

加圧膜法による間隙水圧の時間遅れに関する一考察

鹿児島大学大学院理工学研究科

学生会員 ○中島 亮輔

東亜建設工業（株）

非会員 石 大地

鹿児島大学学術研究院理工学域工学系

正会員 酒匂 一成

立命館大学理工学部環境都市工学科

正会員 伊藤 真一

日本工営（株）

正会員 高田 雄大

1. はじめに

不飽和土の浸透、変形、破壊挙動を明らかにするためには土の水分特性曲線が重要である。しかし、水分特性曲線を求めるための保水性試験は、試験に時間を要する課題がある。そこで、試験の効率化・短縮化を目的として、従来の段階加圧型加圧板法に代わる連続加圧型加圧板法が開発されてきている¹⁾。山本ら²⁾は、連続加圧型加圧板法を実施するにあたり、空気圧制御後に土中の間隙水圧の測定に時間遅れが生じることが試験結果に影響を与える可能性を示し、その原因はペDESTALのセラミック板の排水性が関係していると指摘している。そこで、本研究では、ペDESTALにセラミック板を用いた加圧板法から、排水性の高い微細多孔質膜を用いた加圧膜法に改良することで、間隙水圧の時間遅れを改善することを試みた。また、その改良効果を豊浦砂と鹿児島市東俣町で採取された東俣シラスで確認した。

2. 加圧板法および加圧膜法試験装置の概要

本研究で用いた加圧板法試験装置の概要を図-1に示す。供試体（直径 50mm、高さ 51mm）が入った圧力セル内に間隙空気圧 $u_{a,CP}$ （セル圧，CP）を負荷させ、吸排水容器と電子天秤が入った圧力チャンバー内の水に間隙空気圧 $u_{a,BP}$ （背圧，BP）を負荷させることで、サクシオン制御を行う（軸移動法）。供試体中央部にはセラミック製ポーラスカップ（直径 8mm、長さ 15mm、空気侵入値 380kPa）を設置しており、供試体中央部で土中の間隙水圧 u_w を 1 分間隔で測定している。サクシオンはセル圧 $u_{a,CP}$ と間隙水圧 u_w の差で得られる。供試体底部のセラミック板付きペDESTALには、吸排水用の経路があり、吸排水用経路は、吸排水容器に接続されており、吸排水容器の電子天秤によって吸排水量が 1 分間隔で測定される。また、セラミック板付きペDESTALは、測

定範囲に応じて使い分けることが望ましいため、空気侵入値の異なる 2 種類を用いた（CD-1，CD-2）。セラミック板 CD-1，CD-2 の各種性能を表-1 に示す。

一方、セラミック板の低透水性が間隙水圧の時間遅れに起因していると考えられることから、西村らの研究³⁾を参考にして、セラミック板付きペDESTALの部分を、排水性の高い微細多孔質膜（MB）に改良した。図-2 に改良後の圧力セルを示す。MB の透水係数は、セラミック板（CD-1，CD-2）に比べて最も小さいが、膜厚が 0.45 μ m と非常に薄いことから、セル圧 75kPa 負荷時の毎分透水量は最も大きい（表-1）。また、供試体支持と MB を水平に敷くために、供試体底部にはポーラスストーンを設置している。

3. 保水性試験の試験条件および試験結果

本研究では、豊浦砂（ $\rho_s = 2.65 \text{ Mg/m}^3$ ）と鹿児島市東俣町で採取された東俣シラス（ $\rho_s = 2.37 \text{ Mg/m}^3$ ）を用いて加圧板法と加圧膜法による保水性試験を実施した。豊浦砂は CD-1、東俣シラスは CD-2 のセラミック板付きペDESTALを使用した。試験条件を表-2 に示す。初期含水比と間隙比を設定し、ペDESTAL内に設置したモールド内に 1 層あたりの厚さを均一に保ちながら 3 層に分けて締固めを行った。MB を用いた加圧膜法試験では、締固めによって MB が破ける恐れがあるため、予め作製した供試体をペDESTALに設置し、水浸脱気法によって飽和度を高めている。供試体設置後に、ポーラスカップの外径よりやや小さいオーガを用いて仮孔を掘り、ポーラスカップを供試体内部に設置した。背圧を一定とし、平衡状態を確認した後にセル圧を変更した。また、電子天秤で計測される排水量の時間変化が 0.01g/hour 以下となった時を平衡状態としている。

図-3(a)に豊浦砂の加圧板法と加圧膜法の水分特性曲線を示す。セル圧 0→55，55→60kPa の各制御段階にお

キーワード：不飽和浸透特性，水分特性曲線，保水性試験，加圧板法，加圧膜法

連絡先：〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元 1-21-40，電話:099-285-8482

ける時間遅れは、加圧板法では2分、0分、加圧膜法では1分、0となり、装置改良によって排水性能が向上し、時間遅れに及ぼす影響を軽減できたと考えられる。両者の水分特性曲線は、時間遅れの影響を受けている箇所があるが、概ね一致している。また、各制御段階におけるサクシオンが平衡状態に達するまでの時間を観察したところ、加圧板法では2,126分、1,404分要しており、加圧膜法では609分、1,276分と短縮されたことから、加圧膜法では試験時間の短縮化が期待される。

図-3(b)には東俣シラスの加圧板法と加圧膜法の水分特性曲線を示す。セル圧 0→40, 40→50kPa の各制御段階における時間遅れは、加圧板法では19分、19分、加圧膜法では2分、4分であったことから、東俣シラスにおいても加圧膜法により時間遅れを軽減することができた。また、各制御段階におけるサクシオンが平衡状態になるまでの時間は、加圧板法では2,347分、1,613分要しており、加圧膜法では368分、1,160分と短縮されたことが確認された。

4. おわりに

本研究では、加圧板法における空気圧制御後の土中の間隙水圧測定の時間遅れを改善するために、排水性の高い微細多孔質膜を用いた加圧膜法に改良し、その改良効果を検証した。その結果、加圧膜法により、豊浦砂と東俣シラスにおいて間隙水圧の時間遅れを軽減することができた。また、加圧膜法は加圧板法に比べて、サクシオンが平衡状態になるまでの時間が短いことから、試験時間の短縮化が期待される。今後は、時間遅れを考慮したセル圧の制御間隔について検討する。

謝辞：本研究は、令和4年度九州地域づくり協会調査研究等助成事業の支援を得た。ここに謝意を示す。

参考文献

1) 川原孝洋ほか：連続加圧方式による新しい保水性試験方法について（その1）第47回地盤工学研究発表会講演集，pp.691-692，2012。

2) 山本孝憲，酒匂一成：保水性試験におけるサクシオン制御後の間隙水圧の変動の観測，平成26年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.465-466，2015。

3) 西村友良，古関潤一：セルローズ膜を用いた非塑性シルトの水分保持曲線，平成19年度第62回土木学会年次学術講演会，pp.197-197，2007。

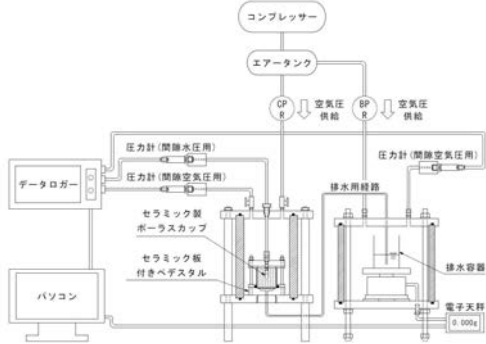


図-1 加圧板法試験装置

表-1 セラミック板と微細多孔質膜の性能

	CD-1	CD-2	MB
厚さ	3mm	3mm	0.45μm
直径 (mm)	46	46	52
空気侵入値 (kPa)	76	440	130
透水係数 (m/sec)	1.43×10 ⁻⁷	1.25×10 ⁻⁹	4.97×10 ⁻¹¹
毎分透水量 (at 75kPa) (g/min)	37.4	0.3	74.6

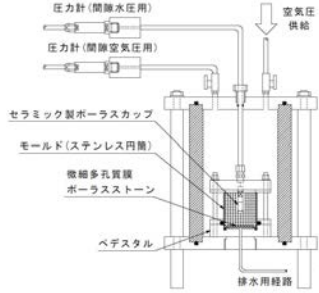


図-2 改良した圧力セル（加圧膜法）

表-2 試験条件

	豊浦砂		東俣シラス	
	加圧板法	加圧膜法	加圧板法	加圧膜法
間隙比 e	0.70	0.66	1.02	1.06
含水比 w (%)	28.1	28.7	42.9	48.6
セル圧 $u_{a,CP}$ (kPa)	55 → 60		40 → 50	
背圧 $u_{w,BP}$ (kPa)	50		30	

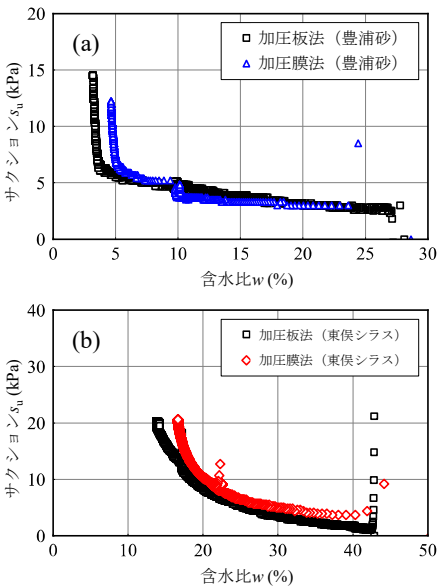


図-3 水分特性曲線 (a)豊浦砂、(b)東俣シラス