

土懸濁液のpH試験・土の強熱減量試験

垣内 広志*

* KAKIUCHI Hiroshi、アキュテック株式会社 石川県金沢市玉鉾4丁目73番地

1. はじめに

構造物の設計や施工において、技術者は地盤に関わる問題に対処しなければならない。地盤に関わる問題として、概ね次の5つが挙げられる。²⁾

- ・材料としての問題
- ・支持地盤としての問題
- ・安定の問題
- ・地下水の問題
- ・地盤環境の問題

これらの問題を解決するには、土の性質を把握することが必要であり、そのために室内土室試験が行われる。

室内土質試験は、土の物理的性質を求める試験、土の力学的性質を求める試験、土の化学的性質を求める試験と大きく3つに分類される。

本稿にて紹介する「土懸濁液のpH試験」、「土の強熱減量試験」は土の化学的性質を求める試験で、地盤環境の状況把握を目的とした土質試験であり、植物の育成や土中構造物の劣化、セメント系固化材等による地盤改良工法の改良効果の判断要素の一つとなる。戸建住宅の地盤調査においては、あまり馴染みのないものであるが、概要を知っておくことにより、地盤補強工法の選択にも役立つのである。

2. 土懸濁液のpH試験

2.1 試験の目的

pHとは水素イオン (H^+) の濃度を示す指標であり、本来、水溶液の酸性、アルカリ性の度合いを示す尺度である。土を対象とする場合、十分に水を含んでいるような試料を除いて、そのままの状態でのpHを測定するのは困難であり、試料に一定の質量比で蒸留水を加えた懸濁液（細かい粒子が沈殿の過程で浮遊している状態の水）のpHを便宜上「土のpH」としている。ちなみにpHを「ペーハー」とドイツ語読みした時代もあったが、今は「ピーエイチ」と英語読みすることになっている。

土のpHが土の工学的特性に及ぼす影響としては、

- ・構築される構造物の耐久性に関わるコンクリートの劣化や鋼材の腐食
- ・軟弱地盤や高有機質土などへの地盤改良効果
- ・産業廃棄物の無害化処理効果

・植生の育成、施肥などが挙げられ、影響の有無を推測する上での必要な測定項目の一つといえる。

2.2 試験概要¹⁾

試験は地盤工学会基準「土懸濁液のpH試験方法」(JGS0211-2020) に準じて行う。

1) 適用範囲

粒径10mm以上の粒子を取り除いた土を対象とする。

2) 試験器具

- ・試薬：水、pH標準液
- ・ガラス電極式pH計
- ・その他：はかり、試料容器、かくはん棒、密着型フィルム、温度計など

3) 試験方法

- 試料の含水比を測定し、乾燥質量を求める。
- 適量の試料を試料容器に入れ、試料の乾燥質量に対する水（試料中の水を含む）の質量比が5になるように室温にした水を加える。



写真-1 pH標準液とpH計



写真-2 試料液のpH測定

- c. 試料をかくはん棒で懸濁させる。その後 30 分以上、3 時間以内静置したものを測定用試料液とする。試料液と空気との過度の接触を避けるため、pH の測定開始直前まで、密着型フィルムでふたをする。
- d. pH 標準液に電極を浸し、電極の指示値が温度に対応した pH に一致するように、pH 計を調整する。
(写真-1)
- e. 試料容器内の試料液を攪拌した後、電極を試料液に浸す。pH 計の指示値が安定した後に pH を読み取る。(写真-2)

4) 試験結果の整理

- a. 試料の含水比、質量、加えた水の量、温度を記入する。
- b. 二つの試料液について測定した pH の測定値を平均し、試料の pH とする。(図-1)

表-1 に、代表的な土の pH 測定結果を示す。

3. 土の強熱減量試験

3.1 試験の目的

土の強熱減量試験は炉乾燥した土を更に過熱し、損失した質量の減少量から、土に含まれている有機物量および結合水や結晶水の水分量の目安を得るための室内土質試験である。

有機物は、生物がつくりだす化学物質と以前は定義されていたが、現代では人間がその有機物を作り出せるようになったため、炭素が原子結合の中心となる物質という定義に変わったようである。対語となる無機物は、炭素が原子結合に含まれない物質とされている。

土の強熱減量試験の結果は、以下のように利用される。

- ・有機物量が簡便に判定でき、高有機質土の物理、力学性質の目安
- ・結合水、結晶水の多い粘性土では粘土鉱物の性状を知る参考値

ここで、少し聞きなれない結合水、結晶水について説明しておく。

地盤工学では、土の間隙に存在する水を土中水という。土中水は、重力の作用によって土中を移動する水分である重力水、毛管力などによって土中の間隙に保持される毛管水、土粒子の表面に物理化学的に吸着されている吸着水に分けられる。重力水は自由水とも呼ばれ、雨水などが土中を浸透し、やがて地下水に合流する水をいい、地下水も重力水といえる。これに対し、重力の作用によって移動しない毛管水や吸着水は結合水と呼ばれる。

結晶水は、結晶（原子が規則正しい周期的な配列をしている物質）の中の水をいう。

本試験で留意する点として、強熱減量が全ての土で有機物含有量の指標値となるわけではないということである。黒泥や泥炭等の高有機質土は、含まれている無機質が極めて少ないことから、強熱減量がほとんど有機物量と考えられ、有機物含有量の指標とできる。

試料番号(深さ)	腐植土(彦根市, GL-7.00~-7.80m)	
ビーカー No.	3A	3B
試料の湿潤質量 m g	120.1	120.0
計量で求めた 炉乾燥試料の質量 m_s g	30.0	30.0
加えた水の量 V_w mL	150	150
試料の乾燥質量に 対する水の質量比 R_w	8.00	8.00
試料液の温度 $^{\circ}\text{C}$	25.1	25.1
pH	測定値	5.62
	平均値	5.6

図-1 土懸濁液の pH 試験 結果整理例²⁾

表-1 土懸濁液の pH 測定結果²⁾

試料土	場所	pH
〇ーム	日立	6.7
〇ーム	千代田	6.9
泥岩	大磯	9.3
泥岩	東京	4.0
まさ土	大津	6.8
黒ぼく	清瀬	6.3
沖積粘土	倉吉	7.0
沖積粘土	品川	8.4
沖積粘土	大阪湾	8.1
有機質粘土	横浜	6.2

しかし、高有機質土以外の場合には、強熱減量を有機物含有量の指標とするのは難しい。有機物に加え、結合水や結晶水が強熱減量に含まれるからである。このことから有機物含有量が極めて少ない無機質系の土は、強熱減量を結合水や結晶水の存在量と考えてよいとされている。

土の強熱減量試験は、他の土質試験と比較して、特に技術的な修練を必要としないため、容易に結果が得られる利点があり、前述したようなことを理解しておけば、広く活用できる土質試験である。

3.2 試験概要¹⁾

試験は日本産業規格「土の強熱減量試験方法」(JIS A 1226:2020) に準じて行う。

1) 適用範囲

全ての土に適用可能である。

2) 試験器具

- ・恒温乾燥炉(写真-3)
- ・電気マッフル炉(写真-4)
- ・デシケータ
- ・その他：はかり、るつぼ、金属製網ふるい、るつぼはさみ、蒸発皿、乳鉢および乳棒など

3) 試験方法

- a. 土を空気乾燥し、土の塊や植物の根などの有機物を乳鉢でときほぐす(写真-5)。



写真-3 恒温乾燥炉

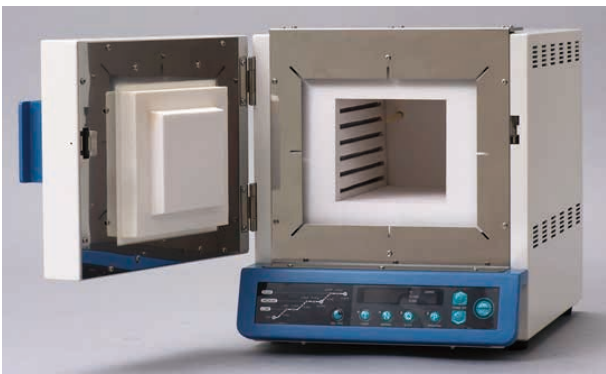


写真-4 電気マッフル炉
(デンケン・ハイデンタル社 H.P.)



写真-5 空気乾燥した土と乳鉢でのときほぐし



写真-6 るつぼにいった炉乾燥試料



写真-7 電気マッフル炉での試料加熱

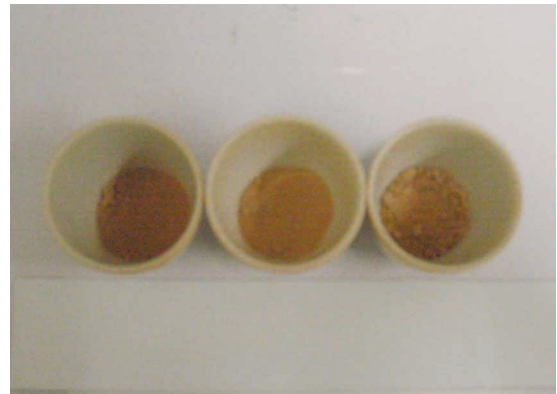


写真-8 強熱後の試料

- ・ 高有機質土
2 mm 以上の無機質粒子を可能な範囲で取り除き、乳鉢でときほぐす。
 - ・ 高有機質土以外の土
乳鉢でときほぐし、2 mm ふるいを通過させる。
- b. 土を蒸発皿に入れ、 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ で一定質量になるまで（一般的に 18~24 時間）恒温乾燥炉で炉乾燥する。
 - c. デシケータで室温になるまで土を冷まし試料とする。
 - d. 試料をるつぼに入れ（写真-6）、計量する。
 - e. 試料を入れたるつぼを電気マッフル炉に入れ、温度を $750 \pm 50^\circ\text{C}$ に保持し、1 時間加熱する。（写真-7）
 - f. 強熱停止後、るつぼをデシケータに移して室温になるまで冷ました後（写真-8）、計量する。
 - g. 質量が一定になるまで e~f の作業を繰り返す。
- 4) 試験結果の整理
- a. 強熱時間を記入する。
 - b. 強熱減量 $L_i(\%)$ は次式²⁾により計算する。

$$L_i = \frac{m_a - m_b}{m_a - m_c} \times 100$$

ここに、 m_a ：炉乾燥試料とるつぼの質量 (g)
 m_b ：強熱後の試料とるつぼの質量 (g)
 m_c ：るつぼの質量 (g)

試料番号(深さ)	関東ローム (日立市, GL-0.90~-1.10m)		
容器 No.	279	103	196
m_a g	22.217	22.088	22.925
m_{b1h} g	21.954	21.823	22.662
m_{b2h} g	21.957	22.666	21.827
m_{b3h} g			
m_{b4h} g			
m_c g	20.221	20.085	20.921
L_i g	13.2	13.2	13.1
平均値 L_i %	13.2		
強熱時間 h	1		
特記事項	黄褐色, 除去した2mm以上の土粒子は空気乾燥質量で約5%		

図-2 土の強熱減量試験 結果整理例²⁾

表-2 土の強熱減量の測定例²⁾

試料土	場所	強熱減量 (%)
泥炭	札幌	93.3
泥炭	大宮	72.4
黒ぼく	大宮	23.9
黒ぼく	勝田	16.1
関東ローム (褐色)	青梅	6.2
しらす	えびの	3.5
まさ土	福山	1.6
土丹 (砂屑性泥岩)	横須賀	11.9
土丹 (砂質泥岩)	横浜	4.0
へどろ	福山	8.0

これらの結果をデータシートへ記入する。(図-2)

表-2に、代表的な土の強熱減量測定結果を示す。

「土の強熱減量試験方法」(JIS A1226:2020)は有機物量の目安を得るための簡便な試験であり、更に正確な有機物量を得るには地盤工学会基準「土の有機炭素含有量試験方法」(JGS 0231-2020)を行うのがよい。

4. 結果の利用

4.1 セメント系固化材による地盤改良の固化への影響

土のpH、強熱減量と一軸圧縮強度(材令28日)の試験結果をグラフ化したものを図-3、図-4に示す。図中の一軸圧縮強度500kN/m²のラインを書き入れているが、これは住宅の表層地盤改良における、室内配合強度の目安である。

土のpHが4以下の強酸性土では、セメント系固化材による地盤改良の固化が著しく阻害されるといわれている。³⁾ 図-3において、pH6未満では500kN/m²をほぼ満足できない結果となっている。表-1から、pH6程度を示す土は、固化し難いといわれる黒ぼく、有機質粘土などである。

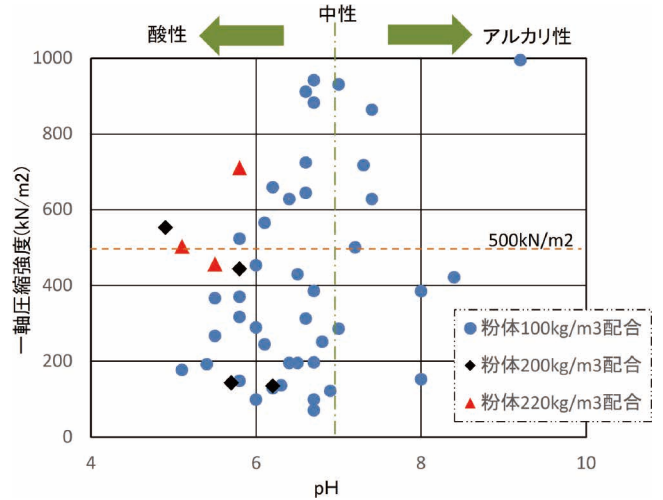


図-3 室内試験結果 pHと一軸圧縮強度の関係

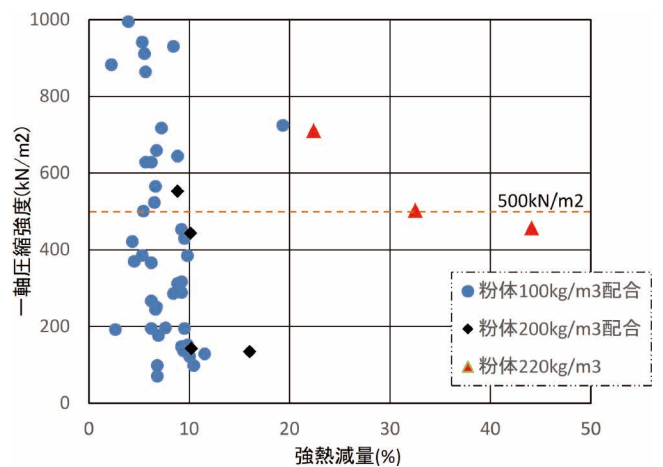


図-4 室内試験結果 強熱減量と一軸圧縮強度の関係

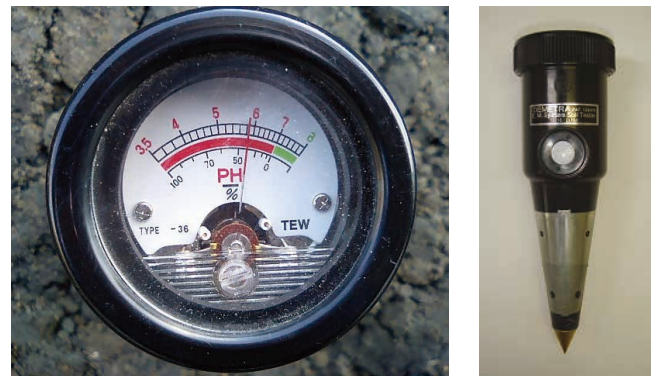


写真-9 土壤酸度測定器⁴⁾

このことから、セメント系固化材による地盤改良を計画する上で、概ねの目安として、pH6未満の土は注意が必要であると思われる。同様の土質での既存データや近隣施工実績がない場合は、配合試験の実施が安全といえる。また、ロームはpHの値では問題はさほどないが、含まれる粘土鉱物の影響で強度発現が期待できない場合があり、注意が必要である。

土懸濁液のpH試験方法以外のものとして、住宅基礎地盤の地盤改良時に、土壤酸度測定器(写真-9)による

pH測定がよく行われている。精度はやや劣るが、簡単に概ねのpH(酸性の範囲)が確認できる。

図-4において、図中の強熱減量20%以上の試料は高有機質土であり、強熱減量の増加に伴い、一軸圧縮強度も緩やかに減少してはいる。しかし、強熱減量10%以下の試料でも低強度が多数みられ、強熱減量と一軸圧縮強度の関係性を導き出すのは難しい。

これは、強熱減量(=腐植物含有量)だけではなく、含まれる腐植物質(フミン酸、フルボ酸、ピチューメン等)の性質が強度発現に大きく影響を及ぼすからである。³⁾腐植物質の性質は、対象土の生成地により相違があり、例えば、フミン酸が5%以上含まれていても、強度発現に何ら影響が無いもの、極めて少量の含有で強度発現を阻害するものなどがある。

強熱減量は高有機質土では有用なデータであるが、一般的な土での測定値から、地盤改良の強度発現への影響を想定するのは難しく、pH試験結果も含めて、総合的に検討する必要がある。

4.2 コンクリートの劣化、鋼材の腐食

土のpHはコンクリートの劣化や鋼材の腐食といった耐久性の検討にも用いられる。劣化や腐食は、土のpH値が4以下の場合に生じる可能性が高いと言われており、化学工場跡地や温泉地などは要注意である。

他に、掘削直後の新第三期頁岩や泥岩などの土、岩石には時間とともにpHが低下し、やがてpH2~3の強い酸性を示すものがある。この主な原因としては、地盤材料に含まれる硫化鉄等の硫化物が空気、水との接触によって酸化され、硫酸を生成することが挙げられる。

土懸濁液のpH試験方法で酸性を示さないにも関わらず、時間が経過すると強酸性を示す場合があるということである。このような土や岩石が、長期的に酸性特性を有するかは、本稿に挙げた試験とは別に、地盤工学会基準「過酸化水素水による土及び岩石の酸性化可能性試験方法」(JGS 0271-2020)に準じた土質試験を実施し、確認しておく必要がある。

新第三期頁岩や泥岩などの材料で盛土された宅地は、スレーキングによる圧縮沈下が懸念されることから、不同沈下防止対策として、鋼管やコンクリートによる杭状地盤補強が計画される場合がある。しかし、これらの盛土材が強酸性を示している場合、将来的な杭材の劣化、腐食の可能性があり、十分な被り厚、肉厚があるか等を更に検討する必要がある。

4.3 pHの植生への影響

pHは植生にも大きな影響を及ぼす。参考までに野菜や果物、花に適した土壌のpHを表-3に示す。アジサイの花は土壌が強酸性で青色、弱酸性~弱アルカリ性付近で赤色となるのはよく知られている。

表-3 植物に適したpH

		pH						
		4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	
野菜	大根							
	人参							
	じゃがいも							
	白菜							
	ほうれんそう							
	トマト							
	さつまいも							
	レタス							
	フロッキー							
	アスパラ							
	キャベツ							
ピーマン								
果物	ぶどう							
	ブルーベリー							
	りんご							
	桃							
	みかん							
	いちじく							
	梨							
花	バラ							
	アジサイ(青)							
	アジサイ(赤)							
	さつき							
	菊							
	ペコニア							
	ひまわり							
	ラン							
	あさがお							
	チューリップ							

5. おわりに

今回は、土懸濁液のpH試験、土の強熱減量試験について紹介した。

pH、強熱減量は戸建住宅の地盤対策においても、有用な測定値であるが、この測定値だけで地盤対策を判断することは難しい。物理試験、力学試験、そして化学試験の測定結果を総合的に判断してこそ、土の特性、他に与える影響が判断できるものである。そのためにも、日常業務であまり関わりのない土質試験についても、概要程度は理解しておく必要がある。

本号で連載9回目となる“室内土質試験法とその留意点”は、試験の概要を知るための資料であり、住品協ホームページからダウンロードしておくことよ。

幅広い地盤工学の知識を持ってこそ、専門知識を生かすことができるのであり、地盤のエキスパートになるために、自己研鑽に努めることが大切である。

6. 参考文献

- 1) (公社)地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説 [第一回改訂版] -二分冊の1- pp. 322~351
- 2) (公社)地盤工学会：土質試験 基本と手引き 第二回改訂版 pp. 1~6, pp. 65~70
- 3) (一社)セメント協会：セメント系固材による地盤改良マニュアル 第4版 pp. 45~50
- 4) (NPO) 住宅地盤品質協会：住宅地盤の調査・施工に関わる技術基準書 2019年第4版 pp. 48