

2. 農業土木分野での SI の使い方について

佐藤 晃 一*

(1) はじめに

農業土木学会では、1982年から論文集でSI採用(非SIのかっこ書き併記)が定められた。

この場合、最も困難と混乱を伴っているのが質量(kg)と力(N)の区別であり、よく使用される単位では圧力(Pa)、エネルギー(J)などであろう。また現場での混乱を避けるために、当分の間存続させたい独特の単位もある。SI単位及びそれと併用してよい単位等については、JIS Z 8203に附属書として詳しく述べられているほか、特に重量、荷重に関する切換え指針(JSA/STACO/SC 7, 51-09-13)がある。

そこで農業土木学会では、「農業土木分野でよく使用するSIの取扱い方」(1983. 6)において、アール(a)、ヘクタール(ha)などのほか、いくつかの非SIも使用を認めることにし、表-1のように例示した。

(2) 質量と重量

工学的立場において、重力単位系は極めて便利な尺度である。本来、重量とは静止した物体に作用する重力の大きさであり、物体の質量と重力加速度の積で表わされる。この場合、重力単位系では質量1キログラムの物体に働く力を1重量キログラム(kgfまたはkgw)として基本単位に置くのである。そこで、標準重力加速度(g_n)を 9.80665 m/s^2 とすると、

$$1 \text{ kgf} = 1 \text{ kg} \times 9.80665 \text{ m/s}^2 = 9.80665 \text{ N}$$

という関係が成り立つ。ところがこれを、1kgfとする代りに1kgと慣用する方法が定着して、混乱の原因となっている。すなわち、質量mkgの物体の重量はmkgfであるが、これをmkgと表記してきたものである。SIにおける力の単位は、質量1kgの物体に 1 m/s^2 の加速度を与える力で、これを1ニュートン(N)という。力学に関する各単位系を対比すると表-2のようである。

質量は物体が本質的に保持するものであるが、重量は重力加速度によって厳密には場所による変化がある。理科年表(昭和58年度)によると、例えばわが国では根室($43^\circ 19.7' \text{N}$) 9.8068363 , 鹿児島($31^\circ 34.4' \text{N}$) 9.7947215 などである。よく知られているように重力は月では地球の約0.17倍であり、また無重力の状態下でも質量は変

表-1 土壌物理、水文の分野で使用される単位記号の例 (SIではないが特に残したいものを含む)

	量	SI 単位	よく使用する単位記号	備考
土	粒 径	m	m, cm, mm, μm , nm	Åは使用しない。
	比表面積	m^2/kg	m^2/kg	従来単位 m^2/g , m^2/cm^3
	水分ポテンシャル	J/kg	J/kg	従来単位 erg/g $1 \text{ erg/g} = 1 \times 10^{-4} \text{ J/kg}$
壌	サクション(土壌水分) 吸引圧	Pa	Pa, bar, pF	pFを使用する場合には、Paを併記する。
	透水係数(水理伝導度)	m/s	m/s	従来単位 cm/s
	水分拡散係数	m^2/s	m^2/s	従来単位 cm^2/s
物	体積熱容量	$\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$	$\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$	従来単位 $\text{cal}/(\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ $1 \text{ cal}/(\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}) = 4.19 \times 10^6 \text{ J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$
	温度伝導度	m^2/s	m^2/s , cm^2/s	
理	湿 潤 熱	J/kg	J/kg	従来単位 cal/g $1 \text{ cal/g} = 4.19 \times 10^3 \text{ J/kg}$
	吸 着 熱	J/mol	J/mol	従来単位 kcal/mol $1 \text{ kcal/mol} = 4.19 \times 10^3 \text{ J/mol}$
水	降 雨 量	m	mm	
	降 雨 強 度	m/s	mm/d, mm/h	
	流 出 高(量)	m	mm, mm/d, mm/h	
	比 流 量	$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$	m^2/s	単位面積を明記する
	水 頭	m	m, cm	
文	用水量, かんがい強度	m/s	mm/d, mm/h	
	減 水 深	m/s	mm/d	
	蒸 発 散 量	m/s	mm/d	
	インテークレート	m/s	mm/h	

らない。

そこでこの2つの概念を混乱なく区別する方策として、重量に関しては力を表わす“f”という記号を付して、kgf, tf, などと表示するように奨められている。すなわち、今まで重量、荷重という用語で表わそうとする物理量が、文脈等からして質量である場合、kgを用いて質量という表現に改める。しかしながらそれが、力の概念に当たると判断されるものは、kgfで表わすのであ

* 愛媛大学農学部

表-2 力学に関する単位系の比較

単位系		長さ(L)	質量(M)	時間(T)	力(F)	加速度	応力, 圧力	エネルギー	
メートル法	絶対単位	SI	m	kg	s	N	m/s ²	Pa	J
		MKSA	m	kg	s	N, kg·m/s ²	m/s ²	N/m ²	N·m
		CGS	cm	g	s	dyn, g·cm/s ²	gal	dyn/cm ²	erg
		重力単位	m	kgf·s ² /m	s	kgf	m/s ²	kgf/m ²	kgf·m

る。勿論これをNとすることはより好ましいことであるが、工学系の分野では現場との遊離を避けるために kgf の形でまず明確に区別することから始める場合が多い。

(3) 単位の換算

単位の換算は理論的には簡単な演算であるが、いざ行なうとなると、しばしば面倒を感じ、間違いやすい。SI のねらいのひとつは、単位の国際的統一により換算の煩わしさをなくすことにある。しかしながらいざにせよ、現在使用されている多くの単位系について、これをSIに読み換えて行く手順は明確にされねばならない。例えば先述の標準重力加速度 (g_n) は、力の単位について重力単位系とSIとを結ぶ架け橋であり、

$$1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N}$$

という基本換算式を与える。ここに 6.80665 は重力換算係数 (g_c) であり数値的には g_n と同じであるが、単位は (N/kgf) を持つ。一般には無次元数として扱っている。

非SIからSIへの換算係数は、JIS Z 8202に示され、また各種単位の換算表も出版されている。いまわれわれの分野で身近なものの一部を表-3に示す。

単位の換算に際しては、有効数字のとり方も問題となる。例えば、 $1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N}$ において、これを9.8あるいは9.81と丸めた場合、計算上、前者は約-0.068%、後者は約+0.034%の系統誤差が生じる。9.807までを用いれば、誤差は-0.0036%になる。従って換算されるべき数値、要求される精度により、用いるべき係数値も変えると考えてよい。(さらに、重力換算係数に関しては、重力加速度の値が場所により変化することも考慮する必要がある。) 一般的に言えば、換算すべき数値の有効数字の桁数よりも、少なくとも1~2桁多い換算係数によって計算し、その結果について求めようとする有効数字の桁数まで数値を丸めれば良いとされている。なお、厳密に定義された換算係数が示されている物理量に関しては、定義された数値そのものを用いることが基本である。

(4) 注意すべき単位

SIの導入にあたり、土壌物理の分野では意外に特殊例の多いことに気付く。それは農業とも関連して、現場の特殊な単位が多くあり、しかも生活にまで根深く使用されている(自分にとって)便利な単位となっているからである。先に表-1に示したサククション (pF) や減水深 (mm/d) などがその最たるものである。それとともに、今まで慣用(誤用)してきたために切り換えに当たって特に注意すべき単位も多い。質量と重量(力)がそうであり、そのほかにも④密度と単位体積重量、⑤応力と圧力などが身近なものである。

④ 密度 (ρ) と単位体積重量 (γ)

密度 (density) は単位体積当りの質量で定義され、 $[\text{ML}^{-3}]$ の次元をもつ。SIの単位では kg/m^3 , Mg/m^3 などとなるが、従来から慣用された g/cm^3 , t/m^3 も捨て難いものである。これらは $\text{Mg/m}^3 (=1000 \text{ kg/m}^3)$ と数値的には等しいので、混乱は少ないであろう。量記号には ρ (ロー) を用い、従来特に区別しない場合の多かった γ (ガンマ、単位体積重量) と明確に使い分ける必要がある。

単位体積重量 (unit weight) は $[\text{FL}^{-3}]$ または $[\text{ML}^{-2} \text{T}^{-2}]$ の次元をもち、密度とは異なる量である。SIでは kN/m^3 で表わされるが、重力単位系なら gf/cm^3 , tf/m^3 としなければならない。

ρ と γ の関係は、

$$\gamma (\text{kN/m}^3) = g_n (\text{m/s}^2) \cdot \rho (\text{Mg/m}^3)$$

重力単位系の ρ と γ は数値的に等しいので問題ないが、水の単位体積重量 $\gamma_w = 1 \text{ gf/cm}^3$ はSIでは $\gamma_w = 9.80665 \text{ kN/m}^3$ となり多少不便かもしれない。

⑤ 応力と圧力

外力に対して物体内部にこれと低抗するための内力が生じるが、これを単位面積で除した値を応力 (stress) という。一般に法線方向力 (垂直応力, σ) と接線方向力 (せん断応力, τ) の2成分に分けられる。物体が気体や液体の場合には垂直応力のみとなり、圧力 (pressure) と呼んで量記号はPで表わす。

両者はともに単位面積当りの力で定義され、物理的に

表-3 非 SI から SI への換算係数の例

量	SI	非 SI	SI への換算係数
平面角	rad	° (度)	1.74533×10^{-2}
		' (分)	2.90888×10^{-4}
		" (秒)	4.84814×10^{-6}
長さ	m	μ (マイクロ)	1×10^{-6}
		Å (オングストローム)	1×10^{-10}
		in	0.0254
		ft	0.3048
		yd	0.9144
		mile	1.60934×10^3
面積	m ²	a (アール)	1×10^2
		ha (ヘクタール)	1×10^4
		in ²	6.45160×10^{-4}
		ft ²	9.29030×10^{-2}
		acre	4.0468×10^3
体積	m ³	l (リットル)	1×10^{-3}
		in ³	1.6387×10^{-5}
		ft ³	2.83168×10^{-2}
		gal (ガロン) (USA)	3.78541×10^{-3}
		(Imp. gallon)	4.54609×10^{-3}
時間	s	min (分)	60
		h (時)	3600
		d (日)	86400
		week	604800
		year	3.1536×10^7
		速度	m/s
km/h	0.277778		
knot	0.51444		
ft/min	5.08001×10^{-3}		
miles/h	0.44704		
質量	kg		
		lb (ポンド)	0.453592
密度	kg/m ³	t/m ³	1×10^{-3}
		g/ml	1×10^{-3}
		ppm	1×10^{-9}
		lb/ft ³	1.60185×10
力 (重量)	N	dyn	1×10^{-5}
		kgf	9.80665
		tf	9.80665×10^3
		lbf	4.44822
		kips (= 1000 lbf)	4.44822×10^2

量	SI	非 SI	SI への換算係数
圧力	Pa	bar	1×10^5
		atm	1.01325×10^5
		mmH ₂ O (4°C)	9.80665
		mmHg	1.33322×10^2
		Torr	1.33322×10^2
		kgf/cm ²	9.80665×10^4
応力	Pa (N/m ²)	tf/m ²	9.80665×10^3
		kgf/mm ²	9.80665×10^6
		gf/cm ²	9.80665×10
		lbf/ft ²	4.78802×10
		lbf/in ² (psi)	6.89476×10^3
		粘性係数	Pa·s
cP	1×10^{-3}		
gf·s/m ²	9.80665×10^{-3}		
動粘性係数	m ² /s	St. (ストークス)	1×10^{-4}
		cSt	1×10^{-6}
表面張力	N/m	dyn/cm	1×10^{-3}
		kgf/m	9.80665
仕事エネルギー 熱量 電力量	J	erg	1×10^{-7}
		kW·h	3.6000×10^6
		cal	4.18605
		kcal	4.18605×10^3
		kgf·m	9.80665
仕事率 工率 動力 出力	W	Ps	7.35499×10^2
		kgf·m/s	9.80665
		kcal/h	1.16279
単位体積 重量	N/m ³	gf/cm ³	9.80665×10^3
		kgf/m ³	9.80665
		tf/m ³	9.80665×10^3
圧密係数	m ² /s	cm ² /min	1.66667×10^{-6}
		cm ² /d	1.15741×10^{-9}
		in ² /year	2.04579×10^{-11}
圧縮率 圧縮係数	m ² /N (Pa ⁻¹)	m ² /kgf	0.101972
体積係数	m ² /N	cm ² /gf	1.01972×10^{-2}
地盤係数	N/m ³	ld/in ³	2.71447×10^5
浸透力	N/m ³	lb/ft ³	1.57087×10^2

表—4 直ちに改訂できる単位表現法の例

量	記 号	従来よく用いられた記号
長 さ	μm (マイクロメートル)	μ (ミクロン)
質 量	g (グラム) kg (キログラム)	gr (KG)(キログラム)
時 間	d (日) h (時) s (秒)	day hr sec
温度(差)	K (ケルビン) °C (セルシウス度)	°K deg. C (セルシウス度)
重 量	tf (重量トン) kgf (重量キログラム) gf (重量グラム)	t (トン) kg (キログラム) g, gr(グラム)
体 積	cm^3 (立方センチメートル)	cc

は全く同じ量であるが、歴史的に使い分ける場合が多かった。すなわち、応力には kgf/cm^2 , tf/m^2 , 圧力では bar , atm , mmHg , Torr などである。SI ではともに Pa でよいが、従来の流れをくんで応力に N/m^2 を用いる傾向もある。特に γ が kN/m^3 であるため、応力も kPa よりも kN/m^2 の方が混乱しないとの考えである。将来的には Pa で統一することが望ましいと考えられる。なお、 bar はヨーロッパ等で普及し、わが国でも気象関係で用いられているが、 Pa に切り換える方向にある。

以上、SI に関する情報を、農業土木的立場を中心に記したが、要は切り換えに対する決意と、単位に対する慣れが問題なのである。それとともに、少なくとも表—4 に示すような改訂は、各人の注意において直ちに実行したいものである。

3. 土壌肥料分野での SI の使い方について

加 藤 英 孝*

(1) はじめに

国際単位系 (SI) は国際度量衡総会で採用され勧告され、以後さまざまな分野で使用されるようになった、一貫した単位系である。SI が使用されるべき理由は、SI が普遍性をもった合理的な単位系であり、ひとたび慣れれば

使いやすいという点にある。

ここではまず、土壌肥料分野での SI 導入に際しての基本的考え方、SI を使用する際の一般的な注意点を示し、つぎに SI 導入に際して主として問題になる点を取りあげる。ついでこの分野に関連のある各種の物理量の名称および使用する単位を列挙し、必要のある場合には SI 単位と従来の単位との間の換算率を示すことにする。

(2) SI 導入に際しての基本的考え方

1) 可能なかぎり SI 単位のみを用いる

SI では基本単位としてメートル (長さ, 記号 m), キログラム (質量, kg), 秒 (時間, s), アンペア (電流, A), ケルビン (熱力学温度, K), モル (物質量, mol) およびカンデラ (光度, cd) の七つを、補助単位としてラジアン (平面角, rad) およびステラジアン (立体角, sr) の二つをとり、これらを組み合わせることによって任意の物理量に対応する単位を組み立てる。SI の長所の一つは、こうして任意の単位を構成する際に何ら係数を必要としないことである。SI をそのままの形で土壌肥料分野に導入することはできないとしても、変更を加える場合にはこの長所がそなわれることのないよう考慮することが必要である。従来用いられてきた、SI 単位の10の整数乗倍 (例: cm^3 , g) は組立単位の分母としてはなるべく使用すべきでない。なお、SI 基本単位および補助単位の定義、SI 組立単位で固有の名称をもつもの、ならびに SI 単位の10の整数乗倍を構成するための接頭語については本号の1. 総論を参照していただきたい。

2) 一部の廃止された非 SI 単位の維持

SI では従来よく用いられてきた単位のいくつかが廃止されている。そのなかには当量 (equivalent) のような、土壌肥料分野では頻りに用いられている単位も含まれている。この種の単位のうち SI 単位による代替が難しいものは、そのまま当分の間は使用してさしつかえないだろう。

3) 量に対する名称について

土壌肥料分野で用いられてきた各種の量に対する名称のなかには適当ではないと思われるものがふくまれている。例えば bulk density (かさ密度) は SI では $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 従来の単位では $\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ で表わされるが、これに対して '仮比重' の名を与えるのは本来適当ではない (比重は無次元量)。従来用いられてきた量に対する名称の一部には、このように、量に対する単位のもつ次元との関係において一貫性を欠いているものがある。それらの名称については、SI 使用のメリットを減じないように、再検討が加えられるべきであろう。

* 農業環境技術研究所