

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, การวิเคราะห์โครงสร้าง, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2536
- ขจรศักดิ์ มโนทรัพย์ศักดิ์, การวิเคราะห์อิลาสติกอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยคำนึงถึงผลของการแตกร้าว, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539

ภาษาอังกฤษ

- ACI Committe 318, Building Code Requirement for Reinforced Concrete and (ACI 318-89) (Revised 1992) and Commentary-ACI 318R-89 (Revised 1992), American Concrete Institute Detroit, 1989
- Baker, A.L.L., and Amarakorn, A.M.N. Inelastic Hyperstatic Frames Analysis, Proceeding of the International Symposium on the Flexural Mechanics of Reinforced Concrete, ASCE-ACI Miami (Nov.1964): pp.85-142
- Bathe, K.J., and Wilson, E.L. Numerical Method in Finite Element Analysis, New Jersey Prentice-Hall, 1976
- Beautait, F., and R.Williams, R. Experimental Study of Reinforced Concrete Frames subjected to Alternating Sway Forces, ACI Journal, Vol.65, 1968, pp.980-984
- Bertero, V.V., and McClure, G. Behavior of Reinforced Concrete Frames subjected to Repeated Reversible Loads, ACI Journal (Oct.1964) : pp.1305-1329
- Carol, I., and Murcia, J. Nonlinear Time-dependent Analysis of Planar Frames Using an Exact Fomulation-I Theory, Journal of Computer & Structure Vol.33, No.1 1989, pp.79-87
- Nonlinear Time-dependent Analysis of Planar Frames Using an Exact Fomulation-II Computer Implementation for R.C. Structures and Examples, Journal of Computer & Structure, Vol.33, No.1 1989, pp.89-102
- Chajes, A., and Churchill, E.J. Nonlinear Frames Analysis by Finite Element Method, Journal of Structural Engineering ASCE, Vol.113 (Jun.1987), pp.1221-1235

- Chen, W.F., and Lui, E.M. Stability Design of Steel Frames. Florida : CRC Press, 1991
- Corradi, L., Donato, O.D., and Maier, G. Inelastic Analysis of Reinforced Concrete Frames, Journal of the Structural Division. vol.100, No.ST9, (Sep.1974) : pp.1925-1942
- Darvall, P.L., and Mendis, P.A. Elastic-Plastic-Softening Analysis of Plane Frames, Journal of Structural Engineering ASCE, Vol.111, No.4 (Apr.1985) : pp.871-888
- El-Metwally, S.E., and Chen, W.F. Nonlinear Behavior of R/C Frames, Journal of Computer & Structure. Vol.32, No.6 1989 : pp.1203-1209
- Ernst, G.C., Smith, G.M., Riveland, A.R., and Pierce, D.N. Basic Reinforced Concrete Frames Performance Under Vertical and Lateral Loads, ACI Journal. (Apr.1973) : pp.261-269
- Kim, J.K., and Lee, T.G. Failure Behavior of Reinforced Concrete Frames by the Combined Layered and Nonlayered Method, Journal of Computer & Structure. Vol.48, No.6 1991 : pp.819-825
- Park, R., and Paulay, T. Reinforced Concrete Structures. University of Canterbury, Christchurch : John Wiley & Sons 1974
- Pulmano, V.A., and Shin, Y.S. Simplified Finite-Element Analysis of Deflection of Reinforced Concrete Beams, ACI Structural Journal (Jul.-Aug.1987) : pp.342-348
- Nilson, H., and Winter, G. Design of Concrete Structures. Cornell University : McGraw-Hill 1991
- Norris, C., Wilbur, J., and Utku, S. Elementary Structural Analysis, Duke University : McGraw-Hill 1991
- Rasheed, H.A.S., and Dinno, K.S. An Improved Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Frames, Journal of Computer & Structure. Vol.53, No.3 1994, pp.625-636
- Seniwongse, M. The Deformation of Reinforced Concrete Beams and Frames Up to Failure, The Structural Engineer, Vol.57, No.4 (Dec.1979) : pp.77-81
- Sirisreetreerux, T. Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Frames, M.Eng. Thesis of Asian Institute of Technology, 1978
- Wen, R.K., and Rahimzadeh, J. Nonlinear Elastic Frame Analysis by Finite Element, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol,109, No.8 (Aug.1983) : pp.1952-1971
- Zienkiewicz, O.C., and Taylor, R.L. The Finite Element Method, 4th. edition, Vol.1, London : McGraw-Hill 1991

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

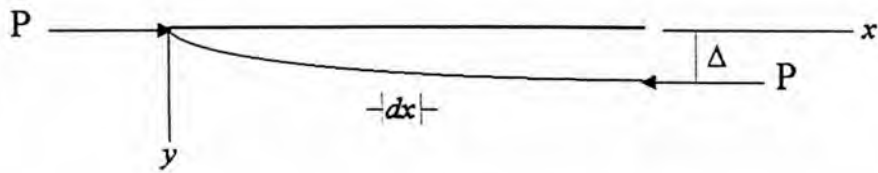
ความสัมพันธ์ของความเครียด-การเปลี่ยนตำแหน่ง

จากสมการ(2.6)

$$\epsilon = \frac{du}{dx} + \frac{1}{2}\left(\frac{du}{dx}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{dv}{dx}\right)^2 - y \frac{d^2v}{dx^2} \tag{2.6}$$

โดยที่ u และ v คือ การเปลี่ยนตำแหน่งในแนวแกนและแนวตั้งฉากกับแกนขององค์อาคารตามลำดับ

การหาสถิติเฟนส์ที่รวมผลความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต พิจารณาองค์อาคารเมื่อรับแรงในแนวแกน ดังแสดงในรูปที่ ก.1

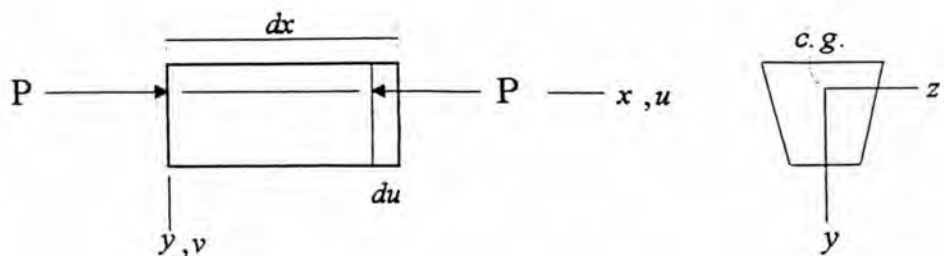


รูปที่ ก.1 องค์อาคารเมื่อรับแรงในแนวแกน

ความสัมพันธ์ของความเครียด-การเปลี่ยนตำแหน่ง สามารถแจกแจงได้ดังนี้

1. ความเครียดเนื่องจากแรงในแนวแกน (ϵ_a) แสดงในรูปที่ ก.2

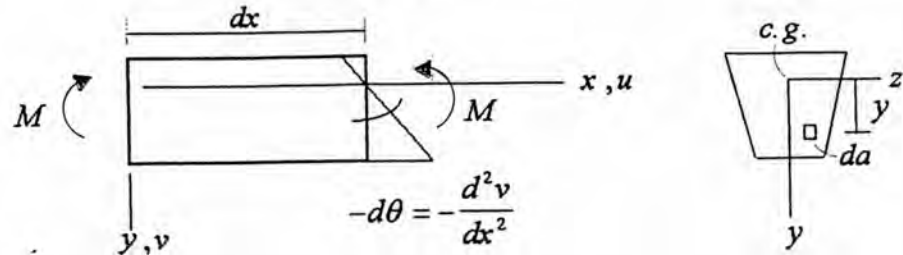
$$\epsilon_a = \frac{du}{dx} \tag{ก.1}$$



รูปที่ ก.2 ชิ้นส่วนย่อยขององค์อาคารเมื่อรับแรงในแนวแกน

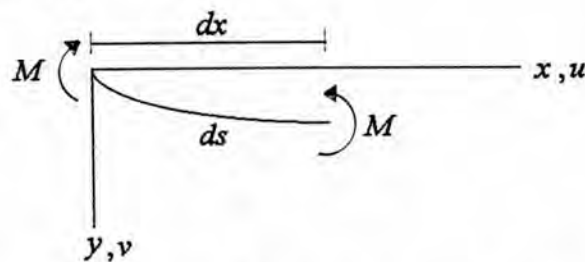
2. ความเครียดเนื่องจากการดัด(ϵ_b) แสดงในรูปที่ ก.3

$$\epsilon_b = -y \frac{d^2v}{dx^2} \quad (\text{ก.2})$$



รูปที่ ก.3 ชิ้นส่วนย่อยขององค์อาคารเมื่อรับแรงดัด

3. ความเครียดเนื่องจากการเปลี่ยนรูปเมื่อเกิดการดัด (ϵ_{μ} , longitudinal deformation due to bending) แสดงในรูปที่ ก.4



รูปที่ ก.4 การเปลี่ยนรูปของชิ้นส่วนย่อยขององค์อาคารเมื่อเกิดการดัด

จาก Pythagorean theorem ความยาวที่เปลี่ยนรูปของชิ้นส่วนย่อยขององค์อาคาร(ds) คือ

$$ds = [dx^2 + du^2 + dv^2]^{1/2} \quad (\text{ก.3})$$

$$ds = dx \left[1 + \left(\frac{du}{dx} \right)^2 + \left(\frac{dv}{dx} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{ก.4})$$

เมื่อพจน์ $(1 + \eta)^{1/2}$ สามารถแทนด้วย $\left(1 + \frac{1}{2}\eta\right)$ โดย $\eta \ll 1$ เขียนสมการ(ก.4) ใหม่

$$ds = dx \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{du}{dx} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{dv}{dx} \right)^2 \right] \quad (\text{ก.5})$$

ความเครียดเนื่องจากการเปลี่ยนรูปเมื่อเกิดการดัด เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\epsilon_{\mu} = \frac{ds - dx}{dx} = \frac{1}{2} \left(\frac{du}{dx} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{dv}{dx} \right)^2 \quad (\text{ก.6})$$

เมื่อรวมความเครียดจากสมการ(ก.1),(ก.2)และ(ก.6)ได้ความสัมพันธ์ดังสมการ(2.6)

ภาคผนวก ข.

การหาสตีเฟนสเชิงเส้นดัดแปลงและไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต

จากสมการที่ (2.28)

$$\{k_m\} = \int_0^L \left\{ \frac{dN_u}{dx} \right\}^T EA_c \left\{ \frac{dN_u}{dx} \right\} dx + \int_0^L \left\{ \frac{d^2N_v}{dx^2} \right\}^T EI_c \left\{ \frac{d^2N_v}{dx^2} \right\} dx \quad (2.28)$$

$$\{k_m\} = \{k_a\} + \{k_b\} \quad (ข.1)$$

$$\text{เมื่อ } \left\{ \frac{dN_u}{dx} \right\}^T = \left\{ \frac{dN_u}{dx} \right\} = \begin{bmatrix} -1/L & 1/L \end{bmatrix} \quad (ข.2)$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \{k_a\} &= \int_0^L EA_c \begin{bmatrix} -1/L \\ 1/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1/L & 1/L \end{bmatrix} dx \\ \{k_a\} &= \int_0^L \frac{EA_c}{L^2} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} dx \\ \{k_a\} &= \frac{E\bar{A}}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (ข.3)$$

$$\text{เมื่อ } \bar{A} = \frac{1}{6} [A_A + 4A_M + A_B]$$

สตีเฟนสมมาตริกซีในสมการ (ข.3) สัมพันธ์กับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลาย $\{r\} = [d_1 \ d_4]^T$

$$\text{และ } \left\{ \frac{d^2N_v}{dx^2} \right\}^T = \left\{ \frac{d^2N_v}{dx^2} \right\} = \begin{bmatrix} (-6/L^2 + 12x/L^3) & (-4/L + 6x/L^2) & (6/L^2 - 12x/L^3) & (-2/L + 6x/L^2) \end{bmatrix} \quad (ข.4)$$

แทนค่าได้

$$\{k_b\} = \int_0^L EI_c \begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_3 & -\alpha_1 & -\alpha_5 \\ & \alpha_2 & -\alpha_3 & \alpha_6 \\ & & \alpha_1 & \alpha_5 \\ \text{SYM.} & & & \alpha_4 \end{bmatrix} dx \quad (ข.5)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \frac{36}{L^4} - \frac{144x}{L^5} + \frac{144x^2}{L^6} \\ \alpha_2 &= \frac{16}{L^2} - \frac{48x}{L^3} + \frac{36x^2}{L^4} \\ \alpha_3 &= \frac{24}{L^3} - \frac{84x}{L^4} + \frac{72x^2}{L^5} \\ \alpha_4 &= \frac{4}{L^2} - \frac{24x}{L^3} + \frac{36x^2}{L^4} \\ \alpha_5 &= -\frac{12}{L^3} + \frac{60x}{L^4} - \frac{72x^2}{L^5} \\ \alpha_6 &= \frac{8}{L^2} - \frac{36x}{L^3} + \frac{36x^2}{L^4}\end{aligned}$$

อินทิเกรตสมการ(ข.5) จะได้

$$\begin{aligned}\{k_b\} &= \bar{I}_1 \begin{bmatrix} 12/L^3 & 6/L^2 & -12/L^3 & 6/L^2 \\ & 4/L & -6/L^2 & 2/L \\ & & 12/L^3 & -6/L^2 \\ SYM. & & & 4/L \end{bmatrix} + \bar{I}_2 \begin{bmatrix} 6/L^2 & 2/L & -6/L^2 & 4/L \\ & 1 & -2/L & 1 \\ & & 6/L^2 & -4/L \\ SYM. & & & 3 \end{bmatrix} \\ &+ \bar{I}_3 \begin{bmatrix} 24/5L & 7/5 & -24/5L & 17/5 \\ & 8L/15 & -7/5 & 13L/15 \\ & & 24/5L & -17/5 \\ SYM. & & & 38L/15 \end{bmatrix}\end{aligned}$$

(ข.6)

โดยที่

$$\begin{aligned}\bar{I}_1 &= EI_A \\ \bar{I}_2 &= \frac{E}{L}(-3I_A + 4I_M - I_B) \\ \bar{I}_3 &= \frac{E}{L^2}(2I_A - 4I_M + 2I_B)\end{aligned}$$

สติฟเนสเมตริกซ์ในสมการ (ข.6) สัมพันธ์กับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลาย $\{r\} = [d_2 \ d_3 \ d_5 \ d_6]^T$

จากสมการ(2.32)

$$\{k_g\} = \int_0^L \left\{ \frac{dN_v}{dx} \right\}^T P \left\{ \frac{dN_v}{dx} \right\} dx \quad (2.32)$$

เมื่อ

$$\left\{ \frac{dN_v}{dx} \right\}^T = \left\{ \frac{dN_v}{dx} \right\} = \left[\left(\frac{-6x}{L^2} + \frac{6x^2}{L^3} \right) \quad \left(1 - \frac{4x}{L} + \frac{3x^2}{L^2} \right) \quad \left(\frac{6x}{L^2} - \frac{6x^2}{L^3} \right) \quad \left(\frac{-2x}{L} + \frac{3x^2}{L^2} \right) \right] \quad (2.7)$$

แทนค่าได้

$$\{k_g\} = \int_0^L P \begin{bmatrix} \gamma_1 & \gamma_3 & -\gamma_1 & -\gamma_5 \\ & \gamma_2 & -\gamma_3 & \gamma_6 \\ & & \gamma_1 & \gamma_5 \\ SYM. & & & \gamma_4 \end{bmatrix} dx \quad (2.8)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \frac{36x^2}{L^4} - \frac{72x^3}{L^5} + \frac{36x^4}{L^6} \\ \gamma_2 &= 1 - \frac{8x}{L} + \frac{22x^2}{L^2} - \frac{24x^3}{L^3} + \frac{9x^4}{L^4} \\ \gamma_3 &= \frac{-6x}{L^2} + \frac{30x^2}{L^3} - \frac{42x^3}{L^4} + \frac{18x^4}{L^5} \\ \gamma_4 &= \frac{4x^2}{L^2} - \frac{12x^3}{L^3} + \frac{9x^4}{L^4} \\ \gamma_5 &= \frac{-12x^2}{L^3} + \frac{30x^3}{L^4} - \frac{18x^4}{L^5} \\ \gamma_6 &= \frac{-2x}{L} + \frac{11x^2}{L^2} - \frac{18x^3}{L^3} + \frac{9x^4}{L^4} \end{aligned}$$

อินทิเกรตสมการ(2.8) จะได้

$$\{k_g\} = \frac{P}{30L} \begin{bmatrix} 36 & 3L & -36 & 3L \\ & 4L^2 & -3L & -L^2 \\ & & 36 & -3L \\ SYM & & & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

สติเฟเนสมมาตริกซีในสมการ (2.9) สัมพันธ์กับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลาย $\{r\} = [d_2 \ d_3 \ d_5 \ d_6]^T$

ภาคผนวก ค.

ตัวอย่าง Input และ Output

:- Project Name : ex1
:- Coordinate Input Data

:- No of Node = 5

Node No:	X-Coor	Y-Coor	X-Bou	Y-Bou	Z-Bou
1	0.000	0.000	Fix	Fix	Fix
2	0.000	102.000			
3	51.000	102.000			
4	102.000	102.000			
5	102.000	0.000	Fix	Fix	Fix

:- Project Name : ex1
:- Element Connectivity Input Data

:- No of Element = 4

EleNo	Node1	Node2	Rigid 1	Rigid 2	Mat.No1	Mat.No2	Mat.No3
1	1	2	0.000	0.000	1	1	1
2	2	3	0.000	0.000	1	1	1
3	3	4	0.000	0.000	1	1	1
4	4	5	0.000	0.000	1	1	1

:- Project Name : ex1
:- Material Property Input Data

:- No of Material = 1

Mat.No:	Ec	Es	fc'	fs	b	h	Sect.No
1	2.0286e+05	2.0600e+06	290.50	3372.60	7.30	10.20	1

:- No of Section = 1

:- Sect.No. = 1 :- Layers of Steel = 2

Layer No	Area of steel	Distance from top face
1	0.633	1.800
2	0.633	8.400

:- Project Name : ex1
:- External Point Load Data

Node No:	X-Load	Y-Load	Moment	Type_X	Type_Y	Type_Z
2	800.000	0.000	0.000	Incre		
3	0.000	-800.000	0.000		Incre	

Project Name : EX1

Load Factor = 0.685

Hinge No = 1 \ Ele No 4 : Near

Ele No	Axial	Shear	Moment	Axial	Shear	Moment
1	1.116	245.171	17039.481	-1.116	-245.171	8740.553
2	302.828	1.116	-8740.553	-302.828	-1.116	9959.978
3	302.828	-546.883	-9959.978	-302.828	546.883	-19038.795
4	546.883	302.828	19038.795	-546.883	-302.828	20421.999

Load Factor = 0.690

Hinge No = 2 \ Ele No 1 : Near \ Ele No 4 : Both

Ele No	Axial	Shear	Moment	Axial	Shear	Moment
1	1.171	248.855	17313.350	-1.171	-248.855	8842.449
2	303.147	2.510	-8842.449	-303.147	-2.510	10133.651
3	302.457	-550.275	-10133.651	-302.457	550.275	-19038.795
4	548.759	305.199	19038.795	-548.759	-305.199	20669.029

Load Factor = 0.790

Hinge No = 3 \ Ele No 1 : Both \ Ele No 4 : Both

Ele No	Axial	Shear	Moment	Axial	Shear	Moment
1	-49.600	342.206	17313.350	49.600	-342.206	18061.293
2	289.671	-47.883	-18061.293	-289.671	47.883	16811.514
3	288.718	-680.659	-16811.513	-288.718	680.659	-19038.795
4	679.171	292.203	19038.795	-679.171	-292.203	20669.029

Project Name : EX1

Load Factor = 0.790

Node No	X-Disp	Y-Disp	Rotation
1	0.000000	0.000000	0.000000
2	1.299482	-0.003112	-0.009811
3	1.297829	-0.185922	0.002399
4	1.296730	-0.008444	0.001764
5	0.000000	0.000000	0.000000

ประวัติผู้เขียน

นาย อรรถพร หาญวานิช เกิดเมื่อวันที่ 29 มิถุนายน 2510 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2533 เข้าศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2537