

非破壊試験装置を用いた盛土法面の締固め度予測のための最適な測定回数について

九州大学大学院 学○藤原将真 F 安福規之 正 石蔵良平
(株) 浅川組 谷山充

1. はじめに

近年、短時間の局所的な豪雨の増加に伴い、日本各地の盛土法面において法崩れ等が多く発生している¹⁾。法面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、重錘落下式たわみ測定装置⁴⁾ (Falling Weight Deflectometer, 以下、改良型 FWD 装置) を用いて、盛土法面の健全度の評価方法の確立を目指す。改良型 FWD 装置は小型で短時間の測定が可能であり、その測定値は最適含水比付近で締固めた法面では乾燥密度と相関を示すことから、法面の締固め管理に用いることができると考える⁵⁾。今回は改良型 FWD 装置で法面の締固め度を管理する際の最適な測定回数について考察した。室内試験から得られた理論値と現場実験から得られた実測値を用いて、誤差の低減率及び測定点数の関係を調査した。

2. 改良型 FWD 装置の概要と室内試験

2.1 改良型 FWD 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応力と加速度を測定する。加速度は2階積分することで変位に換算する。得られた最大応力を σ_{max} とし、最大変位を u_{max} とすると、「FWD 係数 k_f 」は(1)式で与えられる。

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

最適含水比で FWD 係数 k_f と乾燥密度 ρ_d には、土質ごとに相関があり、現場実験に用いた土質では(2)式に示すような関係がある。また今回実験を行った盛土においては、図 2 に示している既往の現場実験結果より $a = 0.093$, $b = 1.240$ としている⁵⁾。

$$\rho_d(k_f) = a \times \ln(k_f) + b \quad (2)$$

2.2 室内試験概要と結果

室内試験において中型のモールド (内径 28.6cm, 高さ 30cm) とまさ土を用い傾斜 30°, 締固め度 $D_c=90\%$ の模型地盤を作製し、FWD 試験を行い、試験装置が有する実験誤差を算出した。さらにその実験誤差について、測定点数を増加させることによる誤差の低減率の考察を行った。

模型地盤での測定により得られた FWD 係数 k_f を(2)式に代入し得られた乾燥密度 $\rho_d(k_f)$ を図-3 に示す。今回は本実験より得られた標準偏差を母標準偏差と仮定する。図-3 中に示す標準偏差 σ は 1 回測定を行う時の測定値のばらつきを表す指標であるが、実際に現場で測定を行う際は測定点 1 点につき 10 回測定を行い、その平均値を用いるため、測定点 1 点ごとのばらつきは本実験結果の標準偏差を $\sqrt{10}$ で除した $\sigma' = 0.019$ となる。上記の試験結果より改良型 FWD 装置で測定を行った際の測定対象の地盤の乾燥密度

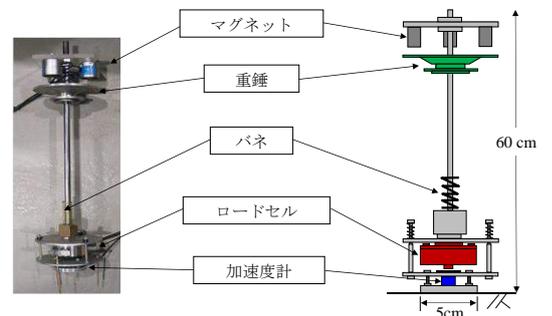


図-1 改良型 FWD 装置概要図

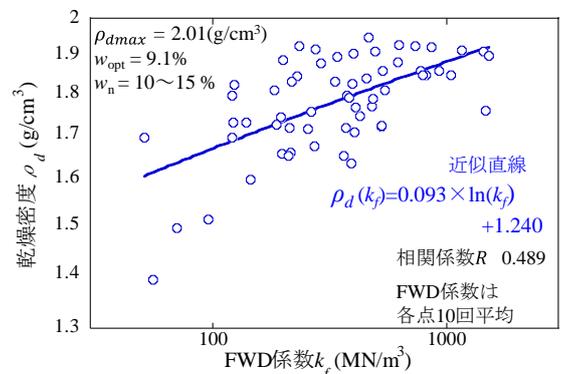


図-2 現地土砂の乾燥密度 ρ_d と FWD 係数 k_f の

相関

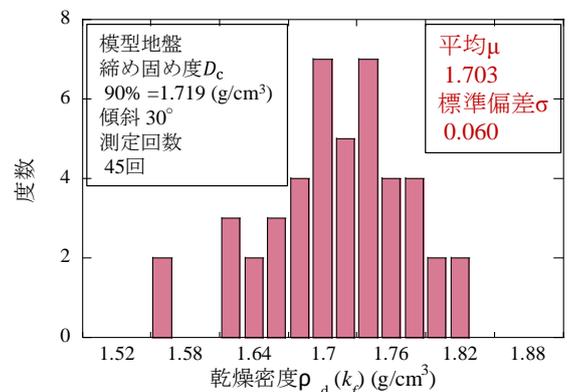


図-3 室内試験より得られた FWD 係数 k_f から算出された乾燥密度 ρ_d のヒストグラム

ρ_d と FWD 係数 k_f から算出された乾燥密度 $\rho_d(k_f)$ の関係は、測定点数 n と標準偏差 σ' を用い確立統計論の立場から(3)式で表される。

$$\rho_d - \overline{\rho_d(k_f)} = \pm \frac{2\sigma'}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

(3)式は、地盤を n 点、FWD 装置で測定を行ったときの、FWD 係数 k_f から算出された n 点の平均乾燥密度 $\overline{\rho_d(k_f)}$ と地盤の実際の乾燥密度 ρ_d の差が $\pm \frac{2\sigma'}{\sqrt{n}}$ の範囲に 95%の確立で存在するというを意味する。すなわち実際の地盤の乾燥密度 ρ_d と平均算出値 $\overline{\rho_d(k_f)}$ との誤差は 95%の確率で最大で $\pm \frac{2\sigma'}{\sqrt{n}}$ に収まる。これらの関係を用いて、誤差の程度を決めることで、FWD 試験による必要な所定の測定点数 n を決定できる。図-4 に測定点数 n と誤差の関係を示す。(3)式で表される誤差は測定点数の増加に伴い減少し、0 に漸近する。

3. 現場実験概要と結果

現場盛土において、法面を多点に計測し、測定点数ごとの誤差を算出した。実験は幅 25m、高さ 2.1m、傾斜 29°の法面で行い、締固め度 D_c が均一になるように盛土法面をバックホウで締固め、整形した。そして法面を 4×13 の 52 面に分割し各面に対して改良型 FWD 装置と RI 装置で 1 点ずつ測定し、52 点測定を行った。そして隣接

する n 面ごとに法面を分割し RI 装置より得られた締固め度 D_c の実測値と FWD 係数 k_f より算出した締固め度 D_c の平均値の誤差を図-4 に示す。52 面に分割された各面に対して 1 点ずつ測定を行っているので、 n 面に対する測定点数は n 点である。また室内試験から得られた (3) 式の理論値と比較すると、現場試験のほうが誤差は大きくなり、測定点数 n が小さい場合にその傾向は顕著となった。これは室内試験では均質な模型地盤で測定を行ったが、実際の盛土では法面の乾燥密度 ρ_d や粒度、含水比 w もばらつきを持っているため誤差が大きくなったと考えられる。また図-5 に 1 点の測定で乾燥密度 ρ_d を算出した時の誤差と n 点の測定を行った時の誤差の比 (誤差の低減率 R) を測定点数 n ごとに示す。誤差の低減率 R (%) は小さいほど、測定点数 1 点の時と比較し、 n 点測定を行った時の誤差が低減できていることを表す。同一測定点数において、室内試験による低減率 R が現場試験より大きな値を示すのは、室内試験より導出された測定点数 1 点の時の誤差が、現場盛土より小さいためである。また現場試験結果より、測定点数 1 点時の FWD 試験の誤差と比較し、誤差を 25%まで低減するには測定点数を 8 回程度にする必要がある。また図-4 よりその時の締固め度 D_c 誤差は約±2.5%である。

4. 結論

室内試験と現場試験それぞれより得られた測定点数 n 点ごとの FWD 試験による乾燥密度 ρ_d 算出の誤差は、現場試験より得られたもののほうが大きくなった。これは室内模型地盤と異なり、現場盛土は締固め度や粒度、含水比がばらついているためと考えられる。また現場盛土における FWD 試験により算出された乾燥密度 ρ_d と RI 装置により測定された乾燥密度 ρ_d の誤差について、FWD 試験を法面に対して 1 点行った時の誤差と比べ、測定点数を 8 点まで増加させることで、誤差を約 25%まで低減できることを示した。またこれは締固め度 D_c であらわすと±2.5%の誤差で法面の乾燥密度 ρ_d を改良型 FWD 装置で測定できることを示す。

<謝辞>本研究は、平成 28 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) 国土交通省：http://www.mlit.go.jp/index.html、2)末永伶士ほか (2012)：非破壊試験による盛土のり面の品質評価とその適用性、土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集、pp.63-64、3)安福規之ほか (2013)：盛土法面の締固め品質の現状、建設機械、pp 28-33、4)属寛ほか (2002)：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、5)藤原将真ほか (2016)：非破壊試験装置を用いた盛土法面の締固め度分布予測の精度検証、第 60 回地盤工学シンポジウム 平成 28 年度論文集 pp 217-220

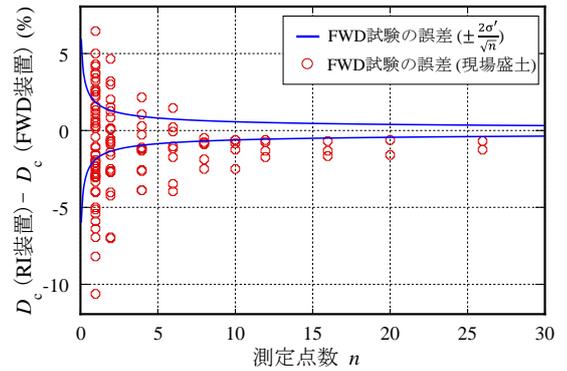


図-4 測定点数 n ごとの FWD 試験誤差比較

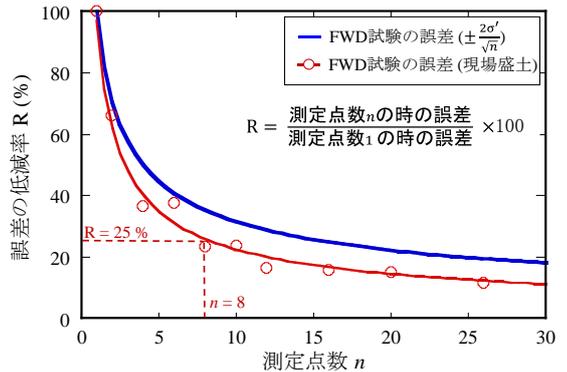


図-5 誤差の低減率 R と測定点数 n の関係