

統計的手法を用いた不均一性を有する不織布の圧縮特性の評価（その3）

信州大学工学部 正会員 河村 隆, 正会員 梅崎健夫
信州大学大学院 学生会員○井上 駿

1. はじめに 盛土内に水平排水材として敷設された不織布には、上載圧によって大きな圧縮変形が生じる。また、不織布は初期状態において材料の不均一性を有している。盛土内における不織布の排水能力を評価するためには、不均一性と上載圧を考慮して透水係数を評価する必要がある。そのためには、不均一性を考慮した圧縮特性の評価が必要である。本文では、初期状態の不均一性を考慮して抽出した不織布に対して長期圧縮クリープ試験を実施し、不織布の圧縮クリープ特性について検討した。

2. 試料の抽出と試験の概要 スパンボンド法ポリプロピレン不織布の幅1mのロール1本から切り取った1×1.5m程度のシートを切断して40×40mmの供試体を620枚作製した¹⁾。単位面積質量 μ_A 、初期厚さ h_0 （圧縮応力 $p=2\text{ kN/m}^2$ 、30秒載荷時の厚さ）および初期間隙比 e_0 を求めた。図-1に e_0 の度数分布と信頼区間（68.3%： $\bar{e}_0 \pm \sigma$ 、95.4%： $\bar{e}_0 \pm 2\sigma$ 、99.7%： $\bar{e}_0 \pm 3\sigma$ 、ここで、 \bar{e}_0 ： e_0 の平均値、 σ ：標準偏差）を示す。図-1に示すように、 e_0 は正規分布に概ね従う。初期状態の不均一性を考慮して不織布の圧縮特性を評価するために、A～Cの3グループからそれぞれ1枚ずつ、3枚を1組として計5組15枚を抽出した。このとき、3枚の間隙比の平均値と標準偏差が620枚の正規分布とほぼ一致するように抽出した。

JIS A 1217:2020 に準拠した重錘レバー式の載荷装置を用いて、 $p=4, 8, 34, 69, 553\text{ kN/m}^2$ における長期圧縮クリープ試験を行った。載荷時間は $t=744\text{ h}$ とし、最終載荷応力に至るまでの各載荷段階における載荷時間を5分間とした。圧縮変位の測定にはレーザー変位計を用いた。

3. 試験結果と考察 図-2に得られた $e \sim \log t$ 関係の代表例と、それらの平均値 \bar{e} を示す。いずれの応力域においても、時間が経つごとに間隙比が直線的に減少する。 $t=24\text{ h} \sim 774\text{ h}$ 間の間隙比の減少量は、 $p=4\text{ kN/m}^2$ では0.22、 $p=69\text{ kN/m}^2$ では0.23、 $p=553\text{ kN/m}^2$ では0.13である。つまり、低・中応力域までは間隙比の減少量はほぼ一定であり、高応力域では間隙比の減少量が小さくなる。

長期圧縮クリープ試験の供試体は、620枚の不織布の正規分布曲線と一致するように抽出したものであり、試験の結果は、母集団である620枚の不織布の圧縮クリープ特性を表していると考えられる。圧縮時における間隙比 e の平均値 \bar{e} と標準偏差 σ を求め、不織布全体の圧縮クリープ特性を推定する。図-3に間隙比の σ と $\log t$ の関係を示す。 $p=4, 8,$

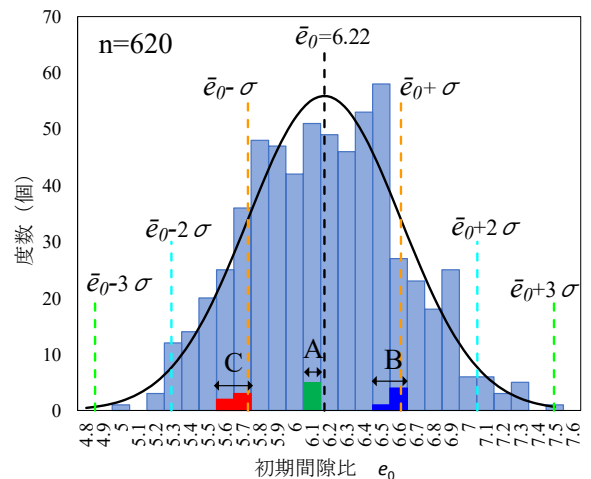


図-1 初期間隙比の度数分布

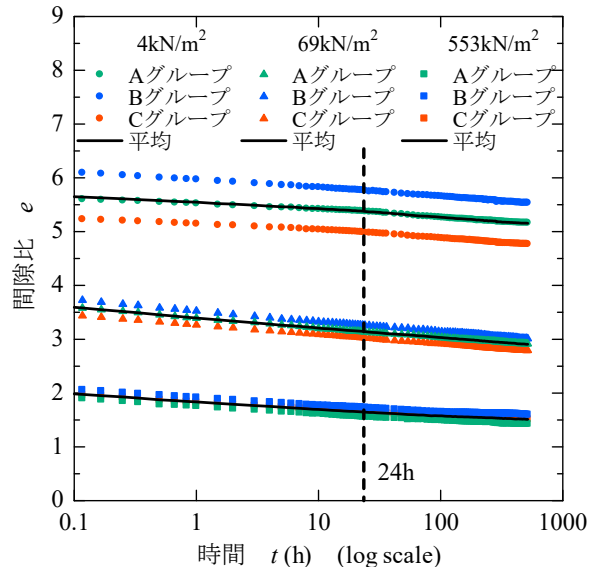


図-2 $e \sim \log t$ 関係の代表例

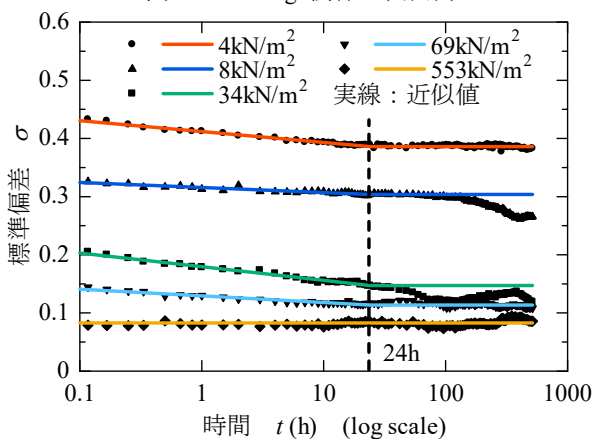


図-3 $\sigma \sim \log t$ 関係

34, 69kN/m²において、 $t=24\text{h}$ までは σ が直線的に減少しているが、 $p=553\text{kN/m}^2$ においては、 σ はほぼ一定である。 $t=24\sim 744\text{h}$ では、 $p=8, 34\text{kN/m}^2$ の値が増加・減少しているが、全体的に見ると $t=24\text{h}$ 以降は一定であるため、 σ の近似値は $t=24\text{h}$ 以降で一定とした。

図-4 に間隙比の σ と $\log p$ の関係を示す。両者の関係は $p=78\text{kN/m}^2$ を境とする2直線となる。 p が大きくなると σ は減少し、 p が 78kN/m^2 よりも大きくなると、減少の傾きが小さくなる。両者の関係は以下の2式で近似できる。

$$p \leq 78\text{kN/m}^2 : \sigma = -0.21 \log p + 0.5 \quad (1)$$

$$78\text{kN/m}^2 < p : \sigma = -0.015 \log p + 0.13 \quad (2)$$

図中には、過去に実施した段階荷重圧縮試験²⁾の σ の値も示した。クリープ試験の結果と比較すると、いずれの応力域においても両試験の値は概ね一致している。つまり、間隙比の σ は応力履歴に関わらず $t=24\text{h}$ 以降において一定の値となる。

圧縮クリープ試験で使用した供試体は小さく切断した不織布であり、盛土内に敷設された透水性を評価するためには、切断前の不織布全体について透水性を評価する必要がある。図-5 は、 $1 \times 1.5\text{ m}$ の不織布の初期状態における e_0 の分布に対して、図-2、図-4 の結果を適用し、圧縮クリープにおける不織布 ($1 \times 1.5\text{ m}$) の e の分布を求めた結果である。いずれの応力域でも e のばらつきに変化がないことが、視覚的に示されている。

4. まとめ 不均一性を考慮して抽出した不織布に対して長期圧縮クリープ試験を行った。各荷重応力における間隙比 e の平均値 \bar{e} と標準偏差 σ を評価することにより、不織布全体の圧縮クリープ特性について検討した。得られた知見は以下のとおりである。①不織布の圧縮クリープにおける間隙比の σ は、 $p=4\sim 69\text{kN/m}^2$ の低・中応力域においては $t=24\text{h}$ まで直線的に減少し、それ以降ほぼ一定となる。一方、 $p=553\text{kN/m}^2$ の高応力域では試験開始直後からほぼ一定である。②間隙比の σ と $\log p$ 関係は $p=78\text{kN/m}^2$ を境界とする2直線となる。 p が大きくなると σ は直線的に減少し、 p が 78kN/m^2 よりも大きくなると、減少の傾きが小さくなる。③クリープ試験と段階荷重圧縮試験($t=24\text{h}$)の間隙比の σ はほぼ同じであり、応力履歴の影響は認められない。④圧縮クリープを考慮した不織布全体の e の分布を視覚的に示した。圧縮クリープが生じてても e の分布のばらつきに大きな変化は認められない。圧縮性が大きく不均一性を有する不織布の透水性の評価には、このような分布を考慮することが重要である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 21K04250 (代表者: 信州大学 河村 隆) の助成を受けた。不織布は三井化学産資株式会社より提供いただいた。不織布の切断と初期状態の測定は、信州大学工学部水環境・土木工学科 (当時) 加藤直也氏、篠原大紀氏、宮澤 駿氏の卒業研究の一環として行われた。付記して謝意を表します。

【参考文献】 1) 河村, 梅崎, 井上: 不織布の初期状態の不均一性を考慮した段階荷重圧縮特性の統計的評価, ジオシンセティックス論文集, 第37巻, pp.106-113, 2022. 2) 河村, 梅崎, 井上ほか: 統計的手法を用いた不均一性を有する不織布の圧縮特性の評価 (その1), R3 年度土木学会中部支部研究発表会, III-5, pp.1-2, 2022.

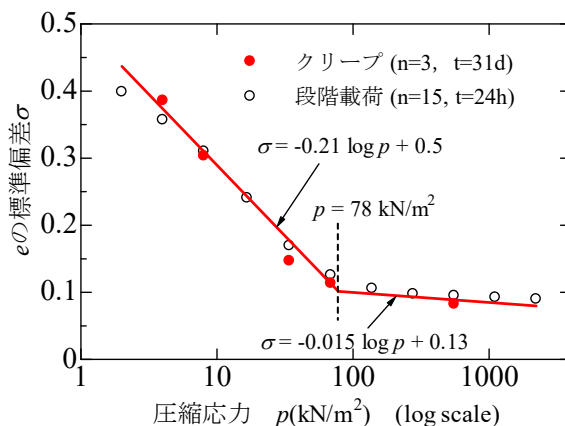


図-4 $\sigma \sim \log p$ 関係

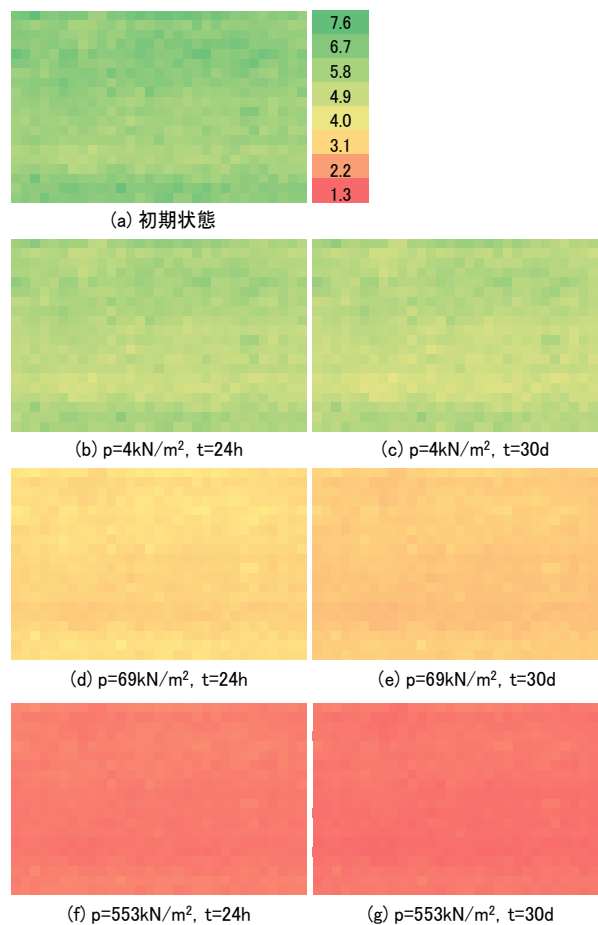


図-5 圧縮過程における間隙比の分布の変化