

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）

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

信州大学工学部 加藤直也（現 JR 東日本）, 宮澤 駿（現 名工建設）

信州大学工学部 篠原大紀（現 JR 東日本）

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圧縮試験を実施し、不織布の圧縮特性における信頼区間について検討した。

2. 試料の初期状態における不均一性 スパンボンド法ポリプロピレン不織布の幅 1 m のロール 1 本から切り取った 1×1.5 m 程度のシートを切断して 40×40 mm 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 および図-2 に、 μ_A と h_0 の関係および e_0 の度数分布を示す。図-2 には、信頼区間（68.3%： $\bar{e}_0 \pm \sigma$, 95.4%： $\bar{e}_0 \pm 2\sigma$, 99.7%： $\bar{e}_0 \pm 3\sigma$, $\bar{e}_0$, σ ： e_0 の平均値, 標準偏差）も示した。図-2 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 グループに分けて 17 枚を抽出した。このとき、図-2 に示すように、620 枚の正規分布（黒実線）とはほぼ一致するように抽出した。

3. 段階載荷圧縮試験 JIS A 1217:2020 に準拠した重錘レバー式の載荷装置を用いて、 $p=2 \sim 2215 \text{ kN/m}^2$ の段階載荷圧縮試験を行った。各載荷段階における載荷時間を 24 時間とし、圧縮変位の測定にはレーザー変位計を用いた。図-3 に得られた $e \sim \log p$ 関係を示す。初期状態において $e_0=5.6 \sim 6.9$ で最大値と最小値の差が 1.3 程度であるのに対して、 p が増加するとその差は減少する。

4. 圧縮時における間隙比の信頼区間の推定 圧縮試験の供試体は、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、圧縮試験の結果は、母集団である 620 枚の不織布の圧縮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、各載荷段階における間隙比 e の信頼区間を推定する。

図-4 に σ と $\log p$ の関係を示す。両者の関係は $p=70 \text{ kN/m}^2$

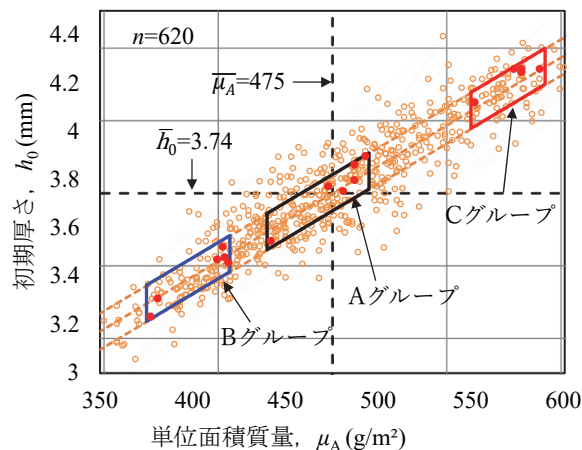


図-1 単位面積あたりの質量と初期厚さの関係（文献 1）に加筆）

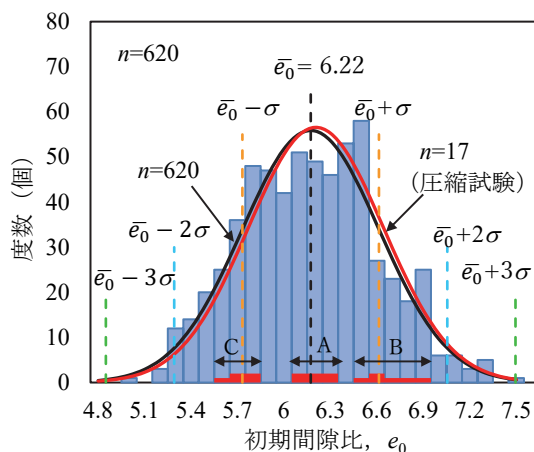


図-2 初期間隙比の度数分布と正規分布曲線（文献 1）に加筆）

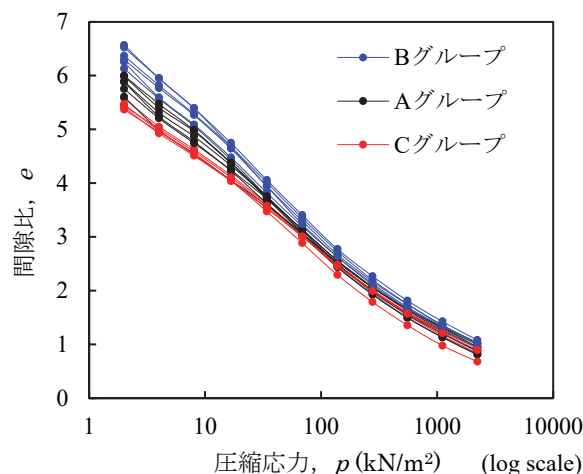


図-3 $e \sim \log p$ 関係

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70 kN/m²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。

$$p \leq 70 \text{ kN/m}^2 : \sigma = -0.177 \log p + 0.45 \quad (\eta = 0.999) \quad (1)$$

$$70 \text{ kN/m}^2 < p : \sigma = -0.2 \log p + 0.16 \quad (\eta = 0.996) \quad (2)$$

ここで、 η は決定係数であり、いずれも0.9以上で近似式の精度は高い。

図-5は、各载荷段階における間隙比の平均値 $\bar{e}$ と(1)、(2)式から求めた σ を用いて、各载荷段階における間隙比 e の正規分布曲線を示したものである。曲線形状は、 p が増加して e が小さくなるにつれて、山が低く幅が広い形状から、山が高く幅の狭い形状へ変化し、 e のばらつきは小さくなる。

図-6は、図-3の $e \sim \log p$ 曲線に信頼区間(68.3%, 95.4%, 99.7%)を追記した図である。 $p \leq 70 \text{ kN/m}^2$ では、 p が増加するにつれて e の信頼区間の幅が狭くなる。一方、 $p > 70 \text{ kN/m}^2$ では、その幅はほぼ同じである。

各荷重段階における間隙比の平均値に対するばらつきを評価するために、変動係数 $CV (= \sigma/\bar{e})$ を求めた。図-7に、 CV と p の関係を示す。 $p \leq 70 \text{ kN/m}^2$ では、 p の増加とともに CV は減少し、平均値に対するばらつきは小さくなる。しかし、 $p = 70 \text{ kN/m}^2$ よりも大きくなると CV は増加する。 $p > 550 \text{ kN/m}^2$ において、 CV は $p = 2 \text{ kN/m}^2$ の $CV \approx 0.06$ よりも大きくなり、平均値に対するばらつきは大きくなる。 p が大きくなるほど、不織布の透水性能のばらつきに注意が必要であると考えられる。

5. まとめ 不均一性を考慮して抽出した不織布に対して段階载荷圧縮試験を行った。各载荷段階における間隙比 e の平均値 $\bar{e}$ と標準偏差 σ を評価することにより、不織布の圧縮特性における信頼区間について検討した。得られた知見は以下のとおりである。① $\sigma \sim \log p$ 関係は $p = 70 \text{ kN/m}^2$ を境界とする2直線となる。 p が大きくなると σ は直線的に減少する。 p が70 kN/m²よりも大きくなると、減少の傾きが小さくなる。②信頼区間を考慮した不織布の $e \sim \log p$ 関係を示した。 p が増加するにつれて e の信頼区間の幅が狭くなり、ばらつきが小さくなる。 p が70 kN/m²よりも大きくなると、 e の信頼区間の幅はほぼ同じである。③ p が550 kN/m²よりも大きくなると、 e の平均値に対するばらつきは大きくなる。

謝辞 本研究はJSPS 科研費 21K04250 (研究代表者: 信州大学 河村 隆) の助成を受けた。

【参考文献】 1) 河村 隆, 梅崎健夫, 田中幹宏: 材料の不均一性を考慮した不織布の段階载荷圧縮特性, ジオシンセティックス論文集, 第35巻, pp.185-192, 2020.

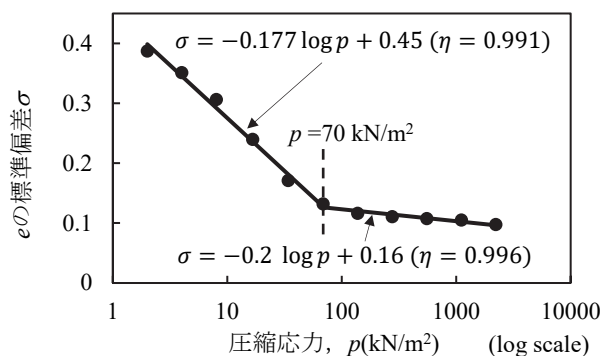


図-4 圧縮応力と間隙比の標準偏差の関係

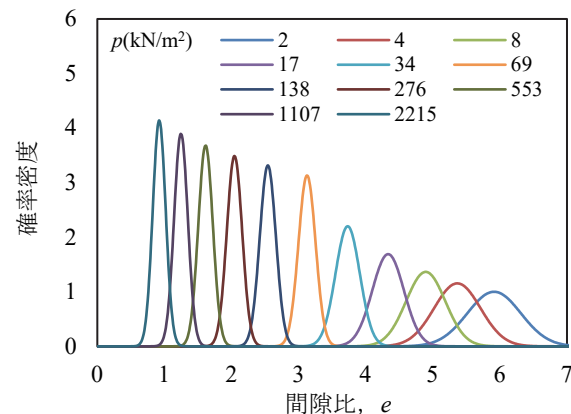


図-5 各载荷段階における間隙比の正規分布曲線

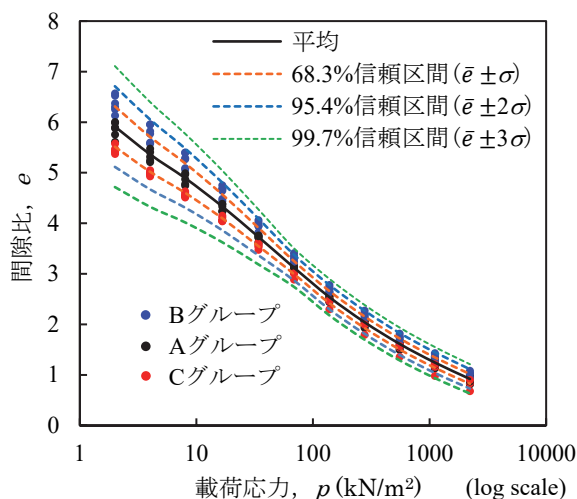


図-6 信頼区間を考慮した $e \sim \log p$ 関係

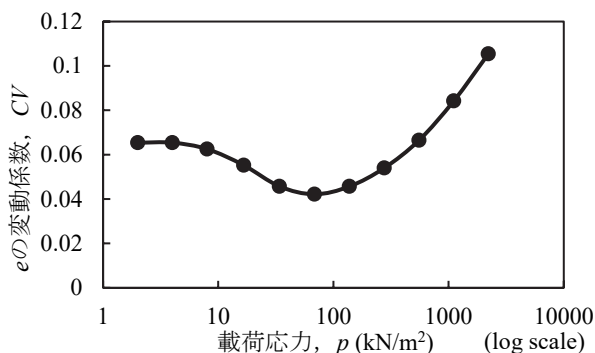


図-7 圧縮応力と間隙比の変動係数