

## รายการอ้างอิง

- สุวรรณ เทียวชาญศิลป์. 2531. การส่งถ่ายน้ำหนักสถิตย์ และการคาดคะเนความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Aristonous, M. T., Jaacob, B., and Paul, C. 1991. Three-dimensional nonlinear study of piles. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.117, No.3, March,1991: 429-447.
- Balaam, N. P., Poulos, H. G., and Booker, J. R. 1975. Finite element analysis of the effect of installation on pile load-settlement behavior. Geotechnical engineering, Vol. 6, No. 1: 33-48.
- Balaam, N. P., Booker, J. R., and Poulos, H. G. 1976. Analysis of granular pile behavior using finite elements. University of Sidney Civil Engineering Res. Rep. R290, Australia.
- Bathe, N. J. 1996. Finite element procedures. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hill.
- Bogard, D., and Matlock, H. 1983. Procedure for analysis of lateral loaded pile groups in soft clay. Geotechnical practice in offshore engineering, S. G. Wright, ed., ASCE, 100(6), New York, N. Y.: 499-535.
- Brown, D. A., Morison, C. and, Reese, L. C. 1988. Lateral load behavior of pile group in sand. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.114, NO.11: 1261-1276.
- Butterfield, R., and Banerjee, P. K. 1971. The elastic analysis of compressible piles and pile groups. Geotechnique, Vol. 21, No. 1: 43-60.
- Chancy, P., and Randolph, M. F. 1993. An approximate analysis procedure for pile raft foundation. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics 17, No.12: 849-869.
- Chen, W. F., and Mizuno, E. 1990. Nonlinear analysis in soil mechanics. The Netherlands, Elsevier Science Publisher B.V.,
- Coyle, H. M., and Reese, L. C. 1966. Load transfer for axially loaded piles in clay. Journal of The Soil Mechanics And Foundation Division, ASCE, Vol. 92, SM2: 1-26.
- Christophe, G., and Jean-François, R. 2003. Gmsh: A three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities [online]. Available from: <http://www.geuz.org/gmsh/> [2003, September 7]
- D'Appolonia, E., and Romualdi, J. P. 1963. Load transfer in end-bearing steel H-piles. Journal of The Soil Mechanics And Foundation Division, ASCE, Vol. 89, SM2: 1-25.
- Desai, C. S. 1974. Numerical design-analysis for piles in sands. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.100, No. GT6: 613-635.

- Desai, C. S., and Zaman, M. M. 1984. Thin-layer element for interfaces and joints. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol. 8: 19-43.
- Ellison R. D., D'Appolonia, E., and Thieas, G.R. 1971. Load-deformation mechanism for bored piles. Journal of The Soil Mechanics And Foundation Division, ASCE, Vol. 97, No. SM4: 661-678.
- Esu, F., and Ottaviani, M. 1975. Discussion to paper by C. S. Desai. Proc. Geot. Eng. Divn., ASCE, Vol. 101, No. GT7: 693-695.
- Goodman, R. E., Taylor, R. L., and Brekke, T. L. 1968. A model for the mechanics of jointed rock. Journal of The Soil Mechanics And Foundation Division, ASCE, Vol. 94, No. SM3, May, 1968: 637-659.
- Joe, B. 2003. Barry Joe's Geopack and Mesh Generation Research. [online]. Available from: <http://members.allstream.net/~bjoe/> [2003, September 7]
- Lee, I. K. 1973. Finite element techniques – A short course of fundamentals and application. Univ. of N. S. W., Australia
- Liyanapathirana, D. S., Deeks, A. J., and Randolph, M. F. 2000. Application of stress smoothing methods to a finite element pile driving analysis. Engineering Computations, Vol.17, No.3: 218-233.
- Mindlin, R. D. 1936. Force at a point in the interior of a semi-infinite solid. Physics 7: 195.
- Muqtadir, A., and Desai, C. S. 1986. Three-dimensional analysis of a pile group foundation. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 10(1) : 41-58.
- Nogami, T., and Paulson, S. K. 1985. Transfer matrix approach for nonlinear pile group response analysis. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics 21, 9(4) : 299-316.
- O'Neill, M. W., Ghazzaly, O. I., and Ha, H. B. 1977. Analysis of three-dimensional pile groups with non-linear soil response and pile-soil-pile interactio. Proc. 9<sup>th</sup> Offshore Tech. Conf., ASCE et. al.: 245-256.
- Poulos, H. G., and Davis, E. H. 1968. The settlement behaviour of single axially-loaded incompressible piles and piers. Geotechnique, Vol. 18: 351-371.
- Poulos, H. G., and Davis, E. H. 1974. Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics. New York: Wiley.
- Poulos, H. G., and Davis, E. H. 1980. Pile foundation analysis and design. Canada: John Wiley & Sons.
- Pressley, J. S., and Poulos H. G. 1986. Technical notes on practical applications: Finite element analysis of mechanisms of pile group behavior. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 10: 213-221.
- Randolph, M. F., and Wroth, C. P. 1978. Analysis of deformation of vertically loaded piles. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.104, No. GT12: 1465-1448.

- Shen, W. Y., Chow, Y. K., and Yong, K. Y. 1997. A variational approach for vertical deformation analysis of pile group. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics 21, No.11: 741-752.
- Smith, I. M., and Griffiths, D. V. 1998. Programming the finite element method. 3rd edit. England: John Wiley & Sons.
- Terzaghi, K. 1943. Theoretical soil mechanics. New York: Wiley.
- Trochanis, A. M., Bielak, J., and Christiano, P. 1991. Three-dimensional nonlinear study of piles. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 117, No. 3, March, 1991: 429-447.
- Valliappan, S., Lee, I. K., and Boonlualohr, P. 1974. Settlement of piles in layered soils. Proc. 7<sup>th</sup> Biennial Conf. Aust. Rd. Res. Bd. Adelaide, Vol. 7, pt. 7: 144-153.
- Xu, K. J., and Poulos, H. G. 2000. General elastic analysis of piles and pile groups. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics 24, No.15: 1109-1138.
- Zienkiewicz, O. C., and Zhu, J. Z. 1992. The superconvergent patch recovery and a posteriori error estimates. Part 1: the recovery technique. International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol.33: 1331-1364.

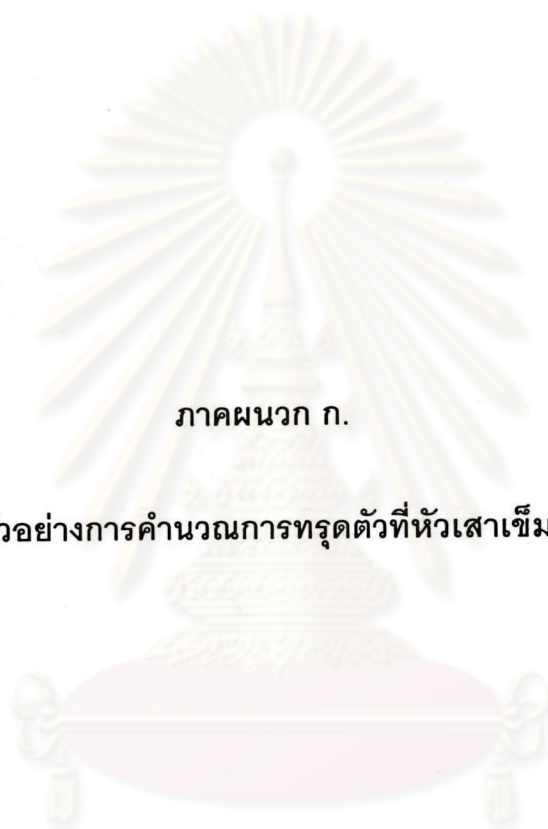


ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

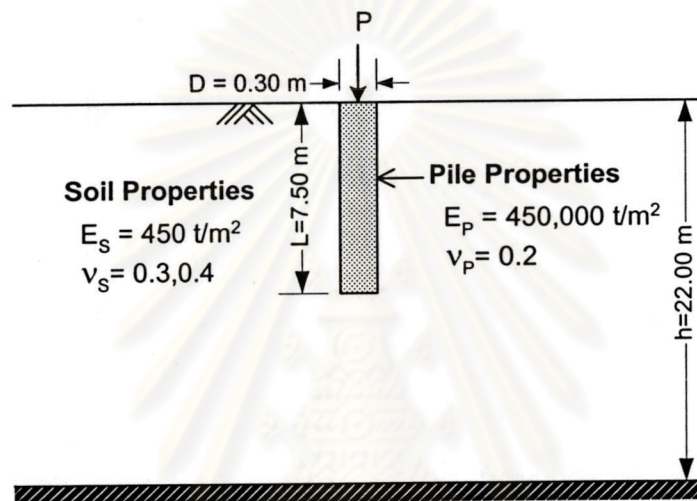
ตัวอย่างการคำนวณการทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างที่ ก.1 การคำนวณการทรุดตัวของเสาเข็มต้นเดียวชนิดเสาเข็มลอย(Single Floating Pile)

ในส่วนนี้ แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าการทรุดตัวที่หัวเข็มของเสาเข็มต้นเดียว ชนิดเสาเข็มลอย โดยใช้ผลเฉลยของวิธีอีลาสติก (Elastic Solution) เสนอโดย Poulos และ Davis (1980) จากตัวอย่างปัญหาที่เสนอในหัวข้อที่ 5.1.6.1(1) โดยกราฟที่ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นแสดงดังรูปที่ ก.1 ถึง ก.4

ปัญหา



เมื่อกำหนดให้แรงกระทำที่หัวเสาเข็ม  $P$  เป็นแรงกระทำสม่ำเสมอขนาด  $100 \text{ t/m}^2$  โดยค่าสัดส่วนต่าง ๆ ที่จำเป็นในการหาค่าพารามิเตอร์จากกราฟ สรุปได้ดังนี้

- $L/d = 7.5/0.3 = 25$
- $L/h = 7.5/22 = 0.34$
- $k = \frac{E_p R_A}{E_s} = \frac{(450000 \times 1.0)}{450} = 1000$
- $d_p/d = 0.3/0.3 = 1.0$

การคำนวณ

จากสมการ การทรุดตัวของเสาเข็ม คือ

$$\rho = \frac{PI}{E_s d} \quad (\text{ก.1})$$

โดยที่  $I = I_0 R_k R_h R_v$

เมื่อ  $I_0 = 0.075$  (จากรูปที่ ก.1)

$R_k = 1.12$  (จากรูปที่ ก.2)

$R_h = 0.86$  (จากรูปที่ ก.3)

$R_v = 0.93, 0.97$  ; เมื่อ  $v = 0.3, 0.4$  ตามลำดับ (จากรูปที่ ก.4)

(ก) เมื่อ  $v = 0.3$

$$I = 0.075 \times 1.12 \times 0.86 \times 0.93$$

$$= 0.067$$

จากสมการ (ก.1) จะได้ ;

$$\rho = \frac{[100t / m^2 \times (\pi \times (0.15m)^2)] \times 0.067}{450t / m^2 \times 0.3m}$$

$$= 3.51 \times 10^{-3} \text{ m}$$

(ข) เมื่อ  $v = 0.4$

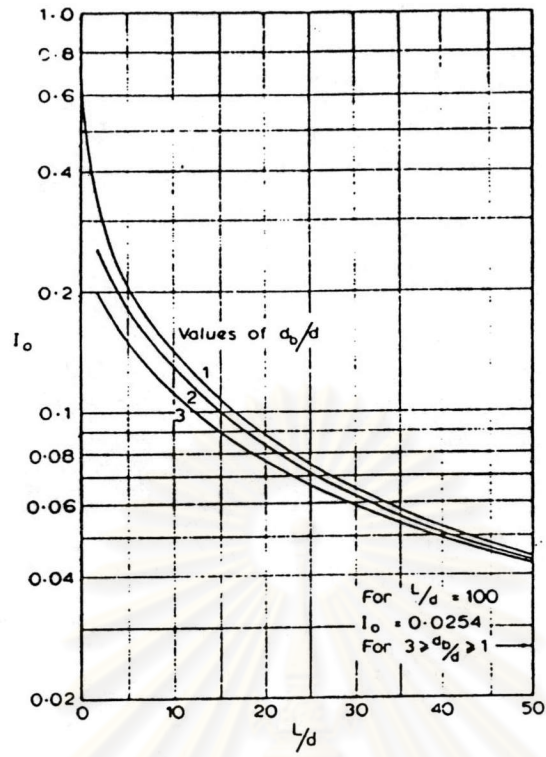
$$I = 0.075 \times 1.12 \times 0.86 \times 0.97$$

$$= 0.070$$

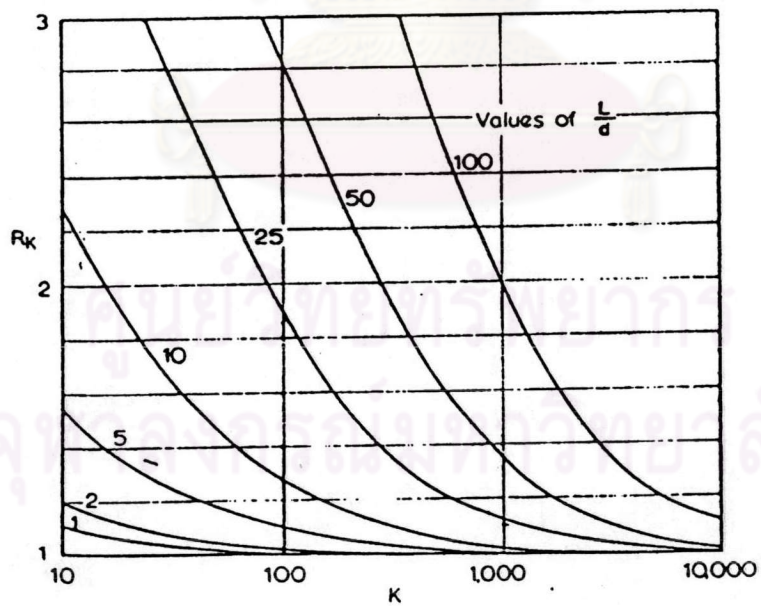
จากสมการ (ก.1) จะได้ ;

$$\rho = \frac{[100t / m^2 \times (\pi \times (0.15m)^2)] \times 0.070}{450t / m^2 \times 0.3m}$$

$$= 3.67 \times 10^{-3} \text{ m}$$

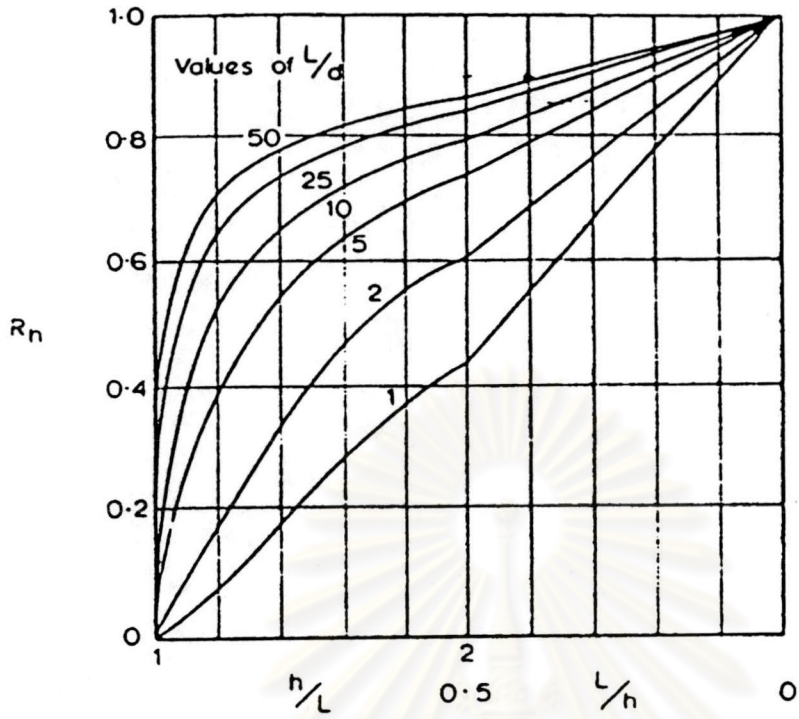


รูปที่ ก.1 ค่าอินฟลูเอนซ์แฟกเตอร์ของการทรุดตัว(Displacement-influence Factor)  $I_0$

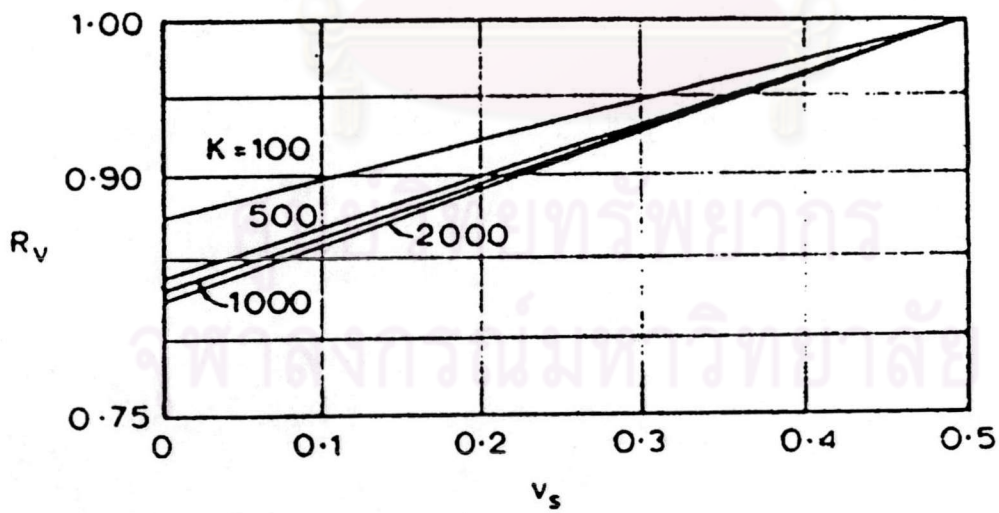


รูปที่ ก.2 ค่าปรับแก้ค่าความอัดตัวของเสาเข็ม(Compressibility correction factor)  $R_k$





รูปที่ ก.3 ค่าปรับแก้ค่าระดับของฐานแข็ง (Depth correction factor)  $R_n$

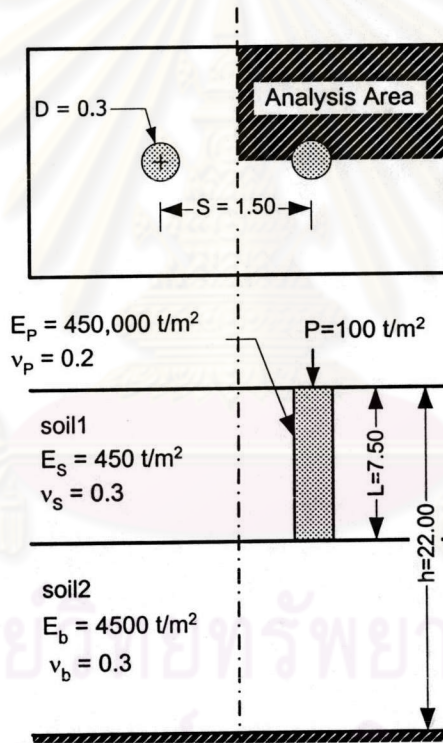


รูปที่ ก.4 ค่าปรับแก้ค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio correction factor)  $R_v$

ตัวอย่างที่ ก.2 การคำนวณการทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่ม 2 ต้น กรณีปลายเสาเข็มอยู่บนชั้นดินที่แข็งกว่า (bearing on stiffer stratum)

ในหัวข้อนี้ แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าการทรุดตัวที่หัวเข็มของเสาเข็มกลุ่ม 2 ต้น ในกรณีที่ปลายเสาเข็มวางอยู่บนชั้นดินที่แข็งกว่า โดยใช้ผลเฉลยของวิธีอีลาสติก (Elastic Solution) ซึ่งเสนอโดย Poulos และ Davis (1980) จากตัวอย่างปัญหาที่เสนอในหัวข้อที่ 5.2.6.1(2) การคำนวณจะเริ่มจากการหาค่าการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว จากนั้นเพิ่มค่าการทรุดตัวที่เพิ่มขึ้นที่เป็นผลมาจากเสาเข็มต้นข้าง ๆ โดยการหาค่าอินเตอร์แอคชันแฟกเตอร์(interaction factor)ของกลุ่มเสาเข็มนั้น สำหรับกราฟที่ใช้ในการหาค่าอินเตอร์แอคชันแฟกเตอร์ และค่าปรับแก้ต่าง ๆ สำหรับกรณีเสาเข็ม 2 ต้น แสดงดังรูปที่ ก.6 ถึง ก.10

### ปัญหา



โดยค่าสัดส่วนต่าง ๆ ที่จำเป็นในการหาค่าพารามิเตอร์จากกราฟ สรุปได้ดังนี้

- $L/d = 7.5/0.3 = 25$
- $L/h = 7.5/22 = 0.34$
- $k = \frac{E_p R_A}{E_s} = (450000 \times 1.0)/450 = 1000$

- $d_b/d = 0.3/0.3 = 1.0$
- $s/d = 1.5/0.3 = 5$
- $E_b/E_s = 4500/450 = 10$

### การคำนวณ

(1) คำนวณการทรุดตัวของเสาเข็มต้นเดียว

จาก 
$$\rho = \frac{PI}{E_s d}$$

โดยที่ 
$$I = I_0 R_K R_H R_V$$

เมื่อ 
$$I_0 = 0.075 \quad (\text{จากรูปที่ ก.1})$$

$$R_K = 1.12 \quad (\text{จากรูปที่ ก.2})$$

$$R_H = 0.86 \quad (\text{จากรูปที่ ก.3})$$

$$R_V = 0.93 \quad (\text{จากรูปที่ ก.4})$$

$$R_b = 0.63 \quad (\text{จากรูปที่ ก.5})$$

จะได้ 
$$I = 0.075 \times 1.12 \times 0.86 \times 0.93 \times 0.63$$
  

$$= 0.0423$$

ดังนั้น จะได้ค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้นเดียว ;

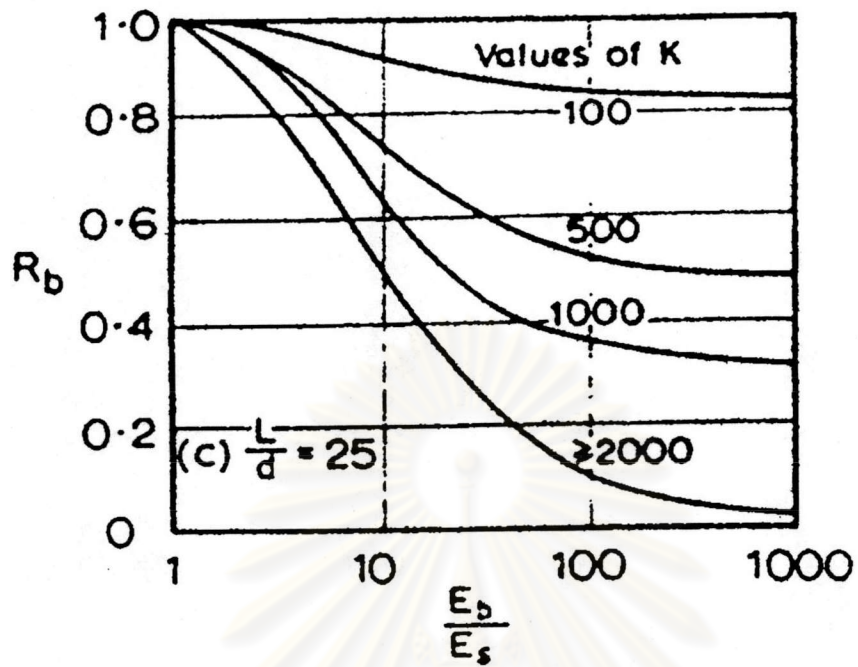
$$\rho = \frac{[100t / m^2 \times (\pi \times (0.15m)^2)] \times 0.0423}{450t / m^2 \times 0.3m}$$

$$= 2.22 \times 10^{-3} \text{ m}$$

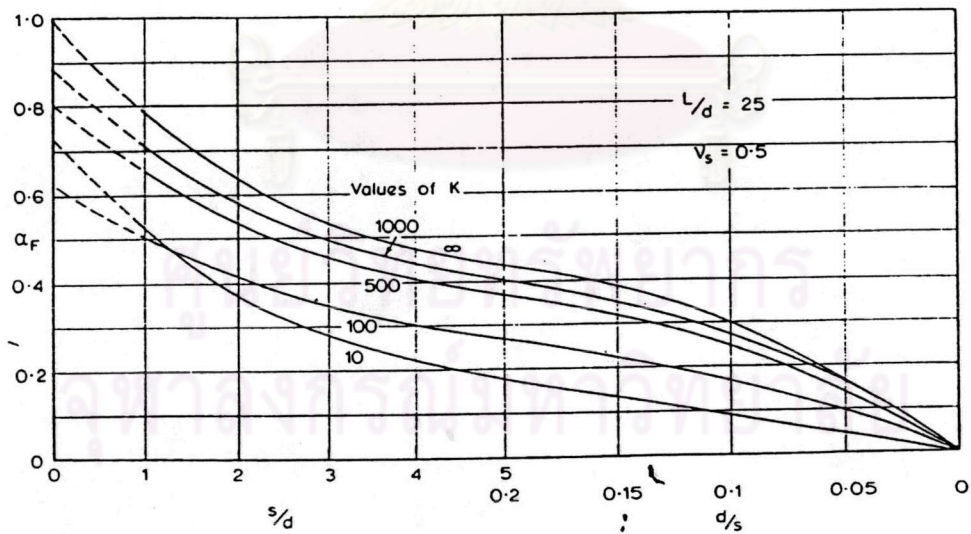
(2) คำนวณการทรุดตัวที่เพิ่มขึ้นจากผลของกลุ่มเสาเข็ม

จากสมการ การทรุดตัวที่เพิ่มขึ้น =  $\alpha \times \rho$  (ก.2)

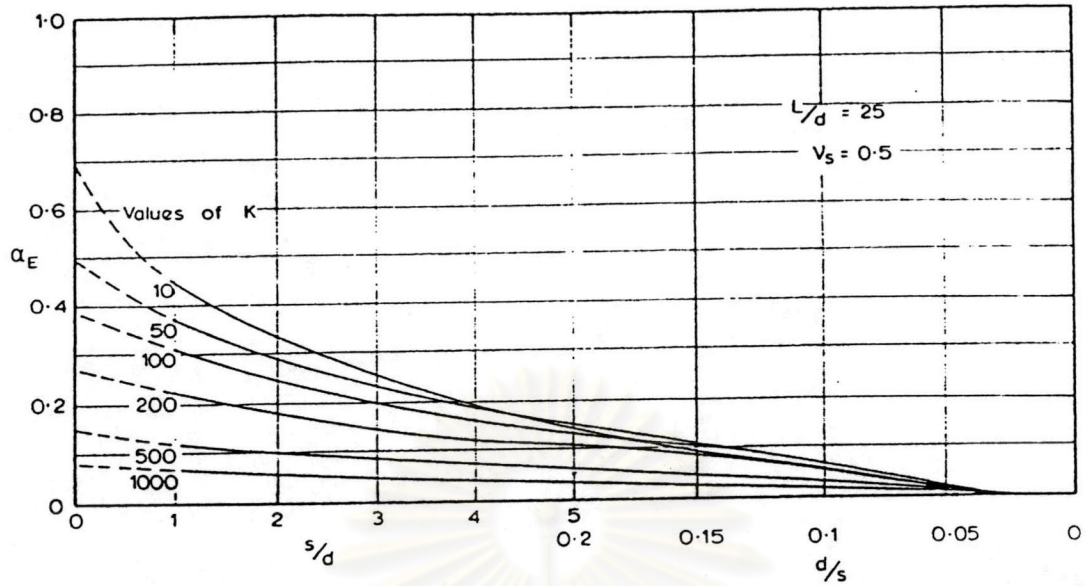
โดยที่  $\alpha$  : อินเตอร์แอคชันแฟกเตอร์(interaction factor)



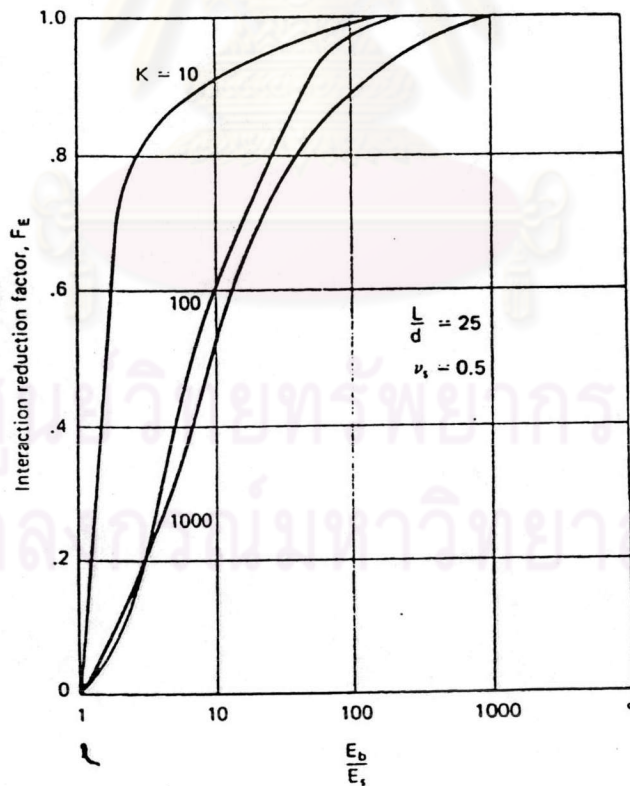
รูปที่ ก.5 ค่าปรับแก้ผลของชั้นดินที่แข็งกว่า (Stiffer stratum correction factor)  $R_b$



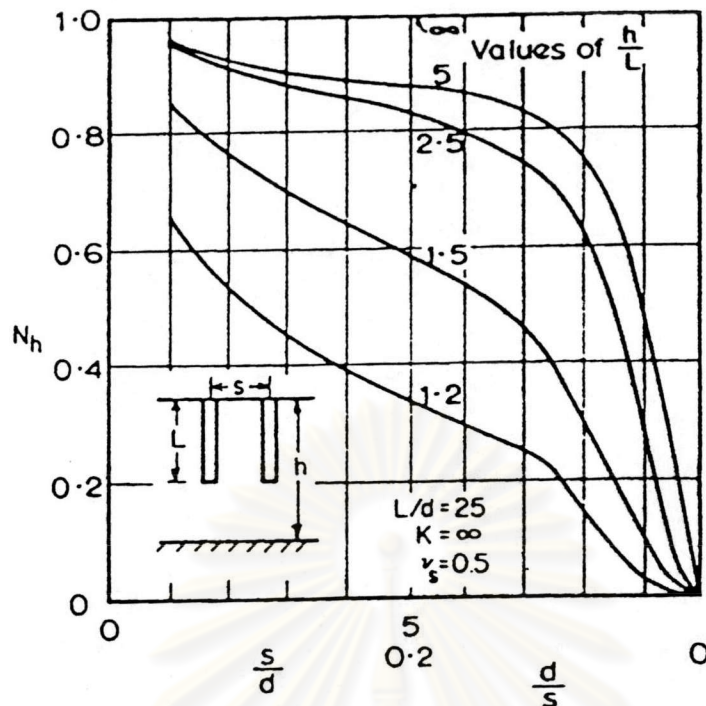
รูปที่ ก.6 อินเตอร์เอกซ์ชันแฟกเตอร์สำหรับเสาเข็ม 2 ต้นชนิดเสาเข็มลอย เมื่อ  $L/d = 25$



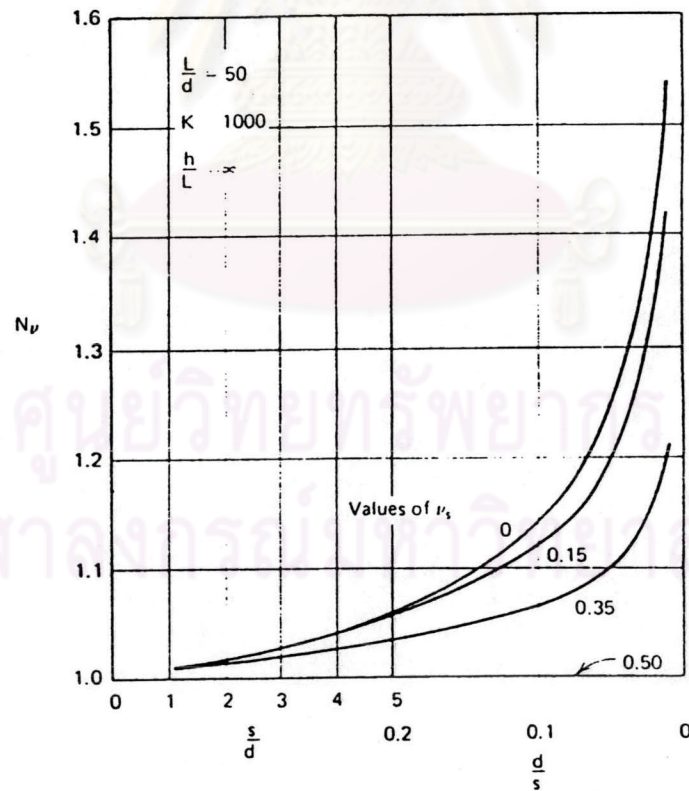
รูปที่ ก.7 อินเตอร์แอคชันแฟกเตอร์สำหรับเสาเข็ม 2 ต้น กรณีปลายเข็มอยู่บนฐานแข็ง เมื่อ  $L/d = 25$



รูปที่ ก.8 แฟกเตอร์ลดค่า ( $F_E$ ) สำหรับออสติกโมดูลัสของชั้นดินชั้นล่าง สำหรับเสาเข็ม 2 ต้น กรณีปลายเข็มอยู่บนชั้นดินที่แข็งกว่า เมื่อ  $L/d = 25$



รูปที่ ก.9 ค่าปรับแก้ผลของระดับความลึกของฐานแข็ง สำหรับอินเตอร์แอกชันแฟกเตอร์ ( $N_h$ ) สำหรับเสาเข็ม 2 ต้นกรณีปลายเข็มอยู่บนชั้นดินที่แข็งกว่าเมื่อ  $L/d = 25$



รูปที่ ก.10 ค่าปรับแก้อัตราส่วนปัวซองส์ (Poisson's ratio) สำหรับอินเตอร์แอกชันแฟกเตอร์ ( $N_v$ ) สำหรับเสาเข็ม 2 ต้นกรณีปลายเข็มอยู่บนฐานแข็ง เมื่อ  $L/d = 25$

การคำนวณค่าอินเตอร์แอคชันแพกเตอร์สำหรับกรณีเสาเข็มอยู่บนชั้นดินที่แข็งกว่า จะประมาณค่าอยู่ระหว่างค่าแพกเตอร์ในกรณีเสาเข็มแบบลอย ( $\alpha_f$ ) และ ในกรณีเสาเข็มอยู่บนฐานแข็ง ( $\alpha_e$ ) ดังสมการ

$$\alpha = \alpha_f - F_E(\alpha_f - \alpha_e) \quad (\text{ก.3})$$

โดยที่  $\alpha_f = 0.405$  (จากรูปที่ ก.6)

$\alpha_e = 0.035$  (จากรูปที่ ก.7)

$F_E = 0.53$  (จากรูปที่ ก.8)

แต่เนื่องจากผลของระดับความลึกของฐานแข็ง จึงต้องปรับแก้ค่า  $\alpha_f$  โดยจากรูปที่ ก.9 จะได้ค่าปรับแก้  $N_h = 0.88$  ค่าปรับแก้ที่ใช้ในกรณีที่ค่า  $k =$  อนันต์ ( $\alpha$ ) ซึ่งจาก Poulos และ Davis (1980) แนะนำให้ลดค่าปรับแก้ลง 8% ในกรณีที่ค่า  $k$  เป็น 1000 ดังนั้นจะได้ค่า  $N_h = 0.88(0.92) = 0.81$  โดยปรับแก้ค่า  $\alpha_f$  ดังนี้

$$\begin{aligned} \alpha_f &= 0.405 \times 0.81 \\ &= 0.328 \end{aligned}$$

ดังนั้น  $\alpha = 0.328 - 0.53(0.328 - 0.035)$   
 $= 0.173$

และเนื่องจากค่า  $\alpha$  ที่ได้เป็นกรณีที่ค่า  $v = 0.5$  จึงต้องปรับแก้ค่าสำหรับกรณีที่  $v = 0.3$  โดยจากรูปที่ ก.10 จะได้ค่าปรับแก้  $N_v = 1.04$  ดังนั้น

$$\begin{aligned} \alpha &= 1.04 \times 0.173 \\ &= 0.18 \end{aligned}$$

จากสมการ (ก.2) จะได้

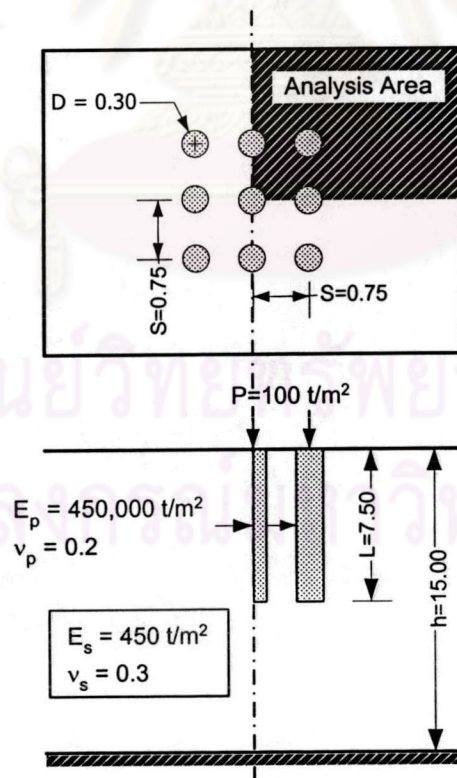
$$\begin{aligned} \text{การทรุดตัวที่เพิ่มขึ้น} &= \alpha \times \rho \\ &= 0.18 \times (2.22 \times 10^{-3}) \\ &= 0.40 \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น การทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่ม} &= \rho + (\alpha \times \rho) \\
 &= (2.22 + 0.40) \times 10^{-3} \\
 &= 2.62 \times 10^{-3} \text{ m}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ ก.3 การคำนวณการทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่ม 9 ต้น ชนิดเสาเข็มลอย(Floating Pile)

ในหัวข้อนี้ แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าการทรุดตัวที่หัวเข็มของเสาเข็มกลุ่ม 9 ต้น ชนิดเสาเข็มลอย กรณีที่กำหนดฐานแข็งอยู่ที่ระดับลึกเป็น 2 เท่าของความยาวเสาเข็ม และจัดเรียงเสาเข็มแบบ 3x3 โดยใช้ผลเฉลยของวิธีอีลาสติก (Elastic Solution) ซึ่งเสนอโดย Poles และ Davis (1980) จากตัวอย่างปัญหาที่เสนอในหัวข้อที่ 5.2.6.3 การคำนวณจะเริ่มจากการหาค่าการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว จากนั้นเพิ่มค่าการทรุดตัวที่เพิ่มขึ้นที่เป็นผลมาจากเสาเข็มต้นข้าง ๆ โดยการหาค่าอัตราส่วนการทรุดตัว (settlement ratio) ของกลุ่มเสาเข็มนั้น :ซึ่งค่าอัตราส่วนการทรุดตัวสำหรับกลุ่มเสาเข็ม ในกรณีเสาเข็มชนิดลอย แสดงดังตารางที่ ก.1 สำหรับค่าปรับแก้สำหรับปัจจัยต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ ก.11 และ ก.12

ปัญหา





โดยค่าสัดส่วนต่าง ๆ ที่จำเป็นในการหาค่าพารามิเตอร์จากกราฟ สรุปได้ดังนี้

- $L/d = 7.5/0.3 = 25$
- $L/h = 7.5/15 = 0.5$
- $k = \frac{E_p R_A}{E_s} = (450000 \times 1.0)/450 = 1000$
- $d_b/d = 0.3/0.3 = 1.0$
- $s/d = 0.75/0.3 = 2.5$

### การคำนวณ

(1) คำนวณการทรุดตัวของเสาเข็มต้นเดียว

จาก 
$$\rho = \frac{PI}{E_s d}$$

โดยที่ 
$$I = I_0 R_k R_H R_v$$

เมื่อ 
$$I_0 = 0.075 \quad (\text{จากรูปที่ ก.1})$$

$$R_k = 1.12 \quad (\text{จากรูปที่ ก.2})$$

$$R_H = 0.88 \quad (\text{จากรูปที่ ก.3})$$

$$R_v = 0.93 \quad (\text{จากรูปที่ ก.4})$$

จะได้ 
$$I = 0.075 \times 1.12 \times 0.88 \times 0.93$$
  

$$= 0.0688$$

ดังนั้น จะได้ค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้นเดียว ;

$$\rho = \frac{[100t / m^2 \times (\pi \times (0.15m)^2)] \times 0.0688}{450t / m^2 \times 0.3m}$$

$$= 3.60 \times 10^{-3} \text{ m}$$

(2) คำนวณการทรุดตัวที่เพิ่มขึ้นจากผลของกลุ่มเสาเข็ม

$$\text{จากสมการ การทรุดตัวเฉลี่ยของกลุ่ม} = R_s \times \rho \quad (\text{ก.4})$$

โดยที่  $R_s$  : อัตราส่วนการทรุดตัว(settlement ratio)

จากตารางที่ ก.1 จะได้

$$R_s = 4.46$$

ปรับแก้ค่าอัตราส่วนการทรุดตัว เนื่องจากผลของระดับความลึกของฐานแข็ง ที่ระดับลึกเป็น 2 เท่าของความยาวเสาเข็ม โดยค่าปรับแก้  $\xi_h$  จากรูปที่ ก.11 จะได้ค่า  $R_s$  ที่ปรับแก้แล้ว ( $R_{s(\text{corr})}$ ) เป็น

$$\begin{aligned} R_{s(\text{corr})} &= R_s \times \xi_h \\ &= 4.46 \times 0.84 \\ &= 3.75 \end{aligned}$$

ปรับแก้ค่าอัตราส่วนการทรุดตัว เนื่องจากผลของค่าอัตราส่วนบัวของ(V) ที่ค่าพื้นฐานกำหนดให้เป็น 0.5 แต่ในตัวอย่างนี้ใช้เป็น 0.3 โดยค่าปรับแก้  $\xi_v$  จากรูปที่ ก.12 จะได้ค่า  $R_s$  ที่ปรับแก้แล้ว ( $R_{s(\text{corr})}$ ) เป็น

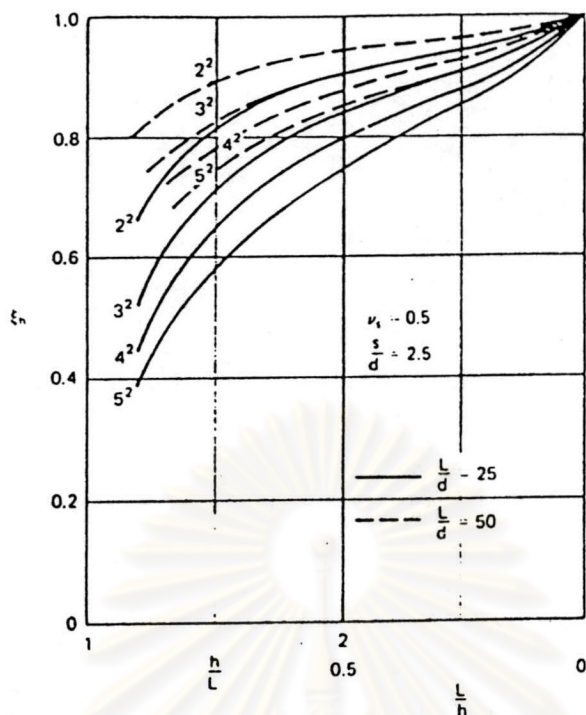
$$\begin{aligned} R_{s(\text{corr})} &= R_s \times \xi_v \\ &= 3.75 \times 1.05 \\ &= 3.92 \end{aligned}$$

ดังนั้น จะได้ ;

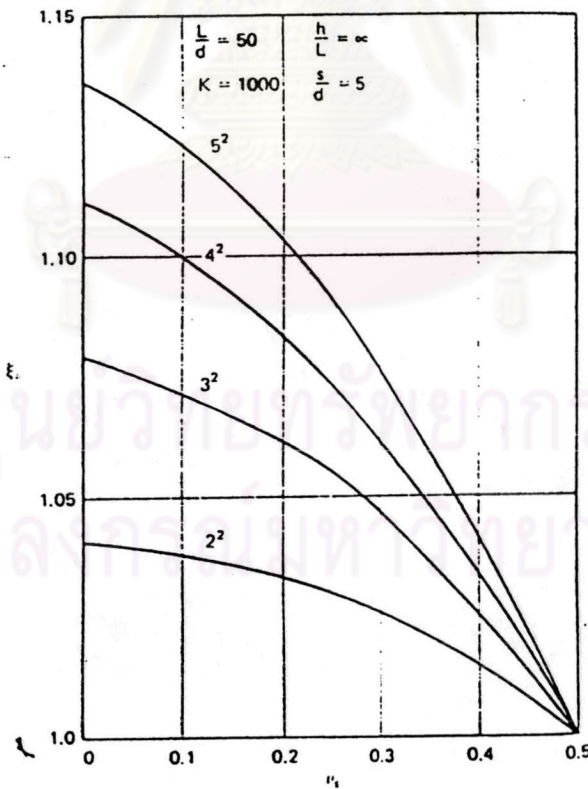
$$\begin{aligned} \text{การทรุดตัวเฉลี่ยของกลุ่ม} &= R_s \times \rho \\ &= 3.92 \times (3.60 \times 10^{-3}) \text{ m} \\ &= 0.0141 \text{ m} \end{aligned}$$

ตารางที่ ก.1 ค่าอัตราส่วนการทรุดตัว(Settlement Ratio)  $R_s$  สำหรับเสาเข็มกลุ่ม ในดินส้ผ่าเสมอที่มีความลึกมาก และเคบหัวเข็มแบบแข็ง(rigid cap)


L/d	s/d	K	4			9			16			25					
			10	100	1000	∞	10	100	1000	∞	10	100	1000	∞			
10	2	1.83	2.25	2.54	2.62	2.78	3.80	4.42	4.48	3.76	5.49	6.40	6.53	4.75	7.20	8.48	8.68
	5	1.40	1.73	1.88	1.90	1.83	2.49	2.82	2.85	2.26	3.25	3.74	3.82	2.68	3.98	4.70	4.75
	10	1.21	1.39	1.48	1.50	1.42	1.76	1.97	1.99	1.63	2.14	2.46	2.46	1.85	2.53	2.95	2.95
25	2	1.99	2.14	2.65	2.87	3.01	3.64	4.84	5.29	4.22	5.38	7.44	8.10	5.40	7.25	9.28	11.25
	5	1.47	1.74	2.09	2.19	1.98	2.61	3.48	3.74	2.46	3.54	4.96	5.34	2.95	4.48	6.50	7.03
	10	1.25	1.46	1.74	1.78	1.49	1.95	2.57	2.73	1.74	2.46	3.42	3.63	1.98	2.98	4.28	4.50
50	2	2.43	2.31	2.56	3.01	3.91	3.79	4.52	5.66	5.58	5.65	7.05	8.94	7.26	7.65	9.91	12.66
	5	1.73	1.81	2.10	2.44	2.46	2.75	3.51	4.29	3.16	3.72	5.11	6.37	3.88	4.74	6.64	8.67
	10	1.38	1.50	1.78	2.04	1.74	2.04	2.72	3.29	2.08	2.59	3.73	4.65	2.49	3.16	4.76	6.04
100	2	2.56	2.31	2.26	3.16	4.43	4.05	4.11	6.15	6.42	6.14	6.50	9.92	8.48	8.40	10.25	14.35
	5	1.88	1.88	2.01	2.64	2.80	2.94	3.38	4.87	3.74	4.05	4.98	7.54	4.68	5.18	6.75	10.55
	10	1.47	1.56	1.76	2.28	1.95	2.17	2.73	3.93	2.45	2.80	3.81	5.82	2.95	3.48	5.00	7.88



รูปที่ ก.11 สัมประสิทธิ์ลดค่าจากผลของระดับความลึกของฐานแข็ง สำหรับค่าอัตราส่วนการทรุดตัว ( $\xi_n$ ) สำหรับเสาเข็มกลุ่ม



รูปที่ ก.12 สัมประสิทธิ์ลดค่าจากผลของอัตราส่วนบิวของส สำหรับค่าอัตราส่วนการทรุดตัว ( $\xi_v$ ) สำหรับเสาเข็มกลุ่ม

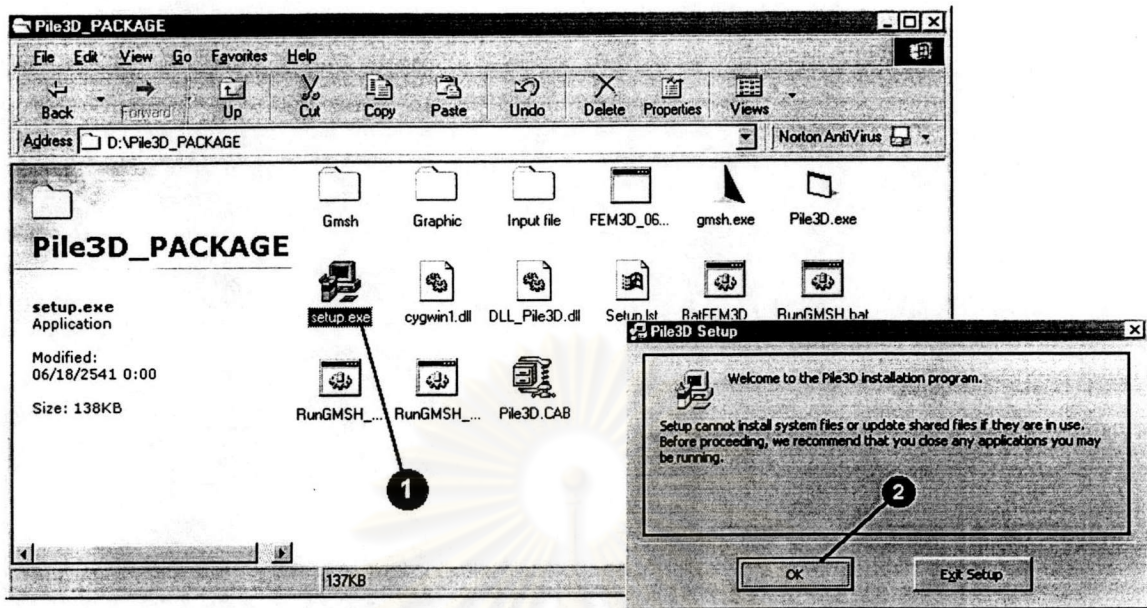


ภาคผนวก ข.

วิธีการใช้งานโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

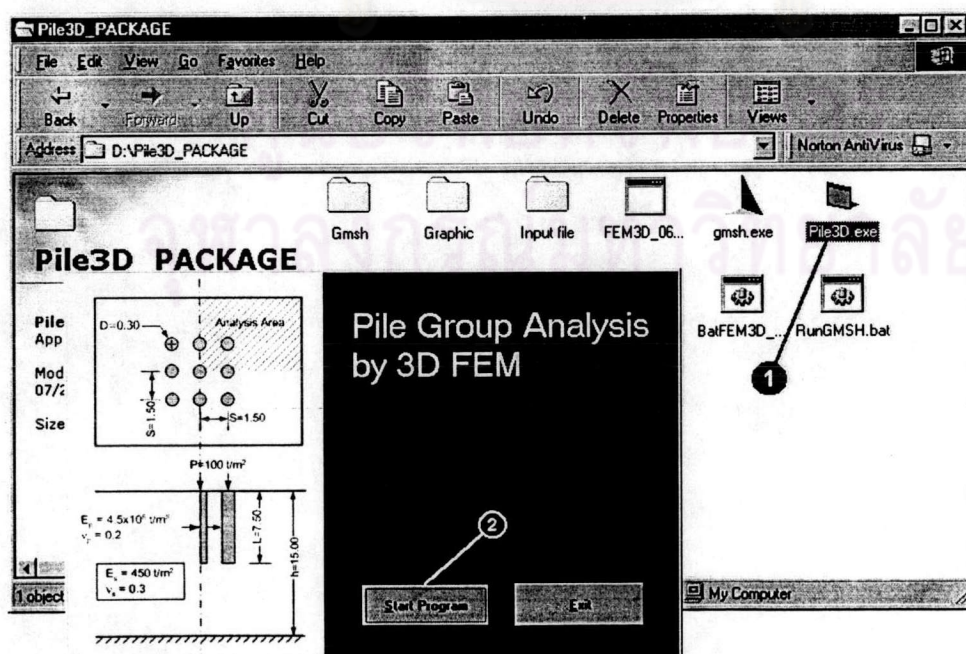
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ขั้นตอนที่ 1 การติดตั้งโปรแกรม



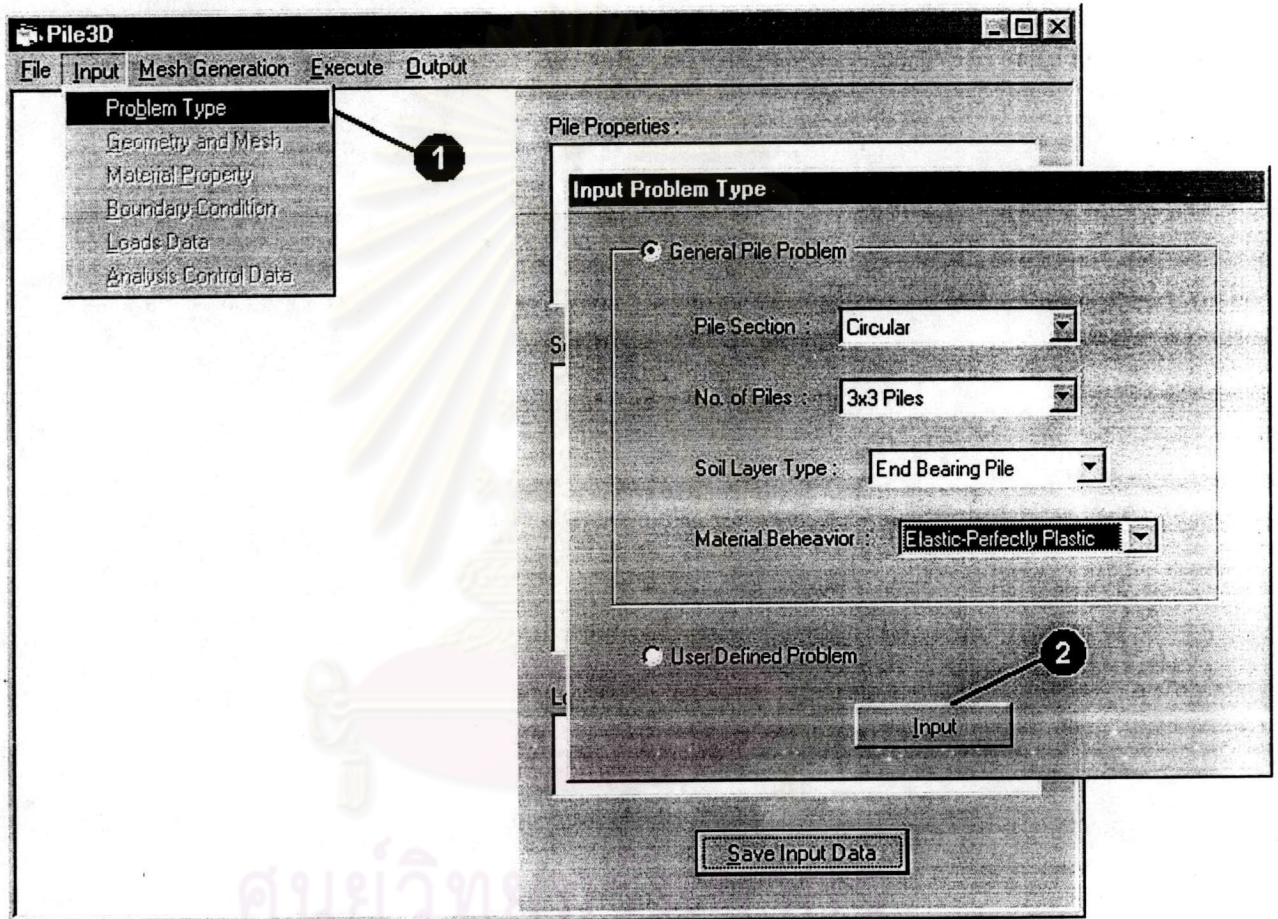
1. โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีชื่อว่า 'Pile3D' โดยเพิ่มข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการดำเนินงานของโปรแกรมจะเก็บอยู่ในโฟลเดอร์ชื่อ 'Pie3D\_PACKAGE' การใช้งานต้องทำการติดตั้งโปรแกรม โดยดับเบิลคลิกไฟล์ Setup.exe ในโฟลเดอร์ดังกล่าว
2. ในหน้าจอ Pile3D Setup คลิกปุ่ม OK วินโดวส์จะดำเนินการติดตั้งโดยอัตโนมัติ

## ขั้นตอนที่ 2 เริ่มการทำงาน

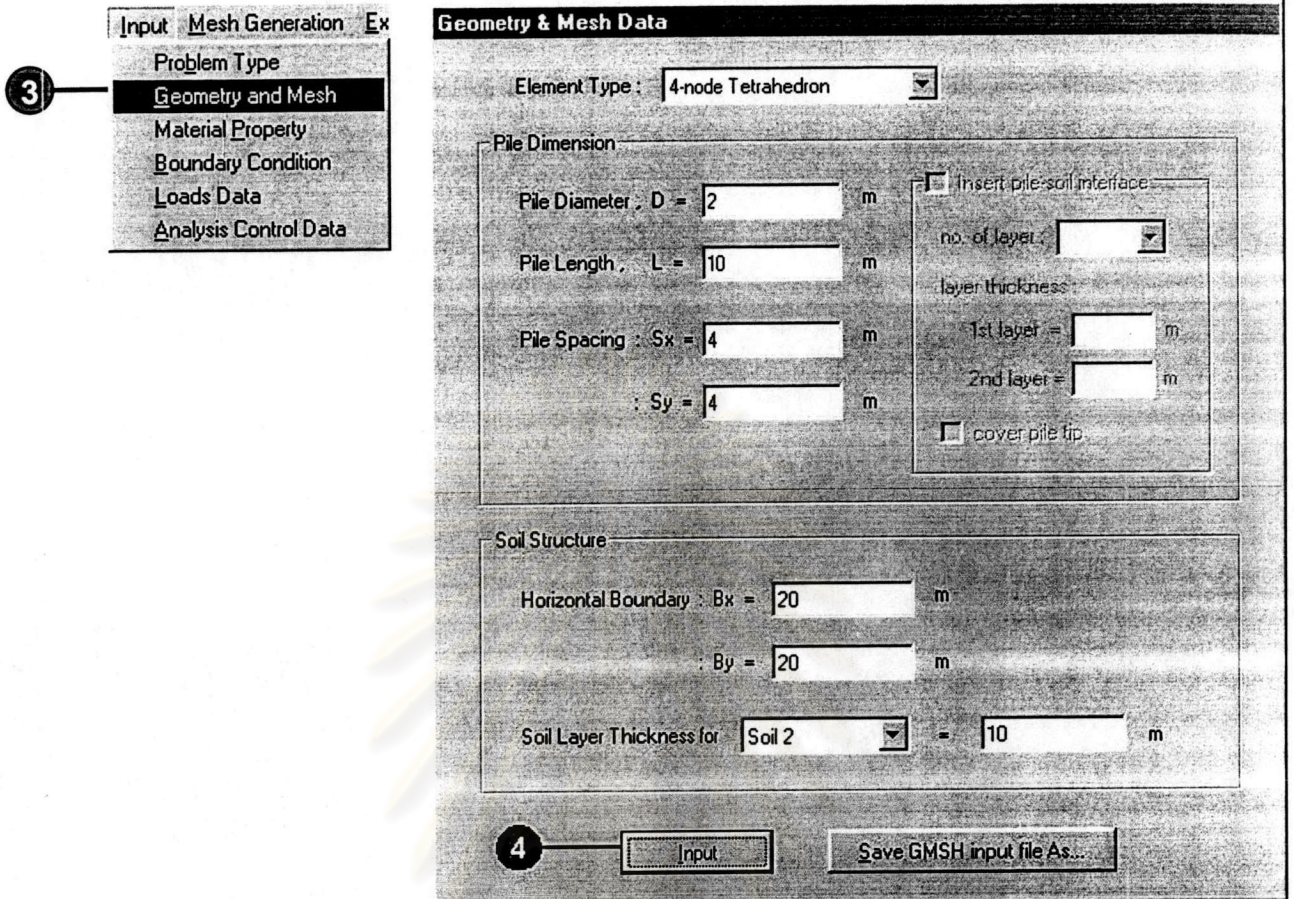


1. เริ่มการทำงานของโปรแกรม โดยดับเบิลคลิกที่ไฟล์ชื่อ Pile3D.exe ซึ่งอยู่ในโฟลเดอร์ Pie3D\_PACKAGE
2. คลิก Start Program

### ขั้นตอนที่ 3 การป้อนข้อมูลปัญหา



1. เลือกเมนู Input ► Problem Type
2. ป้อนข้อมูลชนิดของปัญหาที่ต้องการภายในกรอบ General Pile Problem แล้วคลิก Input โดยชนิดของปัญหาที่โปรแกรมสามารถวิเคราะห์ได้ ประกอบด้วย
  - หน้าตัด (Pile Section) : วงกลม / สี่เหลี่ยม
  - จำนวน (No. of Piles) : 1 ต้น / 2 ต้น / 2x2 ต้น / 3x3 ต้น
  - ชั้นดิน (Soil Layer Type) : Floating / End Bearing / Rigid Base Pile
  - พฤติกรรม (Material Behavior) : Linear Elastic / Elastic Perfectly Plastic



3. เลือกเมนู **Input** ► **Geometry and Mesh**

4. ป้อนข้อมูลขนาดโครงสร้างที่ต้องการ และคลิกปุ่ม **Input** โดยข้อมูลโครงสร้างที่สำคัญประกอบด้วย

- ขนาดเสาเข็ม (pile Dimension) : เส้นผ่านศูนย์กลาง / ความยาว / ระยะระหว่างต้น
- โครงสร้างดิน (Soil Structure) : ขนาดขอบเขตในแนวราบ / ความลึกของฐานแข็ง



5

Input Mesh Generation Ex

Problem Type  
Geometry and Mesh  
**Material Property**  
Boundary Condition  
Loads Data  
Analysis Control Data

**Material Property**

Pile Property

E = 2391000  $t/m^2$     c = 100000000  $t/m^2$   
 v = 0.20     $\phi$  = 0  
 $\gamma_s$  = 2.3  $t/m^3$      $\varphi$  = 0  
 $K_s$  = 1

Soil Property

Soil Layer: Soil 1  
 Soil 1  
 Soil 2

E = 800  $t/m$      $E_u/S_u$  = 200 (Clay)  
 v = .3    c = 4  $t/m^2$   
 $\gamma_s$  = 1.8  $t/m^3$      $\phi$  = 10  
 $K_s$  = .6     $\varphi$  = 10

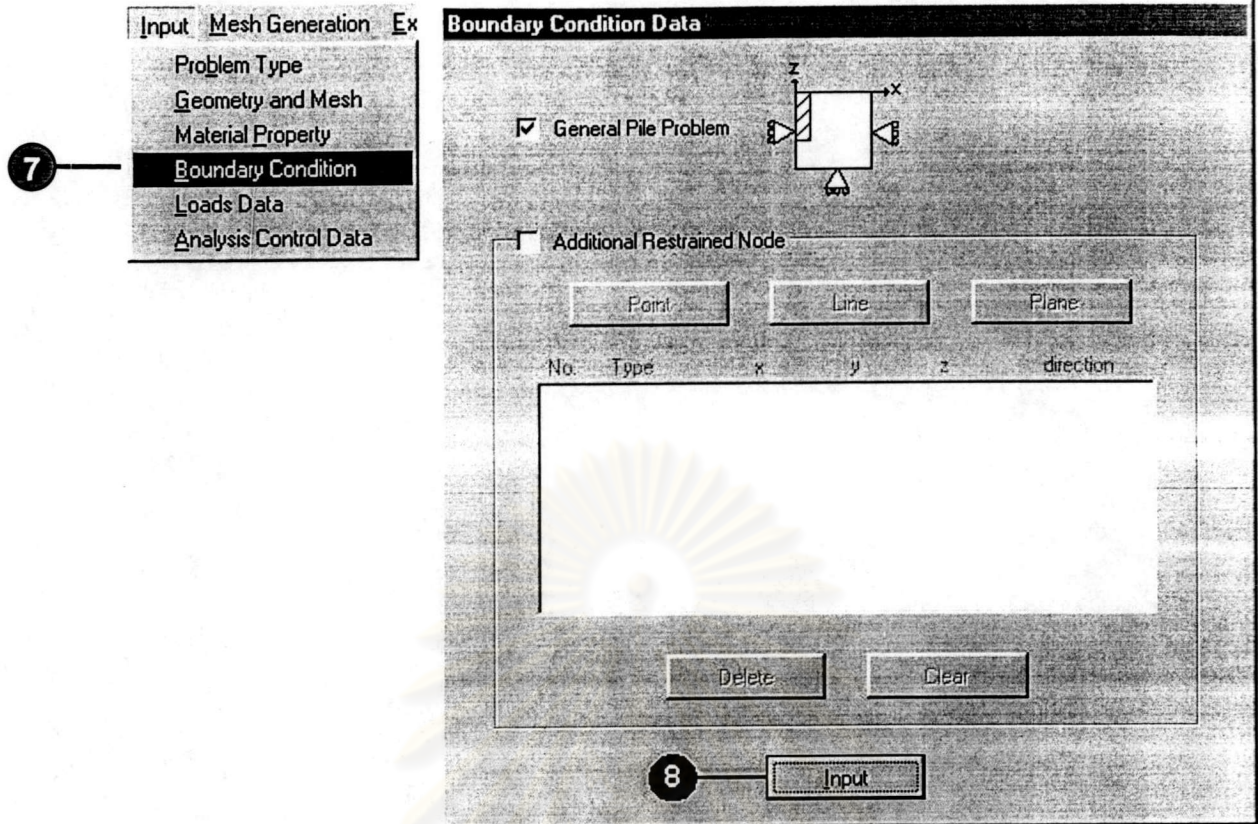
6 Input

5. เลือกเมนู Input ► Material Property

6. ป้อนข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุที่ต้องการ และคลิกปุ่ม Input โดยข้อมูลคุณสมบัติต่าง ๆ แบ่งออกเป็น

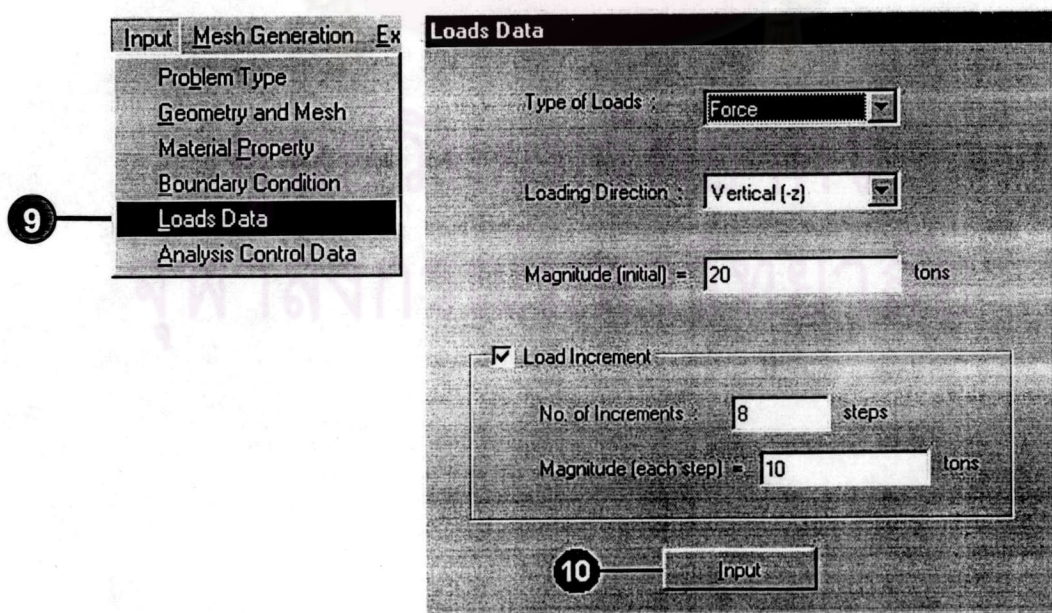
- คุณสมบัติเสาเข็ม (pile Property)
- คุณสมบัติดิน (Soil Property) : สามารถกำหนดแตกต่างกันตามชั้นดินได้ (soil1, soil2)

โดยคุณสมบัติต่าง ๆ ประกอบด้วย อีลาสติกโมดูลัส (E), อัตราส่วนปริมาตรของ (v), ค่าความเชื่อมแน่น (c), มุมเสียดทานภายใน ( $\phi$ ), มุมไคเลชั่น ( $\varphi$ ), หน่วยน้ำหนัก ( $\gamma$ ) และ ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันดินสถิตย ( $k_0$ )



7. เลือกเมนู Input ► Boundary Condition

8. ป้อนข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตที่ต้องการ และคลิกปุ่ม Input โดยเลือก 'General Pile Problem' สำหรับปัญหาเสาเข็มปกติ สำหรับ 'Additional Pile Problem' ใช้ในกรณีที่ต้องการเพิ่มเงื่อนไขขอบเขตตามจุด แกน และระนาบใด ๆ ที่ต้องการ



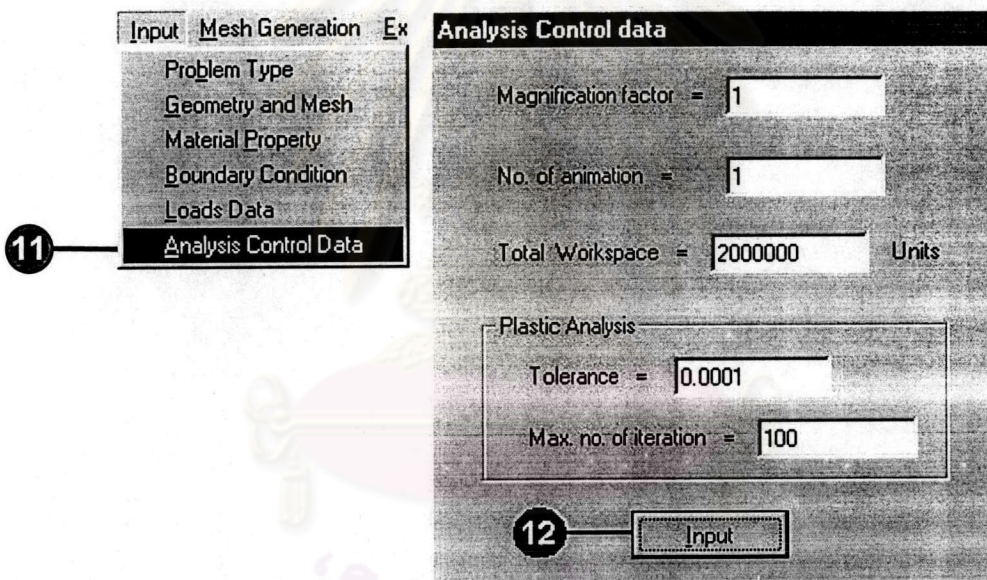
9. เลือกเมนู Input ► Load Data

10. ป้อนข้อมูลแรงกระทำที่หัวเสาเข็มที่ต้องการ และคลิกปุ่ม Input โดยสามารถกำหนดชนิดของแรงกระทำได้ 2 ประเภท คือ

- แรง (Force) : กำหนดขนาดเป็น *ตัน*
- การเคลื่อนตัว (Displacement) : กำหนดขนาดเป็น *เมตร*

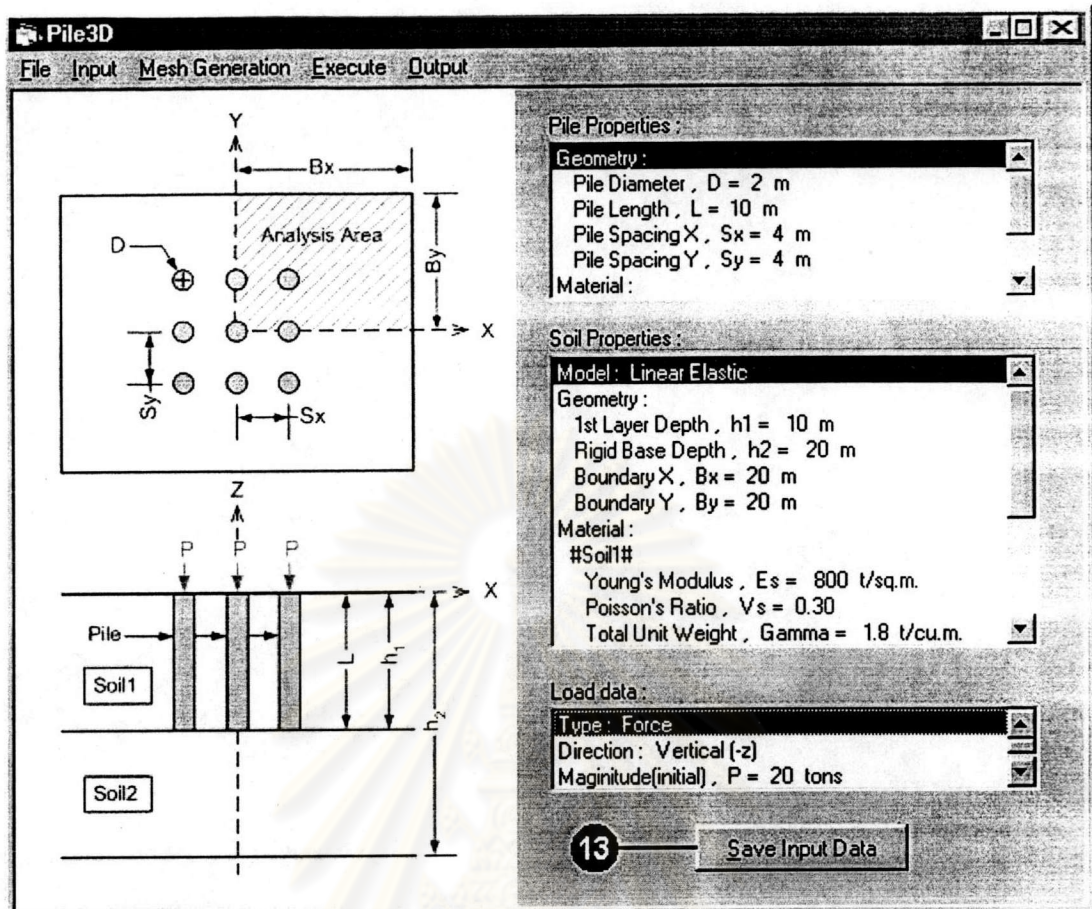
โดยสามารถกำหนดทิศทางของแรงกระทำทั้งในแนวตั้งคือ แกน z และในแนวราบคือ แกน x และ y

ในส่วนของกรอบ 'Load Increment' สามารถใช้ในการกำหนดการเพิ่มแรงกระทำที่เป็นลำดับขั้น (step load) โดยกำหนดจำนวนลำดับ (steps) ที่ต้องการ และขนาดของแรงกระทำ หรือการเคลื่อนตัวที่ต้องการให้เพิ่มในแต่ละลำดับ



11. เลือกเมนู Input ► Analysis Control Data

12. ป้อนข้อมูลด้านการวิเคราะห์ที่ต้องการ และคลิกปุ่ม Input โดยในส่วนนี้เป็นข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ต่าง ๆ เช่น การกำหนด workspace ที่จำเป็นต้องสำรองไว้ใน การแก้สมการ FEM รวมถึง ค่าต่างที่ยอมให้ (Tolerance) และจำนวนรอบ (iteration) สูงสุดในการวิเคราะห์พฤติกรรมพลาสติก เป็นต้น



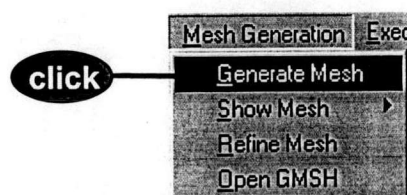
13. หน้าจอของโปรแกรมจะแสดงแผนภาพ และข้อมูลที่สำคัญของปัญหาที่ได้ป้อนเข้าไป คลิกปุ่ม 'Save Input Data' เพื่อการยืนยัน และบันทึกข้อมูล สำหรับการวิเคราะห์ในส่วนต่อไป

#### ขั้นตอนที่ 4 การสร้างโครงข่าย

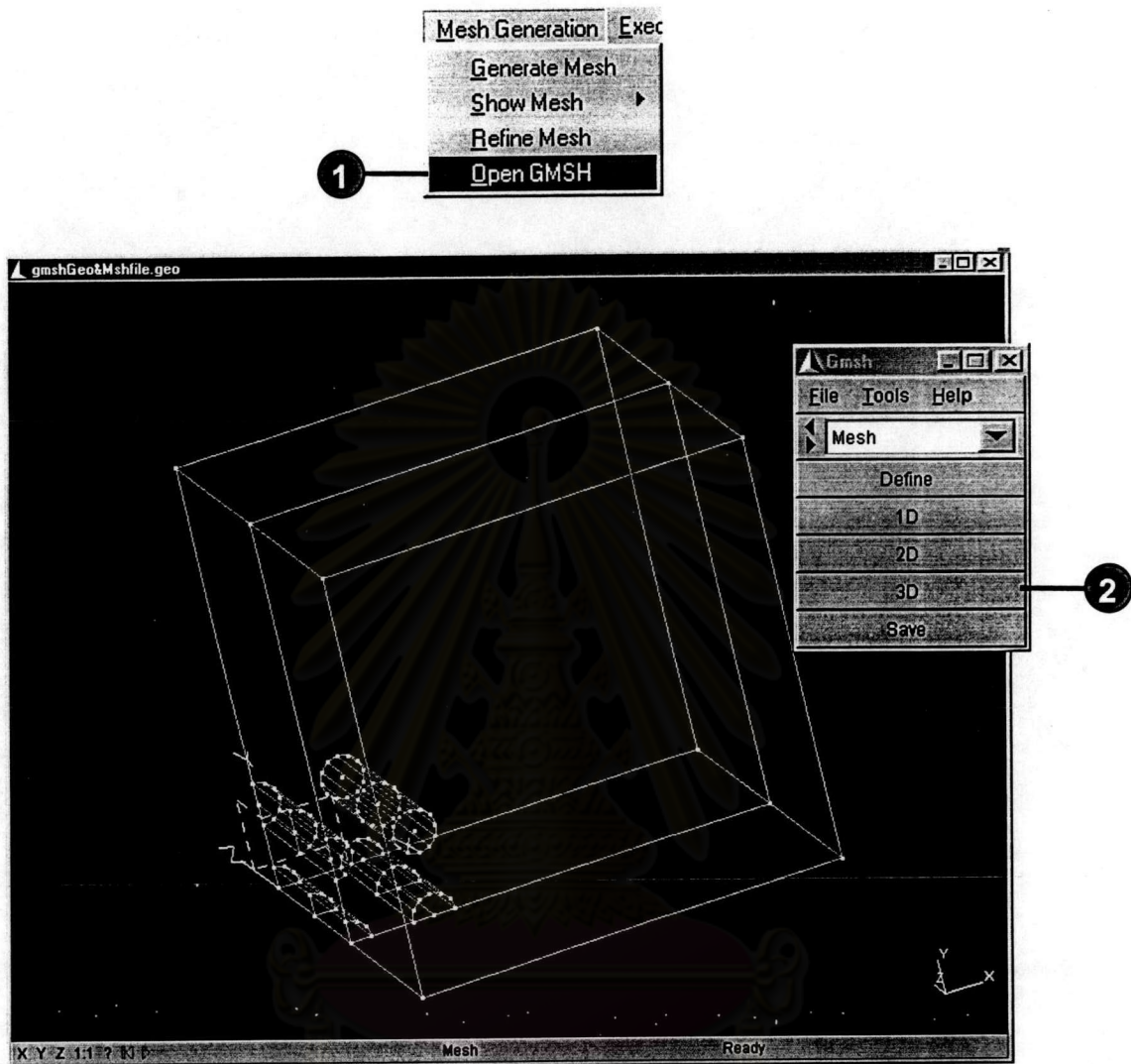
##### 4.1 สำหรับ Window 98 / Window Me

การสร้างโครงข่ายสามารถเลือกได้ 2 วิธี โดยวิธีที่ 2 เป็นการสร้างโดยเปิดโปรแกรม Gmsh โดยตรง จะสามารถตรวจสอบโครงข่ายได้ และใช้ในกรณีวิธีที่ 1 ไม่ได้ผล รายละเอียดแสดงดังต่อไปนี้

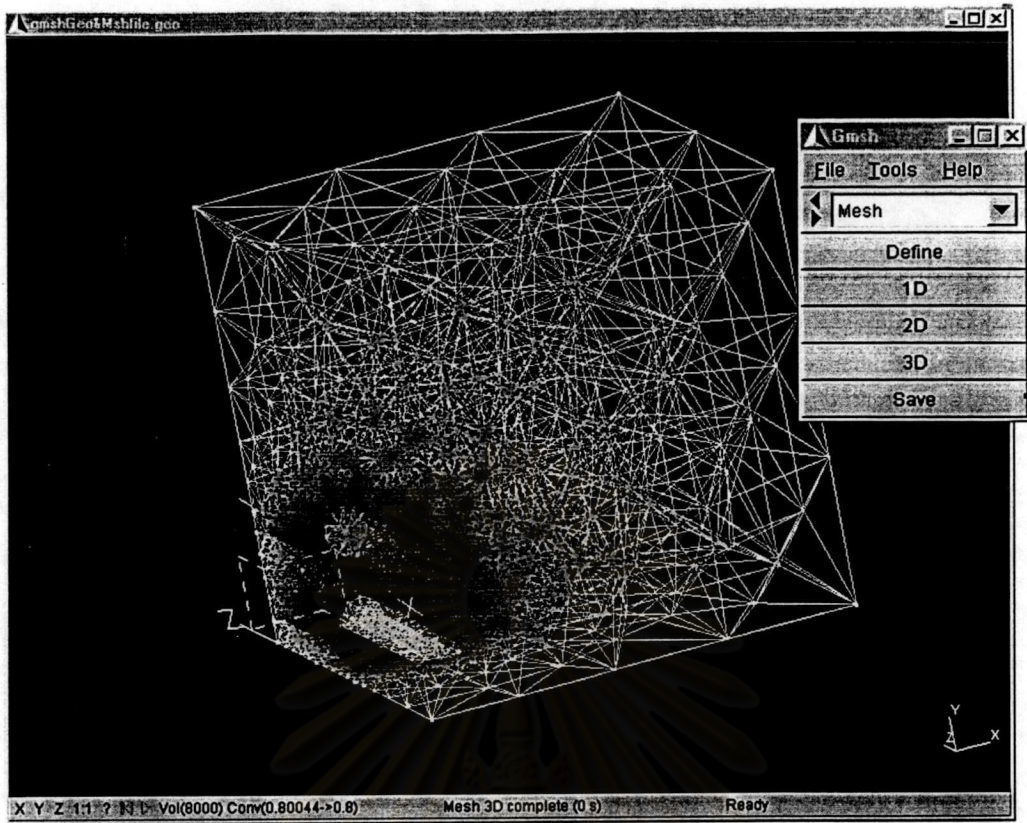
วิธีที่ 1 : คลิกที่เมนู **Mesh Generation** ► **Generate Mesh**



วิธีที่ 2 :



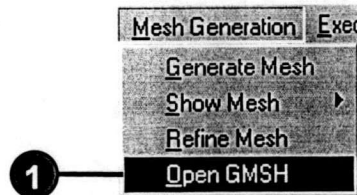
1. คลิกที่เมนู Mesh Generation ► Open Gmsh
2. ระบบจะเรียกโปรแกรม Gmsh ซึ่งจะปรากฏ 2 หน้าต่างโปรแกรม 2 หน้าต่าง ประกอบด้วยหน้าต่างแสดงกราฟฟิกส์ (ซ้าย) และหน้าต่างเมนู (ขวา) ในหน้าต่างเมนู ให้เลือกตัวเลือกที่อยู่ใต้เมนูหลักเป็น 'Mesh' จากนั้นคลิกปุ่ม '3D' เพื่อสั่งให้ทำการสร้างโครงข่ายใน 3 มิติ



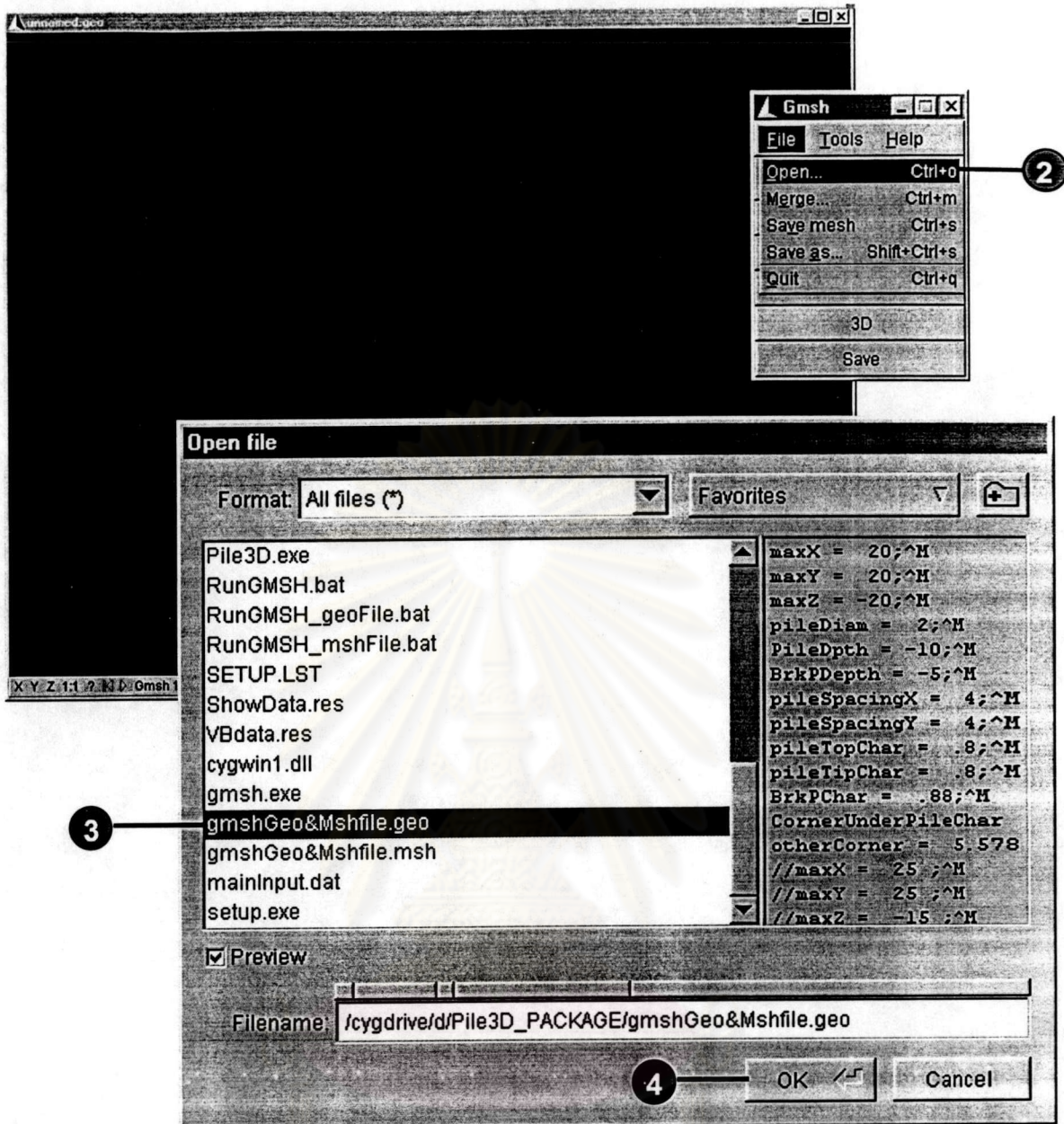
- โปรแกรม Gmsh จะทำการสร้างโครงข่ายซึ่งแสดงในหน้าต่างแสดงกราฟฟิกส์ ให้คลิกปุ่ม 'Save' ในหน้าต่างเมนู เพื่อบันทึกข้อมูลโครงข่ายที่สร้างขึ้น จากนั้นสามารถปิดโปรแกรม Gmsh ได้

#### 4.2 สำหรับ Window XP

เนื่องจากโปรแกรมที่สร้างขึ้น ได้พัฒนาบนระบบปฏิบัติการ Window 98 ซึ่งมีข้อจำกัดบางประการในการดำเนินการบน Window XP ทำให้การสร้างโครงข่ายด้วยวิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.1 ไม่สามารถทำได้ และการสร้างตามวิธีที่ 2 ต้องมีการแก้ไขบางขั้นตอนดังนี้



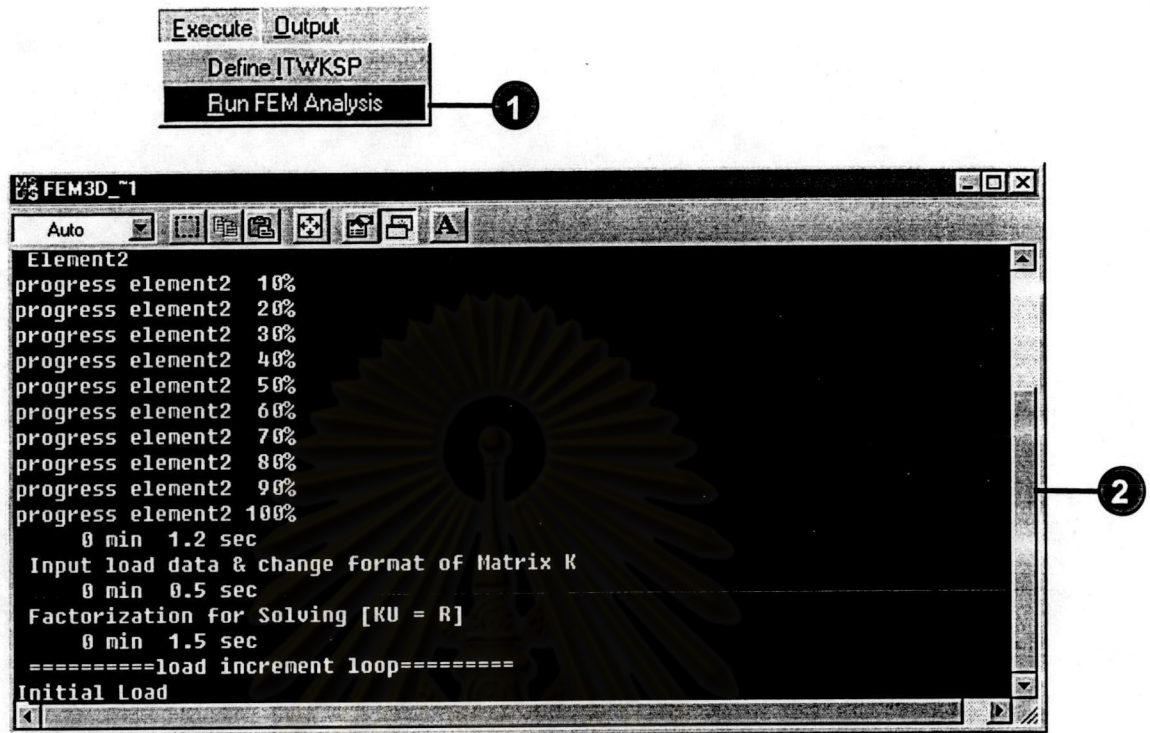
- คลิกที่เมนู Mesh Generation ► Open Gmsh



2. จะพบว่า โปรแกรมจะไม่สามารถ load โครงสร้างปัญหาขึ้นมาโดยอัตโนมัติ ต้องทำการเปิดแฟ้มข้อมูลที่บันทึกไว้ในขั้นตอนการป้อนข้อมูลขึ้นมาเอง โดยในหน้าต่างเมนูเลือกเมนู File ► Open
3. ในหน้าต่าง 'Open file' เลือกแฟ้มชื่อ 'gmshGeo&Mshfile' จากรายชื่อแฟ้มที่ปรากฏในโฟลเดอร์ 'Pile3D\_PACKAGE'
4. คลิกปุ่ม OK

จากนั้น ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2 และ 3 ในวิธีที่ 2 ของหัวข้อ 4.1

## ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์



1. ในส่วนนี้ เป็นการสั่งให้โปรแกรมเริ่มการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์จากข้อมูลปัญหาที่ได้เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ผ่านมา โดยคลิกที่เมนู **Execute ► Run FEM Analysis**
2. โปรแกรมจะเปิดหน้าต่างย่อย แสดงขั้นตอนที่กำลังการดำเนินการ และเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน เมื่อการวิเคราะห์สิ้นสุด จะสรุปเวลาใช้ทั้งหมดไว้ในบรรทัดสุดท้าย

## ขั้นตอนที่ 6 การแสดงผลการวิเคราะห์

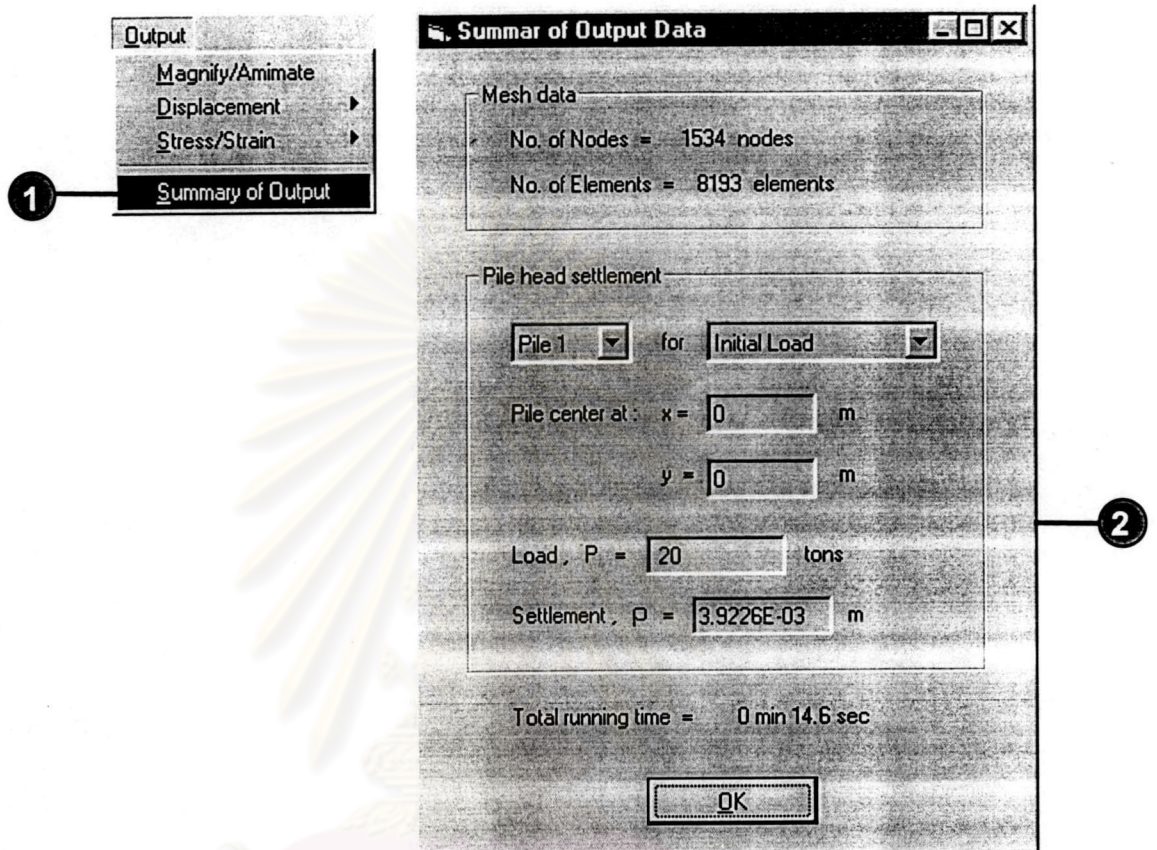
การแสดงผลการวิเคราะห์ปัญหา สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย การแสดงผลโดยตรงผ่าน GUI ของโปรแกรม และการแสดงผลโดยบันทึกเป็นแฟ้มข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 6.1 การแสดงผลผ่าน GUI ของโปรแกรม

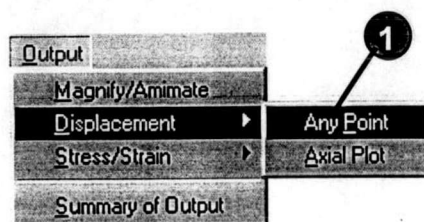
ข้อมูลที่แสดงในส่วนนี้ ประกอบด้วย

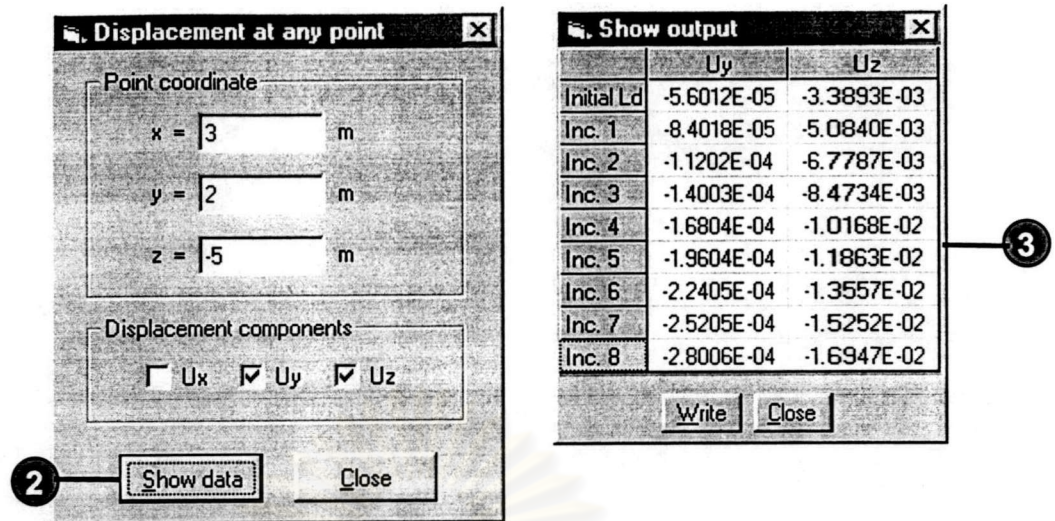


- (1) ข้อมูลทั่วไป - แสดงจำนวนจุดต่อ และชิ้นส่วนของโครงข่าย / แรงกระทำ และการทรุดตัวที่หัวเสาเข็มแต่ละต้น ที่ระดับแรงต่าง ๆ โดยเลือกที่เมนู **Output** ► **Summary of Output**

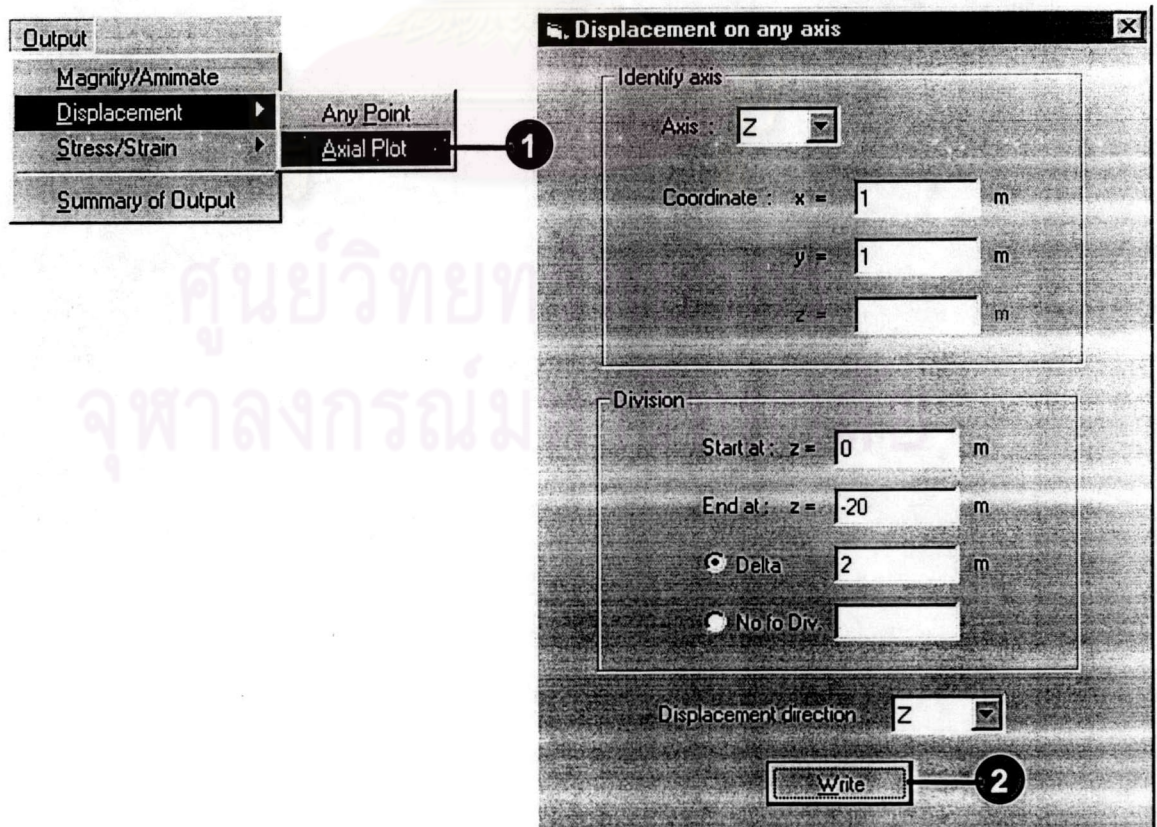


- (2) การเคลื่อนตัวที่จุดใด ๆ - เลือกที่เมนู **Output** ► **Displacement** ► **Any Point** จากนั้นในหน้าต่าง 'Displacement at any point' สามารถระบุพิกัดจุด และทิศทางที่ต้องการทราบค่าการเคลื่อนตัว แล้วคลิกปุ่ม 'Show data' จะปรากฏหน้าต่าง 'Show output' ซึ่งแสดงผลในรูปแบบตาราง และในกรณีที่ต้องการให้บันทึกข้อมูลตารางลงในแฟ้มข้อมูล ให้คลิกปุ่ม 'Write' โดยจะบันทึกในแฟ้มชื่อ 'OutpDispPoint.dat' ภายในโฟลเดอร์ Pie3D\_PACKAGE





- (3) การเคลื่อนตัวตามแนวแกนใด ๆ - เลือกที่เมนู **Output** ► **Displacement** ► **Axial Plot** จากนั้น ในหน้าต่าง 'Displacement on any axis' สามารถระบุแกน, พิกัดแกน และทิศทางที่ต้องการทราบค่าการเคลื่อนตัว และในกรอบ 'Division' สามารถระบุจุดเริ่มต้น/จุดสิ้นสุดที่ต้องการให้ plot ตามแกนที่ระบุ โดยสามารถกำหนดความถี่ในการ plot ด้วยระยะห่างระหว่างจุด (Delta) หรือจำนวนการแบ่งส่วน (No. of Div.) จากนั้นคลิกปุ่ม 'Write' เพื่อบันทึกข้อมูลในแฟ้มชื่อ 'OutpDispAxis.plt' ภายในโฟลเดอร์ Pie3D\_PACKAGE ซึ่งข้อมูลในแฟ้มสามารถเปิดในโปรแกรม Tecplot ได้โดยตรง



- (4) หน่วยแรง และความเครียดที่จุดใด ๆ - เลือกที่เมนู **Output** ► **Stress/Strain** ► **Any Point** จากนั้น ในหน้าต่าง 'Stress/strain at any point' สามารถระบุพิกัดจุด และเลือกพารามิเตอร์ (ใช้ s แทนสัญลักษณ์  $\sigma$ ) ที่ต้องการทราบค่าการเคลื่อนตัว แล้วคลิกปุ่ม 'Show data' จะปรากฏหน้าต่าง 'Show output' ซึ่งแสดงผลในรูปแบบตาราง (ใช้ E แทนสัญลักษณ์  $\epsilon$ ) และในกรณีที่ต้องการให้บันทึกข้อมูลตารางลงในแฟ้มข้อมูล ให้คลิกปุ่ม 'Write' โดยจะบันทึกในแฟ้มชื่อ 'OutpStressPoint.dat' ภายในโฟลเดอร์ Pie3D\_PACKAGE

**Output**

- Magnify/Animate
- Displacement
- Stress/Strain**
  - Any Point**
  - Axial Plot
- Summary of Output

**Stress/strain at any point**

Point coordinate

x = 5 m

y = 5 m

z = -2.5 m

Output stress

stress tensor

$S_{xx}$    $S_{xy}$

$S_{yy}$    $S_{yz}$

$S_{zz}$    $S_{xz}$

principal stress

$S_1$    $S_2$    $S_3$

stress invariant

$I_1$    $J_2$    $J_3$

Output strain

strain tensor

$\epsilon_{xx}$    $\epsilon_{xy}$

$\epsilon_{yy}$    $\epsilon_{yz}$

$\epsilon_{zz}$    $\epsilon_{xz}$

principal strain

$\epsilon_1$    $\epsilon_2$    $\epsilon_3$

strain invariants

$\epsilon_v$    $J_2$    $J_3$

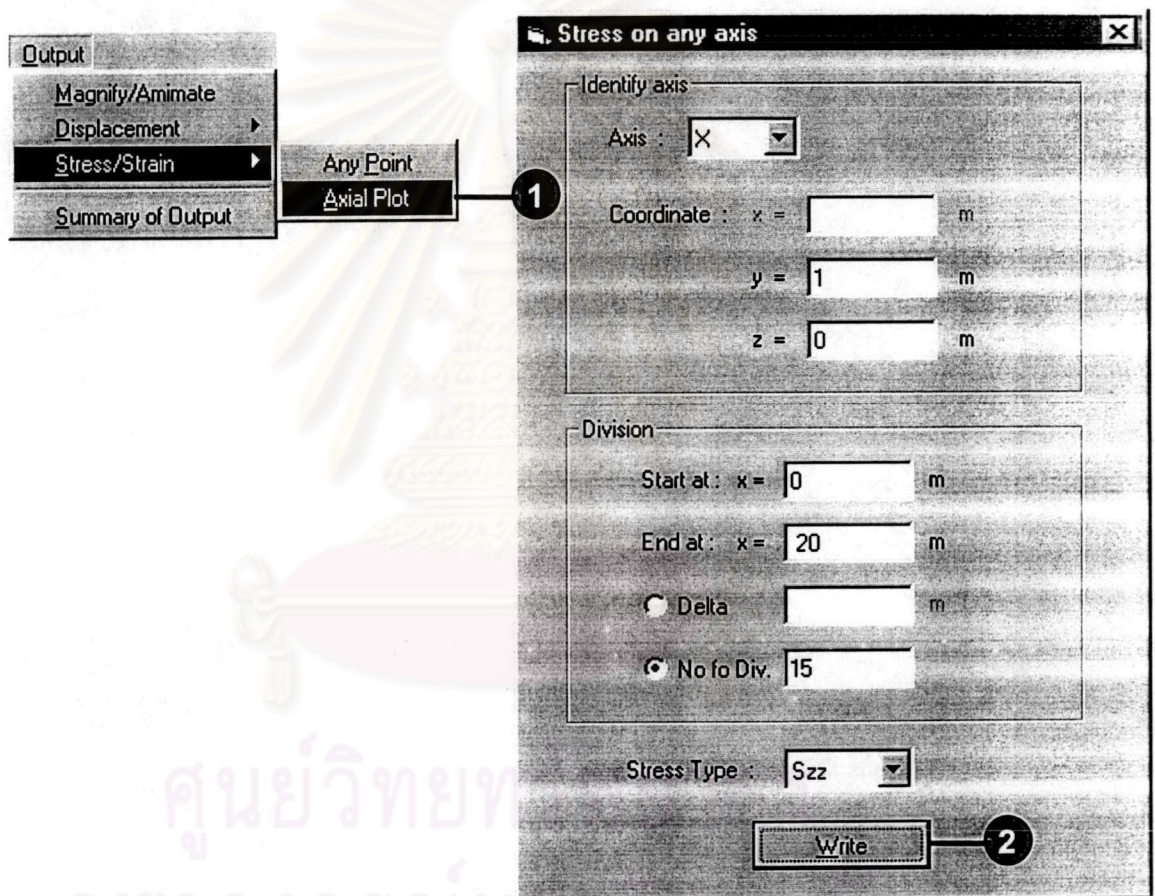
**Show data** **Close**

**Show output**

	Szz	S1	J2	Ezz	E2	Ev
Initial Ld	-5.9129E+00	-5.9225E+00	2.0662E+00	-1.8914E-06	-8.1147E-06	1.5890E-05
Inc. 1	-6.4729E+00	-6.4905E+00	3.1019E+00	-2.8370E-06	-1.2172E-05	2.3835E-05
Inc. 2	-7.0328E+00	-7.0592E+00	4.3502E+00	-3.7827E-06	-1.6229E-05	3.1779E-05
Inc. 3	-7.5928E+00	-7.6285E+00	5.8113E+00	-4.7284E-06	-2.0287E-05	3.9724E-05
Inc. 4	-8.1527E+00	-8.1980E+00	7.4851E+00	-5.6741E-06	-2.4344E-05	4.7669E-05
Inc. 5	-8.7127E+00	-8.7678E+00	9.3715E+00	-6.6197E-06	-2.8401E-05	5.5614E-05
Inc. 6	-9.2726E+00	-9.3377E+00	1.1471E+01	-7.5654E-06	-3.2459E-05	6.3559E-05
Inc. 7	-9.8326E+00	-9.9077E+00	1.3783E+01	-8.5111E-06	-3.6516E-05	7.1504E-05
Inc. 8	-1.0393E+01	-1.0478E+01	1.6307E+01	-9.4568E-06	-4.0573E-05	7.9449E-05

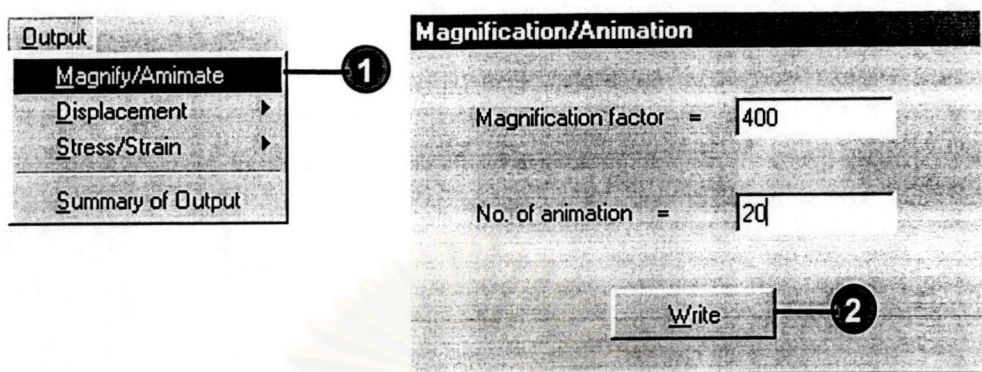
**Write** **Close**

- (5) หน่วยแรงตามแนวแกนใด ๆ - เลือกที่เมนู **Output** ► **Stress/Strain** ► **Axial Plot** จากนั้น ในหน้าต่าง 'Stress on any axis' สามารถระบุแกน, พิกัดแกน และชนิดของหน่วยแรง (stress type) ที่ต้องการทราบค่าการเคลื่อนตัว และในกรอบ 'Division' สามารถระบุจุดเริ่มต้น/จุดสิ้นสุดที่ต้องการให้ plot ตามแกนที่ระบุ โดยสามารถกำหนดความถี่ในการ plot โดยเลือกกระหว่างระยะห่างระหว่างจุด (Delta) หรือจำนวนการแบ่งส่วน (No. of Div.) จากนั้นคลิกปุ่ม **Write** เพื่อบันทึกข้อมูลในแฟ้มชื่อ **'OutpStressAxis.plt'** ภายในโฟลเดอร์ Pie3D\_PACKAGE ซึ่งข้อมูลในแฟ้มสามารถเปิดในโปรแกรม Tecplot ได้โดยตรง



- (6) โครจข่ายภายหลังการเคลื่อนตัวแบบขยาย/ภาพเคลื่อนไหว - เลือกเมนู **Output** ► **Magnify/Animate** จะปรากฏหน้าต่าง 'Magnification/Animation' ขึ้น โดยในหน้าต่างนี้สามารถกำหนดแฟกเตอร์ขยายการเคลื่อนตัว (Magnification Factor) โดยกำหนดเป็นจำนวนเท่าตัว และจำนวนการแบ่งระดับการเคลื่อนตัวเพื่อแสดงภาพเคลื่อนไหว (No. of animation) จากนั้นคลิกปุ่ม **Write** เพื่อบันทึกการโครจข่ายภายหลังการเคลื่อนตัวแบบขยายลงในแฟ้มชื่อ **'OutpDeformedMesh.plt'** และโครจข่าย

ภายหลังการเคลื่อนตัวแบบขยาย และแสดงภาพเคลื่อนไหวลงในแฟ้มชื่อ 'OutpMagnif\_Anim.plt' แฟ้มทั้งสองสามารถเปิดด้วยโปรแกรม Tecplot ได้โดยตรง



## 6.2 การแสดงผลโดยบันทึกเป็นแฟ้มข้อมูล

ข้อมูลในส่วนนี้ เป็นข้อมูลโดยละเอียดทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์ของโปรแกรม ซึ่งได้บันทึกไว้ในขั้นตอนการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ (ขั้นตอนที่ 5) โดยแฟ้มข้อมูลทั้งหมดจะบันทึกในไฟล์เดอร์เดียวกับโปรแกรม Pile3D (ไฟล์เดอร์ Pie3D\_PACKAGE) และข้อมูลจะถูกบันทึกทับ (replaced) ทุกครั้งที่มีการวิเคราะห์ในรอบใหม่ ชื่อแฟ้มจะแสดงถึงข้อมูลที่ได้รับการบันทึกไว้ภายในแฟ้มนั้น รายละเอียดของแฟ้มข้อมูลทั้งหมด แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ข.1 รายละเอียดของแฟ้มข้อมูลที่เป็นผลการวิเคราะห์ของโปรแกรม

	ชื่อแฟ้ม	ข้อมูล
1	OutpMeshShowLdInc.plt	โครงข่าย / การเคลื่อนตัว / หน่วยแรง ที่ระดับแรงกระทำภายนอกต่าง ๆ
2	OutpInitialMesh.plt	โครงข่ายเริ่มต้น / การเคลื่อนตัว / หน่วยแรง
3	OutpDeformedMesh.plt	โครงข่ายภายหลังการเคลื่อนตัว(ขยาย) / การเคลื่อนตัว / หน่วยแรง
4	OutpMagnif_Anim.plt	โครงข่ายภายหลังการเคลื่อนตัว(ขยาย)+แบ่งระดับการเคลื่อนตัว เพื่อแสดงภาพเคลื่อนไหว / การเคลื่อนตัว
5	OutpLoad_Settlement.plt	แรงกระทำ และการทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม ที่ระดับแรงกระทำภายนอกต่าง ๆ
6	OutpErrorPlot.plt	โครงข่ายเริ่มต้น / ค่าคลาดเคลื่อนของแต่ละชิ้นส่วน
7	OutpPlasticElement.plt	โครงข่ายเริ่มต้น / ชิ้นส่วนที่มีหน่วยแรงถึงผิววิบัติ (failure surface) ที่ระดับแรงกระทำภายนอกต่าง ๆ
8	OutpRunningTime.res	สรุปเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่าง ๆ

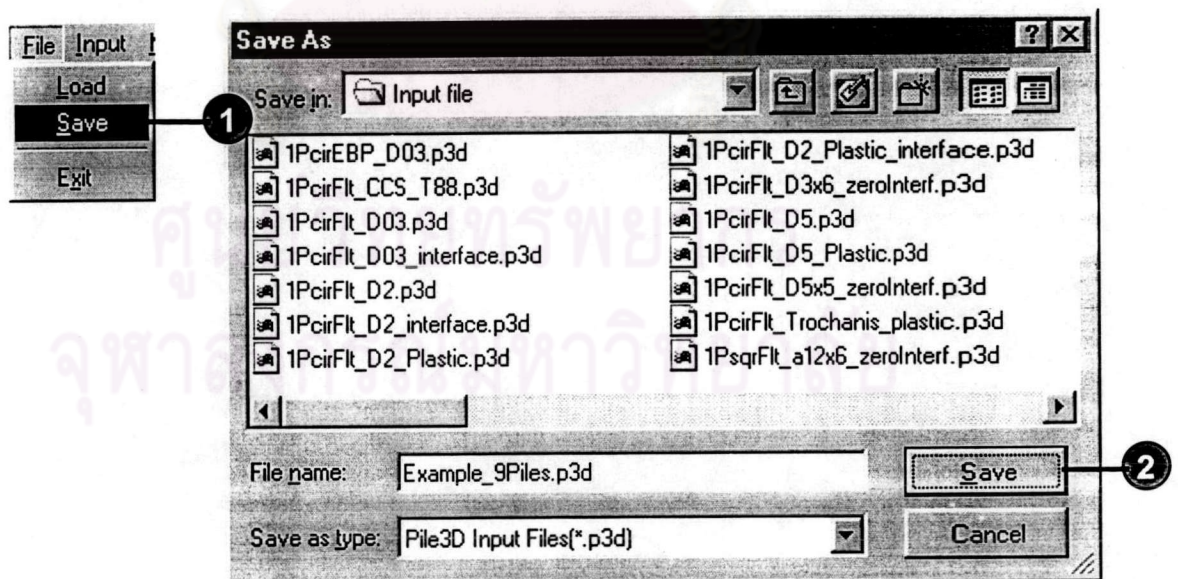
## หมายเหตุ

- (1) แฟ้มทั้งหมด สามารถเปิดในโปรแกรมจัดการเกี่ยวกับ Text file ทั่ว ๆ ไปเพื่อตรวจสอบข้อมูลที่ได้
- (2) แฟ้มลำดับที่ 1-7 สามารถเปิดในโปรแกรม Tecplot เพื่อการแสดงผลในเชิงกราฟฟิกส์ได้โดยตรง
- (3) การเคลื่อนตัว และหน่วยแรงที่แสดงในแฟ้มลำดับที่ 2 และ 3 แสดงที่ระดับแรงกระทำภายนอกสุดท้าย (สูงสุด) และการเคลื่อนตัวที่แสดงในแฟ้มลำดับที่ 4 เป็นการเคลื่อนตัวแบบขยายที่ถูกแบ่งเพื่อการแสดงผลภาพเคลื่อนไหว
- (4) ในแฟ้มลำดับที่ 7 ชิ้นส่วนที่มีหน่วยแรงถึงผิววิบัติจะกำหนดให้แทนด้วยเลข 0 ในขณะที่ชิ้นส่วนทั่วไปจะแทนด้วยเลข 1

## ความสามารถเพิ่มเติม การบันทึก และนำเข้าข้อมูลปัญหา

โปรแกรมสามารถบันทึกข้อมูลปัญหาที่ได้ป้อนไว้ในขั้นตอนที่ 3 เพื่อการนำเข้าข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์ได้อีกในภายหลังโดยไม่ต้องป้อนค่าใหม่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

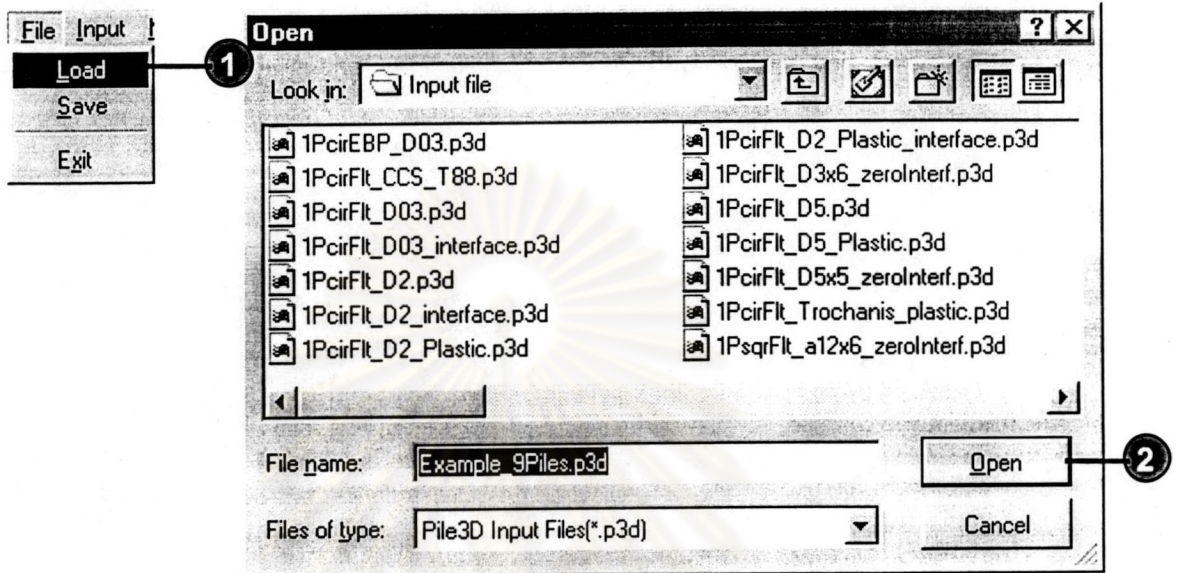
### การบันทึกข้อมูล



1. เลือกเมนู File ► Save

2. ในหน้าต่าง 'Save As' พิมพ์ชื่อแฟ้มที่ต้องการ โดยนามสกุลที่กำหนดเป็นพื้นฐานคือ \*.p3d  
ซึ่งในตัวอย่างนี้เลือกแฟ้มชื่อ 'Example\_9Piles.p3d' และคลิกปุ่ม Save

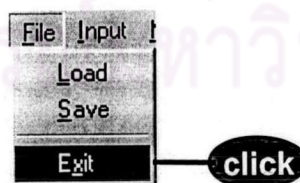
### การนำเข้าข้อมูล




1. เลือกเมนู File ► Load
2. ในหน้าต่าง 'Open' เลือกชื่อแฟ้มที่ได้บันทึกไว้ และคลิกปุ่ม Open

### ขั้นตอนที่ 7 จบการทำงาน

เลือกเมนู File ► Exit เพื่อจบการทำงาน และออกจากโปรแกรม Pile3D





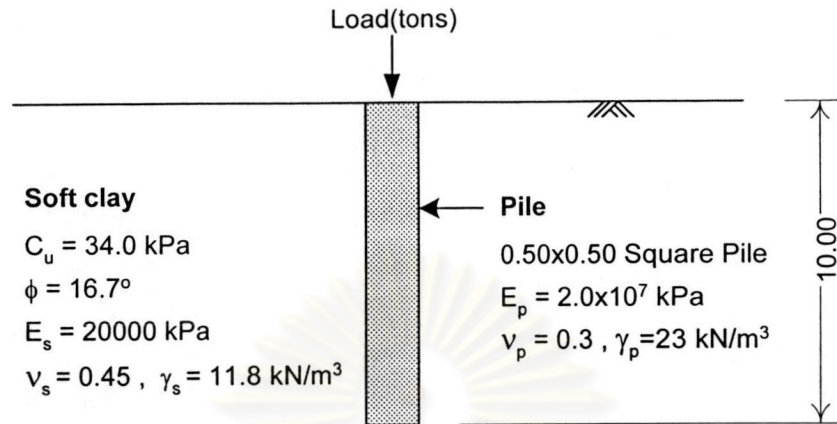
ภาคผนวก ค.

การคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ค.1 กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในหัวข้อ 5.1.6.2 (1)



การคำนวณ

กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในสภาวะสุดขีด (ultimate state),

$$P_{ult} = P_f + P_E - W_p \quad (\text{ค.1})$$

โดยที่  $P_f$  = กำลังรับแรงเฉือน (Friction) ที่ผิวเสาเข็ม  
 $P_E$  = กำลังรับแรงแบกทาน (End bearing) ที่ปลายเสาเข็ม  
 $W_p$  = น้ำหนักเสาเข็ม

(1) การคำนวณค่า  $P_f$

$$P_f = f_s \cdot A_s \quad (\text{ค.2})$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } f_s &= \alpha \cdot C_u \quad (\text{ค.3}) \\ &= 1.0 \times 34.0 = 34.0 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และ } A_s &= p \cdot L \quad (\text{ค.4}) \\ &= (0.50 \times 4) \times 10.0 = 20.0 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น  $P_f = 34.0 \text{ kPa} \times 20.0 \text{ m}^2$   
 $= 680 \text{ kN}$

โดยที่  $f_s =$  หน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่ยอมให้ ที่ผิวเสาเข็ม  
 $\alpha =$  แฟกเตอร์ความยึดเหนี่ยว (adhesion factor)  
 $C_u =$  กำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ  
 $A_s =$  พื้นที่ผิวข้างของเสาเข็ม  
 $p =$  ความยาวเส้นรอบรูป ของหน้าตัดเสาเข็ม  
 $L =$  ความยาวเสาเข็ม

(2) การคำนวณค่า  $P_E$

$$P_E = q_E \cdot A_p \quad (\text{ค.5})$$

โดย  $q_E = C_u N_c + \sigma_{v0}$  (ค.6)  
 $= 34.0(9) + (11.8 \times 10.0)$   
 $= 306 + 118$   
 $= 424.0 \text{ kPa}$

และ  $A_p = 0.5 \times 0.5 = 0.25 \text{ m}^2$

ดังนั้น  $P_f = 424.0 \text{ kPa} \times 0.25 \text{ m}^2$   
 $= 106 \text{ kN}$

โดยที่  $q_E =$  หน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้ ที่ปลายเสาเข็ม  
 $N_c =$  แฟกเตอร์กำลังแบกทาน (bearing capacity factor)  
 $\sigma_{v0} =$  หน่วยแรงในแนวตั้งของดินที่ระดับปลายเสาเข็ม  
 $A_p =$  พื้นที่ผิวหน้าตัดของเสาเข็ม

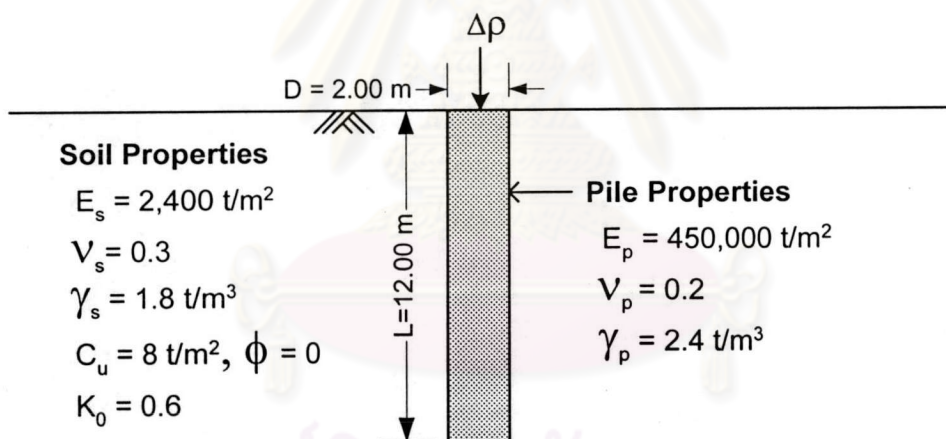
(3) การคำนวณค่า  $W_p$

$$\begin{aligned}
 W_p &= \gamma_p \cdot (A_p L) && \text{(ค.7)} \\
 &= 23.0 \text{ kN/m}^3 \times 0.25 \text{ m}^2 \times 10.0 \text{ m} \\
 &= 57.5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น จากสมการ (ค.1) จะได้กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในสภาวะสุดท้าย,

$$\begin{aligned}
 P_{ult} &= P_f + P_E - W_p \\
 &= 680 + 106 - 57.5 \\
 &= 728.5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

ค.2 กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในหัวข้อ 6.1.1



การคำนวณ

กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในสภาวะสุดท้าย (ultimate state) จากสมการ (ค.1),

$$P_{ult} = P_f + P_E - W_p$$

(1) การคำนวณค่า  $P_f$

$$P_f = f_s \cdot A_s$$

โดย  $f_s = \alpha \cdot C_u$   
 $= 1.0 \times 8.0 = 8.0 \text{ t/m}^2$

และ  $A_s = p \cdot L$   
 $= (\pi \cdot 2.0) \times 12.0 = 75.4 \text{ m}^2$

ดังนั้น  $P_f = 8.0 \text{ t/m}^2 \times 75.4 \text{ m}^2$   
 $= 603.2 \text{ tons}$

(2) การคำนวณค่า  $P_E$

$$P_E = q_E \cdot A_p$$

โดย  $q_E = C_u N_c + \sigma_{v0}$   
 $= 8.0(9) + (1.8 \times 12.0)$   
 $= 72 + 21.6$   
 $= 93.6 \text{ t/m}^2$

และ  $A_p = (\pi/4) \cdot 2.0^2 = 3.14 \text{ m}^2$

ดังนั้น  $P_f = 93.6 \text{ t/m}^2 \times 3.14 \text{ m}^2$   
 $= 294.1 \text{ tons}$

(3) การคำนวณค่า  $W_p$

$$W_p = \gamma_p \cdot (A_p L)$$

$$= 2.4 \text{ t/m}^3 \times 3.14 \text{ m}^2 \times 12.0 \text{ m}$$

$$= 90.4 \text{ tons}$$

ดังนั้น จากสมการ (ค.1) จะได้กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในสภาวะสุดขีด,

$$\begin{aligned}P_{ult} &= P_f + P_E - W_p \\ &= 603.2 + 294.1 - 90.4 \\ &= 806.9 \text{ tons}\end{aligned}$$



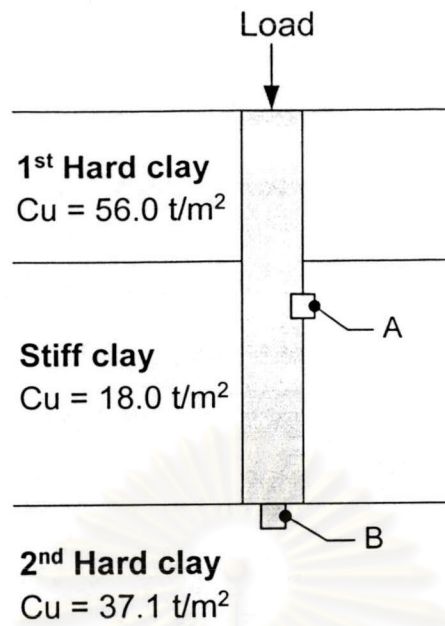
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



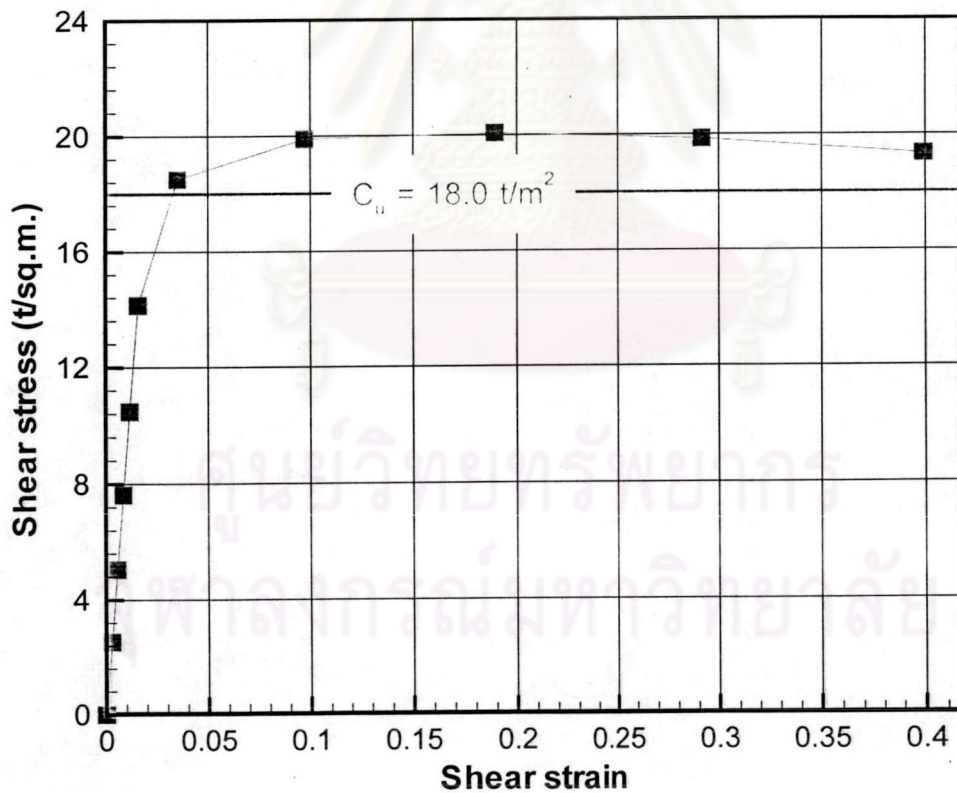
ภาคผนวก ง.

ภาพประกอบเพิ่มเติม

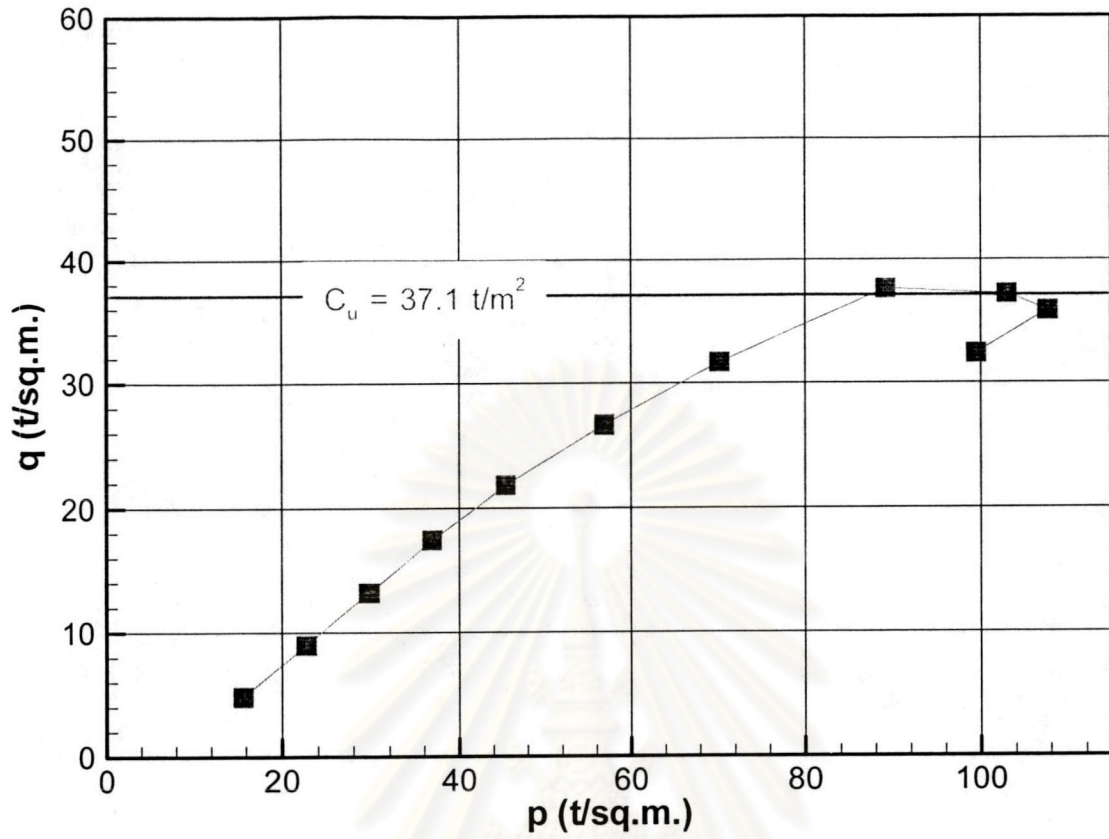
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง.1 แผนภาพแสดงโครงสร้างปัญหา จากหัวข้อ 5.1.6.2 (2) โดยแสดงจุดที่พิจารณาในรูปที่ ง.2 และ ง.3



รูปที่ ง.2 กราฟหน่วยแรงเฉือน ต่อความเค้นเฉือนที่ผิวเสาเข็ม (จุด A ในรูปที่ ง.1) ที่ระดับแรงต่าง ๆ



รูปที่ ง.3 พิจารณากราฟ p-q (p-q diagram) ที่จุดปลายเสาเข็มตามแนวแกนกลาง (จุด B ในรูปที่ ง.1)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพงศวิทย์ รุ่งบรรณพันธ์ เกิดเมื่อวันที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมปฐพี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2543



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย