

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

微分轉換於工程問題教學之應用 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2516-S-168-001-
執行期間：95年08月01日至96年07月31日
執行單位：崑山科技大學機械工程系

計畫主持人：何星輝

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：張友倫、鄭郁翰
講師級-兼任助理：林明長

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96 年 11 月 12 日

微分轉換於工程問題教學之應用

The Application of Differential Transformation Method on Engineering Problems Teaching

計劃編號：NSC 95-2516-S-168-001

執行期限：95 年 8 月 1 日至 96 年 7 月 31 日

主持人：何星輝 崑山科技大學機械系

中文摘要

本計劃旨在利用微分轉換理論編撰一套求解工程問題的教材及軟體，幫助技職體系大學部及研究所同學學習三大工程問題——初始值問題、邊界值問題及特徵值問題並提升工程分析能力。

本計劃含四個部分：

手算例教材的編撰

「簡單的手算，複雜的用電腦算」是本教材及軟體製作之基本理念。透過精心設計之手算例，建立使用微分轉換法求解三大工程問題的整體性基礎概念。手算例之設計包含(1)對工程問題之統御方程式及初值條件或邊界條件取微分轉換(2)求解遞歸型式之代數方程式(3)對上述解答取反微分轉換。

教學軟體之編撰

利用微分轉換法求解三大工程問題時，處理初始值問題以數值運算為主；處理邊界問題及特徵值問題則以符號運算為主。大學部之教學軟體以線性微分方程為撰寫重點，研究所之教學軟體則以非線性微分方程及耦合微分方程為撰寫重點。

輔助教具之製作

藉由輔助教具的實際操作，幫助同學學習微分轉換法觀念及內容，並使得理論與實務能結合為一。

教學績效評估

以問卷調查方式評量教學績效，作為改進之依據。大學部——含日間部四技及二技；夜間部四技。研究所——以產碩班為主。

本計劃——微分轉換於工程問題教學

之應用”的特色有三：其一、有別於其他數值方法，微分轉換法具相當簡易性及直觀性，不但適用於線性微分方程而且亦適用於耦合微分方程及非線性微分方程。其二、教材及軟體之研發係手算例與電腦運算並重。其三、教材深入淺出由大學部之基礎訓練至研究所之論文研究均適用。

Abstract

The main purpose of this project is to develop a set of teaching materials and software on solving engineering problems using differential transformation method. This software provides the undergraduate and graduate students an easy way to study three major engineering problems —initial value problem, boundary value problem and eigen value problem— and to uplift their engineering analytical ability.

There are four parts in this project as follows.

Compilation of teaching materials of hand-calculating examples

The basic idea to develop this teaching materials is " easy problem by hand, but difficult one by computer ". Through the practice of elaborately designed hand-calculating examples, students can entirely catch the basic concept of solving three major engineering problems by differential transformation. Hand-calculating examples design include the following steps: (i) take differential transformation on governing equations and initial conditions or boundary conditions; (ii) solve the recursive algebraic equation; (iii) take inverse differential transformation on the results

solved in the previous step.

Compilation of teaching software

When solving three major engineering problems, we usually apply numeric computation to initial value problem, while apply symbolic computation to boundary value problem and eigen value problem. In compiling the software we lay stress on linear system for undergraduate students but lay stress on non-linear system and time-varying system for graduate students.

Auxiliary teaching tools manufacturing

Using those auxiliary teaching tools, students can overcome some difficulties in learning Differential Transform and combine theory with practice together.

Teaching and learning estimation

Using question paper investigation, we can estimate teaching and learning effect and have some improvement. The estimation includes both undergraduate and graduate students.

This project —The Application of Differential Transformation Method on Engineering Problems Teaching— has three distinguishing features: (i) compared with other numeric method, differential transformation provides an easy and intuitive way to study linear, non-linear and coupled differential equations; (ii) both hand-calculating examples and computer-calculating software are considered; (iii) these teaching materials are quite applicable to both undergraduates and graduates.

計劃緣由與目的:

擔任教學工作十多年來，歷經專科、技術學院、科技大學及至研究所，深感私立技職學生數學程度及觀念比較差，是而在基礎理論課程的教學互動上，師生均倍覺辛苦；近日因應時代需求納入許多新課程，進而壓縮數學及其相關課程之授課與學習時間，同時學生的負擔亦日益加重，如何以一個較簡易且直觀的方法來幫助同學學習工程數學、數值分析及其相關課程並解決工程問題是為當務之急。本計劃”

微分轉換於工程問題教學之應用”或許是一個方向。

工程師經常會面臨到的工程問題有三大類—初始值問題、邊界值問題及特徵值問題邊界值問題。在工程數學、數值分析及其相關課程可找到處理三大工程問題之方法，但有些方法對技職體系學生而言，入門門檻稍高了些是而在學習上有所困難。在本計劃中擬以微分轉換法來解決此一學習上之難題。

近些年來從事微分轉換於工程問題上研究累積了一些能量，同時也參與數項教育部教學研究計劃累積一些經驗，是而擬以本計劃”微分轉換於工程問題教學之應用”為技職體系教學盡點棉薄之力。

結果與討論:

手算例教材的編撰

以下僅就以初始值問題、邊界值問題及特徵值問題為例作一扼要說明。

<初始值問題>

實例演練：初始值問題（入門篇，線性）

$$\text{G.E. } \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = 2t^3 \quad (1)$$

$$\text{I.C. } y(0) = 0 \quad (2)$$

對式(1)取微分轉換得

$$(k+1)Y(k+1) + Y(k) = 2\delta(k-3) \quad (3)$$

運用微分轉換定義，初始值條件式(2)變為

$$Y(0) = 0 \quad (4)$$

將 $k=0$ 及 $Y(0)$ 代入式(3)，吾人得

$$Y(1) = 0 \quad (5)$$

依據相同之遞歸程序，可得

$$Y(2) = 0, \quad Y(3) = 0, \quad Y(4) = 1/2, \quad Y(5) = -1/10, \\ Y(6) = 1/60, \quad Y(7) = -1/420, \quad Y(8) = 1/3360, \\ Y(9) = -1/30240$$

運用微分反轉換定義及 $Y(k)$ ，得答案如下：

$$y(t) = \frac{1}{2}t^4 - \frac{1}{10}t^5 + \frac{1}{60}t^6 - \frac{1}{420}t^7 + \frac{1}{3360}t^8 - \frac{1}{30240}t^9 \dots$$

$$y(t) = 12 \left(\frac{1}{4!}t^4 - \frac{1}{5!}t^5 + \frac{1}{6!}t^6 - \frac{1}{7!}t^7 + \frac{1}{8!}t^8 - \frac{1}{9!}t^9 \dots \right) \\ = 12 \left(e^{-t} - 1 + t - \frac{1}{2!}t^2 + \frac{1}{3!}t^3 \right)$$

實例演練：初始值問題（進階篇，非線性）

G.E. $\frac{d^2y(t)}{dt^2} + 0.2\left(\frac{dy(t)}{dt}\right)^2 - 0.8y(t) = 2.2$ (1)

I.Cs. $y(0) = 0$ (2)

$\dot{y}(0) = 1$ (3)

令 $\frac{dy(t)}{dt} = w(t)$ (4)

得 $\frac{dw(t)}{dt} = -0.2w^2(t) + 0.8y(t) + 2.2$ (5)

對式(4) (5)取微分轉換得

$(k+1)Y(k+1) = W(k)$ (6)

$(k+1)W(k+1) = 0.2 \sum_{\ell=0}^k W(k-\ell)W(\ell) + 0.8Y(k) + 2.2\delta(k)$ (7)

運用微分轉換定義，初始值條件式(2)(3)變為

$Y(0) = 0$ (8)

$W(0) = 1$ (9)

將 $k=0$ 、 $Y(0)$ 及 $W(0)$ 代入式(6)(7)，吾人得

$Y(1) = 1$ (10)

$W(1) = 2$ (11)

依據相同之遞歸程序，可得

$Y(2) = 1$ ， $W(2) = 0$ ， $Y(3) = 0$ ， $W(3) = 0$

運用微分反轉換定義及 $x(k)$ ，得答案如下：

$y(t) = t + t^2$

<邊界值問題>

實例演練：邊界值問題（入門篇，線性）

G.E. $\frac{d^2y(x)}{dx^2} = -6x$ (1)

B.Cs. $y(0) = 0$ (2)

$y(3) = 0$ (3)

對式(1)取微分轉換得

$(k+1)(k+2)Y(k+2) = -6\delta(k-1)$ (4)

運用微分轉換定義，邊界條件式(2)變為

$Y(0) = 0$ (5)

運用微分轉換定義，邊界條件式(3)變為

$\sum_{k=0}^{\infty} 3^k Y(k) = 0$ (6)

令 $Y(1) = c$ (7)

將 $k=0$ 代入式(4)，吾人得

$Y(2) = 0$ (8)

將 $k=1$ 代入式(4)，吾人得

$Y(3) = -1$ (9)

依據相同之遞歸程序，可得

$Y(4) = 0$ (10)

$Y(5) = 0$ (11)

$Y(6) = 0$ (12)

將上述 $Y(k)$ 代入式(6)得

$3c - 27 = 0$ (13)

解式(13)得

$c = 9$ (14)

運用微分反轉換定義，配合式(14)及 $Y(k)$ ，得答案如下：

$y(x) = 9x - x^3$

實例演練：邊界值問題（進階篇，非線性）

G.E. $\frac{d^2y(x)}{dx^2} = \frac{3}{2}y^2(x)$ (1)

B.Cs. $y(0) = 4$ (2)

$y(1) = 1$ (3)

對式(1)取微分轉換得

$(k+1)(k+2)Y(k+2) = \frac{3}{2} \sum_{\ell=0}^k Y(k-\ell)Y(\ell)$ (4)

運用微分轉換定義，邊界條件式(2)變為

$Y(0) = 4$ (5)

運用微分反轉換定義，邊界條件式(3)變為

$\sum_{k=0}^{\infty} Y(k) = 1$ (6)

令 $Y(1) = c$ (7)

將 $k=0$ 代入式(4)，吾人得

$Y(2) = 12$ (8)

將 $k=1$ 代入式(4)，吾人得

$Y(3) = 2c$ (9)

依據相同之遞歸程序，可得

$Y(4) = 12 + \frac{1}{8}c^2$ (10)

$Y(5) = 3c$ (11)

$Y(6) = 12 + \frac{c^2}{4}$ (12)

$$Y(7) = \frac{24}{7} + \frac{c^3}{112} \quad (13)$$

將上述 $Y(k)$ 代入式(6)得

$$\frac{c^3}{112} + \frac{3c^2}{8} + \frac{66c}{7} + 40 = 0 \quad (14)$$

解式(14)得

$$c = -18.4909 \pm 22.9892i \quad (15)$$

$$c = -5.0183 \quad (16)$$

運用微分反轉換定義，配合式(16)及 $Y(k)$ ，得近似解答案如下：

$$y(x) = 4 - 5.0183x + 12x^2 - 10.0366x^3 + 15.1479x^4 - 15.0549x^5 + 18.2958x^6 - 18.334x^7$$

<特徵值問題>

實例演練: 特徵值問題(入門篇，常係數)

G.E. $y'' + \lambda y = 0 \quad (1)$

B.Cs. $y(0) - y'(0) = 0 \quad (2)$

$y(1) + y'(1) = 0 \quad (3)$

對式(1)取微分轉換，吾人可得

$$Y(k+2) = -\frac{\lambda Y(k)}{(k+1)(k+2)} \quad (4)$$

運用微分轉換定義，邊界條件式(2)變為

$$Y(0) - Y(1) = 0 \quad (5)$$

運用微分反轉換定義，邊界條件式(3)變為

$$\sum_{k=0}^n (1+k)Y(k) = 0 \quad (6)$$

求解第一特徵值及特徵函數。為簡化說明，在此僅列出對應於 $n = 6$ 之計算結果。令

$$Y(0) = c \quad (7)$$

由式(5)可得

$$Y(1) = c \quad (8)$$

將式(7)、式(8)及 $k = 0$ 代入式(4)，吾人得

$$Y(2) = -\frac{c}{2}\lambda \quad (9)$$

依據相同之遞歸程序，可得

$$Y(3) = -\frac{c}{6}\lambda \quad (10)$$

$$Y(4) = \frac{c}{24}\lambda^2 \quad (11)$$

$$Y(5) = \frac{c}{120}\lambda^2 \quad (12)$$

$$Y(6) = -\frac{c}{720}\lambda^3 \quad (13)$$

將式(7)-(13)代入式(6)可得特徵值方程式如下

$$f^{(6)}(\lambda) = 3 - \frac{13}{6}\lambda + \frac{31}{120}\lambda^2 - \frac{7}{720}\lambda^3 = 0 \quad (14)$$

解式(14)，吾人可得

$$\lambda = 1.71, 12.43 \pm 5.08j \quad \text{此處 } j = \sqrt{-1} \quad (15)$$

取實數根

$$\lambda_1^{(6)} = 1.71 \quad (16)$$

當 $n = 5$ 依據相同方法吾人可得

$$\lambda_1^{(5)} = 1.75 \quad (17)$$

由式(16)及式(17)吾人得

$$|\lambda_1^{(6)} - \lambda_1^{(5)}| = 0.04 \leq \varepsilon \quad (18)$$

此處 ε 係一微量值，其大小視精確度要求而定由式(18)吾人得第一特徵值 $\lambda_1 = 1.71$ ，將 λ_1 代入 $Y(0) - Y(6)$ 並運用微分反轉換可求得第一特徵函數

$$y_1(x) = (1+x - 0.855x^2 - 0.285x^3 + 0.121838x^4 + 0.0243675x^5 - 0.00694474x^6) c \quad (19)$$

第一正規化特徵函數如下式：

$$\hat{y}_1(x) = 0.853835(1+x - 0.855x^2 - 0.285x^3 + 0.121838x^4 + 0.0243675x^5 - 0.00694474x^6) \quad (20)$$

依據解析方法，吾人亦可求出第一特徵值及特徵函數如下

$$\lambda_1^{(a)} = 1.71 \quad (21)$$

$$y_1^{(a)}(x) = 1.30767 \cos(1.30767x) + \sin(1.30767x) \quad (22)$$

經過正規化式(22)變為

$$\hat{y}_1^{(a)}(x) = 0.652999[1.30767 \cos(1.30767x) + \sin(1.30767x)] \quad (23)$$

除了 $\lambda_1 = \lambda_1^{(a)}$ 外，計算結果式(20)與解析解式(23)繪圖比較完全一致。

實例演練: 特徵值問題(進階篇，變係數)

G.E. $y'' + \lambda x^2 y = 0 \quad (1)$

B.Cs. $y(0) = 0 \quad (2)$

$y(1) = 0 \quad (3)$

對式(1)取微分轉換，吾人可得

$$Y(k+2) = -\frac{\lambda}{(k+1)(k+2)} \sum_{i=0}^k \delta(i-2)Y(k-i) \quad (4)$$

運用微分轉換定義，邊界條件式(2)變為

$$Y(0) = 0 \quad (5)$$

運用微分反轉換定義，邊界條件式(3)變為

$$\sum_{k=0}^n Y(k) = 0 \quad (6)$$

求解第一特徵值及特徵函數，為方便於說明，僅列出對應於 $n = 21$ 之計算結果

$$\text{令 } Y(1) = c \quad (7)$$

將式(5)、(7)及 $k=0$ 代入式(4)吾人得

$$Y(2) = 0 \quad (8)$$

依循相同遞歸程序， $Y(3)-Y(2)$ 可求出，而在這些項中僅 $Y(5)$ 、 $Y(9)$ 、 $Y(13)$ 、 $Y(17)$ 、 $Y(21)$ 不為零，其他皆為零值，如下式所示。

$$Y(5) = -\frac{c}{20}\lambda \quad (9)$$

$$Y(9) = \frac{c}{1440}\lambda^2 \quad (10)$$

$$Y(13) = -\frac{c}{224640}\lambda^3 \quad (11)$$

$$Y(17) = \frac{c}{61102080}\lambda^4 \quad (12)$$

$$Y(21) = -\frac{c}{25662873600}\lambda^5 \quad (13)$$

將 $Y(0)-Y(21)$ 代入式(6)吾人得特徵值方程式如下

$$f^{(21)}(\lambda) = 1 - \frac{\lambda}{20} + \frac{\lambda^2}{1440} - \frac{\lambda^3}{224640} + \frac{\lambda^4}{61102080} - \frac{\lambda^5}{25662873600} \quad (14)$$

解式(14)可得

$$\lambda^{(21)} = 30.93, 72.61 \pm 212.19j, 121.92 \pm 40.39j \quad (15)$$

取第一個實數根

$$\lambda_1^{(21)} = 30.93 \quad (16)$$

當 $n=20$ 時同法吾人得

$$\lambda_1^{(20)} = 30.99 \quad (17)$$

由式(16)、(17)可得

$$|\lambda_1^{(21)} - \lambda_1^{(20)}| = 0.06 \leq \varepsilon \quad (18)$$

此處 ε 亦為微量值，由式(18)吾人得知

第一特徵值 $\lambda_1 = 30.93$

將 λ_1 代入 $Y(0)-Y(21)$ 配合微分反轉換吾人可求得第一特徵函數如下

$$y_1(x) = (x - 1.5465x^5 + 0.664351x^9 - 0.13172x^{13} + 0.0149783x^{17} - 0.00110305x^{21}) c \quad (19)$$

第一正規化特徵函數如下所示

$$\hat{y}_1(x) = 3.33268(x - 1.5465x^5 + 0.664351x^9 - 0.13172x^{13} + 0.0149783x^{17} - 0.00110305x^{21}) \quad (20)$$

依據解析法，求得第一特徵值及特徵函數如下所示

$$\lambda_1^{(a)} = 30.93 \quad (21)$$

$$y_1^{(a)} = x^{0.5} J_{\frac{1}{4}}(2.78074x^2) \quad (22)$$

經過正規化後式(22)變為

$$\hat{y}_1^{(a)}(x) = 2.78182x^{0.5} J_{\frac{1}{4}}(2.78074x^2) \quad (23)$$

除了 $\lambda_1 = \lambda_1^{(a)}$ 外，計算結果式(20)與解析解式(23)繪圖比較完全一致。

上述手算例中，初始值問題直接使用微分轉換法解題，而邊界值問題及特徵值問題係使用微分轉換並結合符號運算求解。應用本方法於求解工程問題，不論線性、非線性、常係數或變係數均兼具執行簡易性及觀念直觀性。

教學軟體之編撰

大學部之教學軟體以線性微分方程為撰寫重點，研究所之教學軟體則以非線性微分方程及耦合微分方程為撰寫重點。軟體內容甚多，僅列數個代表例及其部份結果如下。

大學部：

<一>線性及非線性動力分析—如圖 1 所示

<二>樑動態分析—如圖 2、圖 3 所示

<三>動態負載識別—如圖 4 所示

研究所：

<四>板振動分析—如圖 5、表 1 所示

<五>曲樑異面振動問題—如圖 6、表 2 所示

<六>時變邊界條件下的非均勻樑動態分析—如圖 7、圖 8 所示

<七>自旋、預扭、承受軸向力、非均勻 Timoshenko 樑振動問題—如圖 9、圖 10 所示

輔助教具之製作

針對特徵值問題，設計製作兩個輔助教具，藉由該教具的實際操作，幫助同學學習微分轉換法觀念及內容，並使得理論與實務能結合為一。

利用加速度規、衝擊錘、頻譜分析儀設計製作懸臂樑自然頻率及模態測定系統如圖 11 所示；簡支板自然頻率及模態測定系統如圖 12 所示。

教學績效評估

以問卷調查方式(表 3)，評量教學績效，作為改進之依據。大學部四技部分三班 106 人統計表如表 4 所示，二技部一班

20 人統計表如表 5 所示；進修部二班 57 人統計表如表 6 所示；研究所產碩班二班 14 人統計表如表 7 所示。績效評估大致良好。

感謝國科會科教處經費補助使計畫得以完成。

參考文獻

1. Meirovitch, L., Method of Analytical Dynamics, McGraw-Hill Book Co., New York, 1980.
2. Hibbeler R. C., Engineering Mechanics Dynamics, Prentice Hall, New Jersey, 2001.
3. Thomson W. T., Theory of Vibration with Application, Prentice Hall, New Jersey, 1972.
4. Meirovitch, L., Analytical Methods in Vibrations, The Macmillan Co., New York, 1990.
5. Shigley, J. E. and Mischke C. R., Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill Book Co., New York, 2001.
6. Cha'o. Kuang Chen and Shing. Huei Ho, "Application of Differential Transformation to Eigenvalue Problem," Applied Mathematics and Computation, Vol.79, 1996, pp.173-188.
7. Shing. Huei Ho and Cha'o. Kuang Chen, "Free Transverse Vibration of a Spinning Twisted Non-uniform Timoshenko Beam Under Axial Loading Using Differential Transform," International Journal of Mechanical Science, Vol.48, 2006, pp.1323-1331.
8. 何星輝，李振發，蔡明翰，"微分轉換於系統動態負載識別之研究，"中國機械工程學會第二十屆學術研討會，92 年 12 月，pp.707-712.
9. 何星輝，李振發，劉玉熙，"微分轉換於具剪力變形及轉動慣量效應曲樑異面振動分析之研究，"中國機械工程學會第二十二屆學術研討會，94 年 11 月，C3-004，pp.1-5.

10. 何星輝，劉玉熙，李振發，"微分轉換於非線性動力問題之研究，"中華民國機構與機器原理學會，第八屆全國機構與機器設計學術研討會，94 年 12 月，C06006，pp.514-519.
11. 何星輝，林明長，林水木，廖慶聰，"時變邊界條件的非均勻樑振動分析，"中國機械工程學會第二十三屆學術研討會，95 年 11 月，C3-045，pp.1-6.
12. Shing. Huei Ho and Cha'o. Kuang Chen, "Free Transverse Vibration of a Spinning Twisted Non-uniform Timoshenko Beam Under Axial Loading Using Differential Transform," International Journal of Mechanical Science, Vol.48, 2006, pp.1323-1331.

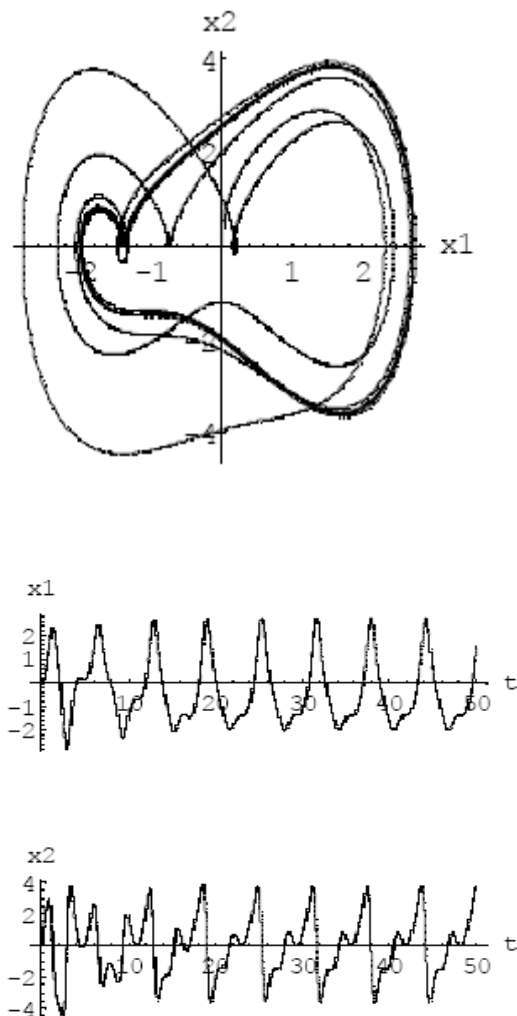


圖 1 Duffin 方程 $u(0) = 0$ 、 $\dot{u}(0) = 0$
、 $\alpha = 1$ 、 $f = 5$ 、 $\omega = 1$

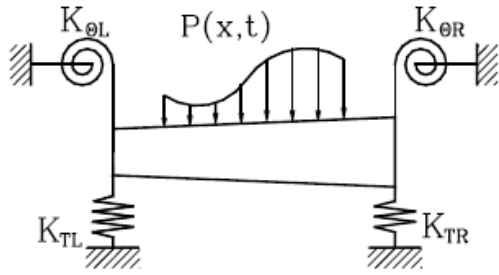


圖 2 非均勻樑系統

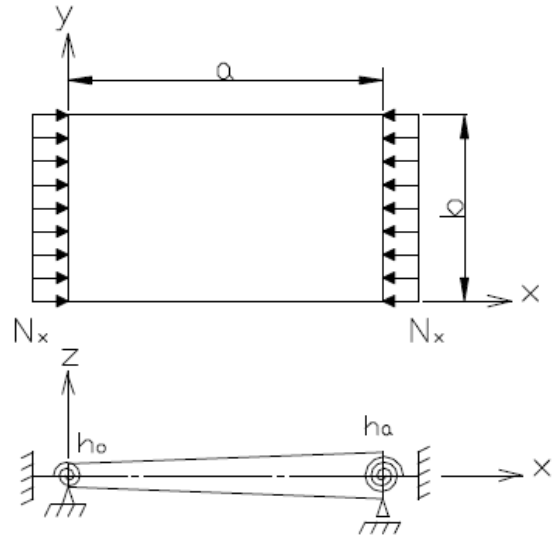


圖 5 非均勻板系統

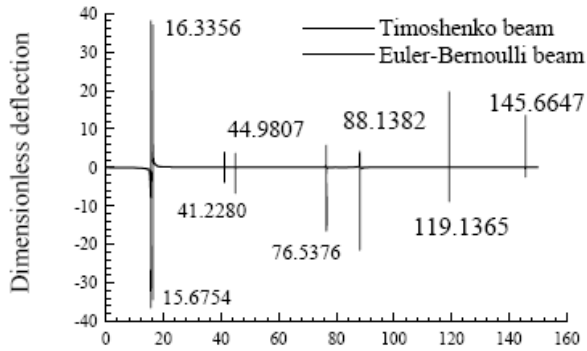


圖 3 兩端夾持非均勻樑中點之動態響應

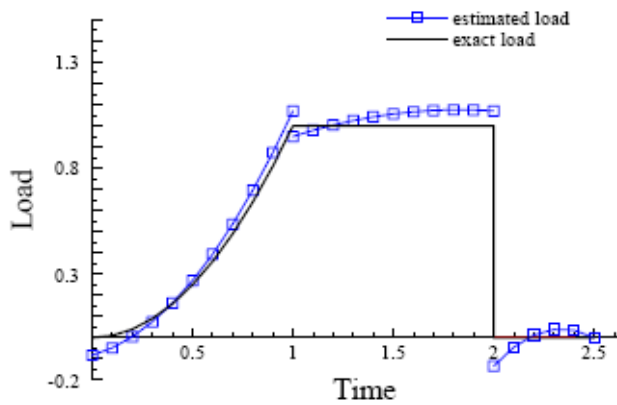


圖 4 估測動力負載與真實動力負載之比較 ($\sigma=5\%$)

表 1. Fundamental frequency (1) present (2) characteristic orthogonal polynomials, (3) optimized Kantorvitch method (4) Blevin's result

Boundary conditions	α	(1)	(2)	(3)	(4)
SSSS	0.0	19.73	19.74	19.74	19.74
	0.2	21.68	21.69	21.67	21.69
	0.4	23.60	23.61	23.55	23.61
CSCS	0.0	28.94	28.95	28.95	28.95
	0.2	31.78	31.79	31.77	31.80
	0.4	34.51	34.52	34.47	34.53

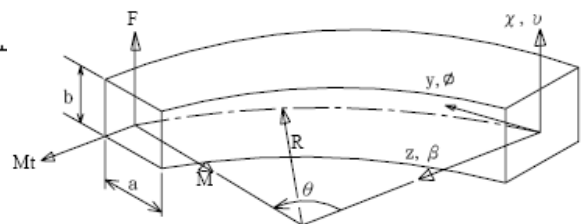


圖 6 曲樑系統圖

表 2 兩端固定曲樑之自然頻率

$$\Omega = \omega \sqrt{\gamma AR^4 / EIg} \quad (\theta = 180^\circ)$$

mode	Euler beam			Timoshenko beam		
	Rao	Wu	Present	Rao	Wu	Present
1	1.839	1.837	1.837	1.647	1.654	1.657
2	5.305	5.310	5.309	4.176	4.177	4.170
3	11.108	11.118	11.115	7.701	7.699	7.720
4	19.006	19.022	19.017	11.676	11.686	11.686

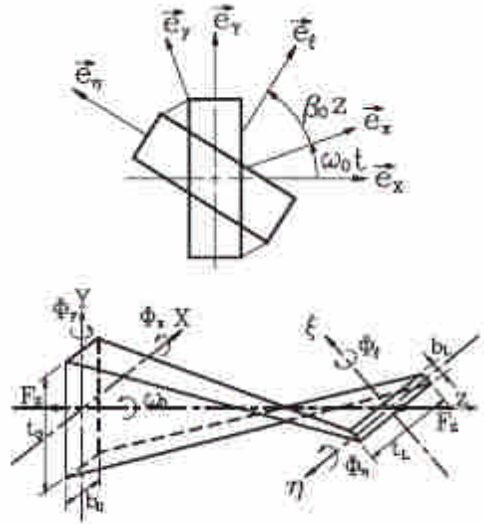


圖 9 自旋、預扭、承受軸向力、非均勻 Timoshenko 樑

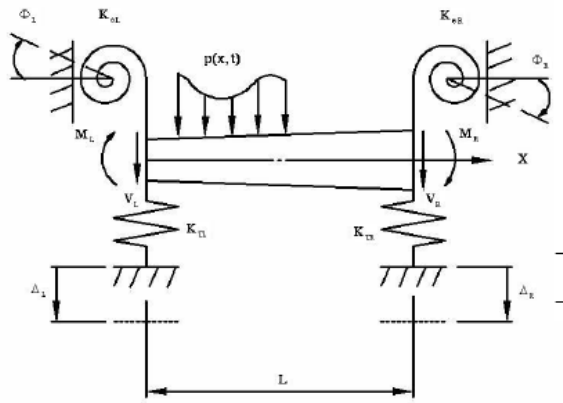


圖 7 時變邊界條件下的非均勻樑系統

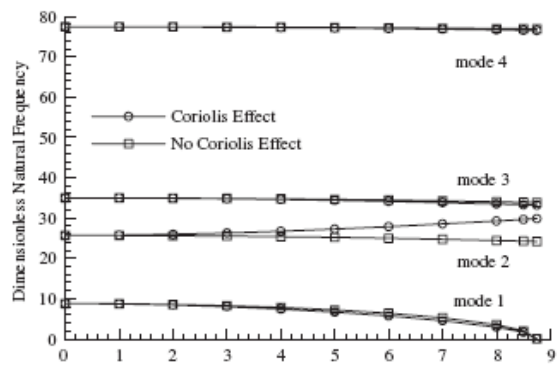


圖 10 無因次自然頻率 $\omega(\rho A_0 L^4 / EI_{\eta 0})^{1/2}$ 與無因次自旋速率 $\omega_0(\rho A_0 L^4 / EI_{\eta 0})^{1/2}$ ($\gamma_b = \gamma_t = 0.2$)

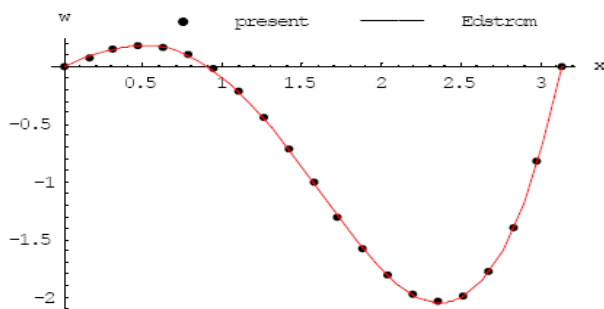


圖 8 樑振動變形量 ($t=1.0$)



圖 11 懸臂樑自然頻率及模態測定系統



圖 12 簡支板自然頻率及模態測定系統

表5大學部二技部(1班20人)統計表

題號	A(%)	B(%)	C(%)
1	15	65	20
2	60	40	0
3	65	30	5
4	50	45	5
5	60	35	5
6	65	60	0
7	70	30	0
8	55	30	15
9	45	45	10
10	60	40	0

表3 問卷調查表

使用微分轉換求解三大工程問題問卷調查 班級: ___表6 進修部(2班57人)統計表

1. () 比起 Laplace 及 Fourier 轉換，微分轉換法理論容易學習嗎?
(A)相當 (B)普通 (C)難
2. () 您覺得微分轉換手算例對您學習求解初始值問題有幫助嗎?
(A)相當 (B)普通 (C)無
3. () 您覺得微分轉換教學程式對您學習求解初始值問題有幫助嗎?
(A)相當 (B)普通 (C)無
4. () 您覺得微分轉換手算例對您學習求解邊界值問題有幫助嗎?
(A)相當 (B)普通 (C)無
5. () 您覺得微分轉換教學程式對您學習求解邊界值問題有幫助嗎?
(A)相當 (B)普通 (C)無
6. () 您覺得微分轉換手算例對您學習求解特徵值問題有幫助嗎?
(A)相當 (B)普通 (C)無
7. () 您覺得微分轉換教學程式對您學習求解特徵值問題有幫助嗎?
(A)相當 (B)普通 (C)無
8. () 以微分轉換與傳統方法求解三大工程問題您比較喜歡哪一種?
(A)微分轉換 (B)傳統方法 (C)兩者
9. () 符號運算容易學習嗎?
(A)相當 (B)普通 (C)難
10. () 微分轉換對您課業學習(大學生)，論文研究(研究生)有幫助嗎?
(A)相當 (B)普通 (C)無

題號	A(%)	B(%)	C(%)
1	27	35	26
2	38	56	8
3	36	52	8
4	34	54	9
5	39	45	11
6	45	40	14
7	29	61	7
8	26	31	19
9	19	46	20
10	46	40	11

表4 大學部四技部(3班106人)統計表

題號	A(%)	B(%)	C(%)
1	6	57	25
2	22	64	13
3	20	67	11
4	18	65	16
5	23	59	15
6	21	66	10
7	25	62	11
8	32	38	23
9	17	49	19
10	34	56	6

表7 研究所產碩班(2班14人)統計表

題號	A(%)	B(%)	C(%)
1	50	50	0
2	57	43	0
3	79	21	0
4	71	29	0
5	71	21	7
6	71	21	7
7	57	43	0
8	36	14	50
9	57	36	7
10	64	29	7