

北海道における盛土の締固め管理に関する検討

Examination concerning soil compaction management of fill in Hokkaido

土木研究所 寒地土木研究所 ○ 正員 佐藤厚子 (Atsuko Sato)
土木研究所 寒地土木研究所 正員 西本 聡 (Satoshi Nishimoto)
北見工業大学 フェロー 鈴木輝之 (Teruyuki Suzuki)

1. はじめに

盛土施工時の品質管理は、強度と密度に相関性があること、簡易で安価な測定が可能なことなどから、盛土施工箇所では密度を測定し、締固め度を計算する方法が多く用いられている¹⁾。一方、近年、安全安心な社会資本の構築が求められており、道路盛土や河川堤防が異常気象による豪雨や地震災害に対して、十分な安全な構造物であるかの関心が高まってきている。

そこで、現行の締固め度と強度の関係を求めるとともに、施工現場のばらつきを確認した。本報告はこれらをまとめたものである。

2. 北海道開発局の盛土の品質管理方法²⁾

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、測定頻度は 1,000m³に1回である。

北海道開発局では過去に締固め度を平均値 90%の管理としていたが、国土交通省（建設省）との統合により、85%の管理となった。このとき、基準値の低下による盛土の品質低下を防止するため、平均値管理から最低値管理とした。管理基準の変更から相当の時間が経過し、現行の管理で実際に最低値管理が徹底しているかの問題がある。

締固め度を満足できない場合には、監督員と協議の上飽和度・空気間隙率管理を用いることができる。飽和度・空気間隙率管理は、含水比が高いことから、北海道開発局ではあまり用いられていない管理方法である。

砂置換法は結果の判明まで時間を要することから、北海道開発局独自の試験方法として、衝撃加速度により、盛土の密度を推定する方法がある。大土工で用いられている実績はあるが、対応できる含水比の変化が明確になっていない。

北海道では、火山灰を対象とする土工が多い。北海道

の火山灰の中には、明確な最大乾燥密度が得られないため、締固め度による品質管理が適用できない場合がある。この場合、球体落下試験機または衝撃加速度試験機により、盛土の強度を求め品質を管理する。

3. 試験内容

3.1 室内試験

① 締固め度と含水比がせん断強度へ与える影響

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。

② 密度が盛土の安定性に与える影響³⁾

密度と盛土の安定性を確認する目的で標準砂とカオリン粘土を混合させた材料を最適含水比状態で締固め度 85、90、95、100%として圧密排水条件(CD)で三軸試験を行い、得られた強度定数から常時と地震時の盛土の安定性を計算した。盛土断面は、天端幅 2.5m、盛高 5m、のり勾配を 1:1.5、1:1.2 とした。

③ 含水比が衝撃加速度へ与える影響

衝撃加速度により盛土を品質管理する場合は、あらかじめ室内において乾燥密度と衝撃加速度との関係を求め、基準締固め度に対応する衝撃加速度(基準衝撃加速度)を定める。この基準衝撃加速度が含水比の違いにより影響を受けることが考えられるため、8 試料について含水比変えて衝撃加速度と乾燥密度の関係を求めた。

3.2 現場試験

① 材料のばらつき

施工する土砂のばらつきとして、1 試料について盛土の施工中に、任意の位置の上下層から幅 20m、長さ 50m の範囲で、10 箇所から採取した材料の基本物性を求めた。

② 品質管理データと実際の現場のばらつき

7 箇所について施工前に実施した材料試験の最大乾燥密度と実際に施工された材料の最大乾燥密度を比較した。

③ 施工現場のばらつき

実際の現場では、施工状況により締固めの程度が異なる。このばらつきを求めるため、7 箇所において、約 15m×15m の範囲で 10 孔の砂置換を実施した。

④ 衝撃加速度と砂置換の整合性

10 箇所について、あらかじめ室内試験により自然含水比状態の材料について、15cm モールド、2.5kg ランマーにより、1 層当たり 10、25、40、55 回突固めたときの密度と衝撃加速度の関係を求め、この関係から推定し

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

管理方法	基準値	摘要
締固め度	85%以上	—
飽和度 空気間隙率	85～95% 2～10%	監督員と協議の上
衝撃加速度	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る
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。

た現場の密度と砂置換で得られた密度を比較した。

⑤ 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。

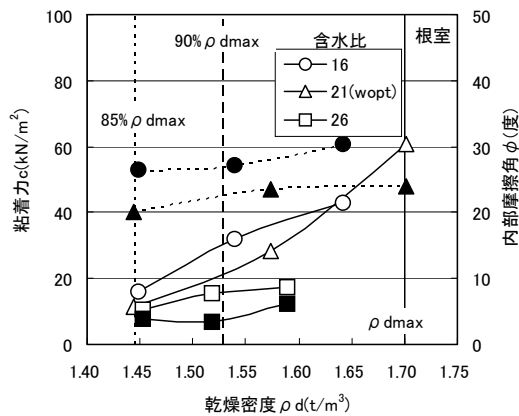
衝撃加速度を導入する以前は、試験盛土による転圧回数、盛土沈下量、密度の変化などと D 値を総合的に検討して D 値の基準値を定めた。このことから、衝撃加速度による盛土の管理を導入するとき、D 値の基準値と衝撃加速度を比較して衝撃加速度の基準値を決めた。しかし、十分転圧しても基準値を満足できない現場が発生していることから、基準値の見直しを検討する。4 試料の火山灰質粗粒土について転圧回数を変えたときの衝撃加速度の変化を求めた。

4. 試験結果

4.1 室内試験

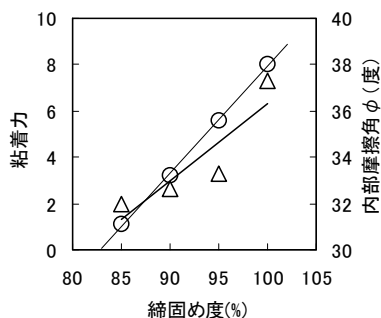
① 締固め度と含水比がせん断強度へ与える影響

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一例である。試料は砂質土である。締固め度が大きくなると粘着力は大きくなる。また、最適含水比とこれよりも低い含水比のとき、締固め度の増加に伴い粘着力の増加割合が大きい。これに対して内部摩擦角は、締固め度が大きくなっても大きな変化はない。同じ乾燥密度の場合、含水比が高くなる



白抜き：粘着力 黒塗り：内部摩擦角

図－1 締固め度とせん断強度の関係(UU)



図－2 締固め度とせん断強度の関係 (CD)

と飽和度が大きくなったことを示すが、飽和度が高くなると粘着力、内部摩擦角ともに小さくなる。内部摩擦角の低下が大きい。

以上より、非排水非圧密試験で求めた粘着力は締固め度の影響を、内部摩擦角は飽和度の影響を受ける。他の試料でも同様の傾向であった。

② 密度が盛土の安定性に与える影響

CD 条件による締固め度とせん断強度の関係を図－2 に示す。UU 条件と同様に締固め度が大きくなると粘着力、内部摩擦角は大きくなった。この試験結果を基にして円弧滑り法により盛土の安全率を求め、図－3 に示す。締固め度が大きくなると安全率も大きくなった。この条件では、どちらも締固め度 85%では安定性を確保できず、締固め度 90%では安定性を確保できることが分かった。

地震時では、のり面勾配 1:1.2、1:1.5 ともに締固め度 85%を確保できず、1:1.2 では、締固め度 90%でも確保できなかった。

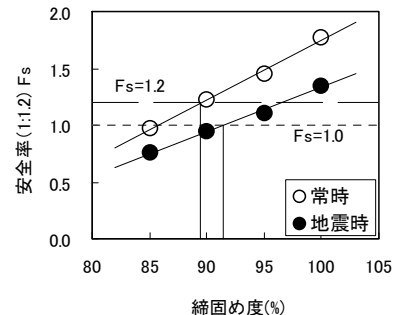
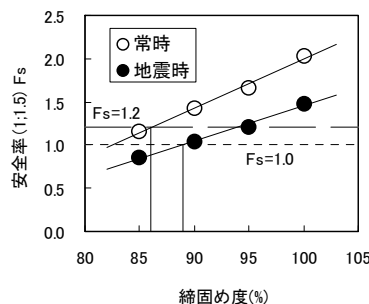
③ 含水比が衝撃加速度へ与える影響

盛土の密度を衝撃加速度を用いて推定する場合、あらかじめ室内において、突固め回数を変えて作製した供試体の衝撃加速度を測定し、乾燥密度との関係を求める。衝撃加速度は、含水比の影響を受けることから、自然含水比を中心として3種類の異なる含水比で、突固め回数を変えて衝撃加速度を求めた(図－4)。自然含水比とこれより乾燥側の含水比では、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。盛土の品質としては安全側となるが、厳しい条件となるので、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。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が、これらの材料は突固めた供試体のコーン指数 $qc \leq 300 \text{ kN/m}^2$ の場合が多く、トラフィカビリティを確保できないため施工できない材料である。このことから、施工可能な材料では、衝撃加速度と乾燥密度は良好な相関関係を得ることができ、盛土の品質管理に用いることができる。

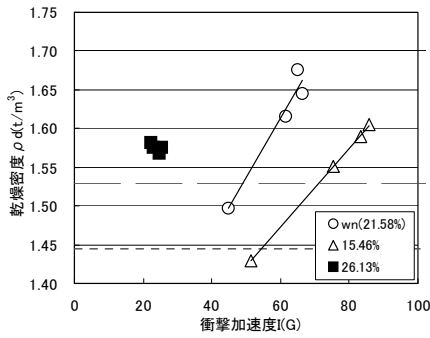
4.2 現場試験

① 材料のばらつき

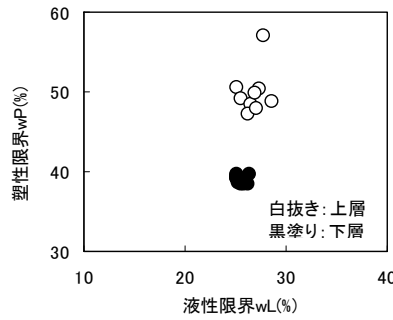
施工した土砂のばらつきとして、同じ土取場より発生



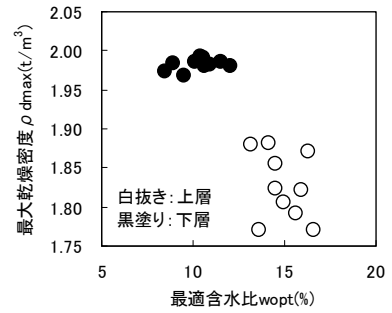
図－3 締固め度と盛土の安全率



図－4 衝撃加速度と乾燥密度の関係



図－5 液性限界と塑性限界



図－6 最適含水比と最大乾燥密度

した材料による盛土施工箇所から上層、下層それぞれ10箇所採取して、基本物性値を求めた。図－5に液性限界と塑性限界の関係を示す。下層はほぼ同じ材料と考えられるが、上層は塑性限界のばらつきが大きい。さらに上層と下層では、液性限界はほぼ等しいものの両者は塑性限界が若干異なっている。また、図－6に同じ材料の最適含水比と最大乾燥密度を示す。見た目ではほぼ同じ材料であったが、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。施工時には多種多様な材料が混合した可能性が高い。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、これはかなり難しいものと思われる。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なく、適当な頻度で実施した方が良い。品質管理を行うための基準密度の設定に不都合が生じる。

② 品質管理データと実際の現場のばらつき

7箇所について盛土施工のために事前に試験した材料の最大乾燥密度と施工時の最大乾燥密度の関係を図－7に示す。約半数は事前試験と実際の材料の最大乾燥密度はほぼ等しいが、残りは若干異なっており、中には 0.3t/m^3 以上の差がある場合もあり、基準値に問題が発生すると考えられる。

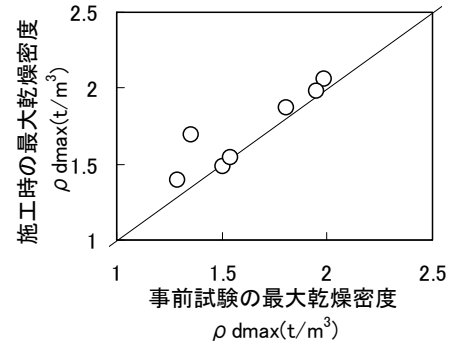
③ 施工現場のばらつき

図－8に砂置換により得られた乾燥密度を示す。図中○印は締固め度85%である。現在の品質管理方法では、締固め度85%を下回ることがない管理方法となっているが、7箇所の調査現場のうち、2箇所で締固め度85%を下回る箇所があった。1点測定での最低値管理では、最低値を満足できない場合があり、基準または、測定方法の改定が必要と思われる。

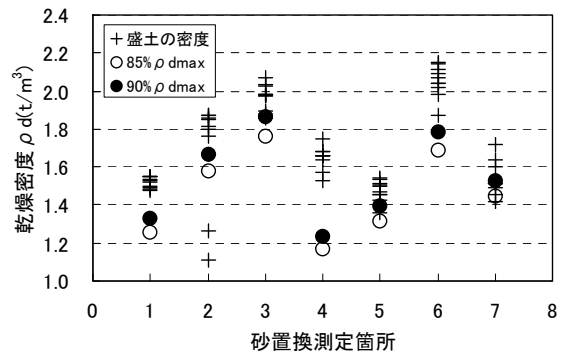
図より現場ではかなりのばらつきがあることが明らかであり、現行の最低値1点管理よりも平均値管理とし、基準値を引き上げことを提案する。ちなみに、図中●印は締固め度90%であるが、平均値90%の管理値としても盛土は合格する。

④ 衝撃加速度と砂置換の整合性

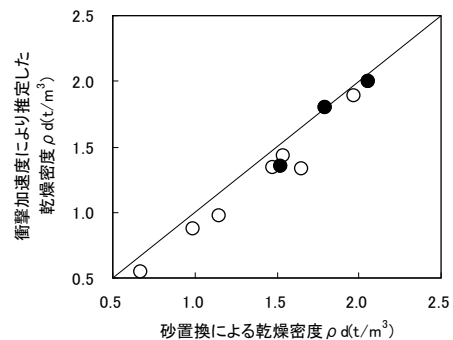
現場での測定した衝撃加速度から推定した乾燥密度と砂置換で得られた乾燥密度の関係を図－9に示す。砂置換による乾燥密度と比較して現場の衝撃加速度から推定した乾燥密度は低い傾向にある。図中黒塗りは、室内試



図－7 事前試験と施工時の最大乾燥密度



図－8 砂置換のばらつき



図－9 砂置換による乾燥密度と衝撃加速度により推定した衝撃加速度

験時に突固め回数10回から55回までの範囲内にデータが収まった場合で、白抜きはこの範囲からはずれていた。このため、白抜きでは衝撃加速度と乾燥密度を比例

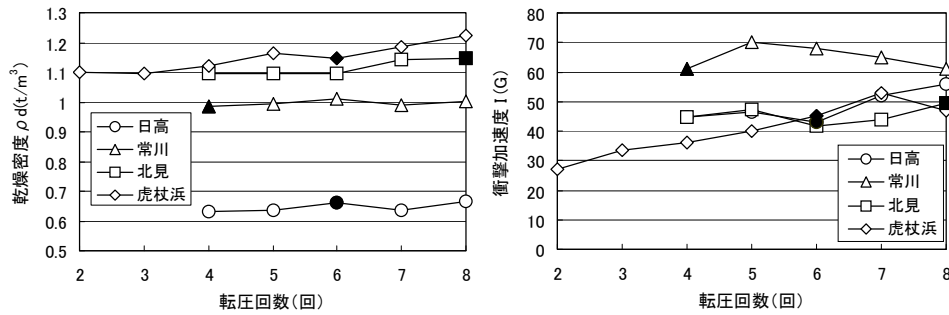


図-10 転圧回数と乾燥密度および衝撃加速度

関係にあるとして、この関係から推定した。範囲からはずれると必ずしも比例関係にないことも考えられるので、推定した乾燥密度と現場の乾燥密度とが一致しなかったものと思われる。今後この原因と室内試験の突固め回数を検討したい。

⑤ 最大乾燥密度が得られない材料の品質管理値の検討

最大乾燥密度が明確に得られなかった火山灰質粗粒土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-10)。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。常川、北見では転圧回数の増加に伴い衝撃加速度はわずかな増加が見られる。日高では転圧回数の増加に伴い衝撃加速度は大きくなりその後小さくなった。

この4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。また、試験施工では、すべての現場でタイヤローラによる施工ができ、良好な盛土であったことから、基準値である63Gの見直しが必要であり、今後データの収集を行いたい。

⑥ 試験施工に用いられた建設機械

施工に用いられた建設機械と締固め回数を表-2に示す。これらの12箇所の盛土は表中の施工状態で十分な品質を確保できた。材料の土質による傾向をまとめるにはデータが乏しいが今後の盛土施工の参考となる。

5. まとめ

これまでの検討結果より次のことがわかった。

- ① 締固め度が低くなるとせん断強度は低くなり、締固め度85%ではのり勾配により、盛土の安定性を確保できない場合がある。
- ② 北海道開発局で示されている衝撃加速度による盛土の品質管理方法は、含水比が衝撃加速度へ与える影響が大きいものの、トラフィカビリティを確保でき施工できる範囲の強度であれば、盛土の品質管理として良好な方法である。

表-2 盛土施工の締固め機械

箇所名	敷き均し機械	転圧機械	重量	転圧回数
日高	湿地ブル D3C	タイヤローラ RT205	12t	6回
常川	湿地ブル	タイヤローラ	10t	4回
北見	—	タイヤローラ	8~10t	8回
千歳	—	タイヤローラ	8~10t	8回
鹿追	—	タイヤローラ	23.6t	5回
根室	—	ブルドーザ 30型 31P		5回
池田	普通ブル	コンパインドラローラ	3~4t	5回
千代田	—	タイヤローラ	3t	4回
庄内川	—	振動ローラ	10t	
釧路	ブル D31P	—		6回
虎杖浜	—	4t コンパインドラローラ(振動あり)	4t	6回
岩手	ブル D6(21t)	振動ローラ	13t	6回

③ 品質管理のために行う材料と実際の盛土材料が異なる場合があるので、締固め基準値を決めるための物性値試験を適当な頻度を実施する。

④ 施工現場では密度のばらつきが大きいので、現行の管理基準値である1点測定での最低値締固め度85%管理より測定頻度を多くして平均値90%の管理値とした方が盛土の品質向上につながる。

⑤ 現場での測定した衝撃加速度が室内試験の範囲に入らない場合があるので、衝撃加速度と乾燥密度の関係を求める室内試験の突固め回数を検討する必要がある。

⑥ 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の品質管理法としての衝撃加速度は、現行では実態と合致しない場合があるので、基準値の見直しが必要である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路土工要綱 p.334、2009.6
- 2) 北海道開発局：道路河川工事仕様書、2010.4
- 3) 地盤工学会：土質試験の方法と解説 pp.553-603、2009.12