直しが必要であり、今後データの収集を行いたい。

3. 3. 4 衝撃加速度による現場密度の推定

衝撃加速度の現場への適用性を確認するため、20箇所の現場で、現場の衝撃加速度を測定し、あらかじめ室内で求めた衝撃加速度と乾燥密度の関係から現場の密度を推定した。衝撃加速度より推定した密度と砂置換により測定した密度を図-10に示す。GSとGFの2箇所で衝撃加速度により推定した乾燥密度と砂置換による乾燥密度はほぼ等しい。しかし、その他の試料は、礫混合率の大小、土質にかかわらず、砂置換による乾燥密度の方が、衝撃加速度により推定した乾燥密度よりも約10%大きい。過去の研究³⁾では、衝撃加速度より推定した乾燥密



a. 転圧回数と乾燥密度



b. 転圧回数と衝撃加速度

図-9 転圧回数と乾燥密度および衝撃加速度

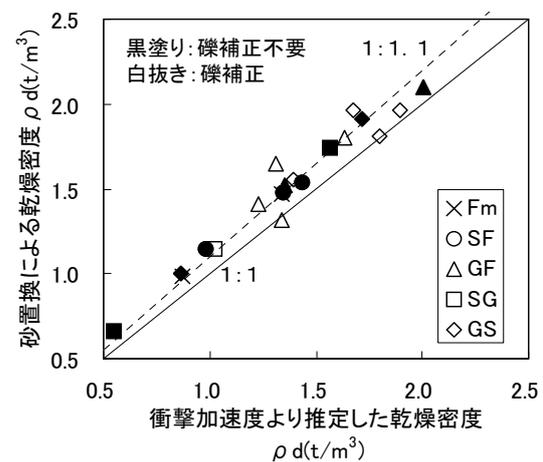


図-10 衝撃加速度より推定した密度と砂置換により測定した密度

度と砂置換による乾燥密度の関係はほぼ等しいことを確認している。今回の結果がこれまでの結果と異なる原因について今後検討したい。

3. 4 オーバーコンパクションを起こす材料の密度

盛土材料の種類によっては、施工時の転圧によりオーバーコンパクションを生じる場合がある。施工中にオーバーコンパクションを起こした材料による盛土について砂置換法により密度を測定した。図-11に盛土の乾燥密度を示す。盛土材料は、火山灰質粗粒土で締固めのしやすい材料である。オーバーコンパクションを起こしていない箇所の乾燥密度は $1.2\sim 1.4\text{t/m}^3$ である。オーバーコンパクションを起こした箇所の乾燥密度は $1.4\sim 2.0\text{t/m}^3$ であり、オーバーコンパクションを起こしていない箇所の密度よりもかなり大きい。これは、砂置換法での孔の掘削後、オーバーコンパクションにより孔壁が内側に膨らんできたため、掘削した孔の体積が小さくなり、計算上密度が大きくなったためである。図中「-」で示す箇所はオーバーコンパクションを起こしている可能性があったので、コアカッター法により密度を測定した。その結果、オーバーコンパクションを起こしていない箇所とほぼ同じであった。オーバーコンパクションを起こしている可能性がある現場では、砂置換ではなくコアカッター法による密度測定が望ましい。

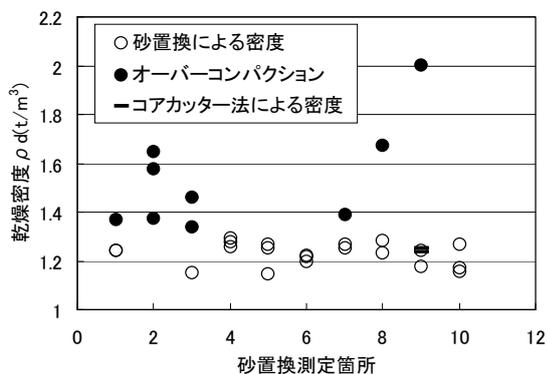


図-11 オーバーコンパクションを起こす材料の密度測定結果

3. 5 盛土施工の実態と管理基準値の妥当性の検証に関するまとめ

北海道開発局で施工する盛土の品質管理方法について、次のことがわかった。

- ① 盛土施工において、同一層の施工では同じ材料であると見なして良いが、層が異なれば違う材料である場合もある。また、材料試験と実際の施工で用いられる材料が異なる場合があるので、定期的な材料試験を行う必要がある。

- ② 施工現場では、かなりの密度のばらつきがあることから、盛土の品質管理は、現行の最低値1点管理よりも平均値管理とし、基準値を引き上げる。
- ③ 最適含水比に対する施工時の含水比が1.2程度以上で、トラフィカビリティ試験によるコーン指数が 300kN/m^2 程度以下である材料は、衝撃加速度試験による密度測定が適用できない場合がある。
- ④ 礫が多い材料であっても、礫補正をしなくても良い場合は、衝撃加速度試験による盛土の品質管理が可能である。
- ⑤ 明確な最大乾燥密度が得られない材料については、現行の基準値の見直しが必要である。
- ⑥ オーバーコンパクションを起こしそうな現場では、盛土の様子を確認し、場合によってはコアカッター法により密度を測定する管理とする。

4. 盛土施工機械と盛土の品質

盛土の締固めは、一般に、転圧機械を用いて施工される。転圧機械には、数多くの機種、規格があり、施工に際しては、現場条件、盛土材料に適した機種、規格を選択することが、良好な締固め施工を行うためには重要である⁴⁾⁵⁾。しかし、どの転圧機械が、どの材料に適しているかについて、詳細に示されたものは、筆者の知る限りでは見受けられないようである。そのため、転圧機械の選択は、現場の技術者が経験等により行っているのが実情である。したがって、現状の締固め施工は、必ずしも材料に適した転圧機械で施工されているとは限らない。

そこで、本研究では、6機種の転圧機械を用いて、様々な材料に対して締固めを行い、転圧回数と締固め度の関係を測定した。その結果より、材料に適した転圧機械の選択方法の検討を行った。

4. 1 実験方法

試験施工により、各転圧機械で締固めを行い、転圧回数と締固め度の変化を測定した。材料、および転圧機械は、試験施工現場の近傍の、実際の盛土施工で使用されるものを用いた。試験施工に用いた転圧機械は、振動ローラ、コンバインドローラ、ハンドガイドローラ、タイヤローラ、ランマ、ブルドーザの6機種である。北海道内の全72件で実施した。表-3には、試験施工を行った箇所の土質分類を示す。

4. 2 転圧機械の特徴⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾

表-4に、転圧機械の締固め能力に関連する緒元について、一般値で示す。なお、表-4中の、「起振力(kN)」とは、強制振動を伴って転圧することができる機械において、振動を発生させるために機械が起こす遠心力の最大

表-3 試験施工箇所の土質分類

		件数
		43
礫質土〔G〕	礫 {G}	6
	砂礫 {GS}	28
	細粒分まじり礫 {GF}	9
		29
砂質土〔S〕	砂 {S}	11
	礫質砂 {SG}	6
	細粒分まじり砂 {SF}	12
合計		72

値のことをいう。「線圧力 (N/m)」とは、転圧部位が鋼製ローラの場合、鋼製ローラにかかる荷重をローラ幅で除した数値で接地圧力を示した。それ以外の接地圧力は「面圧力 (kN/m²)」とした。

振動ローラは、大型の転圧専用機械である。今回の試験施工で用いた規格の重量は 10～12t であり、強制振動を伴って転圧することができる機械である。また、強制振動の起振力は 160～280kN となっており、強制振動する転圧機械としては、比較的大きな値となっている。接地圧力は、線圧力で示される機械の中で最大となっている。

コンバインドローラは、中型の転圧専用機械である。一般に、前輪に鋼製ローラ、後輪に空気タイヤを装着している。今回の試験施工で用いた規格の重量は 3～4t であり、強制振動を伴って転圧することができる機械である。強制振動の起振力は、20～25kN となっており、強制振動する転圧機械としては、比較的小きな値となっている。接地圧力は、線圧力で示される機械の中で 2 番目の値となっている。

ハンドガイドローラは、小型の転圧専用機械である。今回の試験施工で用いた規格の重量は 0.5～0.6t であり、強制振動を伴って転圧することができる機械である。強制振動の起振力は 9～12kN となっており、強制振動する転圧機械としては、小さな値となっている。接地圧力は、線圧力で示される機械の中で最小となっている。

タイヤローラは中～大型の転圧専用機械であり、今回の試験施工で用いた規格の重量は 3～15t である。強制振動機能は無いが、タイヤ空気圧とバラストを調整することにより、接地圧力を調整して転圧することができる。接地圧力は、面圧力で示される機械の中で最大となっている。

ランマは、小型の転圧専用機械である。今回の試験施工で用いた規格の重量は 0.05～0.07t であり、試験施工で用いた 6 機種の中で最も軽い。強制振動機能は無いが、内蔵されたスプリングにより、転圧板を打ち出し、打撃によりたたいて締固めを行う。接地圧力は、面圧力で示される機械の中で 1 番目の値となっている。

ブルドーザは、敷き均し等に用いられるクローラ式の建設機械であり、現場条件によっては転圧にも用いられる。今回の試験施工で用いた規格の重量は 7～13t となっている。強制振動機能は無い。接地圧力は、面圧力で示される機械の中で最小となっている。

4. 3 実験結果と考察

図-12 に、転圧機械ごとに、締固め度と転圧回数との関係を示す。図-12 より、コンバインドローラにおける 1 件を除き、転圧回数の増加に伴い、締固め度も増加する傾向が見受けられた。

図-13 には、転圧機械ごとに、締固め度 85%、および 90%を満たす平均転圧回数について、礫質土、砂質土に分けたものを、実験結果より求め、示す。ただし、締固

表-4 転圧機械の締固め能力に関連する緒元表（一般値）

機種	規格	重量 (t)	強制振動の有無	起振力 (kN)※1	転圧部位	接地圧力	
						面圧力 (kN/m ²)	線圧力 (N/m)※2
振動ローラ	11t 級	10～12	有り	160～280	鋼製ローラ	-	2.4～3.0
コンバインドローラ	3t 級	3～4	有り	20～25	鋼製ローラ ※3	-	1.4～1.6
ハンドガイドローラ	600kg 級	0.5～0.6	有り	9～12	鋼製ローラ	-	0.3～0.7
タイヤローラ	3t 級～13t 級	3～15	無し	-	空気タイヤ	200～500	-
ランマ	60kg 級	0.05～0.07	無し	-	転圧板	80～160 ※4	-
ブルドーザ	8t 級～12t 級	7～13	無し	-	クローラ	20～60	-

※1 起振力：振動を発生させるために機械が起こす遠心力の最大値。

※2 線圧力：鋼製ローラの接地圧力について、ローラに掛かる荷重をローラ幅で除した数値で示した。

※3 コンバインドローラは、鋼製ローラと空気タイヤを装着しているが、転圧能力に関して支配的な鋼製ローラを記載した。

※4 ランマの接地圧力は、打撃の力を転圧板の面積で除して算出した。

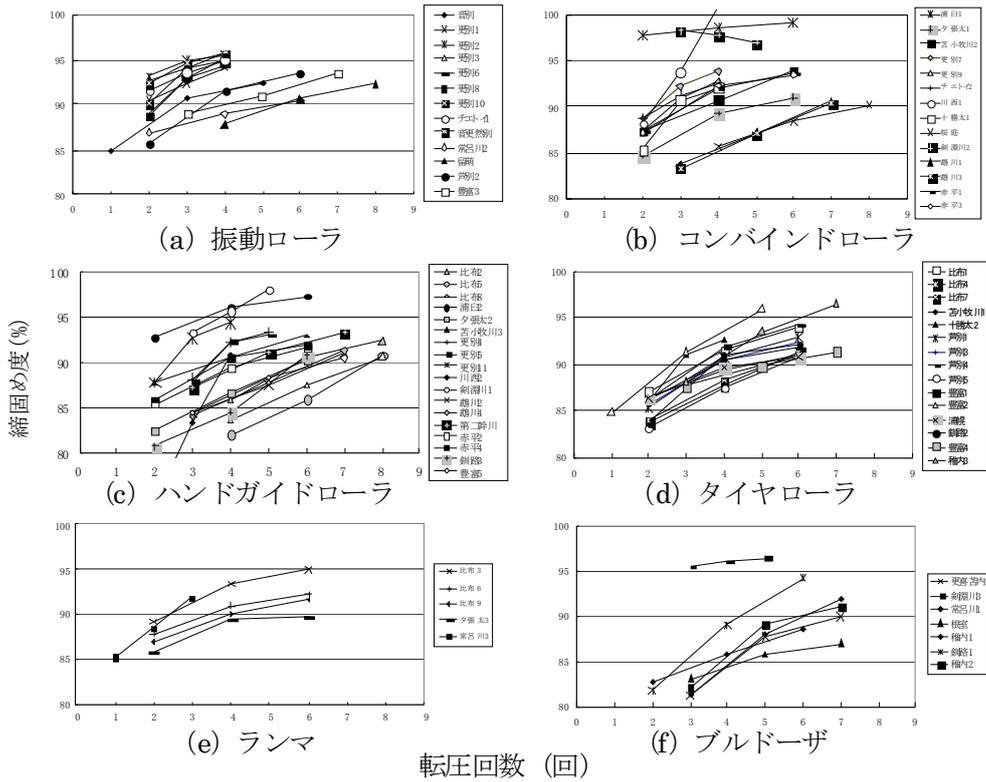


図-12 締固め度と転圧回数

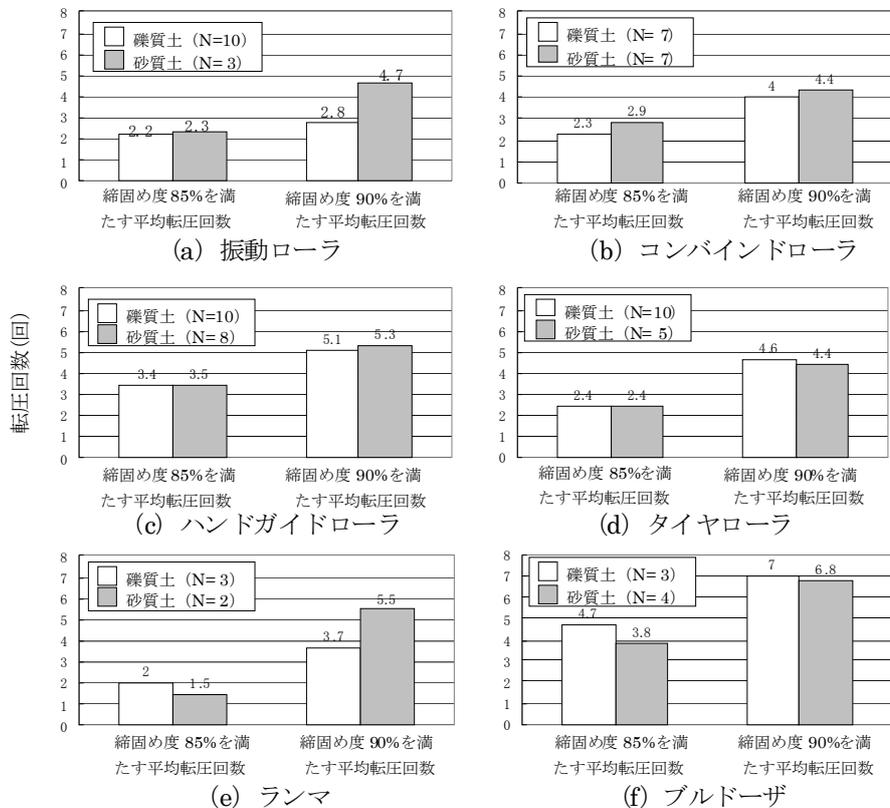


図-13 締固め度 85%、90%を満す平均転圧回数 (礫質土、砂質土分け)

め度が90%に達していないデータについては、締固め度と転圧回数の関係を示すグラフにおいて、グラフを直線延伸し、締固め度90%を満たす転圧回数を求めた。

図-13より、コンバインドローラ、ハンドガイドローラ、タイヤローラ、ブルドーザでは、礫質土と砂質土の平均転圧回数に、大きな差は見受けられなかった。これら4機種は、礫質土と砂質土のどちらにも、同程度の締固め効果を発揮するものと考えられる。

ランマは、礫質土と砂質土の平均転圧回数に差が見受けられ、締固め度85%で砂質土、締固め度90%で礫質土に効果があるように見受けられる。しかし、試料数が十分でないため確定することはできず、今後、試料数を増やし詳細に再検討する必要がある。

振動ローラは、締固め度90%を満たす平均転圧回数で、礫質土において平均転圧回数が小さくなる傾向が見受けられた。振動ローラは、強制振動を伴って転圧することができる機械である。強制振動には、土の粒子を揺すぶって粒子の移動を容易にし、高い締固めを得る効果がある。この強制振動による締固め効果が、特に礫質土で有効に作用したと考えられる。今後、礫質土に対する強制振動の有効性について、より詳細に検討する必要があると考えられる。

図-14に、同一材料に異なる機械で転圧を行った箇所について、転圧回数と締固め度の関係を示す。図-15には、締固め度85%、および90%を満たす転圧回数を図-14より求め、示す。表-5には、各箇所の材料特性、転圧条件を示す。

図-15より、比布、常呂川では、ランマの転圧回数が、タイヤローラ、ハンドガイドローラ、振動ローラ、ブルドーザに比べ、最も少なかった。ランマは、打撃によりたたいて締固めを行うことにより、軽量な割に大きな接地圧力で転圧することができる。また、打撃により振動が発生し、土の粒子を揺すぶって粒子の移動を容易にし、締固めを高める効果が発現していると考えられる。さらに、ランマは、他の機械が1回の通過で、1回（前輪又は後輪のみ）、もしくは2回（前後輪）の転圧しかできないのに対し、高速の繰り返し打撃により、1回の機械の通過で約20回程度の転圧を行うことができる。以上の理由より、ランマは他の機械より転圧回数が少なかったと考えられる。

常呂川、チエトイ、更別では、振動ローラの転圧回数は、ブルドーザ、コンバインドローラ、ハンドガイドローラに比べ、少ない傾向が見受けられた。振動ローラは、他の機械に比べ、強制振動が強く、接地圧力も高いため、

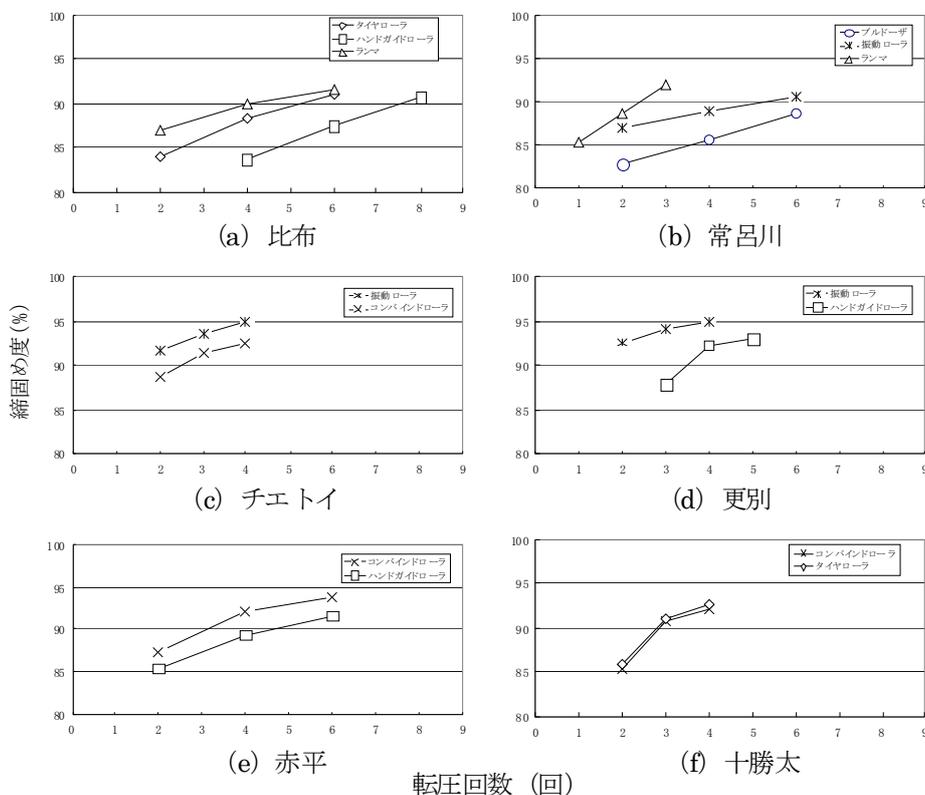


図-14 締固め度と転圧回数（同一材料に異なる機械で転圧した箇所）

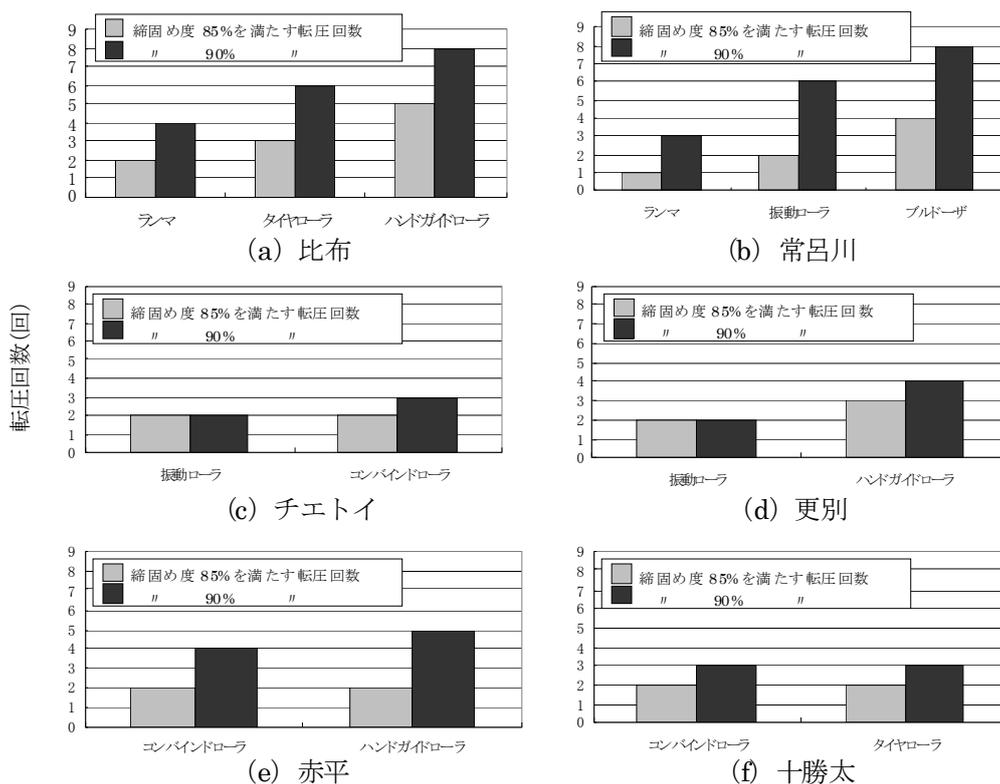


図-15 締固め度 85%、90%を満たす転圧回数 (同一材料に異なる機械で転圧した箇所)

表-5 材料特性と転圧条件 (同一材料に異なる機械で転圧した箇所)

箇所名	材料特性					転圧条件		
	自然含水比 Wn(%)	土質分類名	最大乾燥密度 (pdmax)	最適含水比 Wopt(%)	コーン指数 qc(kN/m ²)	転圧機械	規格	転圧回数
比布	6.2	細粒分まじり砂質礫 GS-F	1.994	7.8	1966	ランマ	60kg級	2,4,6回
						タイヤローラ	3t級	2,4,6回
						ハンドガイドローラ	600kg級	4,6,8回
常呂川	27.2	細粒分質礫質砂 SFG	1.527	21.8	1466	ランマ	60kg級	1,2,3回
						振動ローラ	11t級	2,4,6回
						ブルドーザ	8t級	2,4,6回
チェトイ	6.12	砂質礫 GS	1.962	5.5	-	振動ローラ	11t級	2,3,4回
						コンバインドローラ	3t級	
更別	7.90	砂質礫 GS	2.089	7.5	-	振動ローラ	11t級	2,3,4回
						ハンドガイドローラ	600kg級	3,4,5回
赤平	14.6	粘性土質砂質礫 GCsS	1.918	13.1	-	コンバインドローラ	3t級	2,4,6回
						ハンドガイドローラ	600kg級	
十勝太	11.6	シルト質砂質礫 GMS	1.97	10.1	-	コンバインドローラ	3t級	2,3,4回
						タイヤローラ	11t級	

少ない転圧回数で必要な締固め度を満たすことができたと考えられる。

赤平では、コンバインドローラの転圧回数は、ハンドガイドローラにくらべ、少ない傾向が見受けられた。コンバインドローラはハンドガイドローラに比べ、強制振動が強く、接地圧力も高いため、少ない転圧回数で必要な締固め度を満たすことができたと考えられる。

十勝太では、コンバインドローラとタイヤローラは、ほぼ同じ転圧回数となった。二つの機械の転圧は、同程度の締固め効果を得られると考えられる。

4.4 盛土施工機械と盛土の品質のまとめ

本報告では、6 機種 of 転圧機械で様々な材料を締め固め、転圧回数と締固め度の関係を測定した。その結果、以下の事がわかった。

- ① コンバインドローラ、ハンドガイドローラ、タイヤローラ、ブルドーザは、礫質土と砂質土のどちらの材料に対しても、同程度の締固め効果を発揮することができる。
- ② 礫質土を締め固めるには、振動ローラが適している。
- ③ 強制振動が強く、接地圧力が高い転圧機械ほど、少ない転圧回数で必要な締固め度を満たす。

5. まとめ

盛土施工の効率化と品質管理向上技術に関する研究により以下の点が明らかになった。

- ① 盛土施工において、材料試験や施工現場でばらつきがあることから、定期的な材料試験が必要であること、盛土の品質管理は、現行の最低値1点管理よりも平均値管理とし、基準値を引き上げる必要がある。
- ② 含水比が高い材料および礫補正が必要な材料は、衝撃加速度試験による密度測定が適用できない場合がある。また、明確な最大乾燥密度が得られない材料については、現行の基準値の見直しが必要である。
- ③ 施工機械により、締固め効果が異なり、礫質土を締め固めるには、振動ローラが適している。また、強制振動が強く、接地圧力が高い転圧機械ほど、少ない転圧回数で必要な締固め度を満たす。

参考文献

- 1) 北海道開発局：道路河川工事仕様書、2011.4
- 2) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説、2004.6
- 3) 衝撃加速度による盛土の品質管理方法、第35回北海道開発局技術研究発表会、1991.2
- 4) 日本道路協会：道路土工盛土工指針（平成22年度版）、2010.4
- 5) 日本建設機械化協会：建設機械施工ハンドブック（改訂3版）、2007.2
- 6) 酒井重工業（株）HP：<http://www.sakainet.co.jp/index.htm>
- 7) コマツ建機販売（株）HP：<http://www.komatsu-kenki.co.jp/>
- 8) キャタピラー・ジャパン（株）HP：<http://japan.cat.com/>
- 9) 三笠産業（株）HP：<http://www.mikasas.com/>

A STUDY ON IMPROVING EMBANKMENT CONSTRUCTION EFFICIENCY AND TECHNOLOGIES FOR ENHANCING QUALITY CONTROL

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2009-2011

Research Team : Cold-Region Construction Engineering

Research Group (Geotechnical)

Author : NISHIMOTO Satoshi

SATO Atsuko

ADACHI Takayuki

YAMADA Mitsuru

Abstract : The quality of embankments is usually managed in line with their degree of compaction, which is currently calculated from the ratio of the dry density during embankment construction to the maximum dry density of the embankment material in question. In many cases, the dry density of embankments during construction is ascertained using the sand replacement method, which affects the progress of construction due to the time-consuming nature of measurement and the finalization of results.

As the approach is resource-intensive in terms of time and labor, whole embankments are managed using measurement at a representative point. Simple management of the entire structure in this way allows construction of high-quality embankments.

This study seeks to clarify the current status of embankments, and examines the range of application for impact acceleration testing (for factors such as water content and the influence of materials) as a means of enabling simple and overall embankment quality management. Data on embankment construction methods actually implemented will also be collected to allow identification of embankment construction machines suitable for different materials.

Keywords : embankment; quality control; density; strength; impact acceleration