

含水比の変化が締固め地盤の強度および非破壊試験結果に及ぼす影響

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、短時間の局所的な豪雨が増加している。その結果、盛土法面において法崩れ等が発生している¹⁾。法面の崩壊は盛土全体の崩壊へと繋がり、堤防の崩壊や、住民の安全性を脅かすものとなる。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、法面は天端に比べ締固め度が低い傾向にある²⁾。一般に盛土は天端の締固め度で管理されており、法面を直接、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)を用いた、盛土法面の締固め度の評価基準の構築を目指す。今回は、高含水比で構築された現場盛土における FWD 試験の結果を示す。また、最適含水比を境に乾燥側、湿潤側の含水比で締固め度 80%, 90%, 95%の室内模型地盤を作製し、FWD 試験結果に及ぼす含水比の影響を考察した。また含水比に応じて地盤強度を定量的に把握することを目的に一軸圧縮試験を実施し、含水比増減による地盤の強度変化を FWD 試験が捉えていることを確認した。

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応力と加速度を測定する。得られた最大応力を $\sigma_{\max}$ 、加速度より得られた最大変位を $u_{\max}$ とすると、「FWD 係数 k_f 」は(1)式で与えられる。

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

最適含水比付近で締固めた地盤の FWD 係数 k_f と乾燥密度 ρ_d には、相関があることを確認している。一例として和歌山県で施工された現場試験盛土法面で測定した両者の関係を図 2 に示す⁵⁾。実験に用いた土質では(2)式に示すような関係が確認されている。

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

3. 現場盛土実験概要

福岡市西区の道路建設現場で試験施工された盛土法面に対して現場実験を行った。盛土の寸法は、幅 36m、高さ 3.5m、傾斜 30° であった。盛土材の締固め曲線を図 3 に示す。また図 3 には、盛土法面において、RI 装置を用いて測定した乾燥密度 ρ_d と含水比 w を併記している。盛土施工時は、降雨の影響で、自然含水比が 29~45(%)となっており、最適含水比 w_{opt} の 2 倍程度以上の含水比 w であった。バックホウや振動締固め装置を用いて、盛土法面の締固めが行われた。本実験では法面で、FWD 試験および RI 装置による乾燥密度 ρ_d と含水比 w の計測を行った。測定は乾燥密度 ρ_d と FWD 係数 k_f の相関性を調べるために、乾燥密度 ρ_d の異なる法面を作製して行った。測定時の盛土法面は、図 3 に示すように、締固め度 $D_c = 70 \sim 85\%$ 、含水比 w については約 30%以上となって

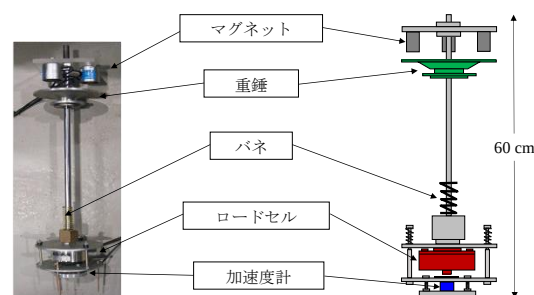


図 1 改良型 FWD 装置概要

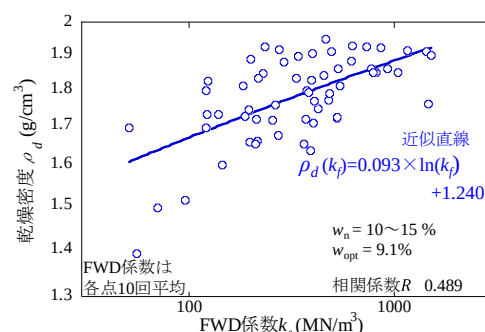
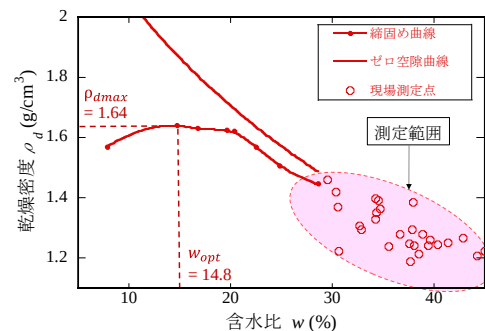
図 2 FWD 係数 k_f と乾燥密度の関係

図 3 盛土材の締固め曲線および測定範囲

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 ウェスト 2 号館 1108-2 九州大学

おり、低い締固め度、高含水比状態であった。

4. 現場盛土実験結果

図4は現場盛土での測定結果から得られた乾燥密度 ρ_d とFWD係数 k_f の関係を含水比5%ごとに分けて整理したものである。結果は含水比 w の区分に依らず、FWD係数 k_f と乾燥密度 ρ_d は相関を示さなかった。

図5に現場盛土における乾燥密度 ρ_d 一定下での含水比 w とFWD係数 k_f の関係を示す。乾燥密度 ρ_d 一定下でも含水比 w が増加するとFWD係数 k_f が減少する傾向を示した。以上より、今回の現場盛土の様に、施工時の自然含水比 w_n が最適含水比 w_{opt} よりも高く、ばらつきも大きな法面では、乾燥密度 ρ_d とFWD係数 k_f は相関を示さないと考えられる。

5. 含水比の変化が地盤の強度とFWD係数の関係に及ぼす影響

4より、地盤の含水比 w の増減によりFWD係数 k_f に大きく影響を与えることを確認した。ここでは地盤の含水比 w の変化がFWD係数 k_f に及ぼす影響、さらにはその時の地盤強度を一軸圧縮試験で評価し、含水比の変化が地盤強度とFWD係数 k_f の関係に及ぼす影響を把握することを目的に、以下に示す室内試験を行った。

中型のモールド(内径28.6cm、高さ30cm)と図2で示した和歌山県で施工された盛土の土砂を用い室内模型地盤を作製し、FWD試験を行った。含水比 w は土砂の最適含水比 w_{opt} と最適含水比 w_{opt} を境に乾燥側、湿潤側で模型地盤を作製した。また模型地盤の締固め度は80%、90%、95%の3ケースでそれぞれの含水比で測定を行った。またその時の地盤の強度を定量的に測定することを目的に一軸圧縮試験を実施した。結果を図6に示す。含水比 w が最適含水比 w_{opt} より乾燥側では、締固め度一定の条件化において、FWD係数 k_f は、一定の値を示すが、湿潤側では、含水比 w の増加に伴い減少する傾向を示した。また一軸圧縮強度は、含水比 w が乾燥側では含水比 w の増加に伴い増加し、湿潤側では大きく減少する傾向を示した。このことから、FWD係数 k_f と一軸圧縮強度は同一の含水比 w において相関を示す可能性があり、引き続き検討が必要である。また最適含水比 w_{opt} より湿潤側では含水比 w の増加に伴い、大きくFWD係数 k_f 、一軸圧縮強度ともに減少するため、最適含水比 w_{opt} より高含水状態では、含水比 w のばらつきが大きい盛土法面では、乾燥密度とFWD係数 k_f との関係について詳細に検討する必要がある。

6. 結論

同一締固め度条件下で、含水比 w が増加すると最適含水比 w_{opt} に達するまでは一軸圧縮強度、FWD係数 k_f は一定の値もしくは緩やかに増加し、最適含水比 w_{opt} を超えると、含水比 w の増加に伴い一軸圧縮強度、FWD係数 k_f は大きく減少する傾向を示した。そのため最適含水比付近もしくは、最適含水比 w_{opt} よりも乾燥側であれば、改良型FWD装置は、含水比 w がばらつきを持っていたとしても、締固め度測定に用いることが出来る可能性がある。湿潤側では、含水比 w のばらつきが小さいところで適用可能と推察できるが、さらにデータの蓄積が必要と考えられる。

〔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 土木学会西部支部講演概要集, 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 土木学会論文誌, pp.283~292, 2002, 5) 藤原将真ら：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, 2016

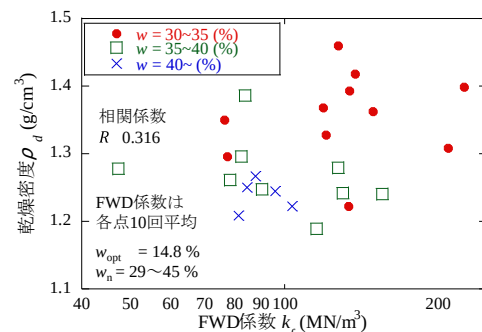


図4 現場盛土での乾燥密度 ρ_d とFWD係数 k_f の関係

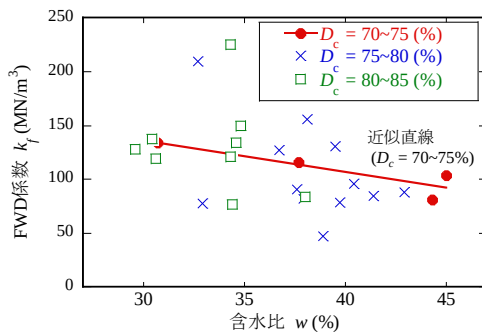


図5 締固めごとの含水比 w とFWD係数 k_f 関係

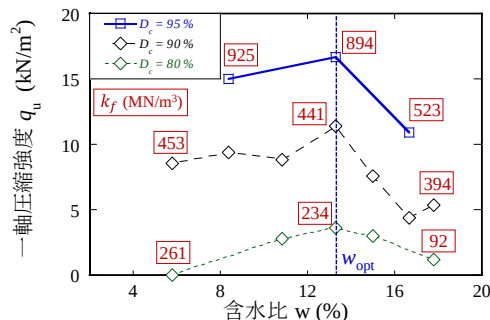


図6 締固め度ごとの含水比 w と一軸圧縮強度・FWD係数 k_f の関係