

ẢNH HƯỞNG CỦA VIỆC ĐƠN GIẢN HOÁ MÔI TRƯỜNG ĐẤT KHI TÍNH TOÁN CỌC CHỊU TẢI NGANG

TS. LÊ BÁ KHÁNH
KS. NGUYỄN DUY LUÂN

Tóm tắt: Mục tiêu của bài báo là khảo sát ảnh hưởng của việc đơn giản hoá môi trường đất khi tính toán cọc chịu tải ngang. Bài báo áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích trạng thái ứng suất biến dạng của cọc đơn chịu tải ngang. Cọc và đất nền được mô hình hoá bằng phần tử khối 3D. Ứng xử chảy dẻo của đất tuân theo Mô hình Mohr-Coulomb. Cặp phần tử đối tiếp xúc được dùng để mô phỏng tiếp xúc cọc đất. Kết quả phân tích cho thấy việc đơn giản hoá môi trường đất khi tính toán cọc chịu tải ngang có ảnh hưởng nhất định đến sự làm việc của cọc chịu tải trọng ngang.

Từ khoá: Cọc đơn, phần tử hữu hạn, chịu tải ngang, Mohr-Coulomb, phần tử tiếp xúc, ANSYS.

Abstract: The aim of paper is to evaluate influences of simplified ground model for calculate single pile subject to lateral impact load. The paper use finite element method to analysis stress - strain state of single pile subject to lateral load. Pile and ground is simulated with 3D solid elements by using ANSYS software. Plastic flow behaviour of soil abide by Mohr - Coulomb model rules. Contact of pair is used to simulate soil - pile interaction. The analytical results show that a certain influence on work of pile subject to lateral load with simplified ground model.

Keywords: Single pile, finite element, lateral loading, Mohr Coulomb, contact element, ANSYS.

1. GIỚI THIỆU

Móng của mố cầu luôn chịu tác dụng của nhiều loại tải trọng ngang khác nhau. Một số loại tải trọng ngang có thể kể đến như: Gia tốc và hãm phanh của xe, gió, sóng, mảnh vỡ, tảng băng, tàu thủy, áp lực ngang của đất, trượt mái dốc, động đất,...

Ngày nay việc tính toán móng cọc chịu tải ngang thường được trợ giúp bởi các phần mềm. Để phục vụ cho các tính toán thiết kế, việc đơn giản hoá mô hình tính là rất cần thiết. Điều này giúp giảm sai sót khi nhập số liệu, giảm chi phí khảo sát địa kỹ thuật, rút ngắn rất nhiều thời gian tính toán. Nội dung của bài báo tập trung vào việc khảo sát ảnh hưởng của việc đơn giản hoá môi trường đất khi tính toán cọc chịu tải ngang.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT PHÂN TÍCH CỌC CHỊU TẢI NGANG BẰNG ANSYS

Phương pháp thông thường để tính toán cọc đơn chịu tải trọng ngang có thể được chia thành hai phương pháp sau: (1) Mô hình nền Winkler (đàn hồi) và (2) Mô hình đàn hồi liên tục nhằm mục đích xem xét mối quan hệ giữa phản lực và chuyển vị trong đất dọc theo chiều dài cọc. Mỗi phương pháp có thể phân tích tĩnh hoặc động. Đồng thời xem xét ứng xử của cọc, đất và tương tác cọc đất theo quan hệ tuyến tính hoặc phi tuyến [1].

2.1. Các phương pháp phân tích dựa trên mô hình nền Winkler

Theo phương pháp này, cọc chịu tải ngang được xem như dầm chịu uốn nằm trên nền Winkler. Đất nền được thay thế bằng một loạt các lò xo đàn hồi độc lập nhau.

Phương trình độ võng của dầm được viết như sau:

$$E_c J \frac{d^4 y}{dz^4} + p = 0 \quad (1)$$

Trong đó:

- E_c - mô đun đàn hồi của cọc
- J - mô men quán tính của tiết diện cọc
- p - phản lực của đất trên một đơn vị dài của cọc
- Y - chuyển vị ngang của cọc

Trong (1) có hai hàm y và p cần được xác định. Muốn tìm được chúng cần phải có thêm một phương trình nữa. Chính cách thiết lập thêm phương trình phụ này là tiền đề cho sự khác nhau giữa các phương pháp.

Khi dùng mô hình nền Winkler ta có: $p = k_n \cdot y$ (1.4)

Ở đây k_n được gọi là hệ số nền Winkler hay là mô đun phản lực nền theo phương ngang.

Mô hình nền Winkler được sử dụng rất phổ biến bởi tính đơn giản và cho kết quả hợp lý [1].

2.2. Các phương pháp phân tích dựa trên mô hình đàn hồi liên tục

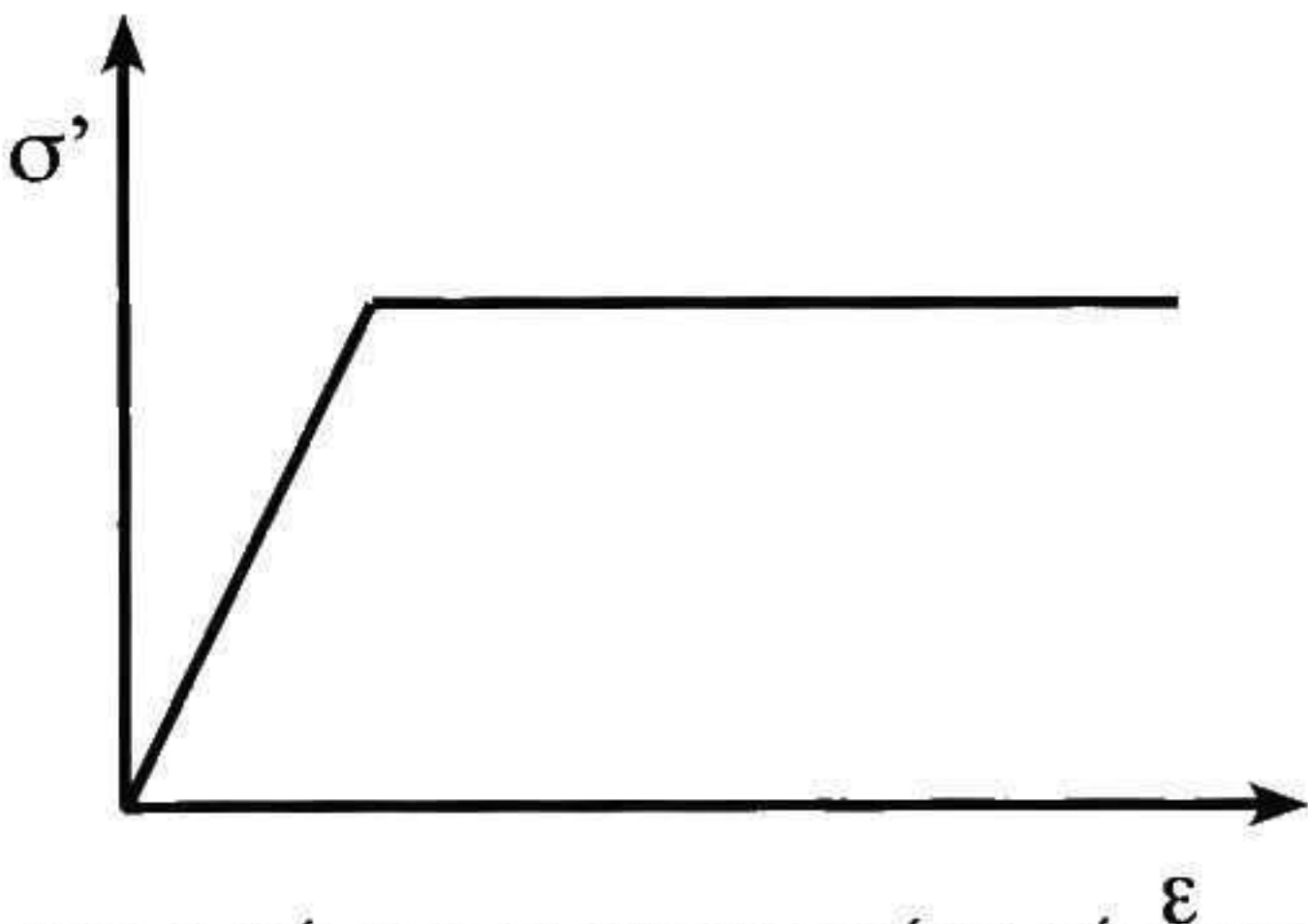
Phân tích phi tuyến phần tử hữu hạn 3D của móng cọc, bao gồm cọc và đất được mô phỏng bởi phần tử khối có thể tốn rất nhiều thời gian và chi phí.

2.3. Mô hình Linear Elastic

Mô hình đàn hồi tuyến tính là mô hình đặc tính đất cơ bản nhất mà ngày nay vẫn được sử dụng trong các ứng dụng liên quan đến địa kỹ thuật, mô hình này tuân theo định luật Hook về đàn hồi tuyến tính đẳng hướng. Các thông số của mô hình này gồm 2 thông số: module đàn hồi E và hệ số Poisson ν . Cặp thông số này được sử dụng để mô phỏng đặc tính của đất ở những điều kiện đặc biệt. Mô hình được sử dụng chủ yếu để mô phỏng các loại kết cấu cứng trong đất (ví dụ: Móng bê tông, sàn bê tông, cọc bê tông,...).

2.4. Ứng dụng Mô hình Mohr - Coulomb trong ANSYS

Mô hình Mohr - Coulomb là mô hình gần đúng về mối quan hệ của đất. Đây là mô hình đàn hồi - thuần dẻo dựa trên cơ sở định luật Hook kết hợp với tiêu chuẩn phá hoại Mohr - Coulomb. Trong mô hình đàn hồi - thuần dẻo, biến dạng và tốc độ biến dạng được phân tích thành hai thành phần: Phần đàn hồi và phần thuần dẻo. Định luật Hook được sử dụng để thể hiện mối quan hệ giữa gia tăng ứng suất và biến dạng.



Hình 1. Mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng trong mô hình Mohr - Coulomb

Để sử dụng mô hình Mohr - Coulomb:

1. Định nghĩa ứng xử đàn hồi đẳng hướng hoặc không đẳng hướng (thông qua dòng lệnh MP hoặc bảng dữ liệu vật liệu đàn hồi)

[TB,ELASTIC].

2. Định nghĩa mặt trượt Mohr-Coulomb

[TB,MC,,,BASE]

3. Đưa vào các hằng số mô hình.

[TB,DATA]

Mô hình gồm 5 thông số cơ bản: module đàn hồi E, hệ số Poisson ν , lực dính của đất c, góc ma sát trong φ và góc nở của đất ψ .

2.5. Mô tả tiếp xúc cọc - đất

Cặp phần tử tiếp xúc ở bề mặt cọc - đất (đối tiếp xúc) TARGE170 - CONTA174 được sử dụng để mô tả các hiện tượng tiếp xúc cọc - đất.

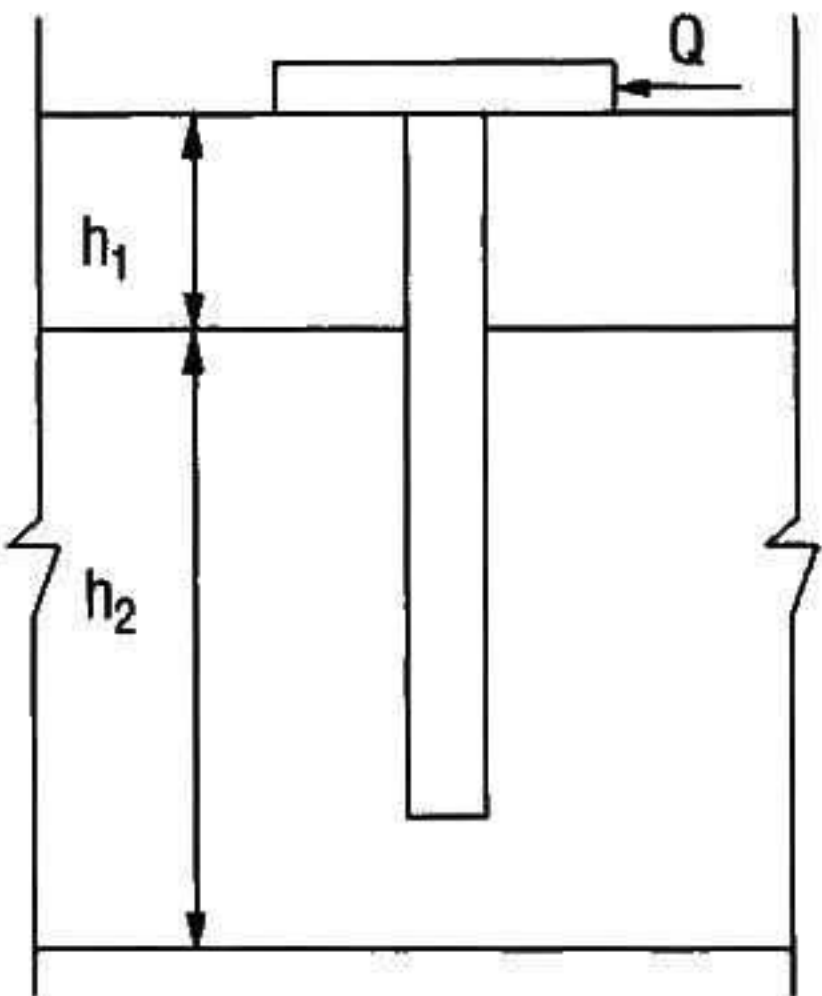
3. MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU

3.1. Thông số hình học của mô hình

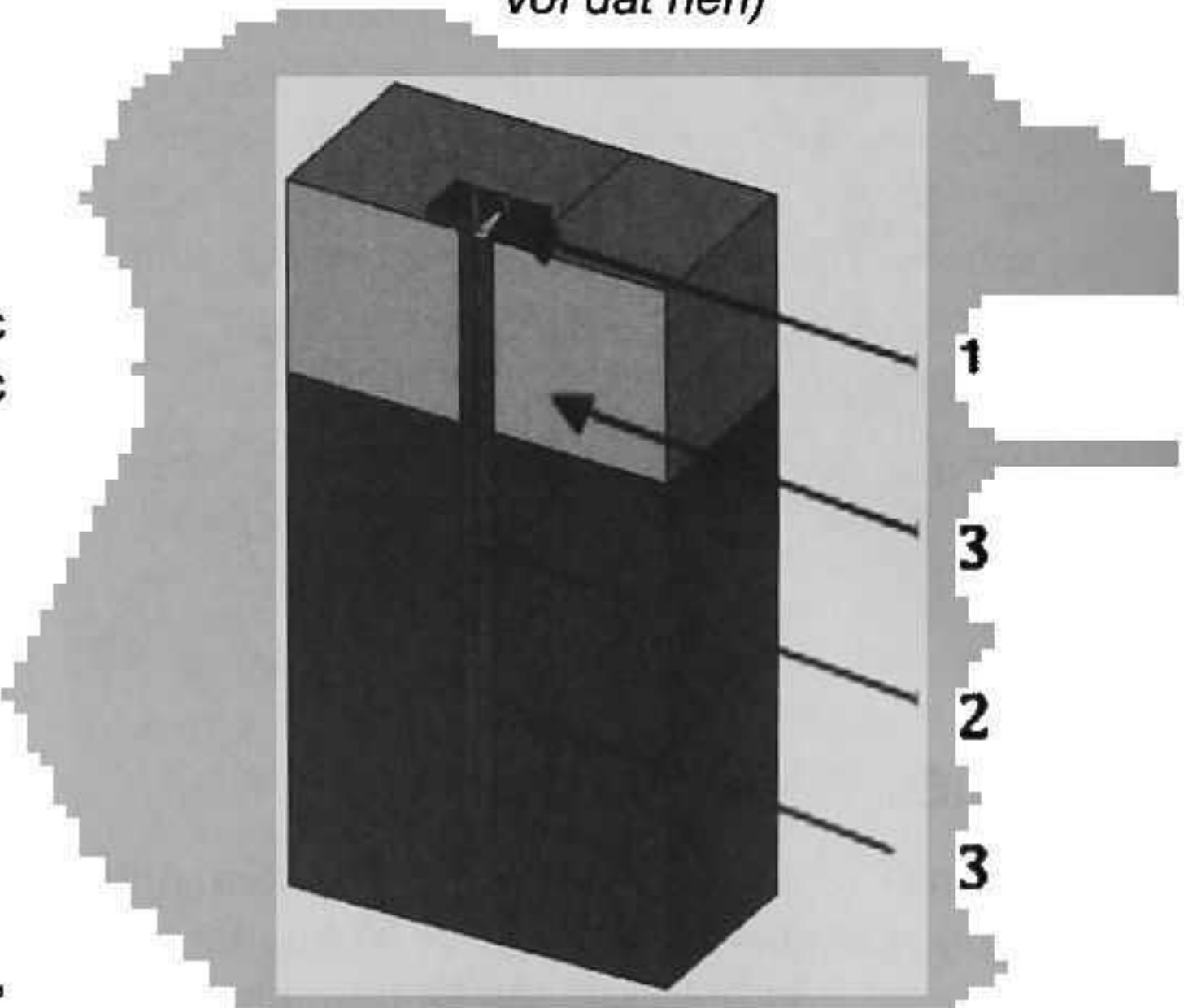
Bảng 2: Kích thước mô hình

Tọa (độ)	Bề cọc (m)	Cọc D=1 (m)	Lớp đất 1 (m)	Lớp đất 2 (m)
x	3	0	12	12
y	3	0	6	6
z	0,5	19	6	16

Khảo sát trạng thái ứng suất của cọc chịu tải ngang như hình 2. Do kết cấu mô hình cọc đất và tải trọng có tính đối xứng với mặt phẳng yOz nên chỉ cần khảo sát một nửa mô hình (Hình3).



Hình 2. Mô hình nghiên cứu (đài cọc không tiếp xúc với đất nền)



Hình 3. Mô hình nghiên cứu trong ANSYS có xét đến tính đối xứng 1 - Đài cọc; 2 - Cọc; 3 - Các lớp đất

Biên của mô hình khảo sát xác định

- Từ đáy mũi cọc trở xuống 3D
- Biên ngang: rộng ra mỗi bên 6D
- Biên dọc: rộng ra mỗi bên 6D

3.2. Thông số vật liệu của mô hình

Vật liệu đài cọc và cọc (Bê tông cốt thép - Linear Elastic)

$$f_c' = 30 \text{ MPa};$$

$$E = 27\,691,5 \text{ MPa};$$

$$\nu = 0,2;$$

$$W_c = 2400 \text{ kN/m}^3;$$

Thông số đất nền:

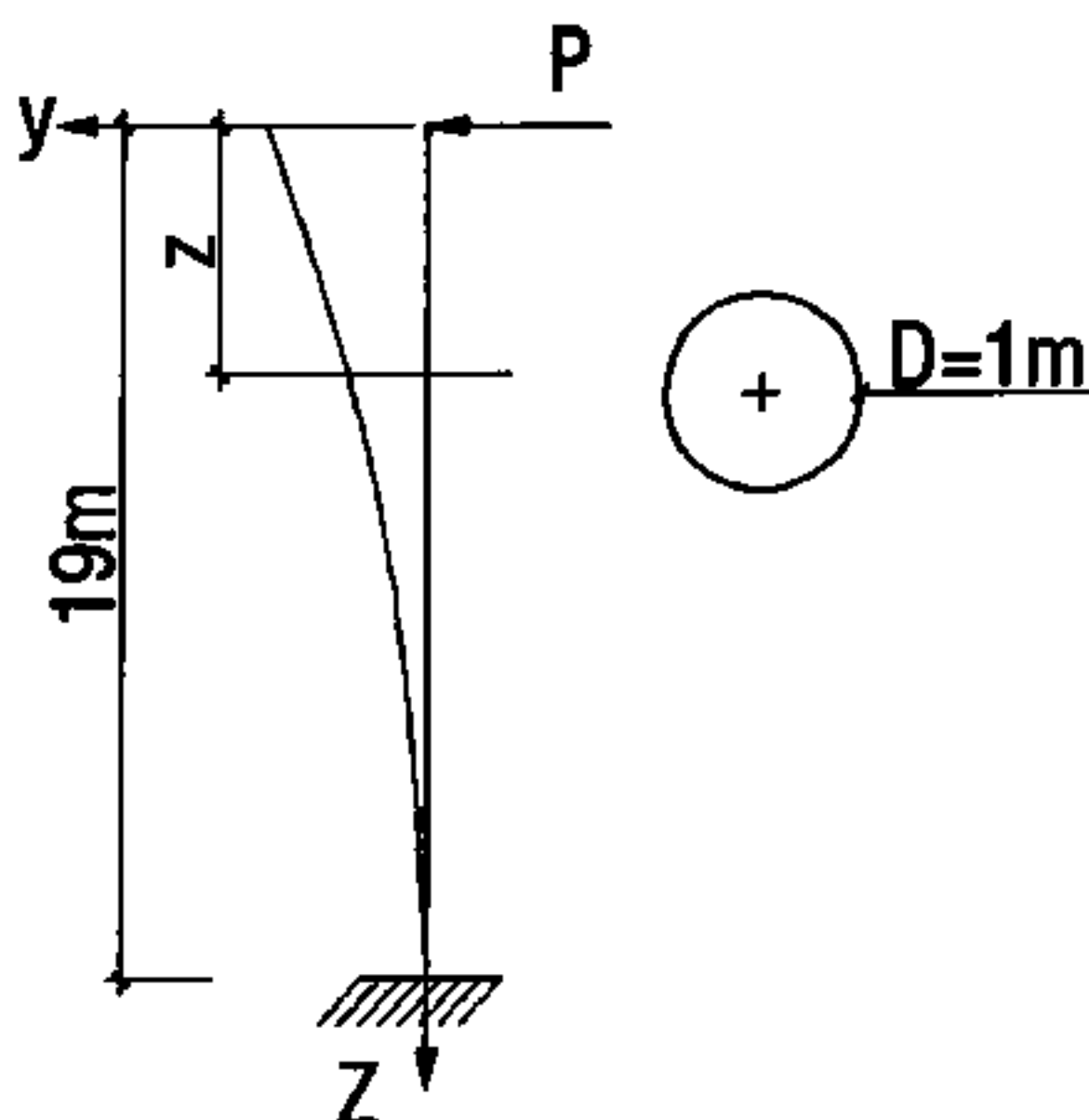
Tham khảo nghiên cứu ZHAO Ming-hua và cộng sự [2], các thông cơ bản của đất nền được xác định như sau:

Bảng 3: Thông số các lớp đất

Lớp đất	Chiều dày (m)	Module đàn hồi (MPa)	Hệ số poisson	Lực dính (KPa)	Góc ma sát trong (độ)
1	6	5	0,4	6	12
2	16	30	0,35	20	30

3.3. Tải trọng

Độ lớn của tải trọng ngang được ước lượng từ điều kiện ứng suất nén tại vị trí ngàm $\sigma < 0,5 f_c'$. Sơ đồ tính xác định theo sơ đồ cọc ngàm chịu tải trọng ngang tại đầu cọc và không xét đến ảnh hưởng của đất nền.



Hình 4. Sơ đồ ước lượng tải trọng ngang

Các công thức tính:

$$I_x = \frac{\pi r^4}{4}, \sigma = \frac{M}{J} \cdot y, M = \frac{\sigma \cdot I_x}{y}$$

$$M = \frac{P}{L}, P = \frac{\sigma \cdot I_x}{y \cdot L}, q = \frac{P}{A}$$

Trong đó:

I_x : mô men quán tính của cọc (m^4)

r : bán kính cọc (m)

P : Tải ngang tác dụng lên đầu cọc (kN)

M : Momen tại chân cọc do lực Q gây ra. (kN.m)

σ : Ứng suất cọc (kN/m^2)

L : Chiều dài cọc (m)

y : Khoảng cách từ trục trung hòa đến thớ chịu kéo (nén) (m)

A : diện tích mặt bên đài cọc (m^2)

q : Tải trọng ngang phân bố đặt vào mặt bên đài cọc.

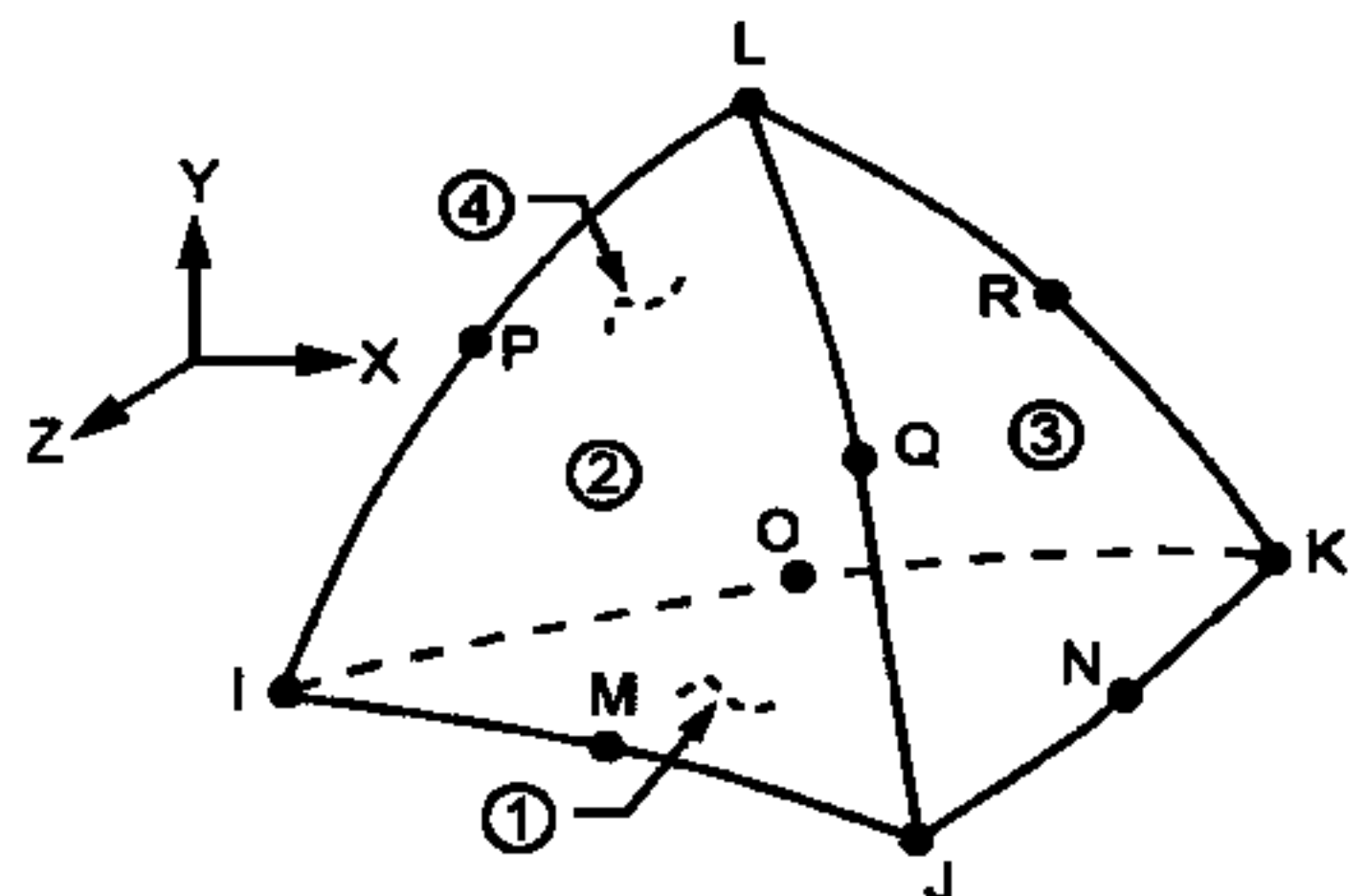
Lập phương trình đường đàn hồi bằng phương pháp tích phân không định hạn [2].

Độ võng và góc xoay lớn nhất ở đầu tự do của của cọc, ứng với $z = 0$, ta có:

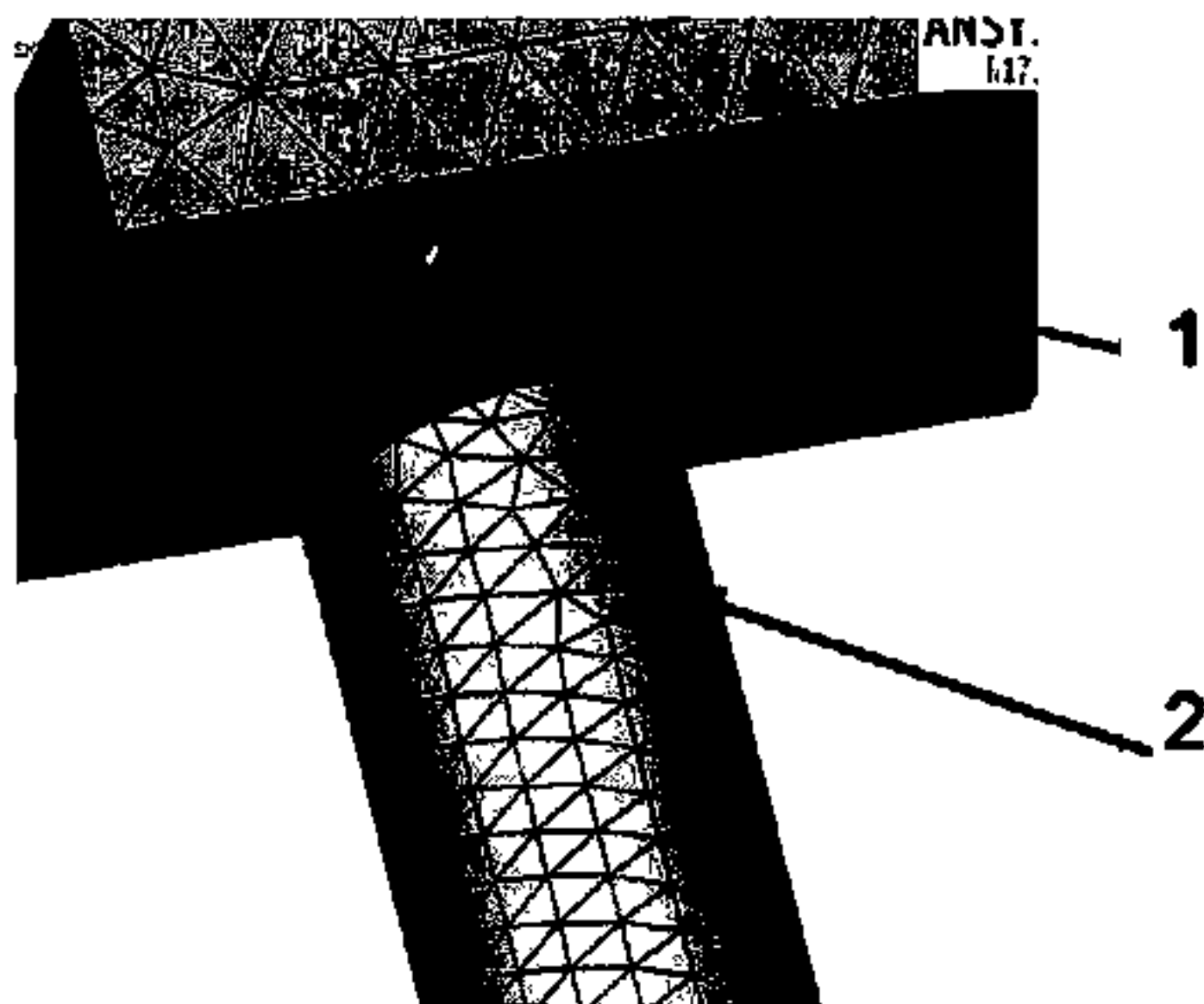
$$y_{\max} = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot EI_x}; \varphi = \frac{P \cdot L^2}{2 \cdot EI_x}$$

3.4. Mô hình hoá kết cấu

Dùng phần tử khối chóp SOLID 187 (Hình 5) của phần mềm ANSYS để phân tích cọc. Khi phân tích, lưới phần tử được chia mịn hơn ở những chỗ có khả năng tập trung ứng suất, những chỗ cần khảo sát chi tiết hơn (Hình 6).



Hình 5. Cấu trúc của phần tử khối chóp SOLID 187 [4]



Hình 6. Chia lưới mô hình bằng phần tử SOLID 187

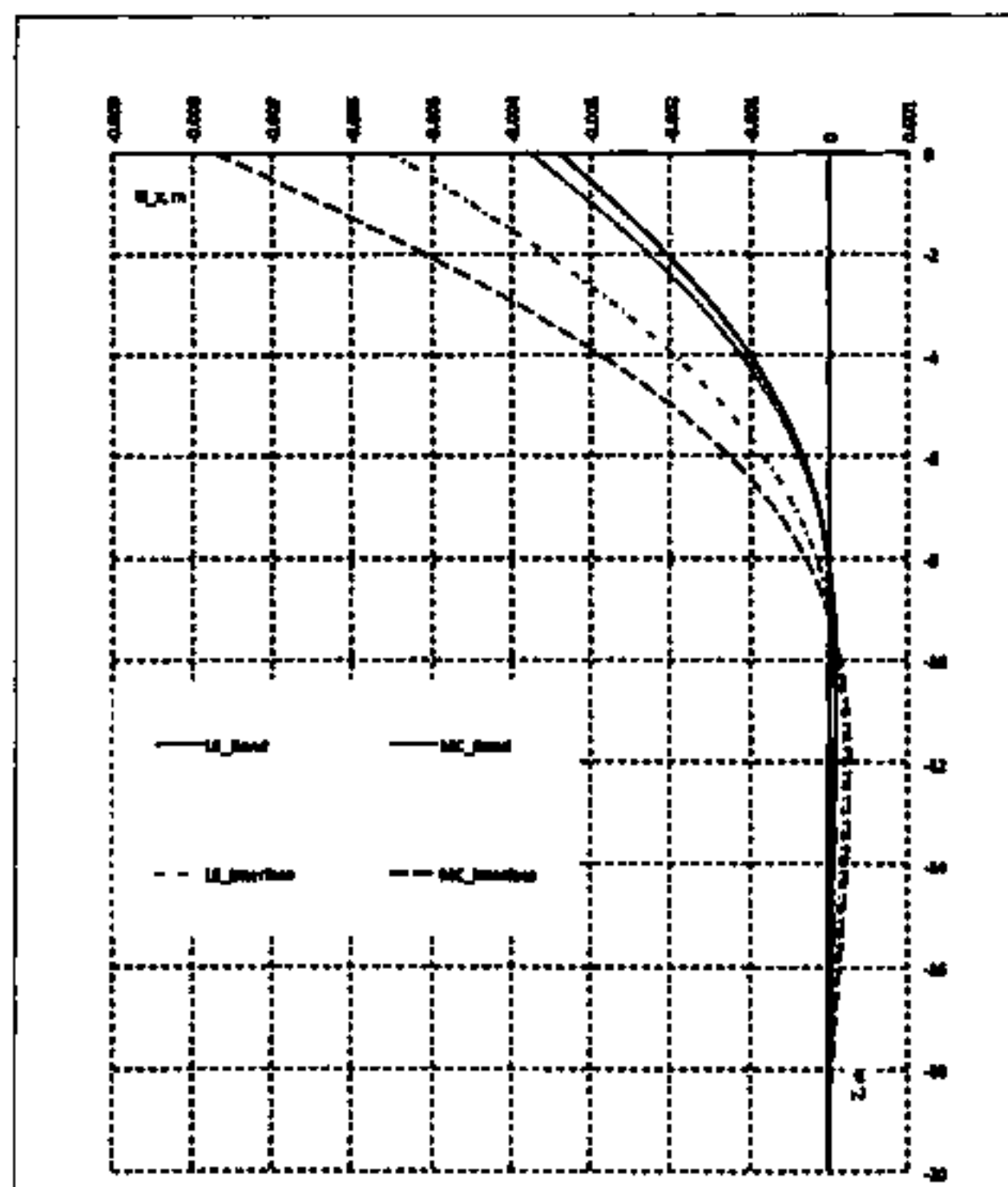
4. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH

4.1. Các trường hợp phân tích

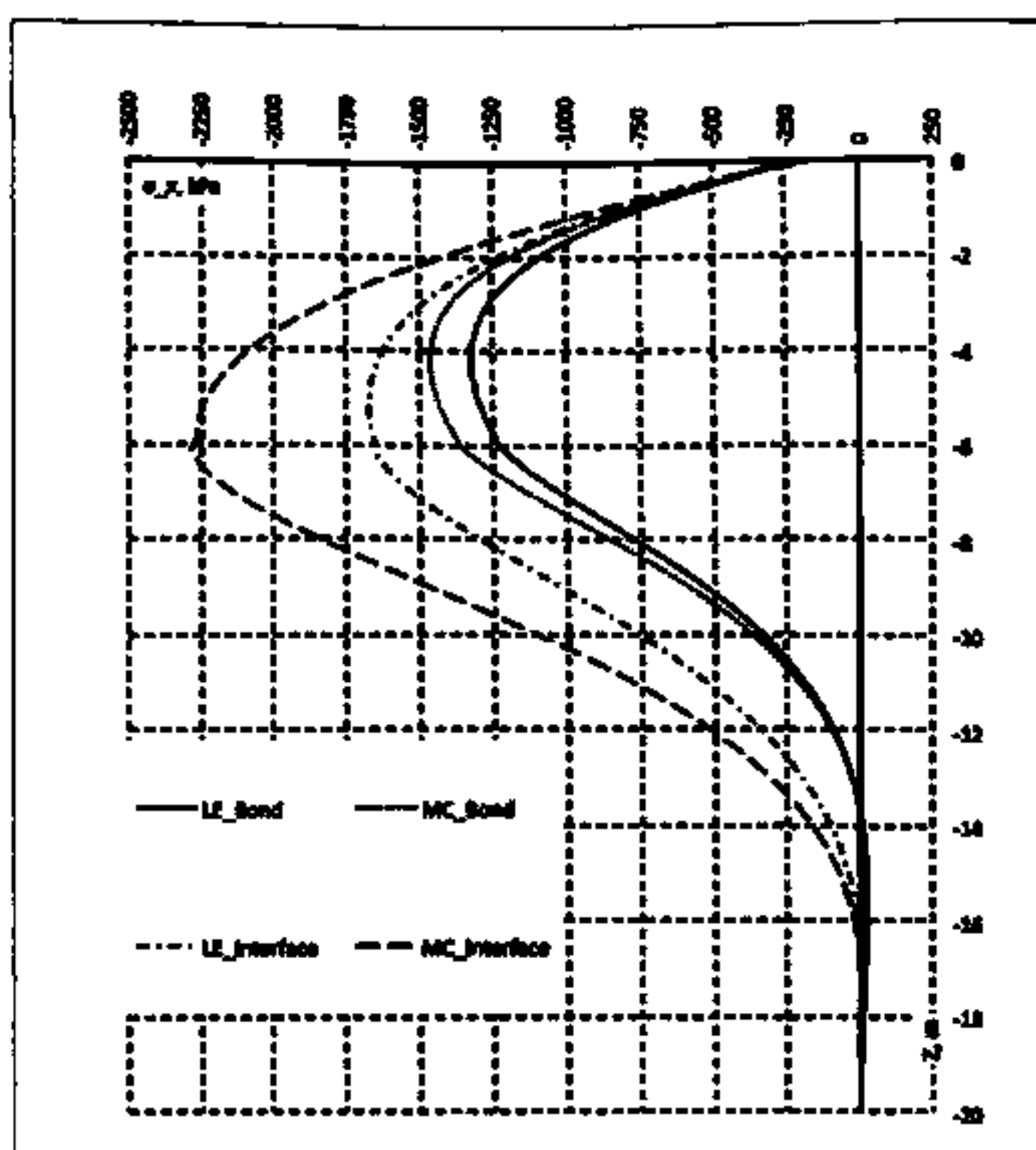
- Khảo sát chuyển vị u_x của cọc,
- Khảo sát ứng suất σ_x của đất nền,
- Khảo sát ứng suất σ_z ở mép ngoài cọc,

Bảng 4: Các trường hợp phân tích

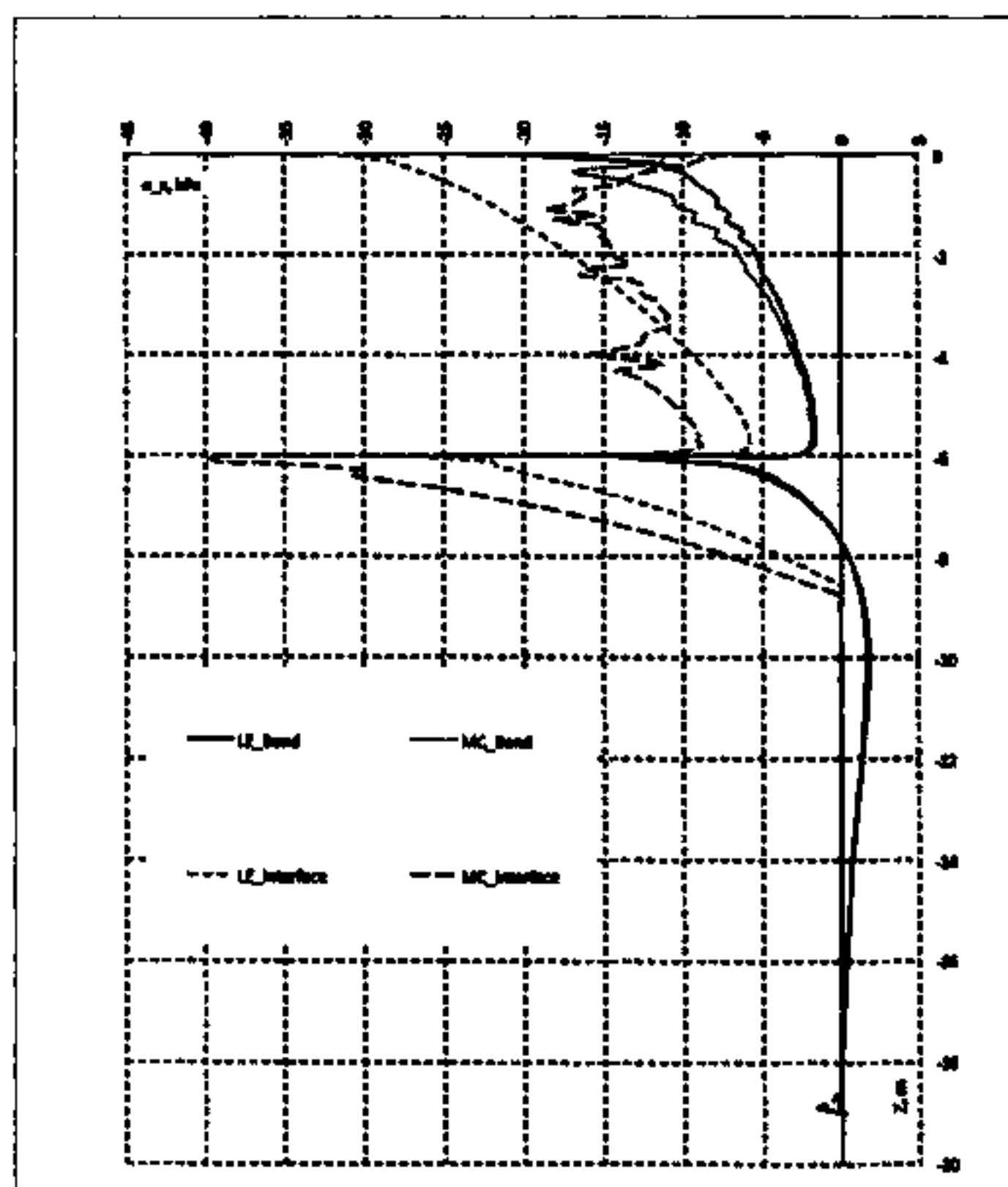
Trường hợp	Mô hình ứng xử của đất	Tiếp xúc cọc - đất
LE_Bond	Linear Elastic	Đất dính chặt với cọc
MC_Bond	Mohr-Coulomb	Đất dính chặt với cọc
LE_Interface	Linear Elastic	Có phần tử tiếp xúc
MC_Interface	Mohr-Coulomb	Có phần tử tiếp xúc



Hình 7. Chuyển vị ngang của cọc, U_x



Hình 8. Ứng suất σ_z của mép cọc ($x = 0.5$)



Hình 9. Ứng suất σ_x của đất nền

4.2. Nhận xét kết quả

Nhận xét về chuyển vị ngang của đầu cọc U_x (hình 7)

- Chuyển vị ngang của đầu cọc U_x càng lớn khi dùng mô hình nền Mohr Colomb và phần tử tiếp xúc. Có thể là:

Bảng 5. So sánh chuyển vị đầu cọc các trường hợp

Trường hợp	Chuyển vị đầu cọc (m)	Chênh lệch (%)
LE_Bond	-0.0034017	100
MC_Bond	-0.0037728	110.91
LE_Interface	-0.0055109	162.00
MC_Interface	-0.0077061	226.54

- Khi sử mô hình Mohr - Colomb, mối quan hệ giữa lực và chuyển vị là đàn dẻo nên có chuyển vị lớn.

- Trường hợp đất dính với cọc (Bond), đất nền và cọc đồng thời cùng tham gia chịu lực gây ra chuyển vị nhỏ hơn trường hợp có phần tử tiếp xúc.

Nhận xét về ứng suất σ_z ở mép cọc (Hình 8)

- Xét trường hợp đất dính với cọc (Bond) và có phần tử tiếp xúc (Interface): Khi sử dụng mô hình Mohr - Colomb, ứng suất tăng thêm lần lượt 110.66% và 136% so với trường hợp đất đàn hồi tuyến tính.

- Xét 2 trường hợp đất dính với cọc (Bond) với 2 trường hợp có sử dụng phần tử tiếp xúc (Interface), giá trị ứng suất trường hợp đất dính với cọc (Bond) nhỏ hơn lần lượt 126,55% và 136%.

Bảng 6. So sánh giá trị ứng suất lớn nhất

Trường hợp	Ứng suất lớn nhất (Pa)	Chênh lệch (%)
LE_Bond	-1323700	100
MC_Bond	-1464800	110.66
LE_Interface	-1675100	126.55
MC_Interface	-2283400	172.50

Nhận xét về ứng suất σ_x của đất nền (hình 9)

- Bước nhảy đột ngột về ứng suất σ_x ở độ sâu -6 là hợp lý vì tại đây là ranh giới giữa 2 lớp đất có mô đun đàn hồi khác nhau. Hai lớp đất dính chặt với nhau, do đó sẽ có cùng biến dạng. Nếu hai lớp đất mà có mô đun đàn hồi khác nhau thì ứng suất sẽ phải khác nhau.

Sự chênh lệch ứng suất của hai lớp đất.

Trường hợp	Ứng suất đất nền (Pa)		Tỉ số chênh lệch
	Lớp 1	Lớp 2	
LE_Bond	-2922.9	-12506	4.2786
MC_Bond	-3262.6	-13980	4.2849
LE_Interface	-7621.9	-25656	3.3661
MC_Interface	-13944	-39918	2.8627

5. KẾT LUẬN

Qua phân tích có thể rút ra một số kết luận sơ bộ sau:

Trước ANSYS 17.0, để mô tả ứng xử của đất nền thì ANSYS chỉ có duy nhất một mô hình Drucker-Prager. ANSYS 17.0 đã bổ sung thêm các mô hình ứng xử của đất như Mohr-Coulomb, Cam-Clay, Jointed Rock để mô tả ứng xử của đất được tốt hơn.

Qua phân tích, nhận thấy rằng có sự khác biệt đáng kể khi áp dụng mô hình Mohr-Coulomb và dùng phần tử tiếp xúc để phân tích cọc chịu tải ngang ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

[1] P.G.a.J.M.R. Maryam Mardfekri, "Modeling Laterally Loaded Single Piles Accounting for Nonlinear Soil-Pile Interactions," Journal of Engineering, vol. 2013, 2013.

[2] Z. Ming-hua, "3D finite element analysis on pile-soil interaction of passive pile group", J.Cent. South Univ. Technol, vol. 15, pp. 75-80, 2008.

[3] Đỗ Kiến Quốc, Nguyễn Thị Hiền Lương, Bùi Công Thành, Lê Hoàng Tuấn, Trần Tấn Quốc, Giáo trình Sức bền vật liệu, Hồ Chí Minh: Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2011.

[4] A. Help, SOLID 187 Element Description, Contains proprietary and confident information of ANSYS, Inc.

[5] P.K.I.a.C. Sam, "Engineering Mechanics", 3-D Elastic Analysis of Three Pile Caps," pp. Vol. 117, No. 12, pp. 2862-2883, December 1991.