

振動締固めによる法面の品質改善効果とその管理手法について

九州大学 学○脇坂昂大 正 石蔵良平 正 安福規之
(株)浅川組 谷山充

1.はじめに

盛土は経済的かつ環境問題にも対応できる今後もなくはない土構造物のひとつである。しかしながら、盛土の性能の検査には不確定な要素が多く含まれており、そのため盛土の設計において安全側の判断がなされてきた¹⁾。一般に盛土は天端における締固め度で管理されているが、のり面では直接的に管理する規定はなく、管理規定に改善の余地があると考えられる²⁾³⁾。そこで、本研究は「盛土法面の締固めによる効果の検証」と「盛土法面の品質管理手法の提案」を目的とした。同時に、本研究では、盛土法面用締固め装置（以下、振動ブレーカ）の開発も行ってきた⁴⁾。報告では、様々な土質で現地にて締固め実験を行い、締固めた盛土の品質について、RI 装置による密度測定と本研究室で開発した重錘落下式たわみ測定装置⁵⁾（Falling Weight Deflectometer、以下、改良型 FWD 装置）（図-4）および振動ブレーカを用いて検討を行い、実用化に向けた検討を行った。

2.現場実験概要

造成した盛土の概略図を図-1 に示す。まず、現地で採取した土砂により幅 12m、高さ 2m、奥行き 4m、のり面勾配 1:1.8 の盛土を造成した。天端は撒き出し厚 30cm のごとに振動ローラーを 8 回転圧し、のり面は所定の盛土高さになった後、バックホウのバケットの背を用いて形状を整えた。その後、天端、のり面ともに表面から 40～50cm を現地土砂、その他の土砂、まさ土の 3 種類の異なる試料に置き換えた。のり面は振動ブレーカおよび、バックホウによる土羽打ちの二種類の方法での締固めを行った。各試料の基本的物性値および、粒度分布を表-1 および図-2 に示している。のり面では振動ブレーカの締固め時間を 0 秒、1.5 秒、3 秒、4.5 秒、6 秒、9 秒、12 秒とし、土羽打ちの締固め回数を 0 回、1 回、3 回、5 回、7 回、10 回、15 回と変えて締固めを行った。各条件で締固めた後、FWD 測定と RI 測定による密度測定を行った。締固め度については、次式を用いた。

$$D_c = \frac{\rho_d}{\rho_{dmax}} \times 100 (\%) \quad (2)$$

ρ_d : 現場密度、 ρ_{dmax} : 室内締固め試験

3.土質の違いによる締固め度の変化

図-3(a),(b)に、法面での土羽打ちおよび振動ブレーカの締固め回数、時間と締固め度の増加率の関係を示す。土羽打ちによる締固めでは、締固め回数が初期において、すべての試料で締固め度が増加しているが、締固め回数の増加に伴う著しい増加は見られない。振動ブレーカでは、締固め時間が増加するに伴い、締固め度が増加している。両者を比較すると、振動ブレーカの締固め度方が全体的に高くなっており、振動ブレーカによる締固め効果が大きくなる傾向を示した。

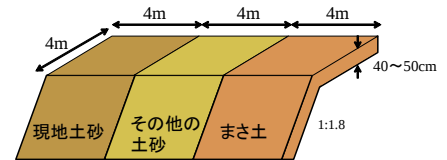


図-1 造成した盛土の概略図

表-1 用いた試料の基本的物性値

	現地発生土	その他の土砂	真砂土
$\rho_{dmax}(g/cm^3)$	2	1.98	1.98
$w_{opt}(\%)$	8.92	10.88	9.36
$w_{nature}(\%)$	11.7	12.05	7.83

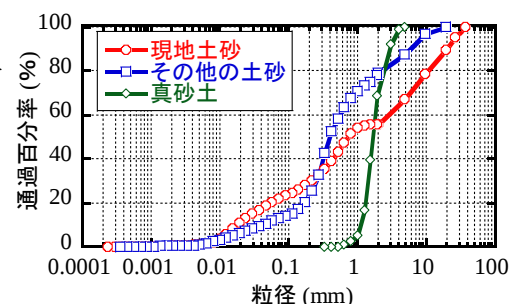


図-2 各試料の粒度分布

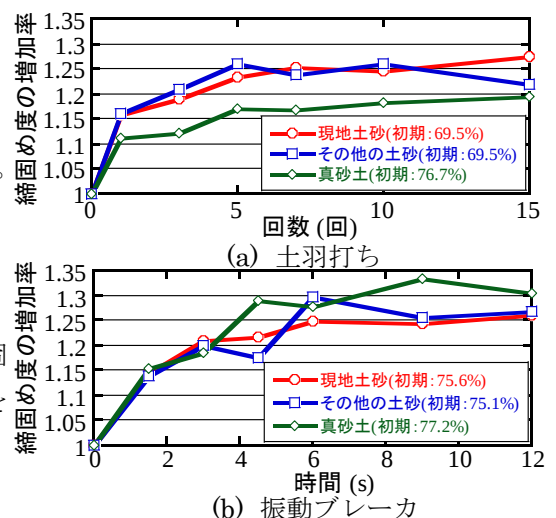


図-3 締固め回数、時間と締固め度の関係

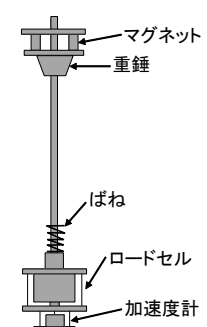


図-4 改良型 FWD 装置概略図

4.改良型 FWD 装置による FWD 係数の考え方

図-4 に示す改良型 FWD 装置では、重錘を地盤に落下させ、バネを介して地盤に生じる荷重と加速度を測定する。測定荷重を載荷板の面積で除し応力を求め、加速度は2階積分することによって変位に換算する。得られた最大応力を σ_{max} とし、その時に生じた変位を u_{max} とすると、FWD 係数 k_f は次式で与えられる。FWD 係数が大きいほど剛性の高い地盤として評価される。FWD 係数は地表面から 10cm 程度までの剛性を評価できる。室内実験では、同一含水比において締固め度と FWD 係数に正の相関があることが既に明らかとなっている。

$$k_f = \sigma_{max} / u_{max} \text{ (MN/m}^3\text{)} \tag{1}$$

5.法面品質管理手法の提案

図-5 に現場実験で得られた現地土砂の FWD 係数のヒストグラムを示す。図-5 に示すように、FWD 係数のヒストグラムは概ね対数正規分布に従う傾向を示した。図-6 に FWD 係数と RI 乾燥密度の関係を示している。三種類すべてについて行っているが、ここでは現地土砂のみを示す。図-6 に示すように、土羽打ちよりも振動ブレーカによって締固めた盛土の乾燥密度の方が全体的に大きな値を示している。また、天端における乾燥密度・ K_f 値と比べると法面における乾燥密度・ K_f 値は小さくなっている。各方法で締固めた盛土法面の測定点の中で締固め度が 90%以上の割合は、土羽打ちで 5.6%、振動ブレーカで 64%となった。次に、FWD 係数を用いた管理基準の決定方法として、検出率(赤い領域の「両方の基準を満たしている」もしくは「両方の基準を満たしていない」が FWD 係数が正しく乾燥密度の基準を判断できている)を用いた。表-2、3 にその検出率の結果を示す。締固め度 90%を盛土法面の締固め管理基準として用いる場合は、FWD 係数を用いることで、検出率が 70%程度を示しており、法面の品質管理に FWD 係数を用いることができる可能性を見出した。

6.まとめ

盛土法面の締固めでは、土質の種類によらず、土羽打ちよりも振動ブレーカの締固め効果の方が大きい。また、土質の種類によらず、FWD 係数と乾燥密度の間には、緩やかな相関があることが明らかとなった。締固め度の管理基準値が 90%の場合の検出率は、土質の種類によらず 70%程度となり、法面の品質管理に FWD 係数を用いることができる可能性が示された。ただし、締固め度の管理基準値が 80%の場合には 90%近くの検出率を示すため、盛土法面の締固め度の管理基準値を新たに設定できれば、盛土法面の品質管理に FWD 係数を用いる可能性は大きくなると考えられる。

〔謝辞〕本研究は、(株)浅川組の共同研究としての支援および NEXCO 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金の支援を得て行われたものである。
〔参考文献〕1) 龍岡文夫：盛土の締固め管理と設計の協働の必要性 基礎工,pp.2~9,2009 2)Suman Manandhar et al :Future of static and dynamic field compaction of embankment slope.土木学会西部支部研究発表会 ,pp.413~414,2012 3)末永怜士：締固め度に着目した盛土法面の品質評価 土木学会西部支部研究発表会 ,pp.411~412,2012 4)小林泰三ら：油圧ブレーカの打撃エネルギーを利用したバックホウによる法面締固め技術の開発 建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集,pp.171~120,2012 5)属寛：重錘落下式変形係数測定装置を用いたセメント安定処理土の変形・強度特性の評価 土木学会論文集,pp.283~292,2002

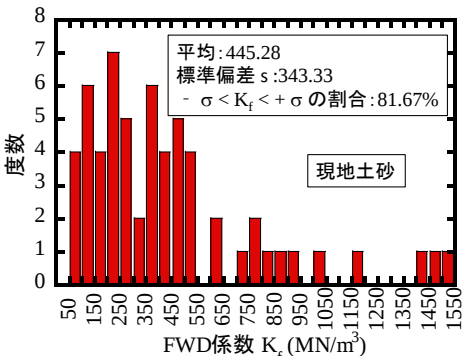


図-5 FWD 係数のヒストグラム

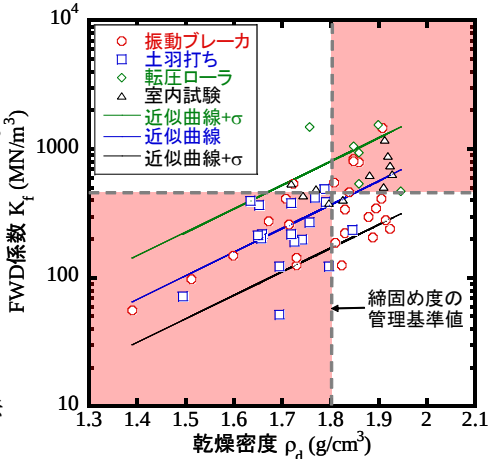


図-6 FWD 係数と RI 測定乾燥密度の関係

表-2 近似曲線を用いた検出率

(a) 締固め度の管理基準値が Dc=90%の場合			
	現地土砂	その他の土砂	真砂土
Dc=90%以上の割合	48.30%	33.90%	57.60%
近似曲線+σ での検出率	53.33%	64.29%	52.54%
近似曲線での検出率	46.67%	42.86%	49.15%
近似曲線-σ での検出率	46.67%	32.14%	50.85%

(b) 締固め度の管理基準値が Dc=80%の場合			
	現地土砂	その他の土砂	真砂土
Dc=80%以上の割合	93.33%	92.86%	96.61%
近似曲線+σ での検出率	15.00%	17.86%	16.95%
近似曲線での検出率	61.67%	58.93%	61.02%
近似曲線-σ での検出率	83.33%	83.93%	86.44%

表-3 FWD 係数を用いた検出率

管理基準値がDc=90%の場合		管理基準値がDc=80%の場合	
	現地土砂		現地土砂
Kf=450	71.67%	Kf=100	96.67%
	その他の土砂		その他の土砂
Kf=650	73.21%	Kf=100	89.29%
	真砂土		真砂土
Kf=350	66.10%	Kf=100	96.61%