

結構動力學

問題詳解

W. 克拉夫 J. 彭茲恩 原著

李顯智 陳展恆 譯著

曉園出版社

世界圖書出版公司

结构动力学问题详解

W. 克拉夫 J. 彭兹恩 原著
李显智 陈展恒 译著

*

晓园出版社出版

世界图书出版公司北京公司重印

北京朝阳门内大街 137 号

北京中西印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1994 年 11 月第 一 版 开本: 711×1245 1/24

1994 年 11 月第一次印刷 印张: 10

印数: 0001—400 字数: 18 万字

ISBN: 7-5062-1986-7/TU·10

定价: 17.20 元 (WB9405/15)

世界图书出版公司已向台湾晓园出版社购得重印权
限国内发行

前 言

研習理工的同學，都有一種認識，那就是：一本書的習題往往是該書的精華所在，藉着習題的印證，才能對書中的原理原則澈底的吸收與瞭解。

有鑒於此，曉園出版社特地聘請了許多在本科上具有相當研究與成就的人士，精心出版了一系列的題解叢書，為各該科目的研習，作一番介紹與鋪路的工作。

一個問題的解答方法，常因思惟的角度而異。曉園題解叢書，毫無疑問的都是經過一番精微的思考與分析而得。其目的在提供對各該科目研讀時的參考與比較；而對於一般的自修者，則有啓發與提示的作用。希望讀者能藉着這一系列題解叢書的幫助，而在本身的學問進程上有更上層樓的成就。

結構動力學詳解

(目 錄)

第二章	運動方程式之建立	1
第三章	自由振動之反應	17
第四章	對諧和荷重之反應	23
第五章	對週期性荷重之反應	31
第六章	對衝力之反應	41
第七章	受一般動力荷重的反應	49
第八章	非線性結構反應分析	55
第九章	雷利氏振動分析法	61
第十一章	結構特性矩陣的計算	73
第十二章	無阻尼自由振動	85
第十三章	動力反應分析	115
第十四章	實用的振動分析	131
第十六章	用變化法推導運動方程式	163
第十七章	偏微分運動方程式	183
第十八章	無阻尼自由振動分析	189
第十九章	動力反應分析	197
第二十章	動態直接勁度法	207
第二十一章	波傳導分析	213
第二十二章	機率論	217
第二十三章	隨機過程	229

第二章 運動方程式之建立

2-1 決定圖 P2-1 所示系統的廣義物理性質 m^* , c^* , k^* 及廣義荷重 $p^*(t)$, 它們全都是對應於位移座標 $Z(t)$ 而下定義的。

請把結果用已知的物理性質及尺寸來表示。

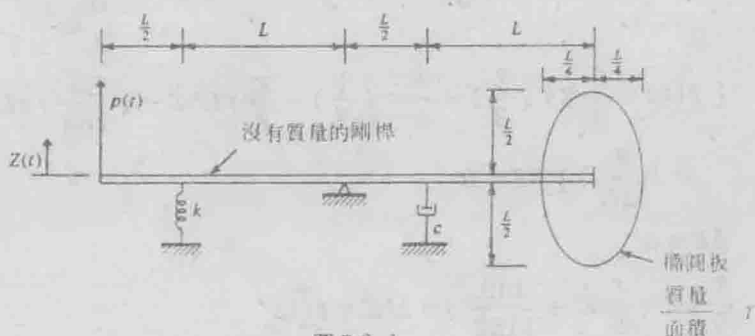
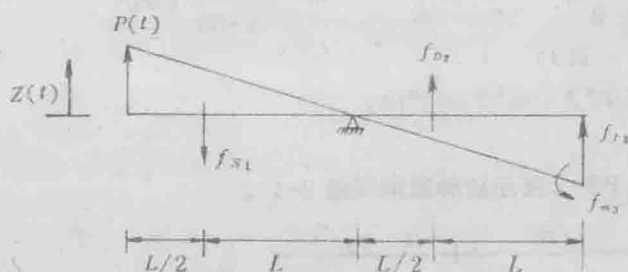


圖 P 2-1

解



$$f_{s1} = \frac{2}{3} Z k \quad \checkmark$$

$$f_{D2} = \frac{1}{3} \dot{Z} c \quad \checkmark$$

$$f_{t3} = \ddot{Z} m = \ddot{Z} \left[\gamma \pi \left(\frac{L}{4} \right) \left(\frac{L}{2} \right) \right] = \frac{\pi}{8} \gamma L^2 \ddot{Z} \quad \checkmark$$

2 結構動力學詳解

$$f_{m3} = \left(\frac{\ddot{Z}}{\frac{3}{2}L} \right) I_0 = \frac{2\ddot{Z}}{3L} \left[\gamma \pi \left(\frac{L}{4} \right) \left(\frac{L}{2} \right) \right] \left[\frac{(L/2)^2 + L^2}{16} \right]$$

$$= \frac{5}{768} \gamma \pi L^3 \ddot{Z}$$

運動方程：(虛功法)

$$\delta W = P \delta Z - f_{s1} \cdot \frac{2\delta Z}{3} - f_{D2} \frac{\delta Z}{3} - f_{I3} \delta Z - f_{m3} \frac{\delta Z}{\frac{3}{2}L} = 0$$

$$\left[p(t) - \frac{2}{3} Z k \left(\frac{2}{3} \right) - \frac{\dot{Z}}{3} c \left(\frac{1}{3} \right) - \frac{\pi}{8} \gamma L^2 \ddot{Z} - \left(\frac{5\ddot{Z}}{768} \gamma \pi L^3 \right) \cdot \left(\frac{2}{3L} \right) \right] \delta Z = 0$$

$$\delta Z \neq 0$$

$$\frac{4}{9} k Z + \frac{c}{9} \dot{Z} + \frac{149}{1152} \gamma \pi L^2 \ddot{Z} = p(t)$$

$$\therefore k^* = \frac{4}{9} k \quad c^* = \frac{c}{9} \quad m^* = \frac{149}{1152} \gamma \pi L^2$$

$$p^*(t) = p(t)$$

$$k^* Z + c^* \dot{Z} + m^* \ddot{Z} = p^*(t)$$

2-2 針對圖 P2-2 所示結構重解問題 2-1。

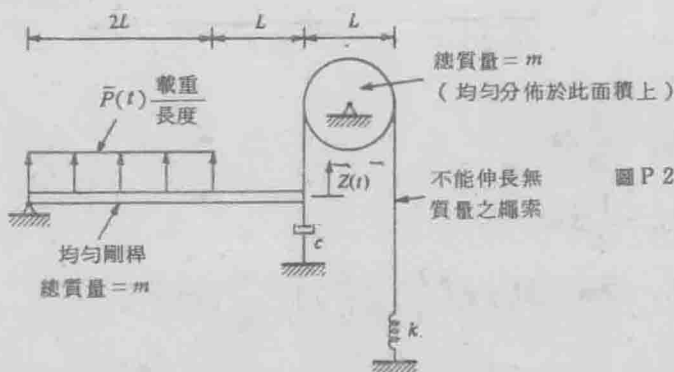
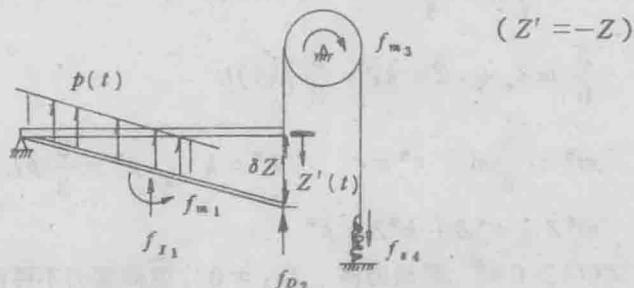


圖 P 2-2

解 設 cable 可受拉力，不受壓縮力。

亦即當 $Z(t) > 0$ 時，cable 鬆弛，彈簧不起作用。

當 $Z(t) < 0$ 時，cable 才拉緊，彈簧才受力。



$$f_{I1} = \frac{\ddot{Z}'}{2} m = -\frac{\ddot{Z}}{2} m$$

$$f_{D1} = \left(\frac{\ddot{Z}'}{3L} \right) \frac{(3L)^2}{12} = -\frac{\ddot{Z}}{4} mL$$

$$f_{D2} = \dot{Z}' c = -\dot{Z} c$$

$$f_{I3} = \left(\frac{\ddot{Z}'}{L/2} \right) \left(\frac{L^2}{8} \right) = -\frac{\ddot{Z}}{4} mL$$

$$f_{s4} = Z' k = -Z k$$

虛功原理

$$\begin{aligned} \delta W = & - \int_0^{2L} \bar{p}(t) \left(\frac{x}{3L} \delta Z' \right) dx - f_{I1} \frac{\delta Z'}{2} - f_{D1} \frac{\delta Z'}{3L} - f_{D2} \delta Z' \\ & - f_{I3} \frac{\delta Z'}{L/2} - f_{s4} \delta Z' = 0 \end{aligned}$$

$$\delta Z' \neq 0$$

$$\begin{aligned} \int_0^{2L} \bar{p}(t) \left(\frac{x}{3L} \right) dx + \frac{1}{2} f_{I1} + \frac{1}{3L} f_{D1} + f_{D2} + \frac{2}{L} f_{I3} + f_{s4} \\ = 0 \end{aligned}$$

$Z(t) < 0$ 時：

$$\int_0^{2L} \bar{p}(t) \left(\frac{x}{3L} \right) dx + \frac{1}{2} \left(-\frac{\ddot{Z}}{2} m \right) + \frac{1}{3L} \left(-\frac{\ddot{Z}}{4} mL \right) + (-\dot{Z}c) \\ + \frac{2}{L} \left(-\frac{\ddot{Z}}{4} mL \right) + (-Zk) = 0$$

$$\frac{5}{6} m \ddot{Z} + c \dot{Z} + kZ = \frac{2}{3} \bar{p}(t)L$$

$$m^* = \frac{5}{6} m \quad c^* = c \quad k^* = k \quad p^* = \frac{2}{3} \bar{p}L$$

$$m^* \ddot{Z} + c^* \dot{Z} + k^* Z = p^*$$

$Z(t) > 0$ 時，圓盤仍轉， $f_{s3} \neq 0$ ，但彈簧力不再作用 $f_{s4} = 0$
亦即 $m^* \ddot{Z} + c^* \dot{Z} = p^*$

2-3 針對圖 P2-3 所示結構重解問題 2-1。

[提示：此系統祇有一度動力自由度 (dynamic degree of freedom)，原因是那些彈簧能完全控制兩剛桿之相對運動。]

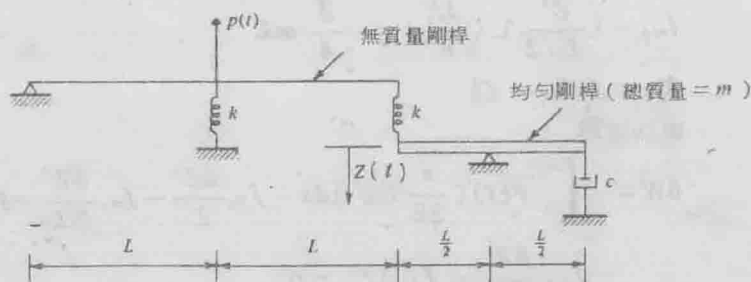
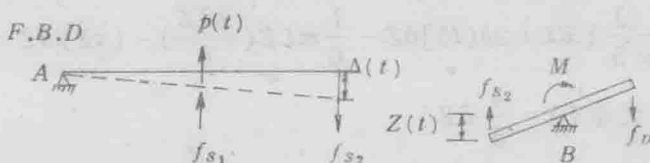
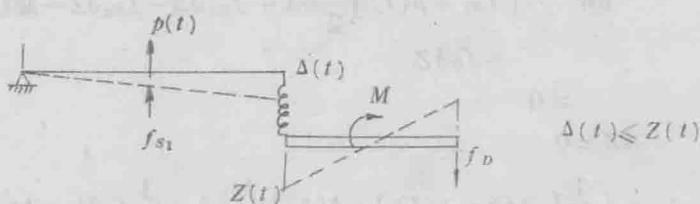
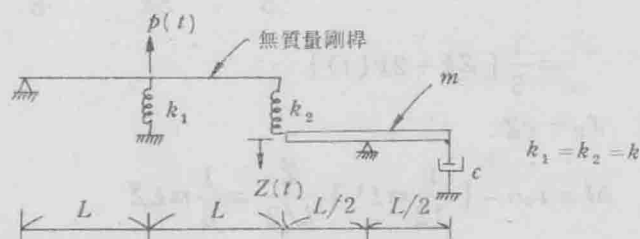


圖 P 2-3

解



$$\Sigma M_A = 0$$

$$f_{s2}(2L) = [f_{s1} + p(t)]L$$

$$(Z - \Delta)k(2L) = \frac{\Delta}{2}kL + p(t)L$$

$$\Rightarrow \Delta = \frac{2}{5k} [2Zk - p(t)]$$

$$\delta \Delta = \frac{\partial \Delta}{\partial Z} \delta Z = \frac{4}{5} \delta Z$$

$$f_{s1} = \frac{\Delta}{2}k = \frac{k}{2} \cdot \frac{2}{5k} [2Zk - p(t)] = \frac{1}{5} [2Zk - p(t)]$$

$$f_{s_2} = k(Z - \Delta) = k\left[Z - \frac{4}{5}Z + \frac{2p(t)}{5k}\right] = \frac{1}{5}Zk + \frac{2}{5}p(t) \\ = \frac{1}{5}[Zk + 2p(t)]$$

$$f_D = c\dot{Z}$$

$$M = I_0\alpha = \left[\frac{1}{12}mL^2\right] \frac{\ddot{Z}}{L/2} = \frac{1}{6}mL\ddot{Z}$$

$$\delta W = -[f_{s_1} + \dot{p}(t)]\frac{1}{2}\delta\Delta + f_{s_2}\delta\Delta - f_{s_2}\delta Z - M\left(\frac{2\delta Z}{L}\right) \\ - f_D\delta Z \\ = 0$$

$$\delta Z \neq 0$$

$$-\left\{\frac{1}{5}[2Zk - p(t)] + \dot{p}(t)\right\}\frac{1}{2}\delta\Delta + \frac{1}{5}[Zk + 2p(t)]\delta\Delta \\ - \frac{1}{5}[Zk + 2p(t)]\delta Z - \frac{1}{6}mL\ddot{Z}\left(\frac{2\delta Z}{L}\right) - (c\dot{Z})\delta Z = 0$$

$$(\text{式中 } \delta\Delta = \frac{4}{5}\delta Z)$$

$$\text{化簡後 } \frac{1}{3}m\ddot{Z} + c\dot{Z} + \frac{1}{5}kZ = -\frac{2}{5}p(t)$$

$$\frac{1}{3}m = m^*$$

$$c = c^*$$

$$\frac{1}{5}k = k^*$$

$$-\frac{2}{5}p(t) = \dot{p}^*(t)$$

$$\Rightarrow m^*\ddot{Z} + c^*\dot{Z} + k^*Z = \dot{p}^*(t)$$

2-4 圖 P2-4 的柱被當作單自由度 (SDOF) 系統處理，它產生位移後

的形狀由如下函數定義：

$$\phi(x) = \frac{v(x, t)}{Z(t)} = \left(\frac{x}{L}\right)^2 \left(\frac{3}{2} - \frac{x}{2L}\right)$$

設每單位長度的均佈質量為 $\bar{m}$ ，均佈剛性為 EI ，及均佈荷重為 $\bar{p}(t)$ ，請算出廣義物理性質 m^* ， k^* 及廣義荷重 $p^*(t)$ 。

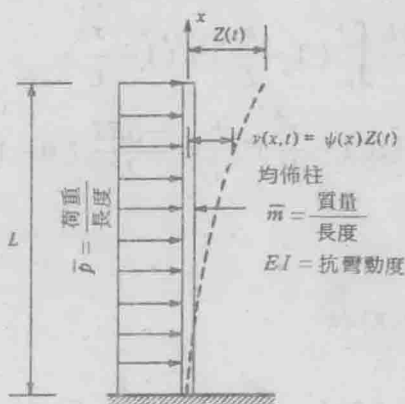


圖 P2-4

$$\text{解} \quad m^* = \int_0^L m(x) \phi^2 dx = \int_0^L \bar{m} \left(\frac{x}{L}\right)^4 \left(\frac{3}{2} - \frac{x}{2L}\right)^2 dx$$

$$= \frac{\bar{m}}{4L^4} \int_0^L x^4 \left(9 - 6\frac{x}{L} + \frac{x^2}{L^2}\right) dx$$

$$= \frac{\bar{m}}{4L^4} \left[\frac{9}{5} x^5 - \frac{x^6}{L} + \frac{x^7}{7L^2} \right]_0^L$$

$$= \frac{\bar{m}L^5}{4L^4} \left(\frac{9}{5} - 1 + \frac{1}{7} \right) = \frac{33}{140} \bar{m}L$$

$$k^* = \int_0^L EI (\phi'')^2 dx$$

$$\phi(x) = \frac{1}{2L^2} \left(3x^2 - \frac{x^3}{L} \right)$$

$$\phi'(x) = \frac{1}{2L^2} \left(6x - 3 \frac{x^2}{L} \right) = \frac{3}{2L^2} \left(2x - \frac{x^2}{L} \right)$$

$$\phi''(x) = \frac{1}{2L^2} \left(6 - 6 \frac{x}{L} \right) = \frac{3}{L^2} \left(1 - \frac{x}{L} \right)$$

$$\begin{aligned} k^* &= -\frac{9EIL}{L^4} \int_0^L \left(1 - \frac{x}{L} \right)^2 d \left(1 - \frac{x}{L} \right) \\ &= -\frac{9EI}{3L^3} \left[\left(1 - \frac{x}{L} \right)^3 \right]_0^L = \frac{-3EI}{L^3} (0 - 1) \\ &= \frac{3EI}{L^3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p^*(t) &= \int_0^L \bar{p} \phi(x) dx \\ &= \int_0^L \frac{\bar{p}}{2L^2} \left(3x^2 - \frac{x^3}{L} \right) dx = \frac{\bar{p}}{2L^2} \left[x^3 - \frac{x^4}{4L} \right]_0^L \\ &= \frac{L^3 \bar{p}}{2L^2} \left(1 - \frac{1}{4} \right) = \frac{\bar{p}L}{2} \left(\frac{3}{4} \right) = \frac{3}{8} \bar{p}L \end{aligned}$$

2-5 (a) 若有一朝下的荷重 N 作用於問題 2-4 中的柱頂，請應用與問題 2-4 同樣的形狀函數 $\phi(x)$ 以算出其合成廣義勁度 $\bar{k}^*$ 。

(b) 重解(a)部份，假設在柱上的軸向力沿柱長產生線性變化 $N(x) = N(1 - x/L)$

解 (a)
$$\begin{aligned} \bar{k}_\sigma^* &= \int_0^L N [\phi'(x)]^2 dx \\ &= N \int_0^L \frac{9}{4L^4} \left(2x - \frac{x^2}{L} \right)^2 dx \\ &= \frac{9N}{4L^4} \int_0^L \left(4x^2 - 4 \frac{x^3}{L} + \frac{x^4}{L^2} \right) dx \end{aligned}$$

$$= \frac{9N}{4L^4} \left[\frac{4}{3}x^3 - \frac{x^4}{L} + \frac{x^5}{5L^2} \right]_0^L = \frac{9NL^3}{4L^4} \left(\frac{4}{3} - 1 + \frac{1}{5} \right)$$

$$= \frac{9N}{4L} \left(\frac{8}{15} \right) = \frac{6}{5} \frac{N}{L}$$

$$\bar{k}^* = k^* - k_o^*$$

$$= \frac{3EI}{L^3} - \frac{6}{5} \frac{N}{L}$$

$N = N_{cr}$ 時 $\bar{k}^* = 0$ 即 buckling condition

$$\bar{k}^* = 0$$

$$\Rightarrow \frac{3EI}{L^3} = \frac{6}{5} \frac{N_{cr}}{L} \quad N_{cr} = \frac{5}{2} \frac{EI}{L^2} \Rightarrow \frac{1}{L} = \frac{5EI}{2L^3 N_{cr}}$$

$$\bar{k}^* = \frac{3EI}{L^3} - \frac{6}{5} \frac{N}{L} = \frac{3EI}{L^3} - \frac{6}{5} N \cdot \frac{5EI}{2L^3 N_{cr}} = \frac{3EI}{L^3} \left(1 - \frac{N}{N_{cr}} \right)$$

$$= k^* \left(1 - \frac{N}{N_{cr}} \right)$$

$$(b) k_o^* = \int_0^L N \left(1 - \frac{x}{L} \right) [\phi'(x)]^2 dx$$

$$= N \int_0^L \left(1 - \frac{x}{L} \right) \frac{9}{4L^4} \left(2x - \frac{x^2}{L} \right)^2 dx$$

$$= \frac{9N}{4L^4} \int_0^L \left(4x^2 - 8\frac{x^3}{L} + 5\frac{x^4}{L^2} - \frac{x^5}{L^3} \right) dx$$

$$= \frac{9N}{4L^4} \left[\frac{4}{3}x^3 - 2\frac{x^4}{L} + \frac{x^5}{L^2} - \frac{1}{6}\frac{x^6}{L^3} \right]_0^L$$

$$= \frac{9NL^3}{4L^4} \left(\frac{4}{3} - 2 + 1 - \frac{1}{6} \right) = \frac{9NL^3}{4L^4} \left(\frac{1}{6} \right) = \frac{3}{8} \cdot \frac{N}{L}$$

buckling condition

$$\bar{k}^* = 0 \quad N = N_{cr}$$

$$\frac{3EI}{L^3} = \frac{3}{8} \frac{N_{cr}}{L} \quad \frac{1}{L} = \frac{8EI}{L^3 N_{cr}}$$

$$\begin{aligned}\bar{k}^* &= \frac{3EI}{L^3} - \frac{3}{8}N \cdot \frac{8EI}{L^3 N_{cr}} = \frac{3EI}{L^3} \left(1 - \frac{N}{N_{cr}}\right) \\ &= k^* \left(1 - \frac{N}{N_{cr}}\right)\end{aligned}$$

2-6 假設圖 2-7 的均勻板為正方形，邊長 a ，四邊皆簡支承。

(a) 若每單位面積的質量為 γ 及其撓曲勁度為 D ，請定出其廣義性質 m^* 及 k^* ，以中央位移座標 $Z(t)$ 表示之。假設位移函數為

$$\phi(x, y) = \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{a}$$

(b) 每單位面積的均佈外荷重為 $\bar{p}(t)$ 。請根據(a)部份的位移函數來定出廣義荷重 $p^*(t)$ 。

解 (a) $\phi = \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{a}$

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\pi}{a} \cos \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{a} \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = -\frac{\pi^2}{a^2} \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{a} = -\frac{\pi^2}{a^2} \phi$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{\pi}{a} \sin \frac{\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{a}$$

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = -\frac{\pi^2}{a^2} \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{a} = -\frac{\pi^2}{a^2} \phi$$

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} = \frac{\pi^2}{a} \cos \frac{\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{a} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y \partial x}$$

ν = 卜生比 (Poisson's ratio)

h = 板厚

用課本 P37. (Eq 2-44), (Eq 2-45)

$$m^* = \int_A \gamma(x, y) [\phi(x, y)]^2 dA$$

$$= \int_0^a \int_0^a \gamma \sin^2 \frac{\pi x}{a} \sin^2 \frac{\pi y}{a} dx dy$$

$$\begin{aligned}
 &= \gamma \int_0^a \sin^2 \frac{\pi x}{a} dx \int_0^a \sin \frac{\pi y}{a} dy \\
 &= \gamma \left[\int_0^a \sin^2 \frac{\pi x}{a} dx \right]^2 \quad (\text{因 } x, y \text{ 只是一些 dummy variables})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \int_0^a \sin^2 \frac{\pi x}{a} dx &= \frac{1}{2} \int_0^a (1 - \cos \frac{2\pi x}{a}) dx \\
 &= \frac{1}{2} \left\{ [x]_0^a - \frac{a}{2\pi} \left[\sin \frac{2\pi x}{a} \right]_0^a \right\} \\
 &= \frac{a}{2}
 \end{aligned}$$

$$m^* = \gamma \left(\frac{a}{2} \right)^2 = \frac{\gamma a^2}{4}$$

$$\begin{aligned}
 k^* &= D \int_A \left[\left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right)^2 - 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} \right) \right] dA \\
 &= D \int_A \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right)^2 dA - 2D(1-\nu) \int_A \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} \right) dA
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \int_A \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right)^2 dA &= \int_A \left(-\frac{\pi^2}{a^2} \phi - \frac{\pi^2}{a^2} \phi \right)^2 dA \\
 &= 4 \frac{\pi^4}{a^4} \int_A \phi^2 dA \\
 &= 4 \frac{\pi^4}{a^4} \left(\frac{a^2}{4} \right) \quad (\text{仿 } m^* \text{ 之積分}) \\
 &= \frac{\pi^4}{a^2}
 \end{aligned}$$

$$(b) \int_A \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right) dA = \int_A \left(-\frac{\pi^2}{a^2} \phi \right) \left(-\frac{\pi^2}{a^2} \phi \right) dA$$

$$= \frac{\pi^4}{a^4} \int_A \phi^2 dA = \frac{\pi^4}{a^4} \left(\frac{a^2}{4} \right) \quad (\text{仿 } m^* \text{ 積分})$$

$$= \frac{\pi^4}{4a^2}$$

$$\begin{aligned} \int_A \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} dA &= \int_0^a \int_0^a \frac{\pi^2}{a^2} \cos \frac{\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{a} dx dy \\ &= \frac{\pi^2}{a^2} \int_0^a \cos \frac{\pi x}{a} dx \int_0^a \cos \frac{\pi y}{a} dy \\ &= \frac{\pi^2}{a^2} \left[\int_0^a \cos \frac{\pi x}{a} dx \right]^2 \quad (\text{因 } x, y \text{ 只是一些} \\ &\quad \text{dummy variables}) \\ &= \frac{\pi^2}{a^2} \left\{ \left[\frac{a}{\pi} \left(\sin \frac{\pi x}{a} \right) \right]_0^a \right\}^2 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k^* &= D \frac{\pi^4}{a^2} - 2D(1-\nu) \frac{\pi^4}{4a^2} \\ &= D \frac{\pi^4}{a^2} \left[1 - \frac{1}{2} + \frac{\nu}{2} \right] = \frac{D\pi^4}{2a^2} (1+\nu) \end{aligned}$$

(b) 用課本 P37 (Eq 2-46)

$$\begin{aligned} p^* &= \int_A \bar{p}(x, y) \phi(x, y) dA \\ &= \int_0^a \int_0^a \bar{p} \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{a} dx dy \\ &= \bar{p} \int_0^a \sin \frac{\pi x}{a} dx \int_0^a \sin \frac{\pi y}{a} dy \\ &= \bar{p} \left[\int_0^a \sin \frac{\pi x}{a} dx \right]^2 \quad (\text{因 } x, y \text{ 只是一些 dummy} \\ &\quad \text{variables}) \\ &= \bar{p} \left\{ \left[-\frac{a}{\pi} \cos \frac{\pi x}{a} \right]_0^a \right\}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{a^2 \bar{p}}{\pi^2} [-\cos \pi + 1]^2 = \frac{a^2 \bar{p}}{\pi^2} (+1 + 1)^2 \\
 &= \frac{4a^2 \bar{p}}{\pi^2}
 \end{aligned}$$

2.1 圖 P2-5 標示出一錐形混凝土煙囪的外徑、高度及材料性質。假設其壁均厚 8 in 且變形形狀為

$$\psi(x) = 1 - \cos \frac{\pi x}{2L}$$

請算廣義質量 m^* 及勁度 k^* 。請用辛浦森 (simpson) 法則進行積分，亦即以柱頂，中央，柱底三處之積分函數值進行加權。例如

$$m^* = \frac{\Delta x}{3} (y_0 + 4y_1 + y_2)$$

其中 $y_i = m_i \psi_i^2$ 為在第 “ i ” 點處所算出的值。

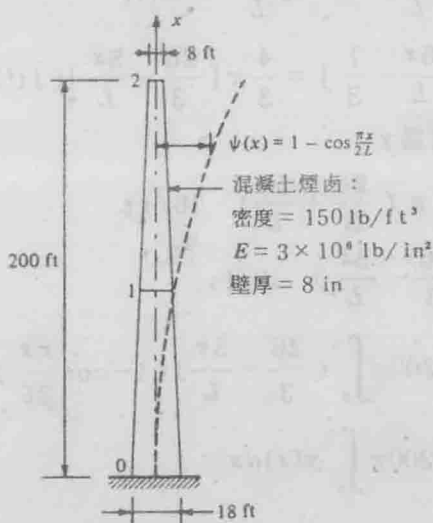


圖 P2-5