

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 助教 石藏 良平

同：福井大学工学部 准教授 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、盛土法面の締固め度に着目した管理手法の提案に向け、1)改良型 FWD 装置の計測精度の向上の試みと、2)新たな盛土法面の品質管理手法の提案に向けた検討を行った。

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。改良型 FWD 装置の適用に向けた課題のひとつとして、「測定値のばらつき」が挙げられる。本研究では「改良型 FWD 装置の精度向上」と既存の実験データから「乾燥密度 ρ_d の分布について RI 装置で得られた測定値と改良型 FWD 装置によって予測した測定値の結果の比較」を行った。

2. 改良型 FWD 装置の精度向上の検証

改良型 FWD 装置は重錘を垂直に落下させ、バネを介して地盤に生じる荷重と加速度を測定する。载荷板での最大応力を σ_{max} 、最大変位を u_{max} とすると FWD 係数は(1)式で与えられる。

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

改良型 FWD 装置について、法面等の斜面において測定した FWD 係数 k_f のばらつきを抑制し、FWD 係数 k_f を安定的に求めることを目的に、改良型 FWD 装置を加速度計部とロードセル・重錘部に分離するように改良を行った。本研究では連結状態と分離状態の改良型 FWD 装置について同一条件で室内実験を行い、各改良型 FWD 装置の性能を比較した。改良型 FWD

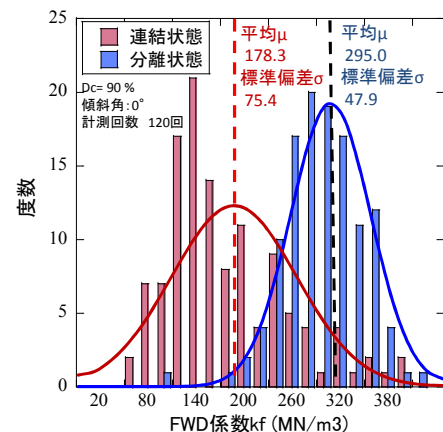


図1 FWD 係数のヒストグラム (Dc=90%)

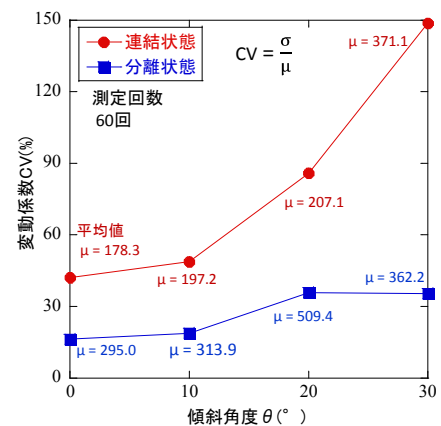


図2 FWD 係数の変動係数と傾斜角の関係

装置の性能を比較するために直径 286mm, 高さ 330mm のモールドに作製した模型地盤を用いた。模型地盤には粒径 2mm 以下のまさ土を用い、最適含水比 12.5% に設定して締固めを行い、試験を実施した。さらに実際に法面で用いることを想定しモールドを 10 度, 20 度, 30 度, 傾けた条件で改良型 FWD 装置による計測を行った。図 1 に水平時, 締固め度 $D_c=90\%$ の測定結果を示す。分離状態の方が平均値は 100 (MN/m^3) 程度大きな値を示し, 標準偏差は分離状態のほうが 30(MN/m^3) 程度小さな値を示した。図 2 に傾斜角ごとの各改良型 FWD 装置による計測値の変動係数を示す。すべての計測角度において分離状態の方が変動係数は小さい値となった。また傾斜角度が増加しても, 分離状態では, 変動係数の増加は小さく, 安定した測定値を得ることができると考えられる。

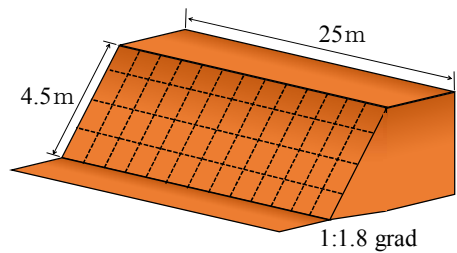


図 3 現場実験の盛土概要

3. FWD 装置による盛土法面の乾燥密度測定

本実験では図 3 に示すような盛土の法面において, 「締固め度が均一になるように締め固めた法面」での測定と, 乾燥密度 ρ_d と FWD 係数 k_f の相関性を調べる目的で「段階的に締固め度を変化させた法面」の 2 種類の条件で測定を行った。前者についてはバックホウで形を整えた現場盛土において法面を 4×13 の 52 面に分割し, 計測を行った。後者については段階的に盛土法面を締固め, 異なる締固め度での FWD 係数 k_f の測定を行った。

図 4 に締固め度が均一な盛土法面における FWD 係数 k_f と RI 試験から得られた乾燥密度 ρ_d の測定結果を示す。RI 装置による乾燥密度 ρ_d の変動係数 CV に比べ, FWD 係数 k_f の変動係数 CV の方が大きな値となり, FWD 係数 k_f はばらつく結果となった。

図 5 に締固め度を段階的に変化させた盛土法面で計測した同一地点での RI 装置で計測した乾燥密度 ρ_d と, FWD 係数 k_f の関係を示す。図 5 より FWD 係数 k_f は乾燥密度 ρ_d と正の相関を示す。また各測定点が近似直線 $\rho_d(k_f)$ からどの程度外れているかの指標として, (2) 式のバイアス α を導入した。バイアス α は RI 装置により測定された実測値を近似直線 $\rho_d(k_f)$ に諸定の FWD 係数 k_f を代入して得られた値で除すことにより求め, 測定点ごとに求める。

$$\alpha = \frac{\rho_{d, \text{RI}} - \rho_d(k_f)}{\rho_d(k_f)} \quad (2)$$

また RI 装置による乾燥密度 ρ_d の実測値は, FWD 係数 k_f を近似直線 $\rho_d(k_f)$ に代入し得られた値と各測定点におけるバイアス α の積で表すことができる。すなわち RI で測定された個々の乾燥密度は個々の「バイアス α 」と近似直線 $\rho_d(k_f)$ により「FWD 係数 k_f から算出した値」の 2 変数の積で表すことができると考えられる。またこれらの 2 変数に相関がないとすると次式が成り立つ。

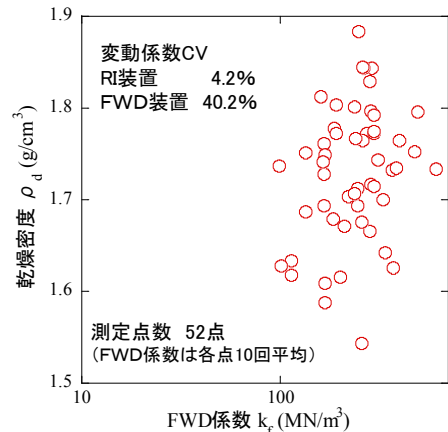


図 4 同一締固め法面の乾燥密度と FWD 係数の関係

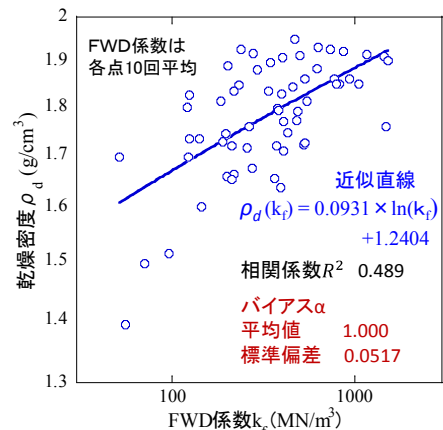


図 5 乾燥密度と FWD 係数の関係

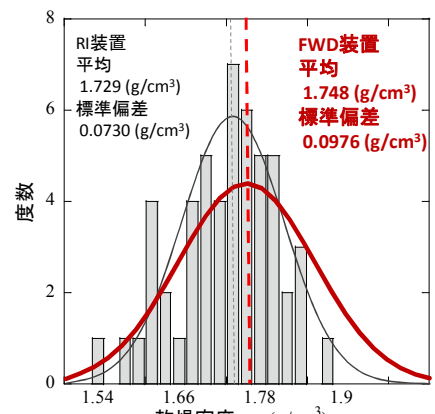


図 6 乾燥密度の測定結果と FWD 試験による乾燥密度分布予測の比較

$$\overline{\rho_d} = \bar{\alpha} \times \overline{\rho_d(k_f)} \quad (3)$$

$$\sigma_{\rho_d}^2 = \bar{\alpha}^2 \times \sigma_{\rho_d(k_f)}^2 + \overline{\rho_d(k_f)}^2 \times \sigma_{\bar{\alpha}}^2 \quad (4)$$

上式の $\overline{\rho_d}$ は「乾燥密度 ρ_d 」， $\bar{\alpha}$ は「バイアス α 」， $\overline{\rho_d(k_f)}$ は「近似式 $\rho_d(k_f)$ より得られた値」の平均値である。また σ_{ρ_d} は「乾燥密度 ρ_d 」， σ_{α} は「バイアス α 」， $\sigma_{\rho_d(k_f)}$ は「近似式 $\rho_d(k_f)$ より得られた値」の標準偏差である。これらの式より，現場盛土で測定した FWD 係数 k_f より法面の乾燥密度 ρ_d の平均値，標準偏差を算出し，盛土法面の乾燥密度分布を推測する。図 6 に RI 装置による法面の乾燥密度 ρ_d の測定結果と FWD 係数 k_f により算出した乾燥密度 ρ_d の結果を示す。測定平均値は，RI 装置と FWD 装置の測定結果に大きな誤差は無く，概ね等しい値となった。また標準偏差は FWD 装置による測定結果の方が約 $0.025 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ 大きい値となった。この差異の原因として FWD 係数 k_f のばらつきが考えられる。図 4 より，本測定での FWD 係数 k_f の変動係数 CV は約 40% と非常に大きい値を示しており，盛土法面の乾燥密度 ρ_d をより正確に測定するためには改良型 FWD 装置のばらつきの低減が必要であると考ええる。

4. まとめ

- 1) 改良型 FWD 装置を分離状態にすることで，FWD 係数 k_f の測定値のばらつきを低減でき，改良型 FWD 装置の測定精度の向上が見込まれる。
- 2) FWD 係数 k_f と乾燥密度 ρ_d の相関性を統計的に処理することによって，FWD 係数 k_f の計測結果から乾燥密度 ρ_d の分布予測を行った。RI 装置による法面の乾燥密度 ρ_d の測定結果と FWD 係数 k_f により算出した乾燥密度 ρ_d の平均値はおおむね等しくなったが，標準偏差に関しては FWD による換算値の方が 30% 程度大きな値を示した。要因としては，FWD 係数 k_f のばらつきが考えられる。このことから，改良型 FWD 装置の計測精度を向上させる必要がある。次年度は，福岡市今宿にて，現場盛土実験を実施予定である。本研究でこれまで開発している振動ブレーカによる法面締固めの有効性を確認するとともに，計測センサーを分離状態にした改良型 FWD 装置における，計測精度の向上について確認を行う予定である。