

非破壊試験による盛土法面の締固め度の評価と品質管理への適用

九州大学大学院 正 ○石蔵 良平 学 藤原 将真 F 安福 規之

1.はじめに

近年、短時間の局所豪雨や地震などにより、盛土構造物で法崩れ等の被害が発生している。本研究ではこれまで、盛土法面が天端に比べ締固め度が低い傾向にあることを現場実験から明らかにしている<sup>1)</sup>。盛土法面の不十分な締固めは、崩壊の一因であると考えている。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<sup>1)2)</sup>。本研究では、重錘落下式たわみ測定装置<sup>3)</sup>(Falling Weight Deflectometer, 以下、改良型 FWD 装置)を用いて、盛土法面の締固め品質を管理できる方法の提案を目指している。改良型 FWD 装置は小型で比較的短時間に地盤の剛性を測定できる装置である。本文では、その基礎的な取り組みとして、最適含水比付近で作製した室内模型地盤に対して FWD 試験を実施し、含水比の違いが乾燥密度と FWD 試験値との関係に与える影響を調べた。次に同一試料を用いた実盛土法面の現場乾燥密度の実測値と FWD 試験値との関係を室内試験結果を用いた推定値と比較し、FWD 試験の法面管理への適用性について検証した。

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  $\sigma_{max}$  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。

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

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, 乾燥密度および含水比の関係

最適含水比  $w_{opt}$  の土砂を用いて、異なる締固め度  $D_c$  の模型地盤を作製して FWD 試験を行い、乾燥密度  $\rho_d$  と FWD 係数  $k_f$  の相関を調べた。用いた3種類の試料の締固め曲線を図-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 の 4.75mm ふり通過試料である。模型地盤については、中型のモールド(内径 19.5cm, 高さ 15cm)を用いて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  $D_c$  を 80~90%に調整した。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。いずれの試料においても、乾燥密度  $\rho_d$  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ため、改良型 FWD 装置を乾燥密度  $\rho_d$  の推定に用いるためには、土質ごとに室内試験を実施し、キャリブレーションする必要がある。次に、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、最適含水比付近で締固めた模型地盤で FWD 試験を実施した。一例として、土砂 B の実験結果を図-4に示す。OMC $\pm$ 2%, OMC-4%で、締固め度  $D_c = 80\sim 95\%$ で模型地盤を作製した。

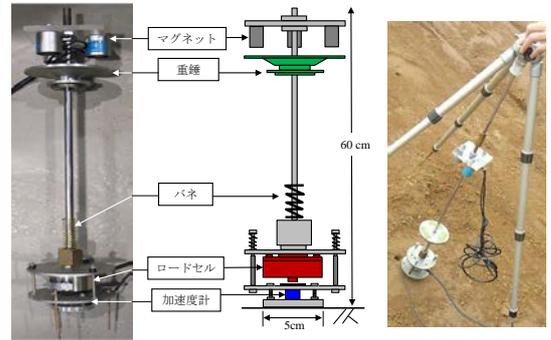


図-1 改良型 FWD 装置の概要

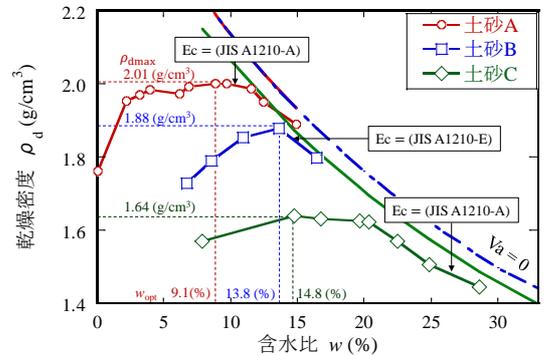


図-2 実験に用いた試料の締固め曲線

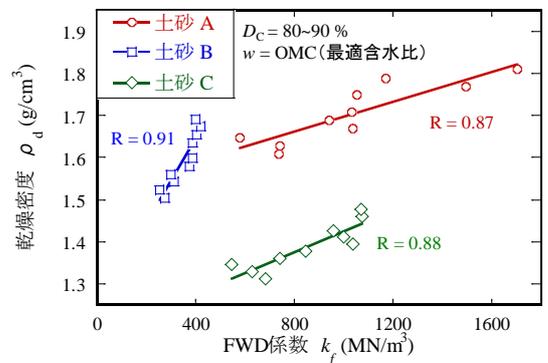


図-3 乾燥密度と FWD 係数の関係 (最適含水比)

キーワード 締固め 盛土 法面 非破壊試験

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 WEST2 号館 1108-2 TEL 092-802-3382

含水比  $w$  が異なれば、乾燥密度  $\rho_d$  と FWD 係数  $k_f$  の相関関係も異なった。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。このような傾向は、土砂 A および土砂 C についても同様であった。最適含水比付近で、含水比  $w$  が既知であれば、本装置で乾燥密度  $\rho_d$  を推定できる可能性がある。そこで、乾燥密度  $\rho_d$  と FWD 係数  $k_f$  の関係を次式で表すこととした。

$$\rho_d = A \times k_f + B \quad (2)$$

ここで  $A$ 、 $B$  は土質や含水比ごとに決まる定数である。

含水比  $w$  の変化が乾燥密度  $\rho_d$  と FWD 係数  $k_f$  の相関関係に与える影響を把握するために、各試料の含水比  $w$  ごとの線形近似式(式(2))の傾き  $A$  および切片  $B$  と、正規化含水比  $w'$  ( $w/OMC$ ) との関係を整理した(図-5)。傾き  $A$  および切片  $B$  は、各試料において、正規化含水比との間におおよそ線形関係を示した。

#### 4. 改良型 FWD 試験の実盛土法面への適用

土砂 A を用いて実盛土が施工された<sup>1)</sup>。現場法面寸法は傾斜 1:1.8、幅 4.0m、高さ 2.2m であり、バックホウを用いて段階的に締固めた。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  $\rho_d$  を測定し、同一地点で FWD 試験も実施した。図-6 に試料の締固め曲線および RI 装置により得られた盛土法面の含水比  $w$  と乾燥密度  $\rho_d$  の測定結果を示す。盛土法面の含水比は約 8%~14%、締固め度  $D_c$  は 70~90% 程度であった。室内キャリブレーションには、模型地盤の含水比  $w$  を最適含水比  $w_{opt}$  よりやや湿潤な 11%、12% に調節した試料を用いた。図-7 に、式(2)で得られた含水比ごとの室内試験回帰式(推定値)と現場試験結果との比較を示す。現場試験結果は、同一地点における乾燥密度の実測値と FWD 係数の関係がプロットされている。含水比ごとに比較すると、現場試験結果は、多少のばらつきは見られるが、推定値とは概ねよい一致を示すことを確認した。

#### 5. まとめ

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  $\rho_d$  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  $\rho_d$  と FWD 係数  $k_f$  は、室内試験と概ね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  $\rho_d$  を推定できる可能性が示唆された。

【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 の支援を得て行われたものである。

【参考文献】1)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.63~64，2)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 28-33，3)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。

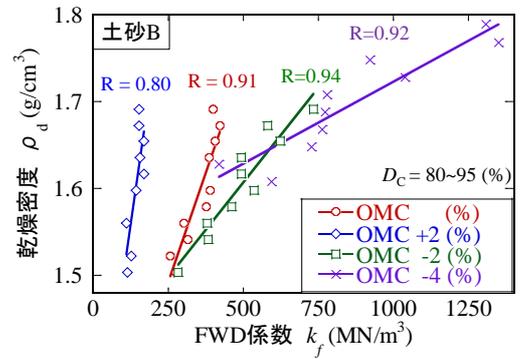


図-4 異なる含水比における乾燥密度と FWD 係数の関係 (土砂 B)

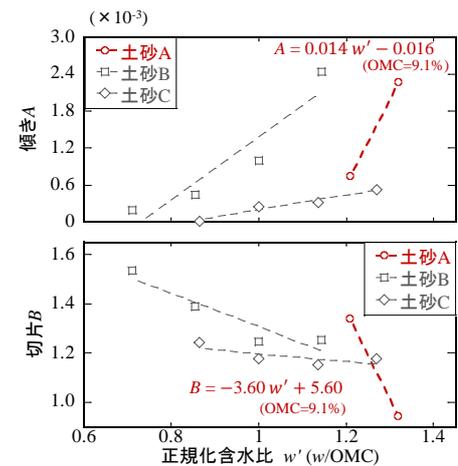


図-5 各試料における線形近似式の定数

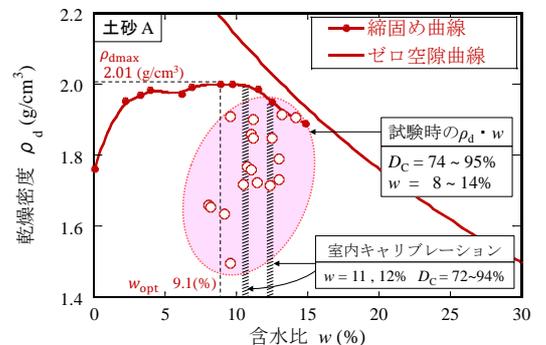


図-6 締固め曲線と現場盛土の乾燥密度と含水比関係

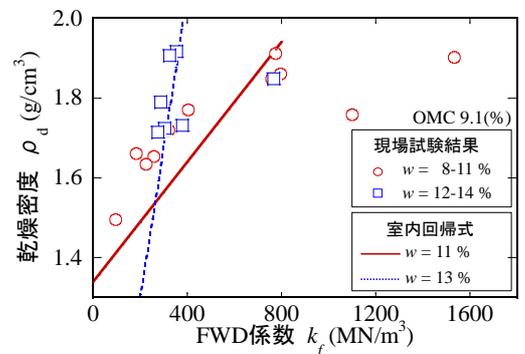


図-7 現場試験結果と推定値との比較