

公益信託 NEXCO関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金
受託者 三菱UFJ信託銀行株式会社 宛

研究概要書

研究課題：盛土法面の品質改善に向けた締固め技術と施工・維持管理手法の効率化に関する研究

研究代表者：九州大学工学部 教授 安福 規之

共同研究者：九州大学工学部 准教授 石蔵 良平

同：立命館大学工学部 教授 小林 泰三

同：(株)浅川組 事業本部長 谷山 充

はじめに

近年、想定を超える降雨や地震等の災害外力の増加が懸念される中、道路盛土や河川堤防、宅地盛土等の崩壊が多発している。そのため、盛土構造物の品質・防災機能を向上させることが、重要な技術課題となっている。一般に盛土は、天端の締固め度で管理されるが、法面の健全性を直接的に管理する規定はない。本研究では、盛土法面の締固めの重要性の検証および法面の管理手法の提案を目指して、1) 盛土法面の管理に向けた改良型 FWD 装置の計測方法に関する考察、2) 振動締固め装置による新たな現場における試験施工、3) 盛土法面の締固めの重要性を示すための模型実験を実施した。ここでは、紙面の都合上、1) および 2) について報告する。

1. 研究の目的

盛土の品質評価については、通常、RI 装置による密度測定により管理される。本研究では、RI 装置による密度測定に加え、開発中の重錘落下式たわみ測定装置（以下、改良型 FWD 装置）を併用して法面を管理するための実用的な方法の提案に向けて検討を行っている。本研究では、改良型 FWD 装置の計測に必要な最適な測定回数に関する考察を行った。また、福岡市西区の道路建設現場にて、振動締固め装置を用いて構築した高含水比試験盛土の試験結果についても示す。

2. 改良型 FWD 装置による締固め地盤の最適測定回数

改良型 FWD 装置（図 1）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 σ_{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。

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

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すでに確認している。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。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。ここで、 $a=0.093$ 、 $b=1.240$ である。

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

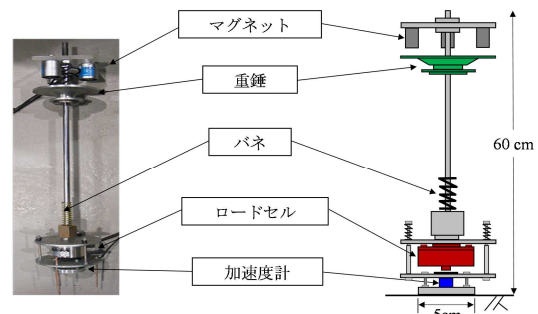


図 1 改良型 FWD 装置概要

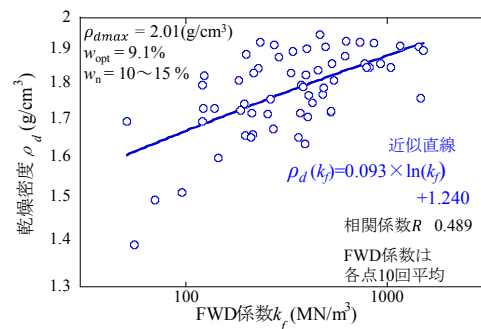


図 2 FWD 係数 k_f と乾燥密度の関係

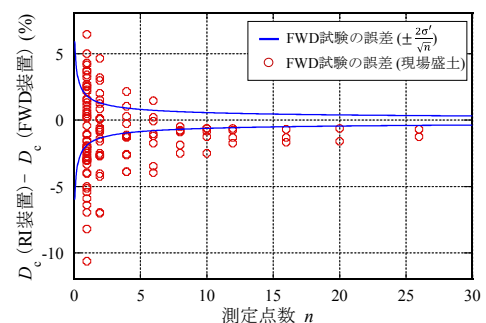


図 3 測定点数ごとの FWD 試験誤差の比較

改良型 FWD 装置で締固め度を管理する際の最適な測定点数について、室内試験に基づく理論値と現場実験による実測値を用いて、誤差の低減率及び測定点数の関係を調べた。

室内試験では、中型モールド（内径 28.6cm、高さ 30cm）とまさ土を用いて、傾斜 30°、締固め度 $D_c=90\%$ の模型地盤を作製して FWD 試験を行い、(2)式を用いて試験装置が有する実験誤差を算出した。結果としては、測定を 10 回行ったときの標準偏差 σ は $\sigma = 0.019 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ となった。試験結果より測定対象地盤の乾燥密度 ρ_d と改良型 FWD 装置による 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' を用いて統計論の立場から(3)式で表される。

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

誤差の程度を決めることで、FWD 試験で必要となる所定の測定点数 n を決定できる。

図 1 の結果が得られた盛土施工現場にて、一様に締固めた盛土法面における RI 装置と改良型 FWD 装置の測定結果を用いて、現場測定での FWD 試験の測定点数の増加に伴う測定誤差を考察した。測定は盛土 1 面に対して 4×13 の 52 区画に分割し、各面に対し FWD 装置と RI 装置で 1 箇所ずつ測定して 52 点測定を行った。RI 装置より得られた乾燥密度 ρ_d と FWD 装置より得られた乾燥密度 $\rho_d(k_f)$ を締固め度 D_c に換算し測定点数の増加に伴う誤差を調べた。

図 3、図 4 に室内および現場試験結果より得られた測定点数の増加による誤差の変化と低減率を示す。図 3 より、(3)式で表される誤差、現場試験結果での誤差は、共に測定点数 n の増加に伴い減少し、0 に漸近する。また測定点数が 1 点の時の最大誤差を基準とした、測定点数 n の増加に伴う誤差の低減率 R より、測定点数の増加に伴う誤差の低減率の減少が鈍化するのは $n=8$ 点前後でありその時の誤差低減率 R は 25%程度であった。

3. 盛土の試験施工および結果の考察

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。施工の前日に最大降雨量 2.5mm/h の降雨があったため、本盛土は非常に含水比の高い状態で施工、現場試験を行わざるを得なかった。盛土材の自然含水比が 29~45(%)となっており、最適含水比 w_{opt} の 2 倍程度以上の条件下で施工が行われた。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。本研究で開発した油圧ブレーカを利用した振動締固め装置（図 5）には、騒音対策として振動部に騒音低減カバーなどが新たに施された。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

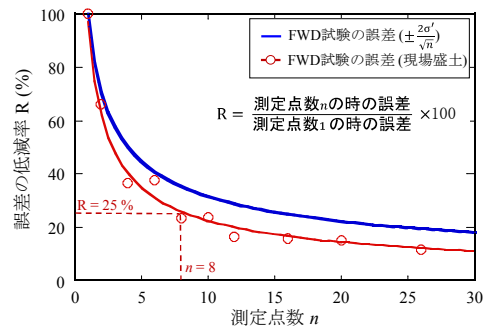


図 4 誤差の低減率 R と測定点数 n の関係



図 5 振動締固めによる法面施工状況

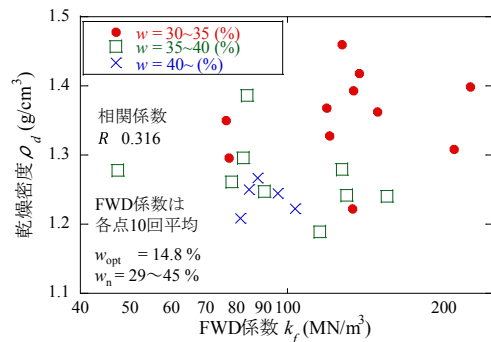


図 6 乾燥密度 ρ_d と FWD 係数 k_f の関係

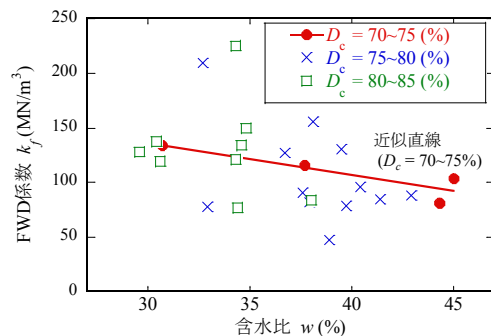


図 7 同一締固め度での含水比 w と FWD 係数 k_f との関係

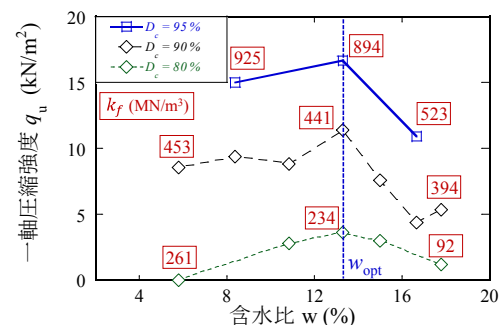


図 8 同一締固め度での含水比 w と一軸圧縮強度および FWD 係数 k_f の関係

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。図 6 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。また図 7 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 一定下では、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。含水比 w の増減により FWD 係数 k_f は大きく影響を受けることを確認した。そこで、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 の关系到及ぼす影響を把握するため、室内試験を行った。具体的には、前述の中型モールドを用いて、使用盛土材料の最適含水比 w_{opt} を基準に、含水比 w が乾燥側、湿潤側の模型地盤を作製し、FWD 試験を実施した。またその時の締固め度、含水比 w が等しい条件で供試体を作製し、一軸圧縮試験を実施した。図 8 に一軸圧縮強度 q_u と含水比 w の関係を締固め度 D_c ごとに示す。含水比 w が最適含水比 w_{opt} より乾燥側では、締固め度一定下において、FWD 係数 k_f および一軸圧縮強度は一定値、もしくは緩やかな増加を示した。また、締固め度の増加に伴い、FWD 係数 k_f および一軸圧縮強度はともに増加した。湿潤側では、含水比 w の増加に伴い両者ともに急激に減少する傾向を示した。高含水状態の盛土法面に対する FWD 装置の適用については今後更に検討する必要がある。

4. まとめ

- 1) 改良型 FWD 装置を用いた盛土法面の締固め管理を念頭に置き、現場盛土に対する最適な測定回数について考察した。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 の誤差については、FWD 試験の測定点数を 8 点まで増加させることで、RI 装置より得られた乾燥密度 ρ_d との誤差を約 25%まで低減できることを示した。
- 2) 高含水状態（最適含水比の 2 倍以上）の盛土材料に対して、振動締固め装置を用いた法面の締固めを実施した。その結果、盛土法面の十分な締固めは期待できないことが確認された。盛土施工時における適切な盛土材の含水比管理が重要である。また最適含水比 w_{opt} よりも乾燥側では、締固め度の上昇に伴い、一軸圧縮強度、FWD 係数 k_f も増加することを確認した。改良型 FWD 装置の法面管理への適用の可能性について、今後さらに検討していく予定である。