不飽和土のコーン貫入力と一面せん断強度の関係

足利工業大学　正会員　西村友良
足利工業大学　学生会員○柿崎佳和　横尾将貴

1 まえがき

土を締固めて構築（建造）される土木構造物は不飽和状態として存在している。土構造物のうち、盛土は典型的な不飽和状態でありながらその性状を管理する場合に、不飽和土の土質力学的な取り扱いは十分でないのが現状であり、実務レベルにおいて土中のサクション計測などの原位置への導入が期待される。一方、室内試験では不飽和土の力学試験や不飽和土の透水試験も数多く行われるようになっている。しかし、室内試験と原位置での不飽和地盤の評価を結びつける手法を積極的に検討することは重要である。

そこで本研究では原位置における調査法であるコーン貫入試験方法に着目し、室内でコーン貫入試験を行った。ただし、対象供試体には全てサクション制御を実施しコーン貫入力に与えるサクションの影響を検討している。また、コーン貫入試験で用いた同一サクション条件の不飽和供試体に、定体積一面せん断試験を実施し、コーン貫入力と定体積一面せん断強度の関係を明白にしている。

2 試料と実験方法

2-1 試料

本実験に用いた試料は非塑性シルトである。試料の水分保持曲線を図-1に示す。この非塑性シルトを含水比調整し、室内コーン貫入試験ではモールド内で試料を静的に締固め供試体を作製した。一方、定体積一面せん断試験では、せん断箱内で試料を静的に締固めた。室内コーン貫入試験と定体積一面せん断試験の結果・評価を関連づけるため、供試体内的条件およびサクション条件を一致させている。供試体に与えたサクションの大きさはマトリックサクションで 20kPa、40kPa、60kPa、80kPa であり、80kPa を超える大きさとしては 2830kPa 以上の高サクションも制御した。ここでマトリックサクションの制御には加圧法を、高サクション制御には蒸気圧法を用いた。蒸気圧法で用いた塩および制御される湿度・サクションを表-1 に示す。

2-2 室内コーン貫入試験

室内コーン貫入試験には図-2 に示す室内コーン貫入試験装置を用いた。室内コーン貫入試験装置は三軸圧縮試験機を改良した装置であり、三軸底盤に取り付けたペデスタルにはセラミックディスクが装着している。ペデスタルを覆うように材質 SOS304 のモールドが三軸底盤に固定されている。モールドの内径は 60 ㎜、ペデスタル表面からモールド上端までは 66 ㎜である。供試体作製の前に、セラミックディスクを十分に飽和させ、その後、モールド内に含水比調整した試料の所定量全てを投入し静的に締固めた。締固め後の目標間隙比の大きさは 0.91 であった。締固めて作製された供試体に対して水浸作用を与え、初期サクションを消失させ、加圧法によって任意の大きさのマトリックサクションの制御を実施した。

マトリックサクションの制御を受けた供試体表面にコーンを設置し、毎分 0.5 ㎜の貫入速度で室内コーン貫入試験を実施し、試験中の貫入量と貫入力を計測した。本研究に用いたコーンの形状は先端角が 30 度であった。また、コーン貫入量が 20 ㎜付近に達した場合実験を終了した。

2-3 不飽和一面せん断試験

サクション制御を伴う一面せん断試験は不飽和土用一面せん断試験機を用いて実施した。不飽和土用一面せん断試験はせん断箱が圧力室に納められた構造を有しており、また一面せん断箱下箱にはセラミックディスクが装着されている。その後、圧力室内でせん断箱と伴に供試体は水浸作用を受け初期サクションの消失を行った。定体積を保持したままマトリックサクションの制御を行い平衡した後、水平変位速度 0.25 ㎜/分で定体積条件で一面せん断試験を行った。

一面せん断試験およびコーン貫入試験のいずれも水浸作用で 7 日間、マトリックサクション載荷で 7 日間を要した。しかし、高サクションの場合は約 1 ヶ月であった。

キーワード：コーン貫入力、不飽和土、サクション、一面せん断強度
連絡先：〒326-8558 栃木県足利市大前町 268 足利工業大学 都市環境工学科 Tel 0284-62-0605　Fax 0284-64-1061

3 実験結果

図-3 にマトリックサクション 20kPa～80kPa を受けた不飽和供試体の貫入量とコーン貫入力の関係を示す。コーン貫入力はコーン貫入とともに高まっているのがわかるが、その性状はマトリックサクションの大きさに依存していない。本実験においては貫入量 20 ㎜に至るまで貫入力の増大は見られ、またサクションの増大とともに貫入力が高いという傾向が見られた。

同一サクション条件を有する不飽和供試体の定体積一面せん断強度は図-4 に示されるようにサクションとの関係において非線形な破壊線として評価される。特徴的なのは、サクションが 40kPa まではサクションと一面せん断強さの関係は直線的な破壊線であった。しかし、サクション 80kPa 付近から緩やかに破壊線の傾きは小さくなり、サクションが 120kPa に達するとほぼ水平な関係にまで変化しており、サクションの効果が明らかに変わっていることがわかる。サクションにおけるコーン貫入力と定体積一面せん断強度の関係を図-5 にまとめ両者の相関を検討する。ただし、図-5 にはサクション 2830kPa 以上の結果も示している。図-5 から、不飽和供試体の一面せん断強度が増大するとコーン貫入抵抗の大きさも高まっている。逆にせん断抵抗力が低いことはコーン貫入においてもその貫入力が小さいことがいえる。また両者の関係が直線上に分布している。

4 まとめ

本研究ではサクション制御を実施した不飽和供試体に対してコーン貫入試験および定体積一面せん断試験を実施し、それぞれの関係を明白にした。不飽和供試体の一面せん断強度が増大するとコーン貫入抵抗の大きさは高まり、逆にせん断抵抗力が低いことはコーン貫入においてもその貫入力が小さいことがいえ、サクションとの関係も明白にすることが出来た。

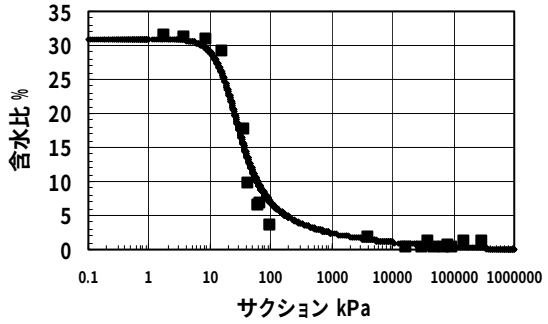

図-1 水分保持曲線

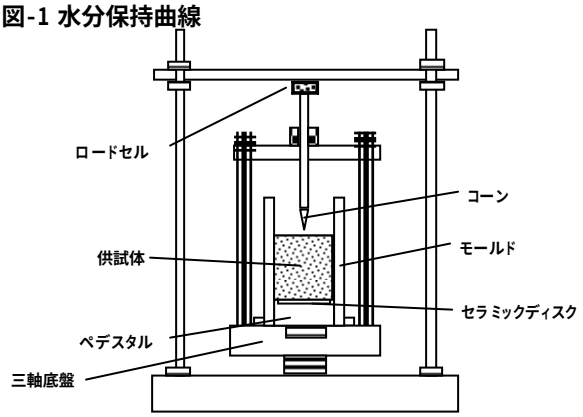

図-2 室内コーン貫入試験装置

表-1 蒸気圧法で用いた塩の種類･湿度･サクション

塩		湿度%	サクション kPa
硫酸カリウム	K_2SO_4	98	2830
硝酸カリウム	KNO_3	95	6940
リン酸二水素アンモニウム	$NH_4H_2PO_4$	93	9800
塩化ナトリウム	$NaCl$	75	39000
硝酸マグネシウム	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	54	83400
塩化マグネシウム	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	33	148000
塩化リチウム	$LiCl$	11	296000

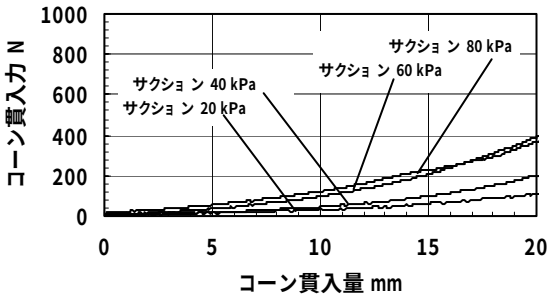

図-3 コーン貫入力とコーン貫入量との関係

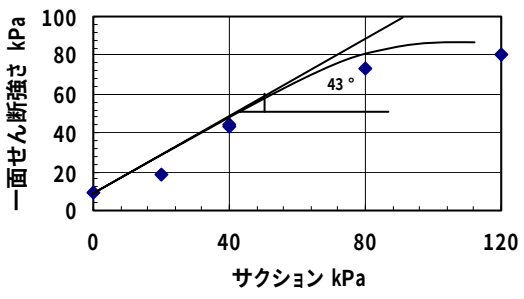

図-4 一面せん断強さとサクションの関係

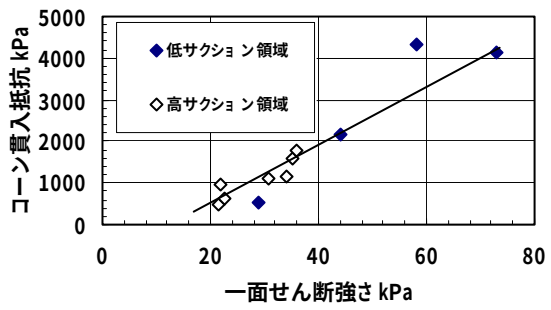

図-5 一面せん断強さとコーン貫入抵抗との関係