The Japanese Geotechnical Society

土の物理的性質の試験方法について

Testing Method of Index Properties on Soils

風　間　秀　彦（かざま　ひでひこ）
埼玉大学地圏科学研究センター

1. まえがき

物理的性質（physical property）とは，物理的測定方法を利用して求められる性質をいうのが一般的である。この考え方に基づくならば，圧密，せん断などの力学的性質や締固め，透水なども物理的性質に含まれることになる。

しかし，我が国の地盤工学では土粒子の密度，粒度組成，コンシステンシー限界などの土に固有な性質および含水比，土の密度，間隙比，飽和度などの状態量をまとめて物理的性質ということが定着し，化学的性質，力学的性質と対比されている。これらの物理的性質を求める試験を物理試験と呼んでいる。海外ではこの物理的性質に“index property”（指示的性質，分類特性）の用語を用いている。

我が国で物理的性質または物理試験がこのように狭義の意味に使われるようになったのは，1950年に土質試験の日本工業規格（JIS）に制定されたJIS A 1201「土の粒度および物理試験のための試料調製方法」に由来する。この規格の中で，「物理試験とは，液性限界，塑性限界，遠心含水当量，現場含水当量，収縮常数の試験をいう。」と明記され，極めて狭い意味を指していた。そして，1969年に発刊された「土質試験法―第1回改訂版―」の第2編のタイトルに「土の物理的性質の試験」が初めて使われ，現在の「土質試験の方法と解説」とほぼ同じ試験方法から構成された。物理的性質または物理試験が現在の意味に本格的に使われるようになったのは，これ以降と思われる。その後，狭義の物理的性質に関連する性質などが加わって今日に至っている。

しかしながら，物理的性質や物理試験の範疇は必ずしも明確でない。これは土の性質が非常に多くの要素に支配され，複雑であることに起因している。また，イオン交換，凝集・分散，浸透・拡散などの水–土粒子系の物理化学的性質は，物理的性質と化学的性質の境界領域の性質である。

そこで，本報告では国際地盤工学分類（IGC）のつぎのものの他，熱的・電気的性質，膨張・膨潤を含めたものを対象とする。

D–01　土の分類と記述
D–02　物理化学的性質
D–03　組成，構造，コラプス，密度，粒径，間隙率，間隙比および含水量
D–08　熱的性質，温度および凍結効果

2. 物理的性質の種類と試験の位置づけ

土は主に自然に生成されたものであり，また土粒子，水および空気の3相から構成されているため，物理的性質にも多くの種類がある。その代表的なものをまとめたものが表―1である。大きくは土の固有な性質（土固有な性質）と与えられた状態に依存する性質（土の状態量）に分けられる。土固有な性質は，試験の方法や条件に相違がなければ，一つの土に対して一つの物性値のみが求められるものである。これに対して，土の状態量は含水比や湿潤密度のように土の状態によって変わる性質である。

物理的性質を求める試験の多くは，JISや学会基準に定められている（表―2参照）。しかし，規格・基準以外の試験方法も数多くある。したがって，土の種類や状態，試験目的などによっては，規格・基準以外の試験方法を用いることもある。土の物理試験の主な目的および

表―1　主な物理的性質と物性値

物理的性質			主な物性値
土固有の性質	土粒子	材質	鉱物組成，有機物含有量 土粒子の密度（比重）
		粒度組成	最大粒径，平均粒径，均等係数，曲率係数 粘土・シルト・砂・礫・石分含有率 細粒分含有率
		形状	球形率，円磨度，丸味率
		表面	粗さ，比表面積(単位質量当たり)
		硬さ	破砕率
	コンシステンシー限界特性		液性限界，塑性限界，収縮限界，塑性指数
	密度特性(粗粒土)		最小密度，最大密度
	分類特性		分類名
土の状態量	水分特性		含水比，飽和度，液性指数，コンシステンシー指数 保水力（サクション），水分特性曲線
	密度特性		湿潤密度，乾燥密度，間隙比，間隙率 比表面積(単位体積当たり) 相対密度(密度指数)
	構造特性		構造形態，配向度，間隙径，間隙分布
	圧縮・膨潤		圧縮率，膨潤率，膨潤圧
	熱的・電気的性質		熱伝導率，比熱，比抵抗，比誘電率

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society

表―2　物理的性質とそれに関連する規格・基準

物理的性質	規格番号	基準番号	規格・基準名	最初の制定
試料調製	JIS A 1201	JGS 0101	土質試験のための乱した土の試料調製方法	1950
土粒子の密度	JIS A 1202	JGS 0111	土粒子の密度試験方法	1950
土の含水比	JIS A 1203	JGS 0120	土の含水比試験方法	1950
		JGS 0122	電子レンジを用いた土の含水比試験方法	1995
土の粒度組成	JIS A 1204	JGS 0131	土の粒度試験方法	1950
	JIS A 1223	JGS 0135	土の細粒分含有率試験方法	1971
		JGS 0132	石分を含む地盤材料の粒度試験方法	2000
コンシステンシー限界	JIS A 1205	JGS 0141	土の液性限界・塑性限界試験方法	1950
		JGS 0142	フォールコーンを用いた土の液性限界試験方法	1997
	JIS A 1209	JGS 0145	土の収縮定数試験方法	1950
土の分類		JGS 0051	地盤材料の工学的分類方法(日本統一分類法)	1973
土の保水性		JGS 0151	土の保水性試験方法	1988
土の密度	JIS A 1224	JGS 0161	砂の最小密度・最大密度試験方法	1983
	JIS A 1225	JGS 0191	土の湿潤密度試験方法	1990
		基準作成中	礫の最小密度・最大密度試験方法	
土の凍上		JGS 0171	凍上量予測のための土の凍上試験方法	2003
		JGS 0172	凍上性判定のための土の凍上試験方法	2003

結果の利用面は次のとおりである。

① 土および地盤材料の工学的な分類

② 土の状態量の直接的・間接的な把握

③ 力学的性質などの解釈のためのバックデータ

①は，粒度，細粒分含有率，液性限界・塑性限界などの試験であり，②は含水比，湿潤密度などの試験である。③は，**表―2**の試験方法がほとんど該当する。このように物理試験は，それぞれの試験の目的と得られる物性値によって，結果の利用方法も異なる。

物理試験の内，土粒子の密度，含水比，粒度，液性・塑性限界の試験は，ルーチン・ワークとして非常に多く実施されているにもかかわらず，力学試験結果のように直接設計に利用されるものは少ない。しかし，力学試験の結果を得るために必要な物性値や結果の解釈に必要なバックデータであるので，不可欠なものである。いわば縁の下の力持的な存在といえる。

3. 試験の方法の変遷と現状

物理的性質の試験方法の変遷をJISと地盤工学会基準の制定・改正・廃止過程から見てみよう。1950年に地盤工学関係のJISが初めて制定され，それらはつぎの物理試験の9規格と突固めによる土の締固め試験方法である。

- 土の粒度試験および物理試験のための試料調製方法
- 土粒子の比重試験方法
- 土の含水量試験方法
- 土の粒度試験方法
- 土の液性限界試験方法
- 土の塑性限界試験方法
- 土の遠心含水当量試験方法（1998年に廃止）
- 土の現場含水当量試験方法（1960年代に廃止）
- 土の収縮定数試験方法

その後，定期的な見直しと軽微な改正が行われてきたが，この内の2規格は実験結果の工学的な利用価値がないことから既に廃止されている。そして，現在は**表―2**に示すようにJISは9規格，学会基準は作成中のものを含めると17基準である。JISの9規格とほぼ同じ内容の学会基準があるので，物理試験関係の試験方法は実質17規格・基準である。このように同じ内容のJISと学会基準が併存することは，これまでのいろいろな経緯[1),2)]と若干の利点があるものの，望ましい姿とは言い難い。しかも様式が全く異なるためにメンテナンスを要すること，不要な混乱を招く恐れもあるので，特別な事情がない限りJISと同じ内容の学会基準は廃止した方が良いと思われる。

JISの最初の制定から約半世紀，この間に1970年代に土の細粒分含有率試験方法，日本統一分類法が，1980年代に砂の最小密度・最大密度，土の保水性の試験方法が学会基準として制定された。その後，学会基準の様式の見直しに伴って，JISと学会基準の抜本的な見直しと改正が1990年に行われ，試験名称の変更や試験方法の統合なども行われた。1990年以降，新たに7基準が制定，あるいは制定されようとしている。地盤工学会は，「土質試験法」あるは「土質試験方法と解説」の改訂版を10年毎に出版しているので，これに合わせて規格・基準の見直しが行われることがほとんどである。したがって，**表―2**の規格・基準は，2000年の「土質試験の方法と解説―第1回改訂版―」の発刊時に見直し・改正されたもの，あるいはそれ以降に制定された基準である。これらの規格・基準の制定，改正などの経緯は，「土質試験の方法と解説―第1回改訂版―」の巻末[3)]に詳しく記されているので，参照されたい。

JISは原則として5年毎に見直しを行うことになっているので，近く見直しが行われると思われるが，内容的な変更はない模様である。

地盤工学会として，ごく近い将来に新たな物理試験方法の学会基準を制定する動きは，礫の最小密度・最大密度試験方法を除いて，現在のところない。また，後述する最近の研究動向から見ても，物理的な性質の試験方法として基準化すべきものは見あたらない。ただし，近年の計測技術の著しい進歩に伴って，比較的に安価な装置で容易に求められる試験方法が望まれていることも確か

NII-Electronic Library Service

である。

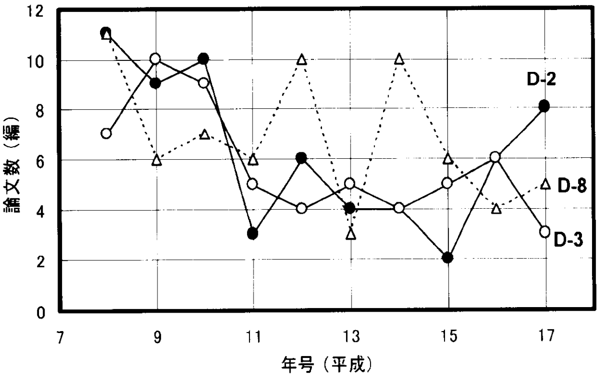
4.　最近の研究動向と将来

物理的性質についての最近の研究動向を的確に把握することは，なかなか難しいが，ここ10年間の地盤工学研究発表会の前述の IGC の D-1～D-3 および D-8 に分類される発表件数から見ることにする。図―1は，この分類ごとの発表件数である。ただし，D-1は件数が非常に少なく，年によっては0のことも多いので省略した。年によるばらつきはあるが，10年前は合計30編近い発表があったものが，最近ではその半分近くに減少している。全体の発表件数は1 123～1 363であり，年によって1～2割の変動があるが，減少傾向は認められない。物理的性質の発表件数の減少は，新たな研究テーマや画期的な手法が見あたらないこと，実務に直接役立つ内容が乏しいことなどによるものと予想される。

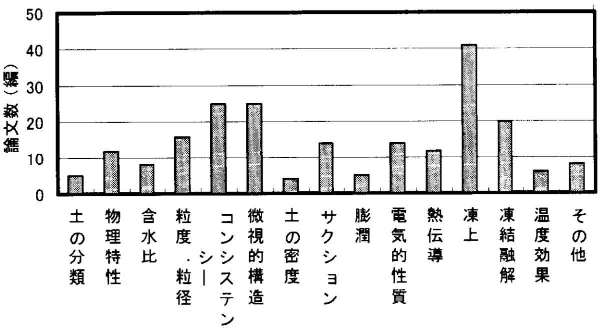
この10年間の発表件数を内容別にまとめたものが図―2である。ただし，各発表は，複数の内容にまたがるものが多いが，主体と思われる内容で取りまとめた。この結果によると，土の分類，含水比，粒度，土の密度などの内容は少なく，ましてや試験方法に関しての発表は極めて少ない。言い換えると，これらの試験方法について一段落しているともいえる。これに対して，凍上，凍結・融解をはじめとした熱的な性質は毎年10件程度以上の発表があり，研究的に未解明な点や試験方法に関するものが多い。そのような背景もあって，凍上量の予測と凍上性の判定の二つの学会基準が2003年に制定されたと思われる。

物理試験の位置づけからも分かるように，地味な試験であり，まさに泥臭さが如実な試験であるとともに，物性値の概念の定義が試験方法に反映されておらず，土質力学のイメージを損なっている。特に，コンシステンシー限界試験はその典型的な例である。また，試験データのばらつきが大きいことも大きな問題である[4),5)]。最近は試験結果の不確かさや試験機関による差異を定量的に評価し，不確かさを推定する方法があることは注目に値する。

これらの問題点を打開するためにも，旧態依然の方法のみに頼るのでなく，スマートで泥臭くない新たな試験方法の開発が望まれる。近年，計測技術などの進歩や試験の自動化などに伴い，いろいろな測定方法が考え出されている。とりわけ，電気的な測定機器とセンサーなどの進歩が著しいので，これらを利用した方法の開発を期待したい。



図―1　最近10年の地盤工学研究発表会の発表論文数



図―2　最近10年の地盤工学研究発表会の物理的性質の発表論文数

参　考　文　献

1)　土質工学会編：「土質試験の方法と解説」，土質工学会，pp. 1～4, 1990.
2)　地盤工学会編：「土質試験の方法と解説―第1回改訂版―」，地盤工学会，pp. 1～5, 2000.
3)　同上，pp. 872～877.
4)　下辺　悟・風間秀彦：室内土質試験データの変動係数について，第52回土木学会年次学術講演会講演概要集，pp. 684～685, 1997.
5)　Lee I. K., White W. and Ingles O. G.: Geotechnical Engineering, Pitman, pp. 60～62, 1983.

（原稿受理　2005.11.25）