

ジオテキスタイルの見かけの開孔径試験方法に関する考察

木幡行宏¹・島谷文卓²・弘中淳市³・平井貴雄³

ジオテキスタイルの見かけの開孔径は、ジオテキスタイルの透水性能や、目詰まり量などに密接に関係する物性値である。しかし、現段階において、その見かけの開孔径を測定する試験方法の優劣や問題点の評価については、国際的な議論がなされていないと考えられる。本研究では、地盤工学会の新基準案である湿式開孔径試験と、地盤工学会の旧基準案である「ジオテキスタイルの見かけの開孔径試験方法」の繰返し水浸式開孔径試験を実施し、各試験から得られる開孔径、試験方法の改善点、及び開孔径の理論値との比較について検討を行った。その結果、各試験方法の改善点、及び湿式開孔径試験と繰返し水浸式開孔径試験が理論値に近いことが導かれた。

キーワード：ジオテキスタイル、見かけの開孔径、試験方法

1. はじめに

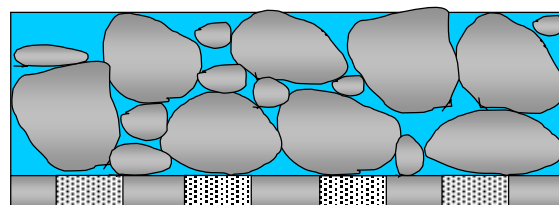
ジオテキスタイルの透水性能に関して主に問題とされるのが、土粒子の浸入・捕捉に伴うジオテキスタイルの目詰まり、及び盛土荷重によって作用する拘束圧等の要因による透水性能の低下である^{1)~4)}。

一方、垂直方向の『濾過・分離材』としてジオテキスタイルを敷設した場合、ジオテキスタイルの面内方向と垂直方向の透水性能は相互に関連することから⁵⁾、面内方向と同様に垂直方向の透水においてもジオテキスタイルに目詰まりが発生し、透水性能や分離機能が低下することが予想される。

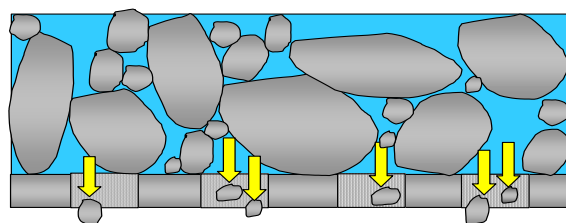
上記の透水性能の低下の原因の一つである目詰まりの現象には 図 - 1 (a) のようにジオテキスタイル直上部にジオテキスタイル表面の開孔径より大きい土粒子が貯留されて発生する場合と 図 - 1 (b) のようにジオテキスタイルの繊維構造内にジオテキスタイル表面の開孔径より小さい粒径の土粒子が浸入して発生する場合の2種類が挙げられる⁶⁾。

このような目詰まり現象の発生には、ジオテキスタイルの開孔径と土の粒径が密接に関係することが知られている。そのため、目詰まり現象が生じにくい適切なジオテキスタイルを選択する際、ジオテキスタイルの開孔径は、重要なパラメータとなる。

ジオテキスタイルの開孔径とは、ジオテキスタイルの



(a) 土粒子がジオテキスタイルの直上部に貯留する場合



(b) 土粒子がジオテキスタイル内に浸入する場合

図 - 1 目詰まり現象の概念図⁶⁾

構造に支障を来すことなく、ジオテキスタイルの空隙部分を通過できる粒子の最大粒径である。ジオテキスタイルの開孔径を直接的に測定することは難しいため、開孔径に密接に関連するパラメータを定義することにより、見かけの開孔径として近似値を使用する。代表的パラメータは O_{90} 、 O_{95} 、 O_{98} である。例えば O_{90} は、ジオテキスタイル試験片を通過した粒状体の粒径加積曲線より、通過質量百分率の90%粒径に対応する粒径として定義されている。

¹正会員，室蘭工業大学，工学部，建設システム工学科，准教授（〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1）

²鉄建建設㈱，東北支店（元 室蘭工業大学大学院生）（〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 690-10）

³正会員，三井化学産資㈱，事業本部（〒113-0034 東京都文京区湯島 3 丁目 39-10）

表 - 1 ジオテキスタイルの物性値

ジオテキスタイルの種類		GTX-S14	GTX-S30	GTX-S40	GTX-D80
目付 (g/m ²)		140	300	400	800
厚さ (mm)		1.5	3	4	6.5
乾式開孔径試験による 見かけの開孔径, O _{R95} (μm)		370	220	190	90
透水係数 (cm/sec)	垂直	1 × 10 ⁻¹	1 × 10 ⁻¹	1 × 10 ⁻¹	1 × 10 ⁻¹
	水平	1 × 10 ⁰	1 × 10 ⁰	1 × 10 ⁰	1 × 10 ⁰

ジオテキスタイルの開孔径を測定する試験方法には、大別して乾式法、湿式法、及びその他の試験法があるが、現段階で各試験方法の優劣や問題点の評価については、国際的な議論がなされていないのが現状である。そこで、本研究では、乾式開孔径試験、湿式開孔径試験、及び繰返し水浸式開孔径試験の優劣や問題点の評価をするため、地盤工学会の新基準案である湿式開孔径試験^{7,8)}、及び旧基準案である繰返し水浸式開孔径試験⁹⁾を実施し、各試験から得られる開孔径、各試験における試験方法の改善点、及び開孔径の理論値との比較について検討を行った。

なお、本研究では、地盤工学会による旧基準案⁹⁾を参考に、見かけの開孔径としてO₉₅を採用し、乾式開孔径試験による見かけの開孔径はO_{R95}、湿式開孔径試験による見かけの開孔径はO_{P95}、繰返し水浸式開孔径試験による見かけの開孔径はO₉₅とした。

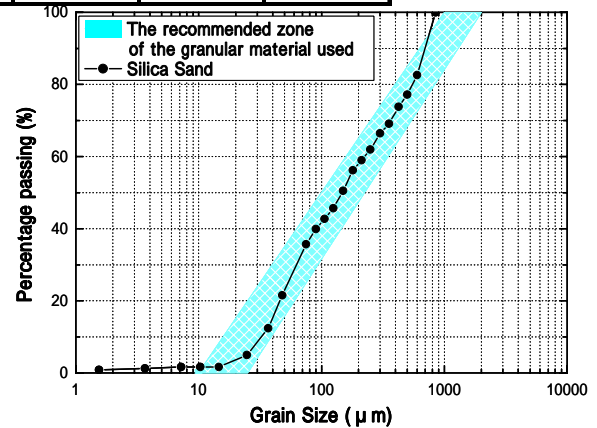


図 - 2 珪砂の粒径加積曲線
表 - 2 ガラスビーズの粒径

代表粒径 (μm)	粒径の範囲 (μm)
50	37 ~ 63
70	63 ~ 88
100	105 ~ 125
150	149 ~ 177
200	177 ~ 250
400	350 ~ 500
600	500 ~ 710

2. ジオテキスタイル及び試料

(1) ジオテキスタイル

本研究で使用したジオテキスタイルは、ポリプロピレン樹脂を原料とし、スパンボンド法により製造された連続長繊維不織布であり、物性値を表 - 1 に示す。表 - 1 中の GTX-S14、GTX-S30、GTX-S40 は 1 層構造、GTX-D80 は 2 層構造であり、14、30、40、80 は目付に基づいたものである。1 層構造のジオテキスタイル (GTX-S14、GTX-S40、GTX-S40) は、フィルター層のみから成り、2 層構造のジオテキスタイル (GTX-D80) は、フィルター層とプロテクション層から成っている。フィルター層は、細径フィラメントで構成され、細粒分の抜け出しを防ぎ、安定的なフィルター機能を有し、プロテクション層は太径フィラメントで構成され、開孔径が大きいためフィルター層を通過した細粒分を速やかに排出し、目詰まりが生じにくい機能を有している。

(2) 試料

湿式開孔径試験には、粘着力がなく、均等係数が 3 U_c 20 の範囲にある粒状体を使用するため、粒度調整した珪砂を使用した。推奨される粒状体の粒径加積曲線の範囲、及び粒度調整した珪砂の粒径加積曲線を図 - 2 に示す。

繰返し水浸式開孔径試験には、各ジオテキスタイルの乾式開孔径試験より得られた見かけの開孔径に応じてガラスビーズを使用した。表 - 2 に繰返し水浸式開孔径試験に使用したガラスビーズの代表粒径と粒径の範囲を示す。

以下に、本研究における湿式開孔径試験、繰返し水浸式開孔径試験の試験装置および試験方法を述べる。なお、乾式開孔径試験については、既報を参照されたい^{9,10)}。

3. 湿式開孔径試験

(1) 試験装置

本研究で使用した湿式開孔径測定装置を図 - 3 に示す。これは、試験期間中に振動数 50 ~ 60 Hz、振幅 1.5 mm で鉛直振動し、円錐ノズルから水を 0.5 L/min (0.2 MPa 時) で噴霧する機能を有するものである。

(2) 試験方法

乾燥したジオテキスタイル供試体(200 mm)の質量を精度 0.01 gまで測定し記録する。親水剤(ラウリル硫酸ナトリウム)を混合した水道水にジオテキスタイル供試体を沈め、24 時間以上浸しておく。24 時間以上浸しておいたジオテキスタイル供試体を、余分な張力を作用させることなく、平坦な状態で網ふるいに固定する。ジオテキスタイル供試体のふるい領域に対して 7 kg/m^2 以上の珪砂を用いるため、本研究では 220 gの珪砂をジオテキスタイル供試体上に均等にのせた。円錐ノズルから 0.5 L/min で水を噴霧させながら、周波数 50 Hz、両振幅 1.5 mmで上下振動させ、振動時間は 600 秒とした。試験期間中、水と共にジオテキスタイル供試体を通過した珪砂をピーカーで採取し、乾燥させた後、通過した珪砂の粒度を測定し、粒径加積曲線の 95%通過粒径を開孔径の測定値とした。

4. 繰返し水浸式開孔径試験

(1) 試験装置

本研究で使用した繰返し水浸式開孔径測定装置を図 - 4 に示す。これは、ジオテキスタイル供試体を装着できる円筒容器と、円筒容器を一定速度 (1 cm/s) で水槽中に上下移動する機能を有するものである。水槽浸漬深さは 50 mm、円筒容器は内径 100 mm、高さ 200 mm であり、水槽は内径 200 mm、高さ 300 mm である。

(2) 試験方法

ガラスビーズは、乾式開孔径試験による見かけの開孔径に応じて、GTX-S14 と GTX-S30 には代表粒径 $70 \sim 600 \mu\text{m}$ を、GTX-S40 と GTX-D80 には代表粒径 $50 \sim 400 \mu\text{m}$ の 6 種類をそれぞれ各 10 g ずつ採取し、数滴の水で団粒がなくなるまで混合後、24 時間放置する。円筒容器の底部に水道水に 24 時間浸しておいたジオテキスタイル供試体を装着し、ガラスビーズをジオテキスタイル供試体面上にのせる。円筒容器は、 1 cm/s の速度で、水槽浸漬時間 18 秒、空中引き上げ時間 30 秒、浸漬深さ 50 mm の条件で上下作動を繰返し、繰返し浸漬回数は 2000 回とした。試験終了後、水槽内に流出したガラスビーズの粒度を求め、粒径加積曲線の 95%通過粒径を開孔径の測定値とした。

5. 試験結果及び考察

(1) 湿式開孔径試験結果

GTX-S14, GTX-S30, GTX-S40, GTX-D80 に対して実施した湿式開孔径試験によって、それぞれのジオテキス

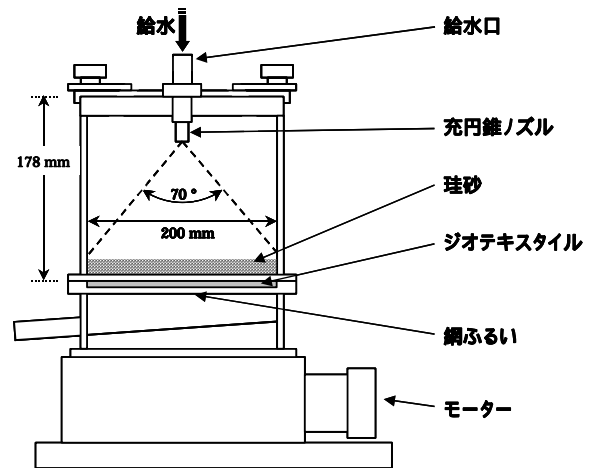


図 - 3 湿式開孔径測定装置

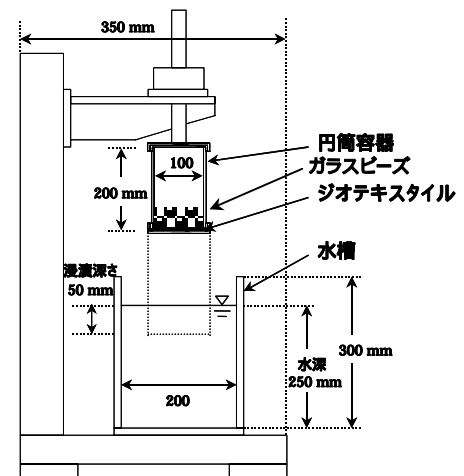


図 - 4 繰返し水浸式開孔径測定装置

タイル供試体を通過した珪砂の粒径加積曲線を図 - 5 ~ 8 に示す。それぞれ、図 - 5 は GTX-S14、図 - 6 は GTX-S30、図 - 7 は GTX-S40、図 - 8 は GTX-D80 の結果である。なお、GTX-S14, GTX-S30, GTX-S40 に対しては、通過した珪砂のふるい分析によって見かけの開孔径 (O_{P95}) を求められるため、沈降分析を行わず、GTX-D80 に対してのみ沈降分析を行った。

図 - 5 ~ 8 より、それぞれの開孔径の値には若干のバラツキがあるが、見かけの開孔径を決定する上では影響はないと判断し、3 回の測定値の平均値を見かけの開孔径 (O_{P95}) とした。得られた結果を表 - 3 に示す。また、繰返し水浸式開孔径試験についての結果については、既報を参照されたい¹⁰⁾。

(2) 考察

表 - 1 中の乾式開孔径試験による開孔径 (O_{R95}) と比較すると、湿式開孔径試験、及び繰返し水浸式開孔径試験で得られた見かけの開孔径の値のほうが小さい。これらは、それぞれの試験方法の違いに起因するものと考えられる。すなわち、乾式開孔径試験は、代表粒径の最も大きいガラスビーズ 50 g をジオテキスタイル供試体上にのせ、10 分間の振動後、残留率が 95% 以下になるまで、

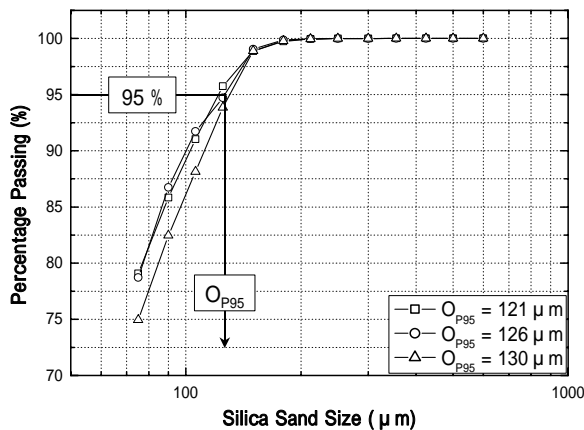


図 - 5 ジオテキスタイル供試体を通じた珪砂の粒径加積曲線 (GTX-S14)

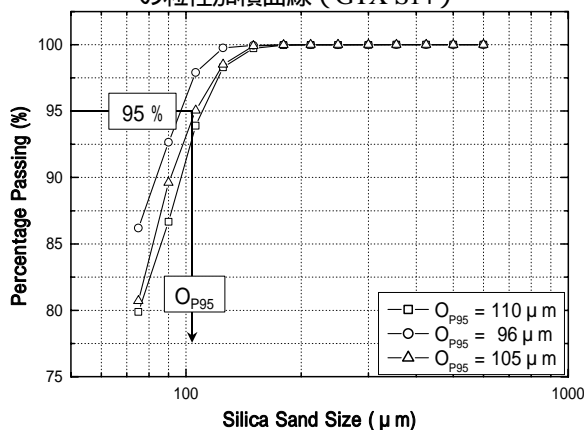


図 - 7 ジオテキスタイル供試体を通じた珪砂の粒径加積曲線 (GTX-S40)

同一供試体に対して、順次、ガラスビーズ径を小さくしながら、繰返し振動させる。これにより、1回目の振動時にジオテキスタイル供試体内に保持、または供試体上に貯留したガラスビーズが、2回目以降の振動時に強制的に通過させられるため、湿式開孔径試験及び繰返し水浸式開孔径試験による開孔径の値より大きくなると考えられる。なお、残留率Rは、次式で定義される。

$R = (50 - m_1) / 50 \times 100 (\%)$: ここで、 m_1 は、ジオテキスタイル供試体を通じたガラスビーズの質量である。

繰返し水浸式開孔径試験は、円筒容器の繰返し浸漬時に発生する交互の水流によって、ジオテキスタイル供試体内に保持されたガラスビーズが移動しやすいため、湿式開孔径試験による開孔径の値より大きくなると考えられる。しかし、GTX-S40の開孔径は、湿式開孔径試験より小さく、また GTX-D80 においては、計測不可能であった。これは、GTX-S40 と GTX-D80 の厚さが厚いため、交互水流による粒子への作用力が小さく、大粒径のガラスビーズがジオテキスタイル供試体内に保持、または供試体上に貯留して通過できないためであると考えられる。

湿式開孔径試験は、上記の2つの試験法と異なり、粒状体として一般的な土質材料を用いることとしており、本試験では珪砂を使用した。珪砂はガラスビーズに比較すると角張りがあるため、厚さが薄いジオテキスタイル供試体中に捕捉される可能性が大きくなると考えられることから、繰返し水浸式開孔径試験結果に比べて開孔径

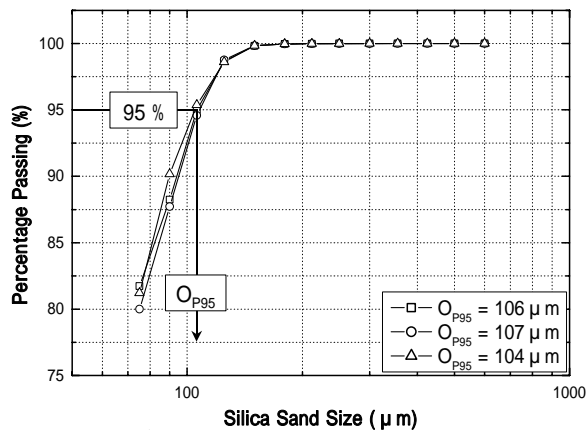


図 - 6 ジオテキスタイル供試体を通じた珪砂の粒径加積曲線 (GTX-S30)

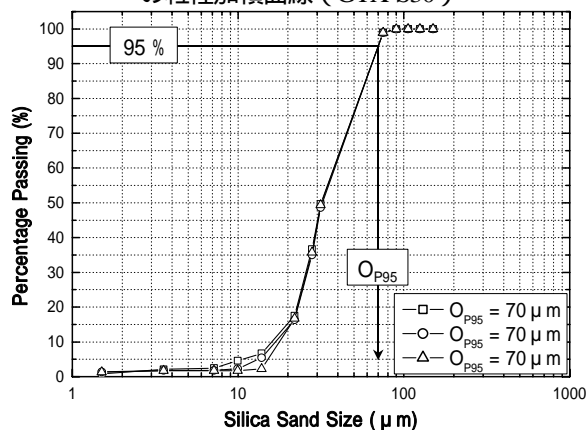


図 - 8 ジオテキスタイル供試体を通じた珪砂の粒径加積曲線 (GTX-D80)

表 - 3 湿式開孔径試験、及び繰返し水浸式開孔径試験による各ジオテキスタイルの開孔径

ジオテキスタイルの種類	GTX-S14	GTX-S30	GTX-S40	GTX-D80
湿式開孔径試験 O_{P95} (μm)	126	106	103	70
繰返し水浸式開孔径試験 O_{95} (μm)	133	123	88	

の値が小さくなると思われる。一方、湿式開孔径試験で得られる GTX-S40 の開孔径は 繰返し水浸式開孔径試験より大きい値を示し、さらに、繰返し水浸式開孔径試験で計測不可能であった GTX-D80 の開孔径の計測が可能であった。これは、湿式開孔径試験においては、厚さが厚いジオテキスタイル供試体のほうが厚さの薄い供試体に比べ、粒子の抜け道が空間的に広がることから、振動と散水により供試体内に浸入した珪砂粒子が自由に移動して、ジオテキスタイル供試体を通ることが可能であるためと考えられる。

6. 湿式開孔径試験方法の改善点の検討

地盤工学会の新基準案では、試験期間中に水と共にジオテキスタイル供試体を通じた粒状体を、濾紙を使用して水と粒状体に分離させてとなっている。しかし、こ

の方法では、試験開始直後に濾紙に珪砂が詰まってしまう、珪砂と水の混合液を濾過しきれず、混合液が回収装置から溢れ出てしまう。また、試験期間中に珪砂と水の混合液を回収し、その後、混合液を少量ずつ濾紙に通して珪砂だけを採取しようと試みたが、濾過する時間が非常に長くなってしまいう上に、濾過中に混合液の重さで濾紙が破けてしまう。これらの要因により、濾紙を使用する方法では、通過した珪砂を損失してしまうため、粒度試験の精度が低下すると考えられる。

そこで、本研究では、試験期間中に珪砂と水の混合液を容量5Lのピーカーで回収し、その後、水だけを乾燥させることによって、通過した珪砂を採取した。その結果、珪砂の損失が減少し、粒度試験の精度が向上した。しかし、5Lの混合液から水だけを乾燥させるには、24時間以上の時間を要するため、珪砂と水の分離法には今後検討すべき課題が残されている。

7. 開孔径の理論値との比較

不織布ジオテキスタイルの間隙率が、開孔径に対して大きな影響を与えることから、J.P. GIROUD¹¹⁾は、不織布ジオテキスタイルの間隙率として式(1)を、不織布ジオテキスタイルの開孔径の理論値として式(2)を提唱している。式(1)、(2)を用いて得られる開孔径の理論値と、各試験によって得られた開孔径の値を比較検討する。なお、2層構造のGTX-D80に対しては、これらの式が適用不可能であるため、1層構造のジオテキスタイルに対してのみ検討を行う。

$$n = \left(1 - \frac{\mu_{GT}}{\rho_f t_{GT}} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$\frac{O_F}{d_f} = \frac{1}{\sqrt{1-n}} - 1 + \frac{\xi n}{(1-n) t_{GT} / d_f} \quad (2)$$

- n : 間隙率 (%)
- μ_{GT} : ジオテキスタイルの単位面積質量
- ρ_f : ジオテキスタイルの繊維密度
- t_{GT} : ジオテキスタイルの厚さ
- O_F : ジオテキスタイルの開孔径
- d_f : ジオテキスタイルの繊維直径
- ξ : フィッティングパラメータ ($\xi=10$)

式(1)を用いて求めた間隙率の値を表-4に示す。それぞれのジオテキスタイルの間隙率は、およそ89%となっている。また、各試験によって得られた開孔径とジオテキスタイルの相対厚さの関係を図-9~11に示す。図中の実線は、間隙率89%で式(2)を使用して示され

表-4 ジオテキスタイルの間隙率

ジオテキスタイルの種類	GTX-S14	GTX-S30	GTX-S40
間隙率 (%)	89.7	89.0	89.0

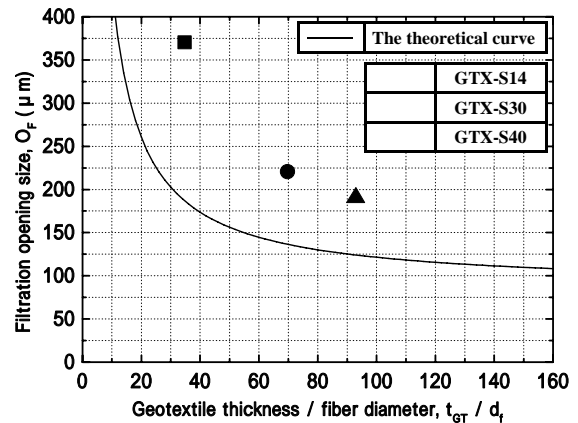


図-9 乾式開孔径試験における開孔径と相対厚さの関係

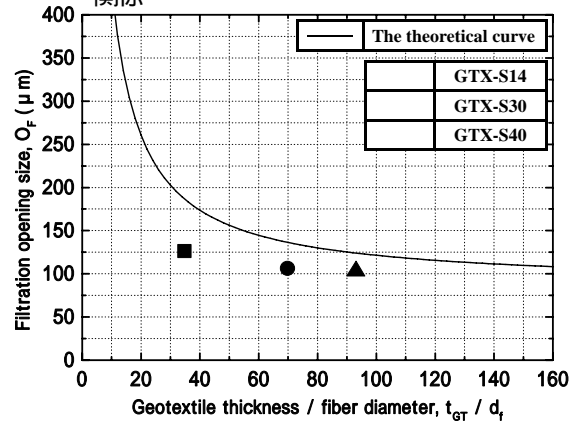


図-10 湿式開孔径試験における開孔径と相対厚さの関係

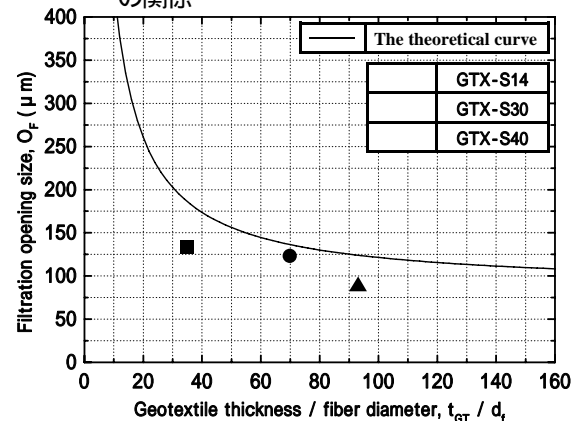


図-11 繰り返し水浸式開孔径試験における開孔径と相対厚さの関係

た開孔径の理論値曲線である。それぞれ、図-9は乾式開孔径試験、図-10は湿式開孔径試験、図-11は繰り返し水浸式開孔径試験によって得られた開孔径の値を用いている。

図-9より、乾式開孔径試験によって得られた開孔径の値は、間隙率89%で式(2)を使用して示される理論値曲線から大きく離れていることから、乾式開孔径試験では、ジオテキスタイルの開孔径を適切に測定できない

と考えられる。

図 - 10, 図 - 11 より, 湿式開孔径試験と繰返し水浸式開孔径試験によって得られた開孔径の値は, 間隙率 89 % で式 (2) を使用して示される理論値曲線とほぼ一致していることから, 湿式開孔径試験と繰返し水浸式開孔径試験は, ジオテキスタイルの開孔径を測定する試験法として, 妥当な開孔径の値を求められる試験方法であると考えられる。

8. まとめ

(1) 乾式開孔径試験について

同一供試体に対して, 順次, ガラスビーズ径を小さくしながら繰返し振動させ強制的に通過させていると考えられるため, ジオテキスタイルの開孔径を過大評価していると考えられる。このことは, J.P. GIROUD の開孔径の理論値との比較においても矛盾がない。

(2) 湿式開孔径試験について

試験方法の改善点として, 粒状体の採取方法についての見直し点が提案された。また, 湿式開孔径試験から得られた見かけの開孔径の値を J.P. GIROUD の開孔径の理論値と比較すると, 本研究の範囲内では, どのジオテキスタイルに対しても適用可能な試験方法であると考えられる。

(3) 繰返し水浸式開孔径試験について

繰返し水浸式開孔径試験から得られた見かけの開孔径の値を J.P. GIROUD の開孔径の理論値と比較すると, 開孔径として妥当な値を求められる試験方法であると考えられるが, 厚さの影響を受けるため, 厚さが大きいジオテキスタイルに対しては, 適用不可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 宮田喜壽, 木暮敬二, 谷澤芳郎, 落合英俊: 目詰まり不織布の透水性能に関する実験的考察, 土木学会論文集, No.596 / -43, pp.123-130, 1988.6.
- 2) 林英雄, 森麟: 盛土中に敷設するジオテキスタイル排水材の目詰まりによる透水性低下の予測に関する研究, 土木学会論文集, No.510 / -26, pp.57-67, 1995.3.
- 3) 林英雄, 森麟: 地山から流出する土粒子による不織布排水材の目詰まり量と排水性に関する実験的研究, 第 28 回土質工学研究発表会, pp.2437-2440, 1993.6.
- 4) 山田貴史, 伊藤秀行, 片岡昌裕, 浅田貢: 不織布の面内方向透水性能の低減に関する実験, 第 32 回地盤工学研究発表会, pp.2027-2028, 1997.7.
- 5) 巻内勝彦, 峯岸邦夫, 塩野真康, 増田貴之: ジオドレーンシート・盛土複合体における水理特性, 国際ジオシンセティックス学会日本支部, ジオシンセティックス論文集, 第 17 巻, pp.173-176, 2002.12.
- 6) 西形達郎, 岩崎高明, 須長誠, 新井克彦: 「ジオテキスタイルの水理特性試験方法」について, ジオテキスタイル試験方法に関するシンポジウム発表論文集, pp.9-16, 1994.6.
- 7) 「JGS 0911: ジオテキスタイルの見かけの開孔径試験方法」の改正案について, 土と基礎, Vol.56, No.2, pp.44-45, 2008.
- 8) JGS 0911: ジオテキスタイルの開孔径試験方法 湿式開孔径試験, 「新規制定の地盤工学会基準案について」, 地盤工学会 HP, 2008.
- 9) 木暮敬二, 軽部大蔵: 新規制定の学会基準案「ジオテキスタイルの見かけの開孔径試験方法」について, 土と基礎, Vol.42, No.3, pp.101-105, 1994.3.
- 10) 木幡行宏, 島谷文卓, 弘中淳市, 平井貴雄: ジオテキスタイルの垂直方向透水性能に及ぼす見掛けの開孔径の影響についての検討, ジオシンセティックス論文集, 第 22 巻, pp.147-152, 2007.
- 11) J.P.Giroud: Granular Filters and Geotextile Filter, Proc.of Geofilters'96, pp.565-680, 1996.

STUDY ON THE METHOD FOR APPARENT OPENING SIZE TESTS OF GEOTEXTILE

Yukihiro KOHATA, Fumitaka SHIMAYA, Junichi HIRONAKA and Takao HIRAI

The apparent opening size (O_{95}) of geotextile is a physical parameter closely related to the permeability property and/or amount of clogging of geotextile. In this paper, the various methods for apparent opening size of geotextile are discussed. The apparent opening size tests of geotextile on the wet and hydrodynamic method were performed, and the apparent opening size of each test method was evaluated. Based on test results, an improvement of each test method was proposed. It was found that the value of apparent opening size of geotextile obtained from wet and hydrodynamic methods were near to a theory value proposed by J.P. Giroud.