

SI (国際単位系) の導入方策案・同左解説について

SI 単位導入委員会委員長

三 木 五 三 郎*

最近では国際的に、SI 単位の使用が急速に広まり、たとえばフランス、イギリス、ドイツなどの EC 諸国では、1978年4月からは正式の単位が SI のものとなることが決まっている。わが国でも日本工業規格では、1978年3月までに現在の SI でない単位による数値のあとに、SI の単位による数値をカッコ書きで併記する作業が完了する予定である。そしていずれ SI 単位の方が正式のものとなることも時間の問題なのである。また国際土質基礎工学会議でも、すでに 1973 年のモスクワ会議に際する代表者会議で SI 単位の導入が提案され、1977 年の東京会議に際する代

表者会議では、SI 単位だけを用いた記号と単位についての勧告案が提案された。

しかしこのような趨勢にもかかわらず、わが国の工学ないしは工業界では、一般に SI 単位導入についての関心が低かった。幸い土質工学会では、いち早く 1975 年から「SI 単位導入委員会」を設置して、そのスムーズな導入方策について検討してきたが、このほどその成案がまとまったので一般会員のご検討をいただきたいと考える。

以下にはまずその導入方策案を示し、そのあとにその解説を付してある。

1977. 9

SI (国際単位系) の導入方策案

1. ただちに導入すべき SI の単位と単位記号の主なものを表-1 に示す。

表-1 導入すべき SI の単位と単位記号

量	単位の名称	単位記号	備 考
平面角	ラ ジ ア ン	rad	$1^\circ(\text{度}) = \frac{\pi}{180} \text{ rad}$, $1'(\text{分}) = \frac{1}{60} \cdot 1^\circ(\text{秒}) = \frac{1}{60}$ は併用できる。
立体角	ス テ ラ ジ ア ン	sr	
長 さ	メ ー ト ル	m	μ は μm (マイクロメートル) とする。
面 積	平 方 メ ー ト ル	m^2	
体 積	立 方 メ ー ト ル	m^3	cm^3 は ml を用いる。
時 間	秒	s	$1 \text{ min}(\text{分}) = 60 \text{ s}$, $1 \text{ h}(\text{時間}) = 60 \text{ min}$, $1 \text{ d}(\text{日}) = 24 \text{ h}$ は併用できる。
角速度	ラ ジ ア ン 毎 秒	rad/s	
速 度	メ ー ト ル 毎 秒	m/s	
加速度	メ ー ト ル 毎 秒 毎 秒	m/s^2	
周波数	ヘ ル ツ	Hz	
回転数	回 毎 秒	s^{-1}	min^{-1} (回毎分) は併用してよい。
質 量	キ ロ グ ラ ム	kg	t は用いてもよい。
密 度	トン毎立方メートル	t/m^3	
温 度	セ ル シ ウ ス 度	$^\circ\text{C}$	

2. 質量と重量の概念を明確に区別し、単位記号と量記号は確実に区別して用いる。表-2 にはその主な例を示した。また、用語もできるだけ区別することを考える。

表-2 質量と重量の区別例

量	単位の名称	単位記号	量記号
質 量	キ ロ グ ラ ム	kg	m
密 度	トン毎立方メートル	t/m^3	ρ
重 量・力	重量キログラム	kgf	W, P
圧 力・応 力	重量キログラム毎平方センチメートル	kgf/cm^2	p, σ
単位体積重量	重量トン毎立方メートル	tf/m^3	γ

3. 力の関係の SI の単位を今後導入しやすくするため、数式中で静荷重 P の代わりに gnm_P 、単位体積重量 γ の代わりに $gn\rho$ というように、標準重力の加速度 gn を顕在化させる方法がある。なお、ここに m_P は載荷質量、 ρ は密度である。
4. SI を導入する第1段階として、現在 JIS では SI でない単位による数値のあとに SI の単位による数値を機械的にカッコ書きで併記する作業を進めているが、これは必ずしも必要ではない。

SI (国際単位系) の導入方策案解説

1. ま え が き

SI (Système International d'Unités, 国際単位系) は、1960年に誕生したばかりの新しい単位系で、メートル条約加盟国で正式に採択されてからまだ日が浅いが、すでに国際標準化機構 (ISO) でも 1969 年には推薦規格を制定し、フランスや英国を初めとしてこの導入は世界的にかなり急

速に進行しており、わが国でも 1972 年 12 月には日本工業標準調査会がこれを JIS に導入することを決めている。すでにその準備段階である SI と SI でない単位との換算表の制定は終え、現在はそれに続く第1段階として、各 JIS において SI でない単位による数値のあとに SI による数値をカッコ書きで併記する作業が進められている。

しかし今までほとんど重力単位系だけを使ってきた工業界では、絶対単位系である SI の導入に際しては、すでに

* 工博 東京大学教授 生産技術研究所

この第1段階でも主として質量と重量とを明確に区別しなければならない点などを中心としてかなりのとまどいがみられ、今後 SI が正式の単位系となる第2, 第3段階(第2段階では SI でない単位が SI のあとに併記されるが、第3段階では SI だけとなる)への移行に際しては各種の問題の発生が予想される。

学会関係でもすでに世界の大勢として SI が実用され出しており、わが国でも早晩これを導入せざるを得ないのは明らかなので、今から SI へのスムーズな移行を考えた対応策がたてられるのが望ましい。

以上のような背景のもとで、土質工学会の「SI 単位導入委員会」は1年余にわたり、SI の導入方策について検討し、このたび「SI(国際単位系)の導入方策」をとりまとめて理事会に答申した。以下にはその答申について解説する。

2. ただちに導入すべき SI の単位と単位記号

従来の単位系と SI とで同じ単位を用いている場合、その単位記号には SI のものをただちに導入すべきである。すなわち時間の秒は sec を s に、時は hr を h に、周波数は c/s を Hz($=s^{-1}$) に、また長さの μ (ミクロン)は μm (マイクロメートル)にするなどである。

SI の単位の使い方には慣習があり、長さの単位に cm をあまり使わない。容積の単位は cm^3 ではなくて m^3 となる。図面中の寸法も cm よりはなるべく mm 単位で示すことが望ましい。ただし透水係数の単位は、英国などで用い出している m/s にすると混乱のおそれがあるので、わが国では従来どおり cm/s とするのがよい。圧密係数も cm^2/s の代わりに $m^2/year$ とするほどのことはないであろう。

SI ではまた質量の単位として、t の代わりに Mg(メガグラム)を使うので、密度の単位も Mg/m^3 となるが、t の併用も認められているので、われわれには t/m^3 の方がなじみやすい。なお車両質量の表示には、ISO が kg の使用を決めているので、わが国でも t の代わりに kg が用いられるようになると思われる。

3. 質量と重量の区別

質量 m kg の物体の重量は、重力単位系では m kgf(重量キログラム)であり、この場合の標準重力の加速度 g_n は 1 kgf/kg である。したがって従来は質量と重量との概念をあまり区別しないまま、単位記号も kgf の代わりに kg をそのまま用いることが多かった。たとえば圧力や応力の単位である kgf/cm^2 も、ほとんど kg/cm^2 と書かれている。

一方絶対単位系の SI では、標準重力の加速度 g_n が 9.80665 m/s^2 であるから、 m kgf の物体の重量は $mg_n = 9.80665$ $m(kg \cdot m/s^2)$ となり、組立単位である重量ないしは力の単位 $kg \cdot m/s^2$ を N(ニュートン)と称するので、これはまた 9.80665 $m(N)$ となる。

そこでわれわれがこれから SI をスムーズに導入することを考える場合に、もっとも大切なのは質量と重量とを明確に区別することだといえる。すなわちまず従来の“重量”などの用語で表現しようとしている概念が、前後の文脈や内容から判断して質量の概念に当たるかどうかを判断し、それがまさに質量の場合には質量の単位の g や kg を用いて、用語もできるだけ“質量”に改めるとともに、もし文字どおり重量の場合には重量の単位の gf や kgf を用いて質量とは明確に区別しなければならない。

4. 質量と重量に関連する問題

4.1 用語の問題

従来は一般に“はかりで重さをはかる”という表現が普通であったが、実ははかりではかるのは質量であり、したがってその単位は g や kg である。コンクリートの配合は“重量比”ではなくて“質量比”で決めねばならず、粒径加積曲線の縦軸は“通過重量百分率”ではなくて“通過質量百分率”である。なお“体重”や“車両の自重”などの用語からは重さを連想するが、これも実際は質量であり、したがって用語はそのままとするにしてもその単位には kg を用いねばならない。

4.2 量記号の問題

質量を表わす量記号は m で、重さを表わす量記号は W である。したがってたとえば含水比 w を求めるには、湿った土の質量を m_1 、乾燥した土の質量を m_2 、容器の質量を m_3 として

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} \times 100(\%)$$

と求めるべきであり、従来のように量記号として W_1 , W_2 , W_3 を用いるのはよくない。

4.3 密度 ρ と単位体積重量 γ

締固め試験では、体積 V のモールドの中に締固められた土の質量 m をはかって、密度(単位体積質量) ρ を

$$\rho = m/V \quad (t/m^3)$$

と求める。その土の含水比が w の場合の乾燥密度 ρ_a は

$$\rho_a = \rho / (1 + w/100) \quad (t/m^3)$$

である。なお従来土質工学の分野では、土の単位体積重量 γ (gf/cm^3 または tf/m^3) の代わりに密度と称することが慣用されていたが、今後は γ と ρ とは明確に区別しなければならない。

すなわち密度 ρ の土の単位体積重量 γ は

$$\gamma = g_n \rho$$

であるから、重力単位系および SI の場合にそれぞれつぎのように求められる。

$$\gamma = 1(kgf/kg) \cdot \rho(t/m^3) = \rho(tf/m^3)$$

$$\gamma = 9.81(m/s^2) \cdot \rho(t/m^3) = 9.81\rho(kN/m^3)$$

なおちなみに、4℃の水の密度 ρ_w は 1 t/m^3 、単位体積重量 γ_w は 1 tf/m^3 または 9.81 kN/m^3 である。

4.4 土圧の計算

深さ z (m) の点の主働土圧 p_A は、土圧係数を K_A 、土の単位体積重量を γ とすれば

$$p_A = \gamma z K_A$$

となるが、SI へのスムーズな移行を意識するならば

$$p_A = g_n \rho z K_A$$

とする方がなじみやすいようである。

すなわち土の密度 ρ は重力単位系でも SI でも同じ数値で与えられ、水の密度と比較してただちにその大小が認識されるうえ、後式を用いれば重力単位系では $g_n = 1 \text{ kgf/kg}$ であるから

$$p_A = \rho z K_A (\text{tf/m}^2)$$

となって従来の式と同形となる。SI の場合には g_n が単位数とならず、 9.81 m/s^2 であるから

$$p_A = 9.81 \rho z K_A (\text{kN/m}^2)$$

となって、土圧を kN/m^2 の単位で求めると約10倍の値が得られることになる。

4.5 ケタの曲げモーメントの計算

長さが l (m) のケタの単位長さ当たりの質量が m_Q (kg/m) の場合、その中央に荷重 P (kgf または N) が加わる場合のその点の曲げモーメント M は

$$M = \frac{g_n m_Q l^2}{8} + \frac{Pl}{4} \quad (\text{kgf} \cdot \text{m} \text{ または } \text{N} \cdot \text{m})$$

と求められる。この場合に静荷重 P の代わりに 載荷質量 m_P (kg) を考え

$$M = \left(\frac{m_Q l^2}{8} + \frac{m_P l}{4} \right) g_n \quad (\text{kgf} \cdot \text{m} \text{ または } \text{N} \cdot \text{m})$$

とする計算式もある。

5. SI 単位の併記

現在 JIS では、前述したように、SI でない単位による数値のあとに SI の単位による数値を機械的にかっこ書きで併記する作業を進めている。これは SI の単位による数値に知らず知らずのうちになじませるために行なわれているものと思われるが、数表や図中ではかなり煩雑な場合もあり、必ずしも有効だとはいえない。

またこれから実際に SI を採用するに当たっては、適正な SI 単位の選定問題、換算に際して正確に行なうのか、丸めた数値を設定するのかという問題、さらに数式については SI 用として別の形になる場合の問題などがあり、併記といっても多くの解決すべき点が残っている。

そこで現時点での SI 導入方策としては、機械的な併記よりはむしろ SI に移行するに際しての本質的理解をはかることがより重要だと思われる。

6. SI 単位の併記に関する問題例

6.1 併記する SI の適正な単位

併記する SI の単位は、当然将来わが国で正式に用いる

ようになるものでなければならないが、これはすでに SI を用い始めている国々の例などを参照して、国際的に慎重に選定しなければならない。以下にはその主要例を示す。

圧力の SI 単位としては一般に kPa や MPa が使われるが、土の強さや弾性係数などの単位面積当たりの力には kN/m^2 と表記する場合も多い。これは土質基礎関係の論文では、単位体積重量 kN/m^3 も同時によく使われるためかも知れない。また岩やコンクリートの強さには N/mm^2 も使われる。そのほか地盤係数には MN/m^3 、体積圧縮係数には m^2/MN などが用いられる。

6.2 SI への換算値の決め方

従来の単位から SI 単位への換算に際して、換算率をかけた数値をそのまま正確に用いる（たとえば従来の 1 kgf/cm^2 を 98.1 kN/m^2 とする）のか、それとも SI 単位による丸めた数値を採用する（たとえば上例では 100 kN/m^2 とする）のかは、きわめてむずかしい問題であり、現状では国により、また場合によってかなりまちまちである。

なおわが国で以前に、ヤードポンド法からメートル法への換算に際してすでに丸めた数値を採用しているのに、ヤードポンド法使用国が SI への移行に際しては正確な換算率を採用している（たとえば CBR 試験用貫入ピストンの断面積はもともと 3 in^2 であったが、わが国ではその場合の正確な直径 4.96 cm の代わりに 5.0 cm を採用しているが、英国ではこれを正確に 49.6 mm としている）ようなケースもある。

6.3 SI では数式が変わる例

(a) 物体を持ち上げる動力の計算

質量 m (kg) の物体を t (s) で H (m) だけ持ち上げるのに要する動力 Q は、仏馬力で表わす場合には

$$Q = \frac{g_n m H}{75 t} \quad (\text{PS})$$

SI の W (ワット) で表わす場合には

$$Q = \frac{g_n m H}{t} \quad (W)$$

となる。

(b) ストークスの法則で粒径を求める式

土の水分析による粒度試験で、ストークスの法則を用いて粒径 d を計算するのに次式がある。

$$d = \sqrt{\frac{30 \eta L}{980(G_s - G_T) t \gamma_w}} \quad (\text{mm})$$

ここに η : 水の粘性係数 ($P=0.1 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$)

L : 比重浮ヒヨウの有効深さ (cm)

t : 沈降時間 (min)

G_s : 土粒子の比重

G_T : $T^\circ\text{C}$ の水の比重

γ_w : 水の単位体積重量 (gf/cm^3)

ただし、この式には η に絶対単位 (CGS) 系、 γ_w に重力単位系の単位を含んでいるので、もし SI の単位だけに

資料-274

よる場合には次式のように変えねばならない。

$$d = \sqrt{\frac{18 \eta L}{(G_s - G_T) t \gamma_w}} \quad (\text{mm})$$

ここに η : 水の粘性係数 (Pa·s)

L : 比重浮ヒヨウの有効深さ (mm)

t : 沈降時間 (s)

G_s : 土粒子の比重

G_T : $T^\circ\text{C}$ の水の比重

γ_w : 水の単位体積重量 (kN/m³)

(c) q_c 値と N 値との相関式

オランダ式二重管コーン貫入試験の貫入抵抗 q_c 値と、標準貫入試験の N 値との間には次のような相関式が提案されている。

$$q_c = 4 N \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

ただしこれは、 q_c の単位を上記のように kgf/cm² とした場合だけの関係式で、もしそれが kN/m² であるならば、

$$q_c = 400 N \quad (\text{kN/m}^2)$$

となる。

7. あとがき

以上に現段階における SI の導入方策についての当面の考え方を解説してきた。しかし世界的には、特に学会関係などを中心に SI への移行は意外に早いように思われる。すなわち、わが国でもなるべく早急に、SI への移行の具体策について検討を始めねばならないであろう。

土質工学会図書案内 (英文)

ENGINEERING PROBLEMS OF ORGANIC SOILS IN JAPAN

1977.7刊 A 4判 100ページ

会員特価 1,500円・定価 2,000円・送料 240円

ABSTRACTS OF SOIL DYNAMICS RESEARCH IN JAPAN (1966~1977)

1977.7刊 変形 57ページ

会員特価 700円・定価 900円・送料 200円

ROCK MECHANICS IN JAPAN VOLUME 2

1974.7刊

定価・会員特価ともに 1,500円・送料 240円

第9回国際土質基礎工学会議

SPECIALITY SESSION プロシーディングス

Speciality Session 2

SOIL SAMPLING A 4判 布クロス上製本 150ページ

定価 3,000円 (送料込)

Speciality Session 3

Relationship Between Design and Construction in Soil Engineering

A 4判 165ページ

定価 4,000円 (送料込)

申込先 社団法人 土質工学会 販売係

東京都千代田区神田淡路町2丁目23番地 菅山ビル

〒101 電話 03-251-7661(代)

郵便振替 (東京 4-40786)