

p とは何か？

- 単位系と計量単位について -

新 納 守

強度試験で、われわれは無造作に、習慣的に kg/cm^2 と書いているが、この単位の意味するところは、いうまでもなく、単位面積あたりの力の大きさであって、決して、単位面積あたりの質量を意味しているのではない。質量は重量、すなわち力の大きさと、はっきりと区別して用いなければならない。

p

このごろ、外国の学術雑誌、ことにドイツ系のそれの中に、たとえば、ホルツ・アルス・ロー・ウント・ベルクシュトフなどのいろいろな報告のなかに、単位として p という見なれない文字がよく出てくる。

ことに、よくぶつかる単位は kp/cm^2 である。報告を読みながら、多分この kp/cm^2 とは、いままでの経験と、文の前後の関係と、使っている単位の前の数値から類推して p g, 即ち, kp/cm^2 kg/cm^2 らしいという見当はすぐにつくが、それを裏付ける説明も別に見当らず、果して $\text{kp}/\text{cm}^2 = \text{kg}/\text{cm}^2$ として良いのかどうかという、中途半端な、何かスッキリとしない、割り切れぬ感じをもった経験は、多分、報告を読んだ殆んどの人が持っているに違いない。

種明しを先にしてしまおう。pは最近、力の大きさの国際標準単位として定められた pond の頭文字である。これは、われわれが今まで、何のためらいも感じないで使っていた g は、はっきりとした規定もなしに、質量と力の大きさの両方に用いられていたために、混乱をきたしやすいので、力の大きさは p, 質量は g とははっきりと分けて使うための規定である¹⁾。次に、すべての基本となる単位系と実用される計量単位について述べる。

単位系²⁾³⁾

よく知られているように単位系には次の3つがある。

1. 絶対単位系。これは質量〔M〕と長さ〔L〕と時間〔T〕を基準単位として、この基本単位の組合せである複合単位で他の諸量をあらわすものでMLT系ともいわれ、われわれにもっとも親しみのある単位系である。この単位系は物理学で多く用いられる。

2. 重力単位系。これは質量のかわりに重量、すなわち、重力による力〔F〕を基本単位とするもので機械工学に多く用いられFLT系といわれる。

第1表にいろいろな量の絶対単位系と重力単位系の次元とメートル制単位を示した。

第1表 諸量の次元と単位

量	絶対単位系 (MLT系)		重力単位系 (FLT系)	
	次 元	メートル制単位	次 元	メートル制単位
質量	M	kg	FL^{-1}T^2	$\text{Kg}\cdot\text{sec}^2/\text{m}$
重量(力)	MLT^{-2}	$\text{kg}\cdot\text{m}/\text{sec}^2$	F	Kg
圧 力	$\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$	$\text{kg}\cdot\text{m}/\text{sec}^2$	FL^{-2}	Kg/m^2
密 度	ML^{-3}	kg/m^3	FL^{-4}T^2	$\text{Kg}\cdot\text{sec}^2/\text{m}^4$
比重量	$\text{ML}^{-2}\text{T}^{-2}$	$\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{sec}^2$	FL^{-3}	Kg/m^3
粘 度	$\text{ML}^{-1}\text{T}^{-1}$	$\text{kg}\cdot\text{m}/\text{sec}$	FL^{-2}T	$\text{Kg}\cdot\text{sec}/\text{m}^2$
仕事	ML^2T^{-2}	$\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{sec}^2$	FL	$\text{Kg}\cdot\text{m}$
表面張力	MT^{-2}	kg/sec^2	FL^{-1}	Kg/m

注：以下kgは質量を、Kgは重量(力)をあらわすことにする。
 $1\text{g}\cdot\text{cm}/\text{sec}^2$ を1dyneという。

3. 工学単位系。化学工学では質量も重量も共に基本単位とする、いわゆるF L M T系が用いられる。この場合は、一つの式の中に質量と重量が同時に入ってくるので式の次元を統一するために係数を換算しなければならない。質量と重量の換算について述べる。

重量とは重力の加速度を生ずる力であり、これを w [Kg] とすれば、これは質量 m [kg] と重力の加速度 g [m/sec²] の積に比例するからこの比例定数を $1/g_0$ とすれば、 $w = m \cdot g/g_c$ となり、 g_c の単位は [kg·m/Kg·sec²] すなわち、[ML/F T²] という次元のもでなければならない。

一方、重量の定義は、質量 1 kg の物体に国際標準の重力の加速度 $g_0 = 9.80665$ [m/sec²] が働いているときに、その物体の重量が 1 Kg であるというのであるから上の式は $1 \text{ [Kg]} = \frac{1}{g_c} \times 1 \text{ [kg]} \times$

$9.80665 \text{ [m/sec}^2\text{]}$ となり、従って $g_c = 9.80665 \text{ [kg·m/Kg·sec}^2\text{]}$ でなければならないことになる。以上を要約すると、換算係数の g_c はそのほか国際標準の重力の加速度 g_0 に等しく、その単位と次元は前述のものということになる。したがって東京のように $g = 9.79801 \text{ [m/sec}^2\text{]}$ の所では、質量 1 kg の重量は $g/g_c = 0.990119 \text{ [Kg]}$ ということになる。もちろん、絶対単位系か又は重力単位系のどちらかだけであれば g_c を用いる必要がなく、 $w = m \cdot g$ か又は $m = w/g$ でよい。

要するに絶対単位であらわした量を g_c で割れば重力単位の量となり、反対に重力単位の量に g_c を掛ければ絶対単位の量になる。

強度試験機の検定に用いられる荷重検定器の所要質量の計算方法について簡単に述べる⁴⁾。この荷重検定器は質量を測定するものではなく、力の大きさを測定する、いわゆる力計の一種である。たとえば、1 重量トンの大きさの力をうるために必要な質量の分銅は次のようにして求めることができる。すなわち、ある大きさの力の標準は重力の加速度を利用して与えられるが、重力の加速度の大きさは地球の各地点で異なり、又、物体は、空気中ではその浮力の影響を受けているので、これらの重力の加速度と空気の浮力の補正を行えばよいのである。

$$\text{必要な分銅(質量)} = 1 \times \frac{9.80665}{g} \times \frac{1}{1 - \frac{d_a}{d_w}}$$

g : 試験場所の重力の加速度 [m/sec²]
 d_a : 空気の密度 [g/cm³]
 d_w : 分銅の密度 [g/cm³]

今、東京における平均重力の加速度 $g = 9.79801$ [m

/sec²]、約 1 気圧、20 における空気の密度 $d_a = 0.0012$ [g/cm³]、鑄鉄製分銅の密度 $d_w = 7.0$ [g/cm³] とし上式に代入し値を求めると 1.00106 トンとなる。すなわち、1 重量トンの大きさの力をうるには、質量 1.00106 トンの質量の分銅を用いればよいことがわかる。

次に化学工学で工学単位系の使われる理由を例を上げて説明する。

(1) 管路内の摩擦損失による圧力低下 (p) は次のファンニングの式で与えられる。

$$\Delta p = (4f) \cdot \left(\frac{L}{D}\right) \cdot \left(\frac{u^2}{2g}\right) \cdot \rho$$

右辺の次元を解くと、 f は無次元の係数、 L は管長 [L]、 ρ は密度 [M/L³]、 u は流体の断面平均速度 [L/T]、 D は管径 [L] であるから、 g を [L/T²] とすれば右辺の次元は [L] · [L²/T²] · [M/L³] / [L] · [L/T²] = [M/L²] となる。ところが p は圧力で単位面積に働く力であるからこの次元は [M/L T²] であって、このままでは両辺の次元は一致しない。 p を [kg/cm²] の単位で考えれば計算上は差支えないが、理論的には誤りである。この g を [m/sec²] ではなく g_c [kg·m/Kg·sec²] とし次元の解析を行うと右辺は [F/L²] となり左辺の次元と一致する。このように、圧力と密度を同一の式の中に含んでいるときは g_c を用いると圧力には [Kg/cm²]、密度には [kg/cm³] がそのまま使えるので便利である。

(2) 攪拌動力に関する次の式について

$$\frac{P \cdot g_c}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5} = k \cdot \left(\frac{d^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu}\right)^p \cdot \left(\frac{d \cdot n^2}{g}\right)^q$$

P は攪拌動力 [Kg·m/sec] であり、密度 ρ には [kg/cm³]、粘度 μ には [kg/m·sec] の単位が一般に慣用されている。この式を M L T 系又は F L T 系単位に統一して計算することもできるが、ふだん使いなれた単位をそのまま使える様に F L M T 系の単位を採用する方がはるかに便利である。つまり、この式に g_c に 9.80 [kg·m/Kg·sec²] を代入して計算すると左辺は無次元項となり P は直ちに [Kg·m/sec] の単位で算出することが出来る。

このように化学工学では、一応、質量を kg、重量を Kg として区別して使っているが、実際にわれわれが読むときも又、書くときも非常に混同しやすいおそれがある。したがって、Kg = kp とし Kg の代わりに kp を使えばこういったわずらわしさは完全に解消する。

計量単位

わが国では、政令 332号（昭和28年10月26日）と通商産業省令45号（昭和29年8月20日）によってメートル法による計量法，計量法施行法，計量単位令，および計量単位規則が走っている。メートル法による計量単位を第2表に示す⁵⁾。単位はすべて，基本単位とそれの組合せた誘導単位からできており，さらにこれらの単位は計量単位と補助計量単位に分かれている。これらの単位を示す略字を2つ示した場合には，あとの略字（ ）は，とくに，他の略字と混同されるおそれがないときに限って使用を認められたものである。

尺貫法およびヤードポンド法は，土地および家屋に関するものを除いて，他はすべて昭和33年12月31日以後はメートル法にかわる。

われわれの仕事はもちろん，日常生活そのものも，すべてこれらの単位にかこまれているといつて過言ではない。したがって，これらの単位を正確に記述しなければならないのは当然である。

又，たとえば，繊維板の曲げ強さを算出するのに，破壊荷重の単位をニュートンで，さらに計算によって求めた曲げ強さの単位をパールで表わすことを規定したのはフランス規格だけである⁶⁾。この規格の単位の換算⁷⁾と重量（力の大きさ），および圧力の単位の換算を第3表に示した⁷⁾。

繊維板の曲げ強さを“400キロ”（正確にいうと，400重量キログラム毎平方センチメートル）あった場合に従来のやり方で記述すると 400 kg/cm²となる。化

第3表 単位の換算

- (1) $1 \text{ kgf} = 9.8 \text{ N}$
 $1 \text{ kgf/cm}^2 = 9.8 \text{ bar}$
- (2) $1 \text{ Kg} = 980665 \text{ dyne}$
 $= 0.980665 \text{ Mdyne}$
 $= 9.80665 \text{ N}$
 $1 \text{ dyne} = 1.0197 \times 10^{-8} \text{ Kg}$
- (3) $1 \text{ bar} = 10^6 \text{ dyne/cm}^2$
 $= 1 \text{ Mdyne/cm}^2$
 $= 1.0197 \text{ Kg/cm}^2$
 $1 \text{ Kg/cm}^2 = 0.980665 \text{ bar}$

学工学の方式で記述すると 400 Kg/cm²，計量法によると 400 kgw/cm²，フランス規格によると 392 bar ということになる。ここで，はじめに述べた p を使うと 400 kp/cm² となる。

たしかに，みてわかるように，p を使うと，いままでわれわれが親しんできた単位から，それほど，はなれることもなく又，ほかの単位と混同するおそれも殆んどないという大きな利点を認めることができる。

文 献

- 2) 藤田重文：化学工学 p. 10, 岩波1956
 3) 亀井三郎ら：新版化学機械の理論と計算 p. 4, 産業図書 1959
 4) 渡辺修一：材料試験機 p. 94, コロナ社 1955
 5) 中央計量検定所：計量技術ハンドブック p. 744 コロナ社 1955
 6) 繊維板フランス規格：曲げ強さ PN - B - 51 - 107 - 1961
 7) 化学工学便覧 p. 4, 丸善 1958

- 林指繊維板研究室 -

訂正

9月号19頁の下，第1表諸量の次元と単位の表の中で，絶対単位系の圧力，比重量及び粘度についてのメートル制単位を次のように訂正します。

メートル制単位		
量	誤	正
圧力	$\text{kg}\cdot\text{m}/\text{sec}^2$	$\text{kg}/\text{m}\cdot\text{sec}^2$
比重量	$\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{sec}^2$	$\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{sec}^2$
粘度	$\text{kg}\cdot\text{m}/\text{sec}$	$\text{kg}/\text{m}\cdot\text{sec}$