

非破壊試験装置を用いた盛土法面の締固め品質評価の統計的解釈

九州大学大学院 学 ○藤原 将真

九州大学大学院 F 安福規之 正 石藏良平

(株)浅川組 谷山 充

1. はじめに

近年、地球温暖化の影響から災害外力が増加しており、各地で短時間の局所的な豪雨が増加している。その結果施工後間もない盛土法面や現在まで崩壊のなかった法面において法崩れ等が多く発生している¹⁾。盛土法面の崩壊は盛土全体の崩壊へと繋がり、堤防の崩壊や近隣の構造物、住民の安全性を脅かすものとなる。盛土崩壊の原因の一つとして考えられるのが、法面の締固めの不十分性であり、盛土法面は天端に比べ締固め度が低い傾向にある²⁾。一般に盛土は天端における締固め度で管理されており、法面を直接的に管理する規定はない²⁾³⁾。本研究では「盛土法面の品質管理手法の提案」を最終目的とし、本研究室で開発した重錘落下式たわみ測定装置⁴⁾ (Falling Weight Deflectometer, 以下、改良型 FWD 装置) を用いた、盛土法面の評価基準の構築を目指す。今回は締固められた法面の乾燥密度 ρ_d の分布について、RI 装置で得られた測定値と改良型 FWD 装置によって推定した測定値の結果の比較を行った。

2. 改良型 FWD 装置の概要

図 1 に改良型 FWD 装置の写真と概略図を示す。改良型 FWD 装置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 $\sigma_{\max}$ とし、その時に生じた変位を $u_{\max}$ とすると、「FWD 係数」 k_f は下式で与えられる。FWD 係数が大きいほど剛性の高い地盤として評価され、地表面から 10cm 程度までの平均的な剛性を評価できる。

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

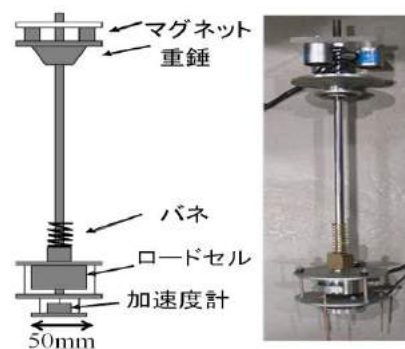


図 1 改良型 FWD 装置概要

3. 現場盛土実験概要

本実験では図 2 に示すような盛土の法面において、FWD 試験を実施、平行して RI 装置による乾燥密度 ρ_d の計測を行った。測定は「締固め度が均一な法面」での測定と、乾燥密度 ρ_d と FWD 係数 k_f の相関性を調べる目的で「段階的に締固め度を変化させた法面」の 2 種類の条件で測定を行った。前者についてはバックホウで形を整えた現場盛土において法面を 4×13 の 52 面に分割し、計測を行った。後者については段階的に盛土法面を締固め、異なる締固め度での FWD 係数 k_f の測定を行った。

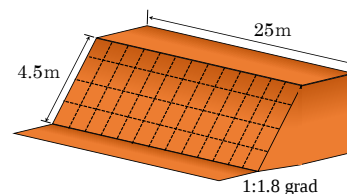


図 2 現場実験の盛土概要

4. 締固め度が均一な法面における計測結果

図 3 に締固め度が均一な盛土法面における FWD 係数と RI 試験から得られた乾燥密度 ρ_d の測定結果を示す。同様に締固めた現場法面においても、RI 試験による乾燥密度 ρ_d の多少のばらつきは避けることができない。しかし RI 装置による乾燥密度 ρ_d の測定値の変動係数 CV が 4.2% であるのに対し、FWD 係数 k_f の変動係数は 40.2% であり、現場における盛土法面の乾燥密度 ρ_d の測定結果に比べ、改良型 FWD 装置の測定結果は大きくばらついていると考えられる。

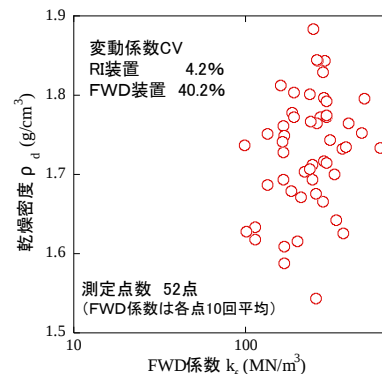


図 3 同様に締固めた盛土法面の乾燥密度と FWD 係数の関係

キーワード 締固め 盛土 法面 非破壊試験

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 ウエスト 2 号館 1108-2 九州大学

5. 乾燥密度と FWD 係数の関係

図4は締固め度を段階的に変化させた盛土法面で計測した同一地点での RI 装置で計測した乾燥密度 ρ_d と、FWD 係数 k_f の関係を示したものである。図4より FWD 係数 k_f は乾燥密度 ρ_d と正の相関を示す。しかし4節で述べたように FWD 係数 k_f のばらつきは大きく、近似直線 $\rho_d(k_f)$ から大きく外れた値も見られる。そこで各測定点が近似直線 $\rho_d(k_f)$ からどの程度外れているかの指標として、(2)式のバイアス α を導入した。バイアス α は RI 装置により測定された実測値と近似直線 $\rho_d(k_f)$ に諸定の FWD 係数 k_f を代入することにより表し、測定点ごとに求める。バイアス α が1より大きければ測定点は近似直線の上方に、1より小さければ近似直線の下方に位置する。

$$\alpha = \frac{\text{RI 装置による実測値}}{\rho_d(k_f)} \quad (2)$$

6. FWD 装置による盛土法面の乾燥密度測定

5節で得られた近似直線 $\rho_d(k_f)$ とバイアス α を用い、FWD 係数 k_f から間接的に乾燥密度 ρ_d を算定する。図5に4節の実験における FWD 係数 k_f のみの測定結果を示す。平均値は252.0 (MN/m³)、標準偏差は101.2 (MN/m³)となった。

また RI 装置による乾燥密度 ρ_d の実測値は、FWD 係数 k_f を近似直線 $\rho_d(k_f)$ に代入し得られた値と各測定点におけるバイアス α の積で表すことができる。すなわち RI で測定された個々の乾燥密度は個々の「バイアス α 」と近似直線 $\rho_d(k_f)$ により「FWD 係数 k_f から算出した値」の2変数の積で表すことができると考えられる。またこれらの2変数に相関がないとすると次式が成り立つ。

$$\bar{\rho_d} = \bar{\alpha} \times \bar{\rho_d(k_f)} \quad (3)$$

$$\sigma_{\rho_d}^2 = \bar{\alpha}^2 \times \sigma_{\rho_d(k_f)}^2 + \bar{\rho_d(k_f)}^2 \times \sigma_{\alpha}^2 \quad (4)$$

上式の $\bar{\rho_d}$ は「乾燥密度 ρ_d 」、 $\bar{\alpha}$ は「バイアス α 」、 $\bar{\rho_d(k_f)}$ は「近似式 $\rho_d(k_f)$ より得られた値」の平均値である。また σ_{ρ_d} は「乾燥密度 ρ_d 」、 σ_{α} は「バイアス α 」、 $\sigma_{\rho_d(k_f)}$ は「近似式 $\rho_d(k_f)$ より得られた値」の標準偏差である。これらの式より、現場盛土で測定した FWD 係数 k_f より法面の乾燥密度 ρ_d の平均値、標準偏差を算出し、盛土法面の乾燥密度分布を推測する。図6に RI 装置による法面の乾燥密度 ρ_d の測定結果と FWD 係数 k_f により算出した乾燥密度 ρ_d の結果を示す。測定平均値は、RI 装置と FWD 装置の測定結果に大きな誤差は無く、概ね等しい値となった。また標準偏差は FWD 装置による測定結果の方が約0.025 (g/cm³) 大きい値となった。この差異の原因として FWD 係数 k_f のばらつきが考えられる。図5より、本測定での FWD 係数 k_f の変動係数 CV は約40%と非常に大きい値を示しており、盛土法面の乾燥密度 ρ_d 、ばらつきを正確に測定するためには改良型 FWD 装置のばらつきの低減が必要であると考えられる。

7. 結論

改良型 FWD 装置による乾燥密度の測定に関して、平均値は RI 装置に近い値を示すことがわかった。しかし標準偏差に関しては30%ほど FWD 装置の方が大きい値を示し、この原因としては FWD 係数 k_f のばらつきが原因であると考えられる。このことから、今後改良型 FWD 装置の計測精度を向上させる必要がある。

〔謝辞〕本研究は、平成27年度 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) 工藤 智仁 (国土交通省) :

盛土(覆土)法面における締固め管理の検討 <http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000105787.pdf> ,2015.9.10,2) 末永 怜士ら : 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.411~412,2012,3) 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 ,pp.413~414,2012,4) 属寛ら : 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

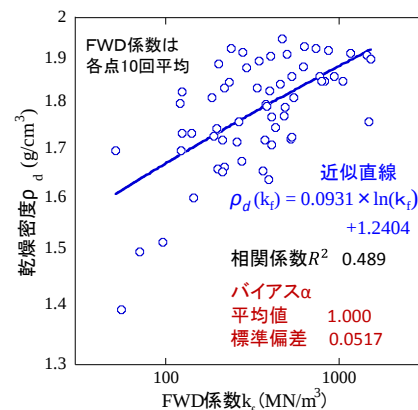


図4 FWD 係数 k_f 乾燥密度関係

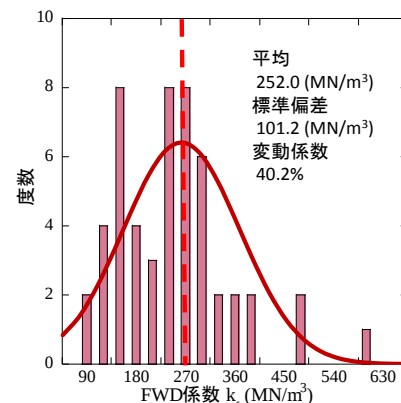


図5 FWD 係数 k_f 測定結果

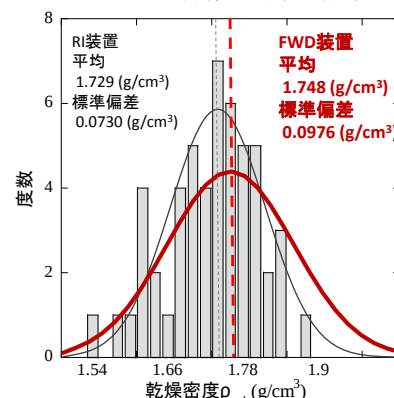


図6 RI 装置と FWD 装置の測定結果の比較