

## 土の迅速含水比測定法

田熊勝利\*・河野 洋\*・肥山浩樹\*\*

平成4年6月30日受付

### A Quick Measurement of Water Content of Soil

Katsutoshi TAKUMA\*, Hiroshi KONO\* and Hiroki HIYAMA\*\*

The measurement of water content of soil is important for soil tests or soil exploration and for execution management of materials for soil structures. Simple and quick measuring method with high accuracy is required in execution management. However, in JIS method, the standard method, oven drying more than 18 hours is necessary, accordingly it is impossible to obtain water content immediately.

Hence, in our present study of quick methods of water content measurement, microwave oven method, sand container method, and alcohol combustion method were compared for an investigation of practical applicability of quick methods. Among 3 kinds of quick measuring methods of water content, microwave oven method was found to be a quick, simple and most suitable method for the purpose of obtaining rough values.

#### 結 言

土の含水比を求めることは土質試験や土質調査を始め、土構造物の材料を施工管理するうえで重要である。土の含水比測定は粒度試験や液塑性限界試験などのコンシステンシー試験、締固め試験をはじめ、種々の土質試験において必須のものであり、土の物理的・力学的性質を把握するための基となるものである。また土構造物の施工では、用土の管理上土の含水状態を調べる必要があ

り、そして迅速な含水比の測定が要求される。このように、土の含水比を求めることは重要であり、かつその測定には簡単に迅速でしかも高い精度が要求される。しかし標準方法としてのJIS法(A 1203-1978)は110°Cの乾燥炉の中で18時間以上土を乾燥しなければならない。これ以降、JIS法を炉乾燥法と称する。この測定法では直ちに土の含水比を求めることはできない。そこで、迅速な含水比測定法の使用が必要となる。

本研究では、標準方法である炉乾燥法によって得られ

\* 鳥取大学農学部農林総合科学科生存環境科学講座

\* *Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University*

\*\*九州大学農学部農業工学科土質理工学講座

\*\* *Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Kyushu University*

る含水比を正しい値とし、迅速含水比測定法である電子レンジ法、砂容器法そしてアルコール燃焼法の実用性について検討する。

### 実験内容与方法

本研究に用いた試料土は2.0mmふるいを通した8種の風乾土である。第1表に試料土の物理性を示す。実験は初期含水比として供試土を4段階の液性指数0, 0.5, 1.0, 1.5となるように調整し、ビニール袋に密封した後48時間養生する。その後、それぞれの供試土について迅速含水比測定法である電子レンジ法、砂容器法、アルコール燃焼法を用いて含水比を測定し、炉乾燥法によって得られる値と比較する。

ここで供試土の水分調整に液性指数を用いるのは、土の諸特性が異なる試料土間においても同様な水分状態を表現できるからである。土の含水比測定は湿潤質量10gで3個1組として行った。

次に、実験に用いた3種類の迅速含水比測定法について説明する。

#### a. 電子レンジ法

使用した電子レンジは400Wの高周波出力で、2450MHzの発振周波数のものである。この測定法では10gの供試土を用いて、加熱時間を5, 10, 15分と5分ごとに測定し、質量が一定になるまで行う。

#### b. 砂容器法

砂を入れた容器を加熱し、加熱された砂の上に供試土容器を置いて供試土の水分を蒸発させる方法である。従来加熱器具としては、ガス、プロパン等のコンロが用いられているが、本研究においては温度調節が可能で、温度を比較的一定に保ちうる家庭用のホットプレートを用いる。ホットプレートに砂を敷きつめ供試土10gの入っ

た蒸発皿を置き加熱する。加熱温度は110°Cとする。10, 20, 30分とこれ以降30分ごとに質量を測定し、質量が一定になるまで行う。

#### c. アルコール燃焼法

供試土10gを蒸発皿に入れ、その中にメチルアルコールを1回分10mlを加える。点火した後は、供試土に混ざっているアルコールをすべて燃焼させるために攪拌棒でかき混ぜ続ける。燃焼が終わるごとにその質量を測定し、質量が一定になるまで繰り返し行う。

### 迅速含水比の評価

実験は、8種の供試土、3種類の迅速含水比測定法、および4段階の初期含水比(液性指数)の組み合わせにて行った。また含水比の評価には、乾燥度 $R$ を用いた。これは初期含水比の異なる試料土の実験結果を同一評価にて行うためである。

$$\text{乾燥度 } R = \frac{W_{mt}}{W_d} \times 100(\%) \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 $W_{mt}$  : 迅速含水比測定法による任意の加熱時間およびアルコール量におけるみかけの含水比(%)

$W_d$  : 炉乾燥法による含水比(%)

$$W_{mt} = \frac{m_a - m_b'}{m_b' - m_c} \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 $m_a$  : (湿潤土+容器) 質量(g)

$m_b'$  : t分間加熱後およびt mlのアルコール添加燃焼後の(乾燥土+容器) 質量(g)

$m_c$  : 容器質量(g)

(1)式から明らかなように、みかけの含水比が炉乾燥法による値に近ければ近いほど乾燥度は100%に近づく。

第1表 試料土の物理性

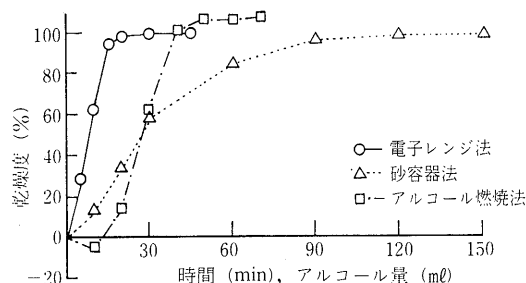
試料名	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	土粒子の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	液性限界 (%)	塑性指数	備考	
A	紋別土	22.6	12.0	65.4	2.64	53.8	21.9	水田土
	中海土	1.8	39.1	59.1	2.58	78.0	32.8	干拓土
	ベントナイト	0.0	21.8	78.2	2.57	252.2	212.5	市販品
B	黒ボク土	12.0	49.0	39.0	2.42	68.5	18.5	大山
	西高尾土	8.0	41.0	51.0	2.67	67.0	27.5	鳥取県内産
C	栃本土	0.0	10.6	89.4	2.72	56.9	8.5	鳥取県内産
	外邑土	8.0	35.4	56.6	2.75	55.7	6.8	〃
	堀越土	8.0	42.3	49.7	2.72	41.5	5.0	〃

## 供試土と迅速含水比測定法

a. 紋別土……第1図に各迅速測定法における紋別土(液性指数1.0)の乾燥度の時間的変化を示す。電子レンジ法では初期含水比の大小に影響されず、30分で乾燥度95%以上という迅速かつ高い精度の値が得られる。砂容器法ではやや時間がかかり、乾燥度90%の値を得るためには大体90分以上の乾燥時間が必要と考える。アルコール燃焼法では20~50mlで炉乾燥法とほぼ同じ値を得ることができる。ここで第1図よりアルコール燃焼法に二つの特徴が考えられる。一つは、ほとんどの場合乾燥度が100%を越えるということである。もう一つはアルコール量10mlすなわち1回目のときに乾燥度が負の値になる場合があるということである。これらのことはほとんどの試料土に対して同様な結果が得られた。前者の理由としては、試料土中の有機物または供試土自体の燃焼あるいは炉乾燥では蒸発しない吸着水の蒸発等が考えられる。後者の理由は、10mlのアルコールによる燃焼ではアルコールの使用量が十分ではなかったからだと推測される。またアルコール燃焼法でアルコール10mlの燃焼に要する時間は4~5分である。

土の初期含水比の違いは電子レンジ法には影響ないが、砂容器法とアルコール燃焼法の場合、供試土の乾燥時間とアルコールの量が左右される。紋別土には電子レンジ法が最も適切であるといえる。

b. 中海土……電子レンジ法は45分、砂容器法では120~150分で乾燥度90~95%の値が、そしてアルコール燃焼法では20~40mlで乾燥度100%に近い値が得られる。中海土の場合も、アルコール燃焼法では液性指数0で20ml、1.5で40mlのアルコール使用量で乾燥度が100%を越えており、乾燥度が約115%にも達しているものもある。また、供試土の水分量が多くなるにつれ、多



第1図 各迅速測定法における乾燥度の時間的変化(紋別土,  $I_L=1.0$ )

量アルコールを必要とする。これらのことを考慮すると適切な判定法とは言えないと考える。中海土について、どの測定法が適切かということは、概略値あるいは短時間で含水比の値が求めたいならば、土の含水比とは無関係にある一定時間で乾燥度90%程度に達する電子レンジ法が適当と推定される。

c. ベントナイト……電子レンジ法では45分で乾燥度100%に近い値が得られる。砂容器法では長時間を要してさえ乾燥度90%までしかならない。このことは、比表面積が大なる土に対しては砂容器法に比べ電子レンジ法の方が土の細かい間隙内の水分にも影響を及ぼしている事が分かる。アルコール燃焼法の場合、紋別、中海土と異なり乾燥度100%をわずかしこ越えない。高粘土のベントナイトは、液性指数0, 0.5という少量の水分調整において、供試土全体に水分が行きわたらず土と水のなじみが不十分である事が考えられる。そこで液性指数1.0, 1.5の供試土からみると、高粘土分高水分の土に対しては、アルコール燃焼法が60mlでほぼ乾燥度が100%になり最適であるといえる。そして概略値であれば、電子レンジ法も使用できると考える。

d. 黒ボク土……液性指数1.5の含水比状態を除いて、電子レンジ法と砂容器法は乾燥度と経過時間との関係が同傾向の曲線を示す。砂容器法は150~180分で乾燥度90~95%が得られる。電子レンジ法は液性指数1.5の場合30分で乾燥度95%近くに達しているが、初期含水比によってかなり左右される傾向がみられる。アルコール燃焼法は30~40mlで乾燥度100%に近い値が得られるが、初期含水比の大小に関係なく、乾燥度が100%を越え、130%近くに達しているものもある。黒ボク土の場合、有機物を多量に含むので、有機物が燃焼している可能性が考えられる。

e. 西高尾土(火山灰質粘性土)……電子レンジ法は45分で、砂容器法では120分で乾燥度95~105%が得られる。アルコール燃焼法は、30~40mlでほぼ乾燥度100%になり、同じ火山灰質粘性土でも黒ボクと異なり有機物をあまり含まないため、乾燥度110%位に留まっており、少ないアルコール使用量(約30ml)で高い精度が得られる。西高尾土の場合、どの方法でも高い精度の値が得られるが、正確さ、迅速さを考えると電子レンジ法が最適と思われる。

f. 赤黄色土(栃本, 外邑, 堀越土)……赤黄色土においては、3種の試料土を用いて実験したわけであるが、個々の試料土において若干の違いは見られるが、おのこの測定法において同傾向が得られた。3試料土とも初

期含水比に関係なく電子レンジ法では45分で、アルコール燃焼法では30ml前後でほぼ乾燥度が100%になると思われる。砂容器法は外部からの温めによるものであり、内部から温める電子レンジ法とは異なり、初期含水比の違いの影響がみられた。当然のことながら初期含水比が大きくなれば、乾燥時間も長くなることは推測される。ある程度の測定時間が許されるならば、炉乾燥土と同含水比を得るためには砂容器法、迅速性を考慮するならば、電子レンジ法が妥当だと考える。

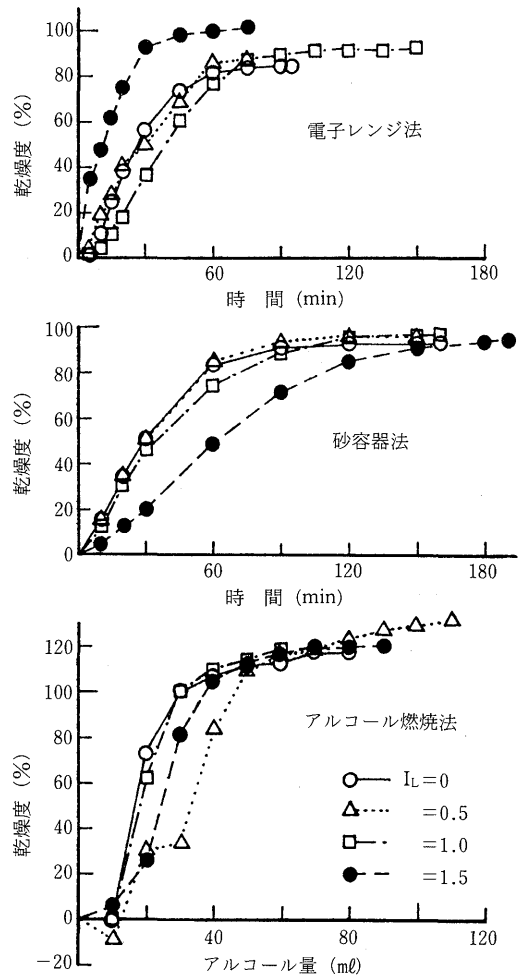
#### 供試土の初期含水比と迅速含水比測定法

ここで試料土を以下のようにグループ分けして乾燥過程の違いに検討を加えてみることにする。

- A. 粘土分50%以上で、塑性指数20以上の試料土のグループ（紋別、中海土、ベントナイト）
- B. 火山灰質粘性土のグループ（黒ボク、西高尾土）
- C. 赤黄色土のグループ（栃本、外邑、堀越土）

Aグループの試料土は電子レンジ法では、初期含水比とはあまり関係なく同傾向曲線を示しており、約45分で乾燥度100%に達している。砂容器法では、紋別と中海土は類似傾向を示すが、比表面積も大きく、塑性指数も大きなベントナイトは初期含水比によってかなり異なっており、液性指数0では乾燥度が約75%程度にしか達せず、時間をかけても乾燥度が100%には達しない。これは土粒子に吸着している水分が砂容器法程度の熱では逃げないことを示している。このことは他の2試料土についても言えることである。Aグループの試料土に対しては砂容器法は適切ではない。アルコール燃焼法では3試料土とも初期含水比の違いにより大きく異なっており、含水比が小さいほど早く乾燥度100%に達している。紋別、中海土では、乾燥度が100%に達するのにアルコール40ml位でよいが、ベントナイトは含水比が高くなると多量のアルコールを必要とし、あまり適切な測定法とはいえない。

Bグループ（黒ボク土）における初期含水比、迅速含水比測定法の違いによる乾燥度の時間的変化を第2図に示す。Bグループの試料土は、第2図によると電子レンジ法では似たような曲線を示しているから初期含水比が大きいほど経過時間初期に乾燥度の急激な上昇傾向を示している。このことは、間隙比も大きいB試料土に対し、電子レンジの特長によって土の内部から一気に水分蒸発を促すことによる。その後は水分蒸発も微量となり、一定を示すものと思われる。その反対に初期含水比が小さい場合には、土粒子の回りの水分も強く土粒子に吸着されており、経過時間と共に徐々に乾燥度が上昇するもの



第2図 初期含水比の違いにおける乾燥度の時間的変化（黒ボク土）

と考える。しかし、黒ボク土は、液性指数1.5を除いて乾燥度100%には達せず、自然含水比を越える水分量(概ね  $I_L > 1.0$ )では使用できるが、それ以下では概略値を知るのみである。砂容器法では、初期含水比にあまり関係ないようであるが、乾燥度100%近くを求めようとすると長時間熱を加える必要がある。アルコール燃焼法では、初期含水比によって異なっており、初期含水比が大きいほどアルコールの使用量は多くなるが、概ね自然含水比以下であれば30ml位、それ以上であれば40mlのアルコールを使用すればよいようである。測定法の中では、Bの試料土に対してはアルコール燃焼法が一番適切なようで

ある。

Cグループの試料土は、A、Bグループの試料と同様に、電子レンジ法のみが初期含水比が高いと速く乾燥度100%に到達すると考える。そして、電子レンジ法では初期含水比の違いに関係なく全試料土とも約45分で乾燥度100%に達している。砂容器法は、外岳土が初期含水比の違いにより60分でも乾燥度60%にしか達しないものもあるが、大体120分で乾燥度90%以上に達すると思われる。アルコール燃焼法では初期含水比が高いと最初乾燥度がマイナスになるが、概ね初期含水比には関係なくアルコール量30~40mlで乾燥度100%に達している。

#### 総 括

8種、3グループの試料土、3種類の迅速含水比測定法および4段階の初期含水比の組み合わせにて実験研究を行い、特に、電子レンジが使用できる可能性に検討を加えた。電子レンジ法は、多量の有機物を含む黒ボク土を除いて、概ね良い結果が得られた。特に、含水比が自然含水比より高いような多量の水分を含む試料土に対しては急速に精確な測定値を求めることができると考え

る。全般的には、電子レンジ法の測定時間としては45分位が適当と考えられる。アルコール燃焼法は、試料土の違いあるいは試料土の含水比が自然含水比以上以下によりアルコール使用量が異なることと、使用量を間違えると乾燥度が100%を越える危険性ははらんでおり、アルコールの使用量に注意を要し、あまり実用的とは言えないようである。砂容器法は試料土や初期含水比の違いに関係なく測定時間さえかければ精確な値が求まるようであるが、急速な含水比測定法としては問題があると考え

る。最後に、粘土分の多少ではなく、試料土の比表面積並びに有機物含有量の大小等により測定時間に違いがでてきていることが推測されるので、今後この点を追求していきたい。

#### 文 献

- 1) 藤田龍之、古河幸雄：電子レンジを利用した土の物理試験方法に関する二、三の研究。土質工学会論文報告集、28 197-207 (1988)