

2024年度 新産業創出研究会「研究成果報告書」

「防災型侵食防止用植生マット及び侵食防止と防草効果を兼ね備えたマットの開発・改良」

[徳山工業高等専門学校 ・ 准教授] [荒木功平]

1. はじめに

侵食防止用植生マットとは、一定以上の厚みを維持しつつ、植物が貫通可能な空隙を持つ「高空隙捲縮性不織布（以下、不織布層）」を主体とするマット状土木資材である。当該資材は法面の侵食抑制を目的とした資材で、不織布層が表土の凹凸に密着することで「土粒子の移動抑制」、「分散排水による流速緩和」、「雨滴衝撃の緩和」等の効果を発揮するとしている(図 1, 2)。当該資材はすでに高い侵食抑制機能を有するが、近年の土砂災害頻度の増加傾向に備えて、より高い侵食防止機能の実現が必要とされている。またこれまでの実績により、当資材が広く認知されたことで、活用シーンや要望に適応した新たなオプション追加が求められている。

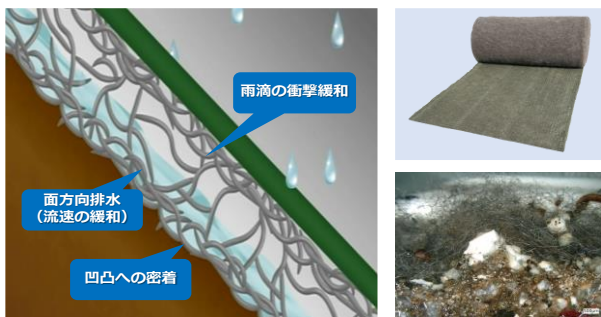


図 1 侵食防止用植生マットの概略

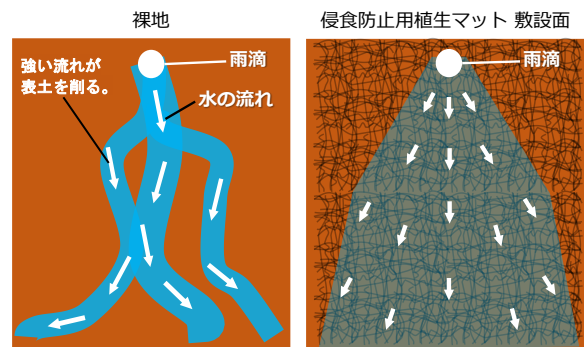


図 2 高空隙不織布による分散排水・流速緩和の拡大図

2. 事業概要

本研究では侵食防止用植生マットをとり巻く状況から、以下の 2 つの課題をピックアップした。

2-1. 侵食防止性能の更なる向上（解析的評価手法の開発）

侵食防止用植生マットの性能評価は、これまで降雨時の排水量や土砂流出量の測定が主体であった。これに対し、今後、侵食防止性能を更に高めた製品の改良・開発をしていくにあたり、より詳細な性能評価、特に土中への雨水浸透状況について把握する必要がある。そこで当課題に対し、雨水浸透状況の観測手法の構築および解析的評価手法を構築することを目標とした。

2-2. オプション機能（防草効果）の追加

侵食防止と防草効果を併せ持つマット資材の開発要請を受け、不織布層に防草・遮光層を合わせたマット資材(以下、防草型侵食防止マット)を開発した(図 3)。当該マットは先行実施した試験施工と経過調査から、高い防草・侵食防止効果が確認されている。一方、侵食防止性能の数値化はされておらず、既存品との比較が困難であった。そこで本事業にて侵食防止能力の実証・数値化を試みた。

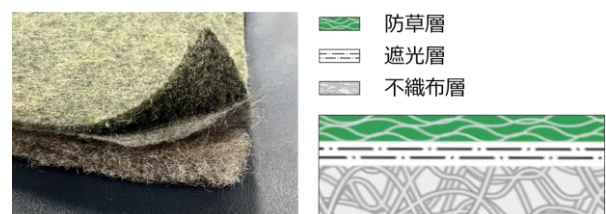


図 3 防草型侵食防止マット

3. 実験概要・結果

3-1. 侵食防止性能の更なる向上（解析的評価手法の開発）

3-1-1. 試験内容

徳山工業高等専門学校敷地内に実験斜面を造成し、7 レーンに分割後、各レーンの上・中・下段、表面より 10cm 深に土壌水分センサーを設置した（図 4）。その後、2 レーンを裸地区とし、残りのレーンに不織布層の目付量がそれぞれ 25、30、45、60g/m²の侵食防止用植生マットと、前述の防草型侵食防止マットを敷設した（写真 1）。2024 年 6 月 20 日～10 月 23 日（梅雨・秋雨期間）にかけて各レーンの土中水分量を測定し、測定結果を元に雨水浸透の数値的解析手法の構築を試みた。

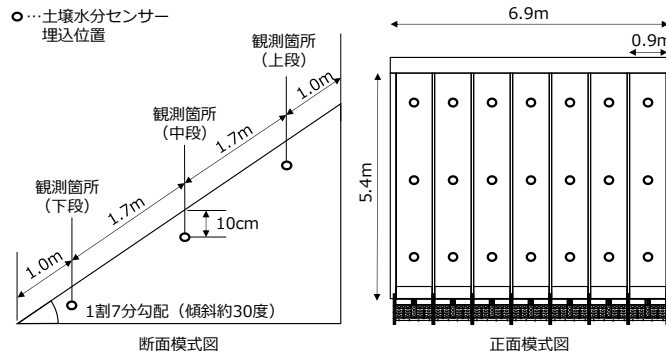


図 4 実験斜面概要・土壌水分センサー配置



写真 1 屋外実験斜面（2024/6/20）

3-1-2. 結果・考察

土中水分量の各レーンの推移と雨量の記録を図 5 に示す。実験の結果、ほぼすべてのレーンで上～下段で異なる土中水分量が観測された。また、条件の異なるレーン間で土中水分量の推移の傾向に明らかな違いがあることが確認された。以上のことから、土壌水分センサーを用いた観測手法は、侵食防止用植生マットの雨水浸透性を把握するのに適していることが実証された。

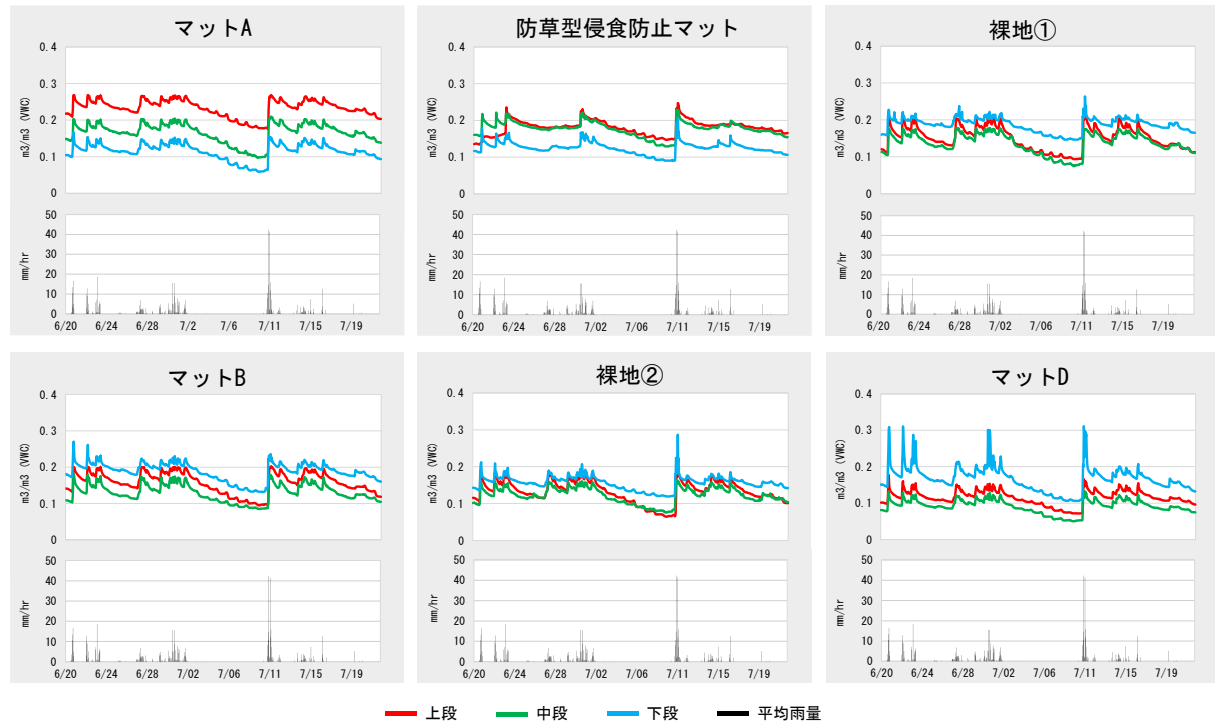


図 5 各レーンにおける上・中・下段の水分量推移と平均雨量（2024 年 6 月 20 日～7 月 23 日）

3-2. 解析的手法の構築

3-2-1 解析概略

基礎方程式として、降雨浸透は、多くの場合、鉛直方向の流れが卓越することから、Richards の式の x 、 y の項を 0 として、 z 軸を地表から下向きを正にとると、以下の式に鉛直一次元の式に変形できる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ k_z(\theta) \frac{\partial \psi(\theta)}{\partial z} \right\} - \frac{\partial k_z(\theta)}{\partial z}$$

本解析モデルでは、地表面の境界条件として、時間降雨量を与えるが、この解析への導入は、第 1 層の体積含水率(θ_1)との関係において、次のようにして行う。

$$\theta_{1,t+\Delta t} = \theta_{1,t} - \frac{\Delta t}{\Delta z} (w_{2,1} - C_e R)$$

なお、 θ_1 ：第 1 層の体積含水率、 $q_{1,2}$ ：第 1 層から第 2 層への浸透流速(cm/s)、 R ：降雨強度(cm/s)となる。

ホートン地表面流を考慮して、降雨時に地中へ浸透する有効降雨量を数値モデル化した降雨流入係数 C_e は、降雨強度(R)と飽和透水係数(k_s)の大小関係で考える。降雨流入係数 C_e で表し、式(6)のように以下のように定式化する。

$$C_e = \frac{k_s}{R} \beta$$

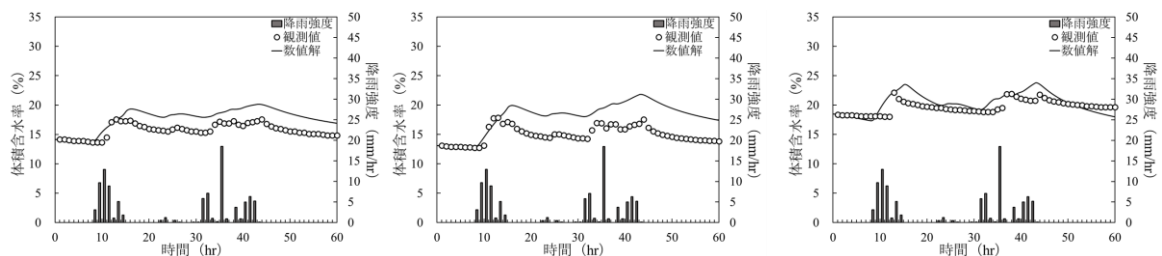
なお、補正係数 β は、観測値と数値解の体積含水率の誤差解析から算出する。

本解析では、人工斜面を対象として、斜面勾配30度、斜面長さ5.4 m、土層厚350 cmを想定している。また、降雨流入係数 C_e を用い、補正係数 β を変えることによる不織布フィルターの施工の有無による地中への降雨浸透の時間変化を検討した。空間微小間隔 Δz は5 cm、時間微小間隔 Δt は2 sとした。 θ - ψ 関係と k - θ 関係としては、Brooks-Coreyの式を用いて、 $k_s=2.0 \times 10^{-4}$ cm/s、 $\theta_s=0.309$ とし、 $\theta_r=0.05$ 、 $\psi_b=40$ cmと設定した。

3-2-2 解析結果

本解析では、6月豪雨時の観測値と数値解の体積含水率を誤差解析して、降雨流入係数の補正係数 β を決定し、解析結果を図 6 に示す。

1. 防草型侵食防止マットを地表面に施工した場合は、観測値と数値解とが近い傾向を示した。
2. 防草型侵食防止マットは、通常の侵食防止用植生マットより表面流の発生を抑制する傾向にあることが降雨流入係数の補正係数 β の値から分かった。



裸地 $\beta = 0.16$

侵食防止用植生マット $\beta = 0.29$

防草型侵食防止マット $\beta = 0.42$

図 6 各レーンにおける中段の観測値と数値解の体積含水率

3-3. オプション機能（防草効果）の追加

3-3-1. 試験内容

防草型侵食防止マットと防草・遮光層のみのマットにて米国工業規格 ASTM D 6459 に準拠した人工降雨試験を実施し、土砂流出物を回収した。装置模式図・人工降雨の内訳を図 7, 8 に示す。試験後、前述の規格を元に各試験品の C ファクターを算出し、侵食防止性能を数値化した。

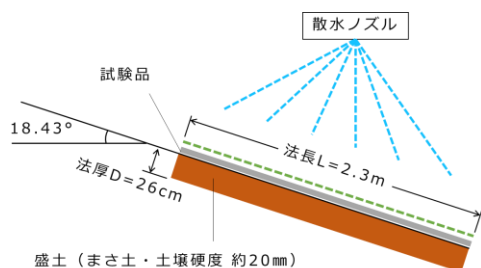


図 7 人工降雨装置断面模式図

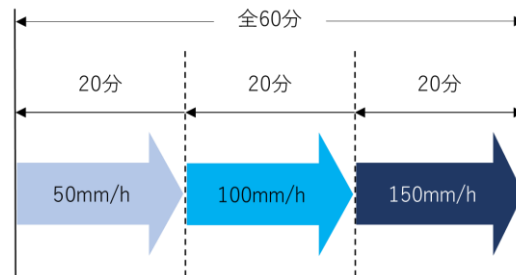


図 8 人工降雨の内訳

3-3-2. 結果・考察

算出された C ファクターを表 1 に示す。当該値が低い程、侵食防止性能は高いとされる。不織布層を有する場合、防草・遮光層のみよりも侵食防止性能が 10 倍近く向上することが実証された。試験前（裸地）と試験後の表土の状況を、写真 2 に示す。不織布層を備えた場合、侵食が大きく抑制されることが確認できた。

表 1 C ファクターと累積土砂流出量

試験区名	C ファクター	累積土砂流出量 (g)
裸地（対照区）	—	6807.54
防草＋遮光層	0.0081	55.46
防草＋遮光＋不織布層	0.0008	4.57



写真 2 各条件の表土状況（人工降雨 150mm/hr 終了、試験品除去後）

各降雨量の単位時間当たりの排水量の推移を、図 9 に示す。防草型侵食防止マットにおいて、150mm/hr 時には他条件と比べ半分程度まで排水が抑えられることが確認された。これは不織布層の分散排水機能により、流速が抑えられたためと推測される。

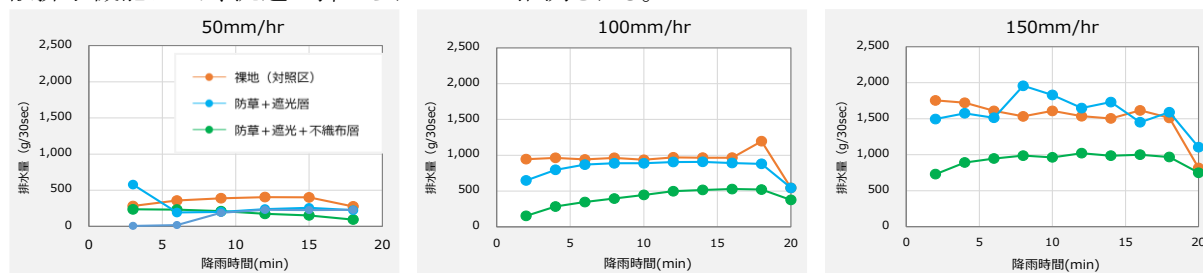


図 9 各降雨量の排水量の推移

4. おわりに

本年度事業により、侵食防止用植生マットの雨水浸透状況の観測手法の基礎、および観測のための実験斜面の基本仕様を決定することができた。

解析的評価手法については、防草型侵食防止マットの雨水浸透を降雨流入係数の補正係数 β で表すことができ、通常の侵食防止用植生マットより表面流を抑制していることが確認できた。

また屋内人工降雨試験により、防草型侵食防止マットの侵食防止性能を数値化し、防草・遮光層と不織布層を組み合わせることによる侵食防止性能の向上を実証することができた。

5. 本研究の今後の計画

5-1. 実験斜面を用いた検証

今年度の事業で確立した実験仕様を元に、複数の深度での同時観測などの評価項目の充実化、設備の改良を進める。また試験品ごとの浸透量の差の要因について、別途再現実験も視野に追加の実証を行う。

5-2. 防草型侵食防止マット

試験結果を元に防草型侵食防止マットの改良の他、データを販促活動へ反映し、市場への展開を推進していく。また今後の新製品開発に向け、再現実験による雨滴衝撃緩和の実態調査など、より詳細な観測・検証を進めていく。

5-3. 解析的評価手法

6月豪雨以外の観測値と数値解との比較を行い、防草型侵食防止マットの性能評価の精度の向上を進めていく。加えて、既存製品の性能評価についても、合わせて行い、解析精度の改善を試みる。

6. その他

(1) 出願特許（タイトル・出願番号・発明者・特許権者など）

「法面の施工方法とそれに用いるシート体」 特願 2016-204633 平成 28 年 10 月 18 日出願 発明者：奥田 芳雄 出願人：有限会社エコプロ、多機能フィルター株式会社

(2) 投稿論文（タイトル・学会名等）

- ・不織布フィルター施工斜面における降雨浸透特性の観測および解析、坪郷浩一、荒木功平、福田靖、桑嶋啓治、片山光亮、上俊二、第39回ジオシンセティックスシンポジウム(2024 年 12 月)
- ・不織布フィルター敷設斜面における斜面上部～下部にかけての土中水分量の観測手法の検討・構築、瀬戸口 慧、志賀 弘征、田原 雄一郎、河野 伸之、坪郷 浩一、荒木 功平、福田 靖、桑嶋 啓治、片山 光亮、上 俊二、第39回ジオシンセティックスシンポジウム(2024 年 12 月)

(3) 本研究会の参加企業・団体名

多機能フィルター株式会社