

庫文技科文正

習演計設械機

編譯會員委譯編局書文正

行印局書文正

原序

語云：「機械係由螺紋及齒輪組合而成」。意指螺紋及齒輪乃構成設計或機械工學的綜合演習，是各種有關學科的知識綜合起來活用。因此，利用這些知識吾人是否能舉一反三，以及有深度而確實的把握，端賴學習的方法。筆者有感於此，深切體認演習書籍的重要性，於是着手編寫此書；以高級工職學生與大專機械科系學生以及實地技術工作人員為目標，費時三年，參考國內外學者著作，並且多方搜集實地技術者的經驗編成演習問題，每一章的問題均分為例題及演習問題二部分。就內容而言，本書足夠上記人員參考之用。

再者，本書編寫時，特別注意下列各點：

- ① 於基礎事項，記載解題的有關資料，並作相當程度的說明，故僅閱讀本書，即有良好的學習效果。
- ② 為方便配合 JIS 規格，全書用 $\text{kh} \cdot \text{mm}$ 系單位；但為了遷就習用場合，間或併用其他系統單位。
- ③ 本書特別注意單位的換算。
- ④ 例題的數值儘可能依據最新的規格。
- ⑤ 重要的事項及複雜的說明切註明其出處或關連事項，俾有志進一步研究者之依循。
- ⑥ 說明平易，問題的配例由淺而深。
- ⑦ 卷末附載各種資料表。

本書之寫成曾參考下列文獻，深深感謝各書的著者。本書著作雖盡最大努力，但限於學養，不妥之處容或不免，敬請讀者不吝指正。

參考文獻：

小川義朗：機械設計法（上下）

共立出版：高等機械設計（講座）

津村利光：機械設計（教科書）

坪井・藤井：機械設計

二反田孝：標準機械製圖及設計

日本機械學會：機械設計（上下）

茨城大學：機械設計製圖

E.R.Hedrick：Fundamentals of Machine Design.

Black：Machine Design.

L.J.Bradford & P.B.Eaton：Machine Design.

Keown & Faires：Mechanism.

F. Rötischer：Die Maschinenelemente I, II.

M. ten Bosch：Berechnung der Maschinenelemente.

佐佐木：軸承

中田孝：移位齒輪

服部宗三：彈簧

清水篤磨：材料力學

日本機械學會：材料力學（上下）

日本機械學會：機械工學便覽

日本機械學會：機械設計便覽

共立出版：機械設計手冊

大西清：機械設計製圖便覽

Dubbel：Taschenbuch für den Maschinenbau I.

凡例：

1. $\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s} \cdot \text{mm}^2$ 表示 $(\text{kg} \cdot \text{m}) / (\text{s} \cdot \text{mm}^2)$

$\text{kg} / \text{mm}^2 \cdot \text{m} / \text{s}$ 表示 $(\text{kg} / \text{mm}^2) \cdot (\text{m} / \text{s})$

2. 流體的壓力用 kg/cm^2 表示（軸承壓力例外）為原則，應力用 kg/mm^2 表示。
3. 速度用 m/s 表示。
4. 粘度用百公泊（centipoise）表示，即 C.G.S 絕對單位的 100 分之 1。

機械設計演習

目 錄

第一章 總論

- 1.1 機械要素…………… 1
- 1.2 單位的換算…………… 1
- 1.3 經驗公式的數值計算… 3

第二章 設計的基礎

- 2.1 材料力學…………… 6
- 2.2 練習問題及解答……32

第三章 連結用機械要素

- 3.1 螺紋及螺栓、螺母… 53
- 3.2 鍵、梢、楔栓…… 73
- 3.3 鉚釘接頭…………… 80
- 3.4 熔接接頭…………… 94
- 3.5 練習問題及解答……104

第四章 軸及軸承

- 4.1 僅承受彎曲力矩之軸135
- 4.2 僅承受扭轉力矩之軸145
- 4.3 承受組合負荷之軸…149
- 4.4 傳動軸……………165
- 4.5 軸聯結器……………175
- 4.6 軸承……………187
- 4.7 練習問題及解答……218

第五章 傳動裝置

- 5.1 摩擦輪……………264
- 5.2 齒輪…………… 271
- 5.3 皮帶傳動,V形帶傳動 327
- 5.4 鏈條傳動…………… 354
- 5.5 凸輪…………… 360
- 5.6 制動軀及棘輪……364
- 5.7 練習問題及解答…… 379

第六章 彈簧

- 6.1 螺旋彈簧…………… 434
- 6.2 疊板彈簧、其他彈簧441
- 6.3 練習問題及解答……449

第七章 圓筒及管

- 7.1 壓力容器……………461
- 7.2 管……………481
- 7.3 練習問題及解答……488

第八章 設計例

- 8.1 手動捲揚機……………500
- 附 表 ……………518
- JIS規格表選錄552
- 數 表……………598

第一章 總論

1.1 機械要素

構成機械的零件稱為機械要素。機械要素依其使用目的，大體可區分為如下：

- (1) 連結用機械要素（螺栓、螺母、鉚釘、鍵等）。
- (2) 關於軸之機械要素（軸、軸聯結器、軸承等）。
- (3) 傳動裝置（摩擦輪、齒輪、皮帶輪、凸輪、制動韌等）。
- (4) 彈簧。
- (5) 壓力容器以及有關管路的機械要素（壓力容器、汽鼓、管接頭、閥等）。
- (6) 其他。

這些類之機械要素當中，其中有全由規格而規定者；或者部份由規格而規定，亦有全然在規格上無限制其形狀而決定尺寸者。機械乃由其目的選用最適合的要素組合而成，因此吾人若擔負機械設計之責，首先對於機械要素需要充分的理解，其次習熟其設計、計算方可勝任。

1.2 單位的換算

機械設計乃最為實際的一門學科，其所使用的單位係取用便利於實用上者；所應用的式子不僅有從理論上誘導之合乎次元之式子，亦有不合乎次元之實驗式。單位主要用工學單位，例如粘度之場合，實際廣汎使用的單位為C.G.S絕對單位 poise (P)，或者取其 $\frac{1}{100}$ (cp) 等，但混用之場合不乏其例，依照著書之不同，而用種種之單位。

因此，轉用不同著書之資料進行計算之場合，如果不注意單位之換算，縱然計算過程十分正確，但所得之結果因單位換算錯誤而不可

2 機械設計演習

能確實。表 1-1 所列，乃本書所使用的主要單位。

例 1.1 1 大氣壓 (760 mm 水銀柱) 等於多少 kg/cm^2 ? 又相當於多少 kg/mm^2 ?

表 1-1 單位的換算

物 理 量	
長 度	$0.001\text{m} = 0.1\text{cm} = 1\text{mm}$
速 度	$1\text{m/s} = 100\text{cm/s}$
重力加速度	$9.8\text{m/s}^2 = 980\text{cm/s}^2$
重量, 力	$1\text{kg} = 100\text{g}$
壓 力	$10^4\text{kg/m}^2 = 1\text{kg/cm}^2 = 0.01\text{kg/mm}^2$
應 力	$100\text{kg/cm}^2 = 1\text{kg/mm}^2$
單位體積重量	$10^3\text{kg/m}^3 = 1\text{g/cm}^3 = 1\text{kg/l} = 1\text{t/m}^3$
力 矩	$0.001\text{m} \cdot \text{kg} = 0.1\text{cm} \cdot \text{kg} = 1\text{mm} \cdot \text{kg}$
慣性力矩 (I)	$10^{-4}\text{cm}^4 = 1\text{mm}^4$
截面係數 (Z)	$10^{-3}\text{cm}^3 = 1\text{mm}^3$
流 量	$10^{-6}\text{m}^3/\text{s} = 10^{-3}\text{l/s} = 1\text{cm}^3/\text{s}$
粘 度 (η)	$1\text{p}(\text{C.G.S 絕對}) = 100\text{cp} = 1/98\text{kgs/m}^2(\text{工學單位}), 1\text{cp} = (1/9800)\text{kgs/m}^2$
動 粘 度 (ν)	$1\text{st}(\text{C.G.S 絕對}) = 100\text{cst} = 100^{-4}\text{m}^2/\text{s}(\text{工學單位})$
軸承之 $p\nu$ 之值	$100\text{kg/cm}^2 \cdot \text{m/s} = 1\text{kg/mm}^2 \cdot \text{m/s}$
軸承之 $\eta N/p$ 之值	$1\text{cp} \cdot \text{rpm}/(\text{kg/cm}^2) = (1/9800)(\text{kg} \cdot \text{s}/\text{m}^2) \cdot \text{rpm}/(\text{kg/cm}^2) = 1.07 \times 10^{-9} \text{p} \cdot (\text{rad/s})/(\text{dyne/cm}^2) = 100\text{cp} \cdot \text{rpm}/(\text{kg/mm}^2)$
單位時間, 單位面積相當之摩擦功率	$100\text{kg/cm}^2 \cdot \text{m/s} = 1\text{kg/mm}^2 \cdot \text{m/s}$

解 1 大氣壓 = $760 \times 13.6\text{mm}(\text{水柱}) = 10340\text{mm}(\text{水柱})$
 $= 10.34\text{m}(\text{水柱})$
 $= 1.034\text{kg/cm}^2 = 0.01034\text{kg/mm}^2$

例 1.2 水的單位體積重量為 lg/cm^3 ，試以 kg/l , kg/m^3 表之

解 $\text{lg/cm}^3 = 100\text{g/l} = 1\text{kg/l} = 1000\text{kg/m}^3$

例 1.3 比重 13.6 的水銀，1 l 重多少 kg？

解 $1\text{cm}^3 \rightarrow 13.6\text{g}$ ，故 $1\text{l} \rightarrow 13.6 \times 1000\text{g} = 13600\text{g} = 13.6\text{kg}$

例 1.4 20°C 之水之粘度約 1 cp，試用 p 及工學單位表之。

解 $1\text{cp} = 0.01\text{p}$ $1\text{p} = 1/98\text{kgs/m}^2$

$$\therefore 1\text{cp} = \frac{0.01}{98} \text{kgs/m}^2 = 1.02 \times 10^{-4} \text{kgs/m}^2$$

例 1.5 20°C 之機械油之動粘度約 3 st，試以 cst 表之。或用工學單位表之。

解 $1\text{st} = 100\text{cst}$ $\therefore 3\text{st} = 300\text{cst} = 3 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$

1.3 經驗公式的數值計算

以數值代入式子計算之場合，必須堅守下列原則。

(1) 已知式子之單位不可隨意變更

【例 1】齒輪之速度係數（參考第五章）

$$f_v = \frac{3}{3+v} \quad f_v = \frac{5.5}{5.5+\sqrt{v}} \quad v : \text{m/s}$$

若 $v = 9\text{m/s}$ 之場合

$$f_v = 3/(3+9) = 0.25 \quad f_v = 5.5/(5.5+\sqrt{9}) = 0.645 \text{ 此為}$$

$$\text{正確之值；若 } v \text{ 以 cm/s 表之，則 } f_v = \frac{300}{300+900} = 0.25$$

4 機械設計演習

$$f_v = \frac{550}{550 + \sqrt{900}} = 0.95$$

很明顯地前者之值尚為正確，後者之值則為錯誤。

【例 2】壓力容器之板厚（第 3 章）

$$t = \frac{D p x}{200 \sigma \eta} + C \quad (\text{mm}) \quad (\text{mm})$$

D ：容器之直徑 mm p ：壓力 kg/cm^2

σ ：容器材料之引張強度 kg/cm^2 η ：鉚釘接頭之效率

x ：安全因數 C ：對於腐蝕之常數
($\div 1 \sim 7 \text{mm}$)

現以 cm 單位之場合， $\sigma \text{kg/cm}^2$ ， $D \text{cm}$ ， $t \text{cm}$ ， $C \text{cm}$ 分別代入式中

$$t = \frac{D p x}{200 \sigma \eta} + C \quad (\text{cm})$$

如此直接代入，所計算之值全然錯誤。此種場合 σ 應從 kg/mm^2 換算為 kg/cm^2 ，其餘為 cm 代入式中，原式變為：

$$t = \frac{D p x}{2 \sigma \eta} + C \quad (\text{cm})$$

(2) 複雜形狀之設計許容值，若從表格中求取轉用時，如與所使用式子的單位不一致，需特別留意以免錯誤。

【例 3】求皮帶長度 1m 相當之重量 $w \text{kg}$ 之式子。（第 5 章）

$$w = 0.1 b t \text{ kg/m}$$

b ：寬度 cm ， t ：厚度 cm

如 b ， t 以 mm 表示，則非改為下式不可。

$$w = 0.001 b t \text{ kg/m}$$

【例 4】軸承之 $\eta N/p$ 之設計值（第 4 章）為 $0.050 (\text{kg} \cdot \text{s/m}^2) \cdot \text{rpm} / (\text{kg/cm}^2)$ 時，茲用 $\text{cp} \cdot \text{rpm} / (\text{kg/cm}^2)$ 系之式子設計之除，從 $1 \text{kg} \cdot \text{s/m}^2 = 9800 \text{cp}$ 之關係，換算 $\eta N/p = 9800 \times 0.050 = 490 \text{cp} \cdot \text{rpm} / (\text{kg/cm}^2)$ ，然後

將此代入計算式。

又，用 $\text{cp} \cdot \text{rpm} / (\text{kg} / \text{mm}^2)$ 系之式子表示之場合，從 $1 \text{ kg} / \text{cm}^2 = 1/100 \text{ kg} / \text{mm}^2$ 之關係，則 $\eta N/p = 490 \times 100 = 49000 \text{ cp} \cdot \text{rpm} / (\text{kg} / \text{mm}^2)$

- (3) 計算值如用計算尺求取，其有效數值求至第 3 位。
- (4) 計算值根據測定精度，必要度，材料規格所定之尺寸，並考慮其他實際情況而有多少之修正為普通之情形。
- (5) 於一系列之設計，以如此決定之設計值為基礎，進行其後之計算。

荷負 - 1

荷負之種類及於之零件之使用

連續之荷負與間歇荷負 (a)

。合機之提出及運下等之使用荷負……荷負中乘

。合機之使用荷負，而乘之於零件之荷負……荷負前分

。合機之自轉及轉動之荷負……荷負前分等

。合機之介動及運下等之荷負……荷負前分等不

連續之荷負與間歇荷負 (b)

。合機之提出及運下等之使用荷負……荷負中乘

。合機之自轉及轉動之荷負……荷負前分等

。合機之介動及運下等之荷負……荷負前分等不

。合機之自轉及轉動之荷負……荷負前分等

。合機之介動及運下等之荷負……荷負前分等不

第二章 設計的基礎

2.1-材料力學

<基礎事項>

W : 負荷 kg , A : 截面積 mm^2 , σ : 垂直應力 kg/mm^2 , σ_b : 彎曲應力 kg/mm^2 , τ : 剪應力或扭轉應力 kg/mm^2 , ε : 縱應變, γ : 剪應變, λ : 伸長或縮短 mm , λ_s : 剪應變量 mm , l : 長度 mm , E : 縱彈性係數 kg/mm^2 , G : 剪彈性係數 kg/mm^2 , R : 反力 kg , F : 剪力 kg , M : 彎曲力矩 $\text{mm} \cdot \text{kg}$, w : 分佈荷重 kg/mm , I : 慣性力矩 mm^4 , Z : 截面係數 mm^3 , δ : 撓度 mm , T : 扭矩 $\text{mm} \cdot \text{kg}$, I_P : 極慣性力矩 mm^4 , Z_P : 極截面係數 mm^3 , $\bar{\theta}$: 扭角 rad , θ : 單位長度相當之扭角 rad/mm , d : 直徑 mm , W_k : 彎曲負荷 kg , σ_k : 彎曲應力 kg/mm^2 , k : (最小) 回轉半徑 mm 。

1-負荷

作用於機械零件之外力謂之負荷。

(a) 依分佈狀態負荷之種類

集中負荷……負荷作用之面積可認為一點之場合。

分佈負荷……負荷在機械零件之表面，分散作用之場合。

等分佈負荷……負荷之分佈狀態均勻之場合。

不等分佈負荷……負荷之分佈狀態變化之場合。

(b) 依負荷速度負荷之種類

靜負荷……靜止不動之負荷，大小、方向、位置均固定不變，或變動甚少之負荷。

動負荷……呈動態作用之負荷。

變動負荷……變化複雜之負荷。

反覆負荷……幾乎一定之大小反覆作用之負荷。

單振負荷……從 0 至某一定大小為止反覆作用之負荷。

兩振負荷……大小及方向同時變化的反覆負荷。

衝擊負荷……極為急激的衝擊性負荷。

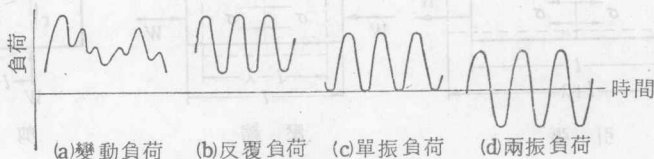


圖 2-1-1 動負荷

(c) 依作用負荷之種類

軸負荷……作用於棒之軸線方向之負荷，由作用方向之別，可分為引張負荷及壓縮負荷。

剪斷負荷……平行作用而使物體剪斷的負荷。

彎曲負荷……作用於棒使之彎曲之負荷。

扭轉負荷……作用於棒使之扭轉之負荷。

2. 應力與應變

(a) 應力……由於負荷之作用，物體內部所誘生的單位面積相當之抵抗力。

垂直應力	$\left\{ \begin{array}{l} \text{張應力} \\ \text{壓應力} \end{array} \right.$	$\sigma = \frac{W}{A}$	$(2.1.1)$

剪應力	$\tau = \frac{W}{A}$	$(2.1.2)$
-----	----------------------	-----------

(b) 應變……由於負荷之作用，物體發生變形，物體單位長度相當之變形量。

縱應變	$\left\{ \begin{array}{l} \text{張應變} \\ \text{壓應變} \end{array} \right.$	$\varepsilon = \frac{\lambda}{l}$	$(2.1.3)$

剪應變	$\gamma = \frac{\lambda_s}{l} \div \phi$	$(2.1.4)$
-----	--	-----------

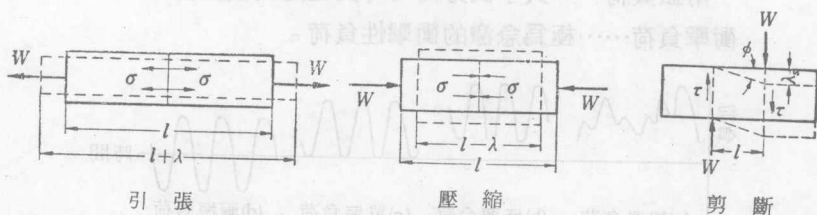


圖 2-1-2 負荷、應力及應變

3. 虎克定律

應力若不超越材料既定之值（比例限度），則應力與應變成正比例。而此比例常數稱為彈性係數，其單位與應力同。

(a) 縱彈性係數 $\sigma = \epsilon E$ (2.1.5)

(b) 剪彈性係數 $\tau = \gamma G$ (2.1.6)

表 2.1.1 彈性係數之值

材 料	$E \text{ kg/mm}^2$	$G \text{ kg/mm}^2$
碳 鋼	2.1×10^4	0.81×10^4
鑄 鋼	2.15	0.83
鑄 鐵	1.00	0.38
鎳鋼 (2~3%Ni)	2.09	0.84
黃 銅	0.63	0.24
砲 金	0.82	0.29

(機械工學便覽)

4. 材料之機械性質

比例限度……應力與應變呈正比例限界之應力。

彈性限度……應力靜靜地除去，應變可完全消失時應力之限界。

降伏點……應力雖不使增加，但應變急速增大時之應力。

耐 力……產生 0.2% 之永久應變時之應力，作為沒有明確降伏點之材料之降伏點。

極限強度……材料所能承受之最大應力，於引張場合即為引張強度

，於剪斷場合則稱剪斷強度。

疲勞限度……材料承受反覆負荷時，較靜負荷之場合為小之值便可破壞。此種現象稱為材料之疲勞，反覆負荷之應力若在某限度以下則不發生疲勞破壞。如此無論如何反覆作用而不起破壞之應力最大值稱為疲勞限度。

潛變限度……金屬於高溫承受一定之負荷時，其應變隨時間之經過而徐徐進行者，稱為潛變（creep）。決定某溫度材料潛變所生之應力稱為潛變限度（creep limit）。

5. 樑

承受彎曲負荷之樑（圖 2-1-3）



圖 2-1-3 樑之種類

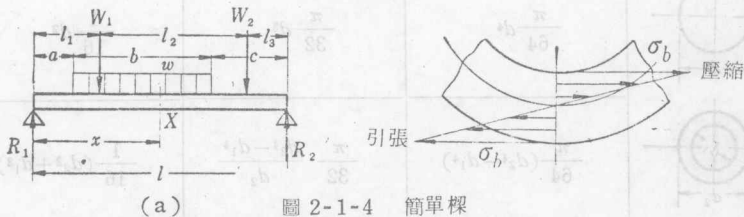


圖 2-1-4 簡單樑

(a) 反力（圖 2-1-4 (a)）

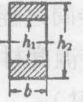
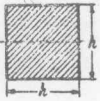
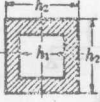
$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \frac{1}{l} \left\{ W_1 (l_2 + l_3) + W_2 l_3 + wb \left(c + \frac{1}{2} b \right) \right\} \\ R_2 &= \frac{1}{l} \left\{ W_1 l_1 + W_2 (l_1 + l_2) + wb \left(a + \frac{1}{2} b \right) \right\} \end{aligned} \right\} \quad (2.1.7)$$

(b) 作用於 X 截面上之剪力（圖 2-1-4 (a)）

$$F = W_1 + w(x - a) - R_1 \quad (2.1.8)$$

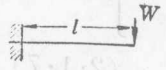
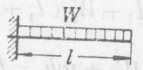
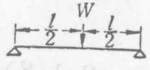
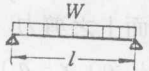
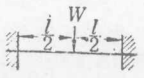
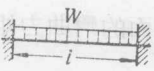
(c) 作用於 X 截面的彎曲力矩（圖 2-1-4 (a)）

表 2-1-2 慣性力矩，截面係數，迴轉半徑

斷面積	I	Z	k^2
	$\frac{1}{12}bh^3$	$\frac{1}{6}bh^2$	$\frac{1}{12}h^2$
	$\frac{1}{12}b(h_2^3 - h_1^3)$	$\frac{1}{6} \frac{b(h_2^3 - h_1^3)}{h_2}$	$\frac{1}{12} \frac{h_2^3 - h_1^3}{h_2 - h_1}$
	$\frac{1}{12}h^4$	$\frac{1}{6}h^3$	$\frac{1}{12}h^2$
	$\frac{1}{12}(h_2^4 - h_1^4)$	$\frac{1}{6} \frac{h_2^4 - h_1^4}{h_2}$	$\frac{1}{12}(h_2^2 + h_1^2)$
	$\frac{\pi}{64}d^4$	$\frac{\pi}{32}d^3$	$\frac{1}{16}d^2$
	$\frac{\pi}{64}(d_2^4 - d_1^4)$	$\frac{\pi}{32} \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2}$	$\frac{1}{16}(d_2^2 + d_1^2)$

(機械工學便覽)

表 2-1-3 式 (2·1·11) 之係數 k 之值樑之種類

樑之種類	K	樑之種類	K
	$\frac{1}{3}$ (自由端)		$\frac{1}{8}$ (自由端)
	$\frac{1}{48}$ (中央)		$\frac{5}{384}$ (中央)
	$\frac{1}{192}$ (中央)		$\frac{1}{384}$ (中央)

備考：() 內，乃發生最大撓度之位置

$$M = W_1 (x - l_1) + \frac{1}{2} w (x - a)^2 - R_1 x \quad (2.1.9)$$

最大彎曲力矩乃作用於剪力為0之截面。

(d) 彎曲應力

因彎曲力矩在樑之截面所誘生之應力，以中立軸為界，凸側呈張應力，凹側則為壓應力；其應力值與距中立軸之距離成正比例，故於表皮為最大（圖 2-1-4 (b)）。此垂直應力即為彎曲應力，但在強度計算時，一般均以表皮所生之最大應力（表皮應力）稱為彎曲應力。

$$\text{彎曲應力} \quad \sigma_b = \frac{M}{Z} \quad (2.1.10)$$

(e) 撓度

無負荷時之中心線與彎曲後中心線之垂直距離。

$$\text{最大撓度} \quad \delta_{\max} = K \frac{Wl^3}{EI} \quad (2.1.11)$$

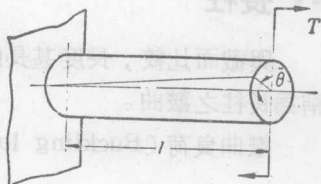


圖 2-1-5 扭轉

6. 扭轉

在軸上，與軸線垂直之平面內以力偶（扭轉力矩）作用時，軸即承受扭轉（圖 2-1-5）。

(a) 扭轉應力

圓軸被扭轉力矩所作用時，截面所誘生之應力為剪應力，其值與軸線之距離成正比例，在軸線方向則為一定。

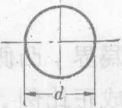
$$\text{扭轉應力} \quad \tau = \frac{T}{Z_P} \quad (2.1.12)$$

(b) 扭角

軸端之同轉角；以 rad 表示之。

$$\text{扭角} \quad \bar{\theta} = \frac{Tl}{GI_P}, \quad \theta = \frac{\bar{\theta}}{l} = \frac{T}{GI_P} \quad (2.1.13)$$

表 2-1-4 圓形截面之極慣性力矩，極截面係數

截面形	I_p	Z_p
	$\frac{\pi}{32} d^4$	$\frac{\pi}{16} d^3$
	$\frac{\pi}{32} (d_2^4 - d_1^4)$	$\frac{\pi}{16} \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2}$

7. 長柱

與截面比較，長度甚長的長柱若施加壓縮負荷，則產生曲折，此稱為長柱之皺曲。

皺曲負荷 (Buckling load) ……使長柱發生皺曲的最小壓縮負荷。

(a) 歐拉公式 (Euler's Column Formular)

$$\text{皺曲應力 } \sigma_k = \frac{W_k}{A} = n \pi^2 E \left(\frac{k}{l} \right)^2 \quad (2.1.14)$$

式中之 $\frac{k}{l}$ (細長比)，於較表 2-1-6 所示範圍為大之場合被使用。

。又 k 係取對截面中立軸迴轉半徑中之最小值。

(b) 郎肯公式 (Rankin's Column Formular)

$$\text{皺曲應力 } \sigma_k = \frac{W_k}{A} = \frac{\sigma_d}{1 + \left(\frac{l}{k} \right)^2 \frac{a}{n}} \quad (2.1.15)$$

8. 應力集中

截面忽然變化之部分 (缺口等)，其周邊部份所生之應力 $\sigma_{\max}$ ，遠較以引張負荷除以截面積，或彎曲力矩除以截面係數計算所得之應力 (公稱應力) σ_n 為大，離開缺口則急速地減小 (圖 2-1-6)。此種現象稱為應力集中。