

非破壊試験装置を用いた盛土法面の締固め度予測の精度検証

九州大学大学院 学○藤原将真 正 石藏良平 F 安福規之
(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、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に地盤の剛性を評価できる装置である。本文では、室内試験において、最適含水比付近における地盤の乾燥密度と FWD 試験値の関係を調べ、法面締固め度算出のため、乾燥密度と FWD 試験値の回帰式を算出した。また実盛土法面で FWD 試験を行い、現場 FWD 試験値から、回帰式を用い、法面の乾燥密度を推定した。最後に法面乾燥密度の推定値と実測値を比較し、その精度を検証した。

2. 改良型 FWD 装置の概要

図-1 に改良型 FWD 装置の概要を示す。本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階積分により変位に換算する。得られた最大応力を σ_{max} とし、最大変位を u_{max} とし、「FWD 係数 k_f 」は(1)式で与えられる。

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

FWD 係数が大きいほど、剛性の大きな地盤として評価される。

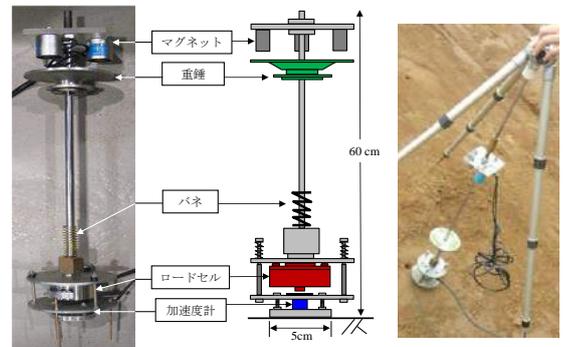
3. 室内試験における FWD 係数と乾燥密度の関係

3.1 最適含水比における乾燥密度と FWD 係数の関係

室内試験において、盛土締固め時の含水比 w の基準となる最適含水比 w_{opt} で、異なる締固め度 D_c の模型地盤を作製し、FWD 試験を実施し、乾燥密度 ρ_d と FWD 係数 k_f の相関を調べた。用いた3種類の土砂の締固め曲線を図-2 に示す。土砂 A, C は実際に盛土に用いられていた土砂であり、土砂 B は土砂 A を 4.75mm のふるいでふるったものである。模型地盤については、中型のモールド (内径 19.5cm, 高さ 15cm) を用い 5 層に分けて突き固めを行い作製した。模型地盤の締固め度 D_c は 80~90% とした。FWD 係数 k_f については、10 回測定を行いその平均値を用いた。試験結果を図-3 に示す。実験を行った3種類の土砂について、乾燥密度 ρ_d と FWD 係数 k_f は、強い正の相関を示した。しかしその相関関係は土質ごとに異なった。そのため、改良型 FWD 装置を、乾燥密度 ρ_d の測定に用いる際は、土質ごとにキャリブレーションが必要であると考えられる。

3.2 含水比の変化が FWD 係数に与える影響

含水比 w の変化が FWD 係数 k_f に与える影響について調べるため、最適含水比付近のいくつかの含水比 w で締固めた模型地盤で FWD 試験を実施した。用いた土砂は、土砂 B と土砂 C を用いた。土砂 B については $w_{opt} \pm 2\%$ 、そして土砂 C については $w_{opt} \pm 2, +4\%$



(a) FWD 装置外略図 (b) 法面設置図
図 1 FWD 装置概要

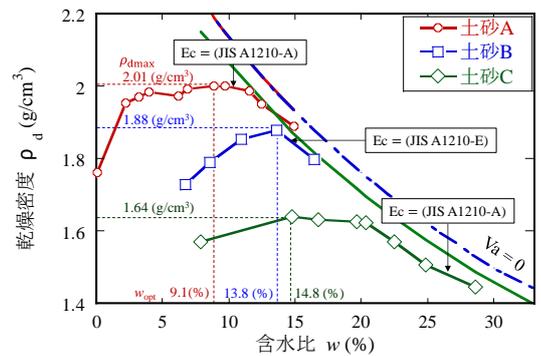


図 2 実験に用いた土砂の締固め曲線

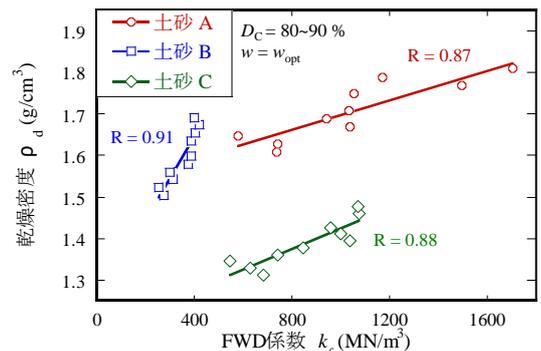


図 3 最適含水比における乾燥密度と FWD 係数の関係

で、締固め度 $D_c = 80 \sim 90\%$ で模型地盤を作製した。実験結果を図-4、図-5に示す。含水比 w が異なれば、乾燥密度 ρ_d と FWD 係数 k_f の相関関係も異なった。また最適含水比付近において、含水比 w が一定であれば、正の相関関係を示した。そのため、含水比 w を把握している地盤では、本装置で乾燥密度 ρ_d の推定が可能である。

4. 改良型 FWD 装置の法面への適用

室内試験において、現場盛土土砂の乾燥密度 ρ_d と FWD 係数 k_f の回帰式を算出し、実法面で得られた FWD 係数 k_f から法面の乾燥密度 ρ_d を推定した。そして RI 装置による乾燥密度 ρ_d の測定結果と比較し、その精度を検証した。現場盛土は土砂 A で構成されている。室内試験における回帰式の算出については、3 節に示す室内模型地盤を用いた。模型地盤は締固め度 $D_c = 72 \sim 94\%$ の範囲で作製した。また本盛土は自然含水比で施工される予定であったため、模型地盤の含水比 w は最適含水比 w_{opt} よりやや湿潤な 11%、12%とした。また盛土法面の傾斜に合わせ、FWD 装置の重錘の落下高さを調節し、最大応力を実験予定の法面で得られるものと等しくし、室内 FWD 試験を行った。次に現場盛土法面で測定概要について示す。現場法面寸法は傾斜 1 : 1.8、幅 4m、高さ 2.2m であり、これをバックホウを用い段階的に締固めた。そして盛土法面をグリッドで区切り、各区画において RI 装置で含水比 w と乾燥密度 ρ_d 、FWD 装置で同点の FWD 係数 k_f を測定した。図-6 に土砂 A の締固め曲線と RI 装置より得られた、現場試験を行ったときの含水比 w と乾燥密度 ρ_d を示す。本現場試験では、含水比は約 9%~14%、締固め度 D_c は 70~90%での測定となった。図-7 に、室内試験による回帰式と、現場試験結果を示す。現場試験プロット点については同点で行われた RI 装置と FWD 装置の測定結果を照らし合わせプロットしたものである。結果は、含水比 w ごとに見ると、多少のばらつきは見られるが、現場試験と試験結果はおおむね同様の相関関係を示した。また極端に FWD 係数 k_f が大きい値は、礫分により、重錘落下による地盤の変位が抑制されたことが原因であると考えられる。

5. 結論

実験に用いた 3 種の土砂について、最適含水比付近の同一含水比 w において、乾燥密度 ρ_d と FWD 係数 k_f は、強い相関を示した。また現場試験における乾燥密度 ρ_d と FWD 係数 k_f は、室内試験と同様の相関関係を示し、キャリブレーションを行うことで、改良型 FWD 装置で実法面の乾燥密度 ρ_d を推定できる可能性が示唆された。しかし礫分の影響を受け、回帰式よりおおきく外れた試験結果も確認できた。そのため今後は、重錘の重さや載荷板径の大きさに改良を加え、改良型 FWD 装置の多様な土質への適用性を高めることが必要である。

<謝辞>本研究の一部は、気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)の支援を得て実施した。

<参考文献>1) 国土交通省: <http://www.mlit.go.jp/index.html>, 2)末永怜士ほか (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) 原寛ほか (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,

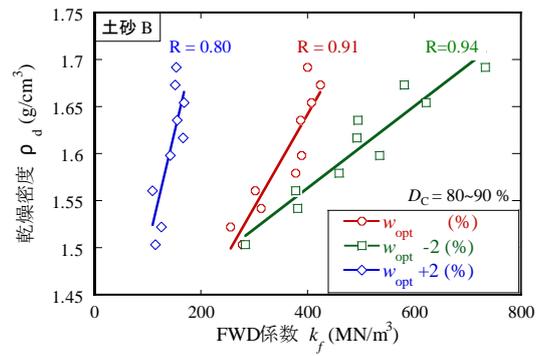


図 4 最適含水比付近での土砂 B の乾燥密度と FWD 係数の関係

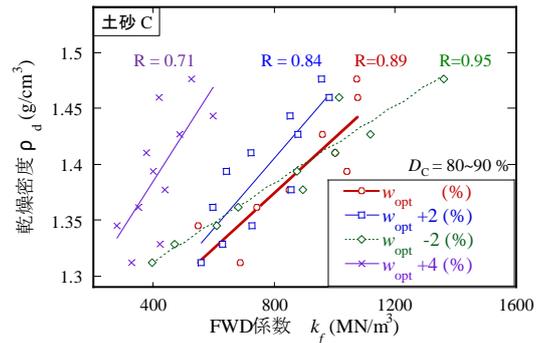


図 5 最適含水比付近での土砂 C の乾燥密度と FWD 係数の関係

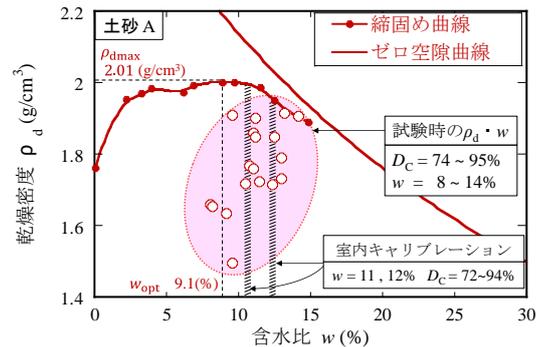


図 6 現場試験時の含水比・乾燥密度と締固め曲線

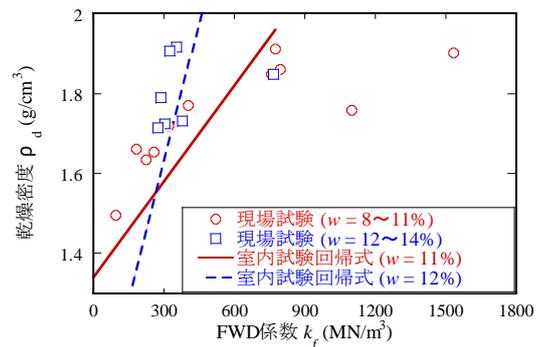


図 7 現場試験結果と室内試験回帰式