

# NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG ĐƯỜNG CONG T-Z DỰ BÁO QUAN HỆ TẢI TRỌNG - ĐỘ LÚN CỦA CỌC KHOAN NHỎ Ở KHU VỰC HÀ NỘI

KS. HOÀNG THANH HẢI

Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: Trong những năm gần đây, với sự ứng dụng của thiết bị đo biến dạng dọc theo thân cọc trong thí nghiệm nén tĩnh giúp cho có được nhiều số liệu kết quả từ thí nghiệm này hơn, từ đó ta có thể xác định được sự phân bố tải trọng trong thân cọc dọc theo chiều sâu, chuyển vị của mũi cọc, chuyển vị dọc theo thân cọc. Từ các kết quả này, ngoài việc xác định được sự phân bố ma sát bên, sức kháng ma sát đơn vị, sức kháng mũi cọc, ta còn có thể xây dựng được các đường cong quan hệ giữa chuyển vị/đường kính cọc và ma sát mặt bên/ma sát bên lớn nhất (đường cong T-Z). Bài viết này trình bày phương pháp xây dựng đường cong T-Z, và kết hợp với phương pháp phần tử hữu hạn để dự báo quan hệ tải trọng-độ lún của cọc khoan nhỏ ở khu vực Hà Nội.

Từ khóa: đường cong T-Z, thiết bị đo biến dạng, quan hệ tải trọng độ lún, cọc khoan nhỏ.

## 1. Đặt vấn đề

Sức chịu tải và độ lún của cọc đơn khi chịu tác dụng của tải trọng nén dọc trục phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau như: sự phân bố và tính chất cơ lý của đất, đặc điểm của cọc khoan nhỏ, cơ chế phân bố tải trọng trong cọc khi chịu lực tác dụng, tương tác giữa cọc và đất,... Tất cả các yếu tố này không thể mô phỏng một cách hoàn toàn chính xác trong công thức tính toán, vì vậy phương pháp tốt nhất để dự báo quan hệ tải trọng-độ lún của cọc khoan nhỏ là thí nghiệm bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục (thí nghiệm nén tĩnh), đây là phương pháp được coi là phản ánh đúng sự làm việc của cọc và được tiến hành nhiều nhất. Tuy nhiên phương pháp thí nghiệm nén tĩnh là một phương pháp tốn kém và không thể hiện được sự phân bố tải trọng dọc theo thân cọc, chuyển vị của mũi cọc và chuyển vị dọc theo thân cọc.

Để có thể xác định được các giá trị trên, việc lắp đặt các thiết bị đo biến dạng trong cọc khoan nhỏ đã được thực hiện. Từ các giá trị biến dạng dọc theo thân cọc có được trong quá trình thí nghiệm nén tĩnh, dựa trên một số giả thuyết được đưa ra thì ngoài việc có thể xác định được sự phân bố tải trọng trong thân cọc, sự phân bố ma sát bên, sức kháng ma sát đơn vị, sức kháng mũi cọc, ta còn có thể xây dựng được các đường cong quan hệ giữa chuyển vị/đường kính cọc và ma sát mặt bên/ma sát bên lớn nhất (đường cong T-Z).

Việc nghiên cứu đường cong T-Z đã được Seed và Reese nghiên cứu từ năm 1957[5], sau đó được nhiều tác giả như Coyle và Reese (1966)[6], Duncan và Chang(1970)[7], Bowles(1974)[8], Vijayvergiya(1977)[9], Randolph và Wroth(1978)[10], Fahey và Carter(1993)[11] tiếp tục nghiên cứu. Lý thuyết về đường cong T-Z cũng đã được chấp nhận trong tiêu chuẩn AASHTO (1998) LRFD Bridge Design Specification.

Xuất phát từ những vấn đề nêu trên, bài viết này trình bày phương pháp xây dựng đường cong T-Z cho một số lớp đất ở khu vực Hà Nội, và áp dụng kết quả này để dự báo quan hệ tải trọng-độ lún của cọc khoan nhỏ.

## 2. Xây dựng đường cong T - Z cho một số loại đất ở khu vực Hà Nội

### 2.1. Nguyên lý đường cong T-Z

Phương pháp đường cong T-Z được sử dụng rộng rãi khi nghiên cứu cọc chịu tải trọng dọc trục, đây cũng là phương pháp hữu hiệu khi nền đất phi tuyến hoặc nền đất xung quanh cọc có nhiều lớp. Phương pháp này cần phải mô hình hoá cọc thành tập hợp các phần tử độc lập liên kết với nhau bằng các gối đàn hồi phi tuyến thể hiện sức kháng ma sát bên giữa cọc và đất (gối T - Z), một gối đàn hồi phi tuyến được đặt ở mũi cọc thể hiện sức kháng mũi (gối Pp-Z). Sơ đồ mô hình hoá sự làm việc của cọc và đất theo phương pháp đường cong T - Z được thể hiện trong hình 1.

Về cơ bản, phương pháp tính toán gồm các bước như sau (theo Bowles(1997)[12]):

a. Chia cọc thành các đoạn như hình 1a, trong quá trình phân chia nên căn cứ vào điều kiện địa chất, đặc điểm cọc để phân chia.

b. Giả thiết có một chuyển vị mũi cọc  $\Delta y_p$  (giá trị bằng 0 có thể được sử dụng, nhưng thông thường mũi cọc luôn chuyển vị trừ khi tựa trên đá).

c. Tính toán sức kháng mũi  $P_p$  từ chuyển vị giả thiết của vị trí này. Một lò xo thể hiện tương tác cọc - đất được sử dụng với mô đun phân lực nền  $k_s$  ước tính (hoặc sử dụng phương trình lý thuyết đàn hồi), ta có:

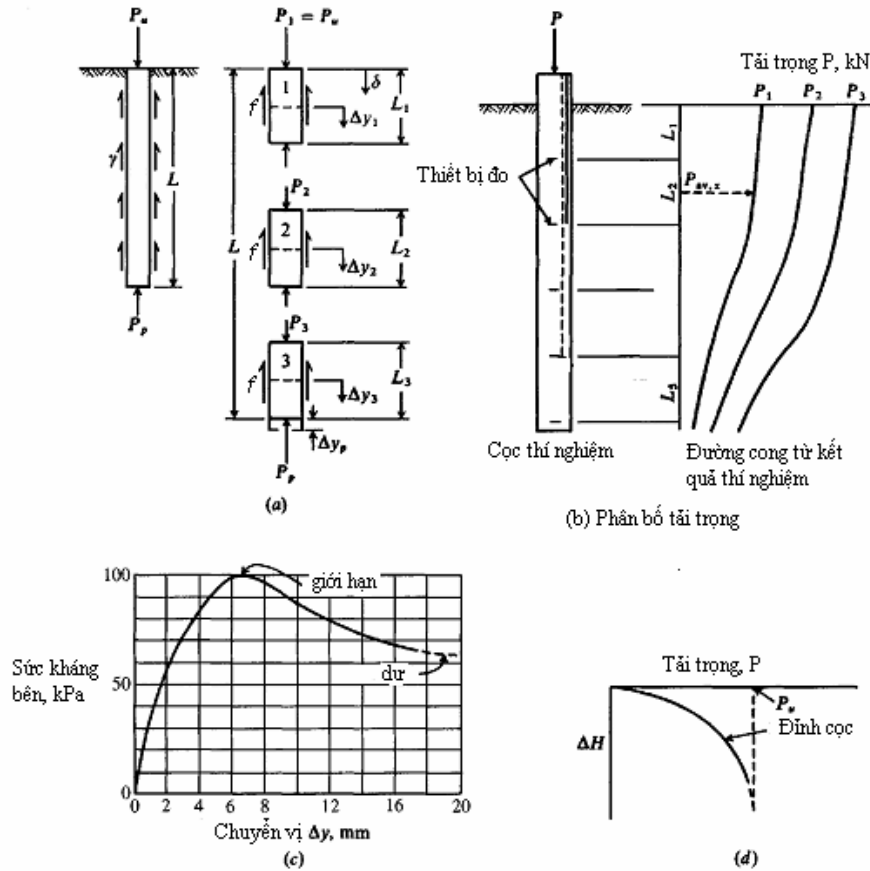
$$P_p = A_p \times k_s \times \Delta y_p \quad (1)$$

d. Tính toán giá trị chuyển vị trung bình của đoạn mũi cọc, đối với phép tính xấp xỉ đầu tiên giả thiết chuyển vị này là  $\Delta y_p$ . Từ đường cong quan hệ sức kháng bên và chuyển vị (hình 1c), dựa vào giá trị chuyển vị ta có thể xác định được giá trị sức kháng bên. Giá trị tải trọng dọc trục tại đỉnh của đoạn mũi cọc  $P_3$ , được tính như sau:

$$P_3 = P_p + L_3 \times D_3 \times f_{s3} \quad (2)$$

$$\text{Từ đó tính được giá trị chuyển vị của đoạn cọc } \Delta y_3: \Delta y_3 = \Delta y_p + \frac{(P_p + P_3) \times L_3}{2AE} \quad (3),$$

đồng thời cũng có được sức kháng bên mới. Lặp lại cho đến khi giá trị chuyển vị sử dụng và chuyển vị tính toán hội tụ.



Hình 1. Mô hình hóa tính toán sức chịu tải và chuyển vị của cọc (Bowles(1997)[12])

e. Với kết quả của đoạn mũi cọc, ta tiến hành tính toán cho đoạn cọc phía trên. Giá trị chuyển vị tính toán đầu tiên của đoạn cọc này là giá trị chuyển vị cuối cùng của đoạn cọc trước đó. Từ giá trị chuyển vị này ta tính được sức kháng bên và tải trọng tác dụng dọc trục ở đỉnh đoạn cọc,  $P_2$ . Với giá trị  $P_2$  và  $P_3$  ta có giá trị chuyển vị của đoạn cọc:

$$\Delta y_2 = \Delta y_3 + \frac{(P_2 + P_3)L_2}{2AE} \quad (4)$$

Lặp lại cho đến khi kết quả được hội tụ và thực hiện tương tự cho các đoạn cọc phía trên.

g. Sức chịu tải giới hạn của cọc

$$P_u = P_1 = P_p + \sum L_i \times D_i \times f_{si} \quad (5)$$

Độ lún cuối cùng của cọc hay giá trị chuyển vị đỉnh cọc  $\Delta H$  là:  $\Delta H = \sum \Delta y_i \quad (6)$

Từ đó ta xây dựng được quan hệ độ lún – tải trọng của cọc khoan nhồi khi chịu tải trọng tĩnh nén dọc trục thông qua sử dụng đường cong T-Z.

**2.2. Thiết bị đo biến dạng**

Thiết bị đo biến dạng được lắp đặt trong bê tông dọc theo chiều dài cọc với mục đích xác định biến dạng của cọc khi chịu tải trọng nén. Thiết bị đo biến dạng bao gồm một cảm biến biến dạng chuyển đổi các đại lượng vật lý thành các tín hiệu đầu ra phù hợp, hệ thống truyền tín hiệu và hệ thống thu nhận tín hiệu.

Một trong các loại thiết bị đo biến dạng được sử dụng nhiều là thanh đo biến dạng. Thanh đo biến dạng được hàn với thép chủ của lồng thép cọc khoan nhồi, khi thép chủ tiếp xúc tốt với bê tông xung quanh thì sự biến dạng của thép chủ được cho là tương đương với biến dạng của bê tông xung quanh nó. Cấu tạo của thanh đo biến dạng bao gồm một cảm biến dây rung được lắp dọc trục và ở giữa một thanh thép tròn, được tách với bê tông xung quanh bằng lớp vỏ chất dẻo và được kéo dài ra bằng cách hàn với một thanh thép dài ở mỗi đầu.

Cảm biến dây rung bao gồm một sợi dây kim loại được kéo căng bởi bộ gá gắn ở hai đầu và một cuộn dây điện từ. Khi lắp đặt cảm biến dây rung lên thanh đo biến dạng, bộ gá được gắn chặt vào thanh thép, biến dạng của sợi dây kim loại chính là biến dạng của thanh thép. Khi có dòng điện chạy qua cuộn dây điện từ sẽ xuất hiện từ trường làm rung sợi dây kim loại.

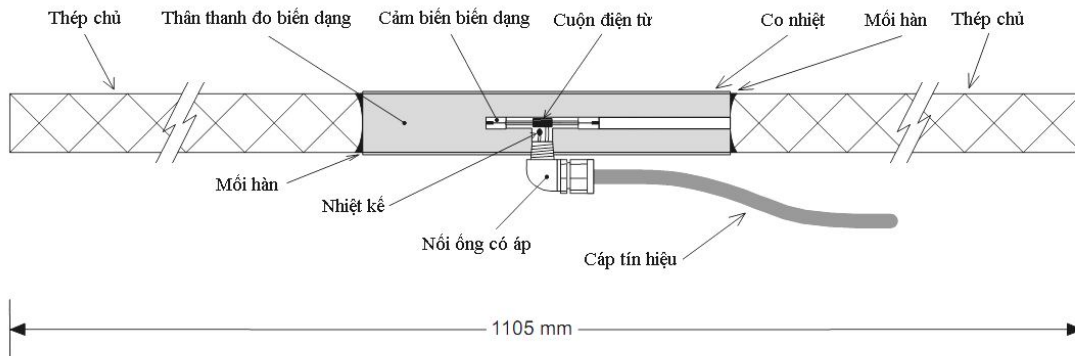
Các số đọc của thiết bị đo biến dạng được chuyển đổi ra đơn vị kỹ thuật  $\mu\epsilon$  theo phương trình:

$$\epsilon = (R_1 - R_0) \times C + (T_1 - T_0) \times K \quad (7)$$

Trong đó:  $R_1, T_1$  - số đọc và nhiệt độ của thiết bị đo tại thời điểm hiện tại;

$R_0, T_0$  - số đọc và nhiệt độ của thiết bị đo tại thời điểm ban đầu;

$C, K$  - hệ số hiệu chuẩn số đọc và nhiệt độ của thiết bị đo.



**Hình 2. Cấu tạo thiết bị đo biến dạng**

**2.3. Xử lý kết quả thí nghiệm hiện trường**

Trong quá trình xử lý số liệu thí nghiệm nén tĩnh có sử dụng đầu đo biến dạng, các giá trị sau đã được đưa ra:

- Các giá trị đầu tiên đo được trong mỗi chu kỳ gia tải được dùng để phân tích xử lý số liệu;

## THI CÔNG XÂY LẬP - KIỂM ĐỊNH CHẤT LƯỢNG

- Giá trị biến dạng trung bình của các đầu đo biến dạng cốt thép tại cùng một mặt cắt được dùng để tính toán giá trị biến dạng cốt thép và bê tông. Trong cùng một mặt cắt, giá trị biến dạng của bê tông và cốt thép được coi là bằng nhau;

- Ma sát giữa cọc và nền đất xung quanh tuân theo định luật Hooke;

- Với mỗi cấp tải trọng  $P_j$  tác dụng lên đỉnh cọc, tải trọng được phân bố theo hình 1 và được tính toán theo công thức (8):

$$P_j = \sum_1^n f_{sij} \times D_i \times L_i + P_{ij} \quad (8)$$

Để có được giá trị biến dạng của mỗi mặt cắt chính xác, tại mỗi mặt cắt của cọc khoan nhồi thường được bố trí nhiều thiết bị đo biến dạng. Khi đó biến dạng của mặt cắt thí nghiệm là giá trị trung bình của các thiết bị đo, thiết bị đo có giá trị chênh lệch lớn với giá trị trung bình được loại trừ để giảm sai số cho kết quả thí nghiệm.

Mô đun đàn hồi của vật liệu cọc được xác định dựa trên những giả thiết sau:

- Mô đun đàn hồi  $E$  của cọc được xác định theo công thức sau:

$$E = (E_s \times A_s + E_c \times A_c) / A \quad (9)$$

- Giả thiết toàn bộ tải trọng tác dụng lên đỉnh cọc được truyền đến mặt cắt thí nghiệm trên cùng;

- Mô đun đàn hồi của cốt thép là hằng số và được lấy giá trị là  $2,0 \times 10^6$  kG/cm<sup>2</sup>.

Ta có, mô đun đàn hồi  $E_{1j}$  của cọc ở vị trí mặt cắt trên cùng (mặt cắt 1) tại cấp tải trọng thí nghiệm  $j$  được tính theo công thức:

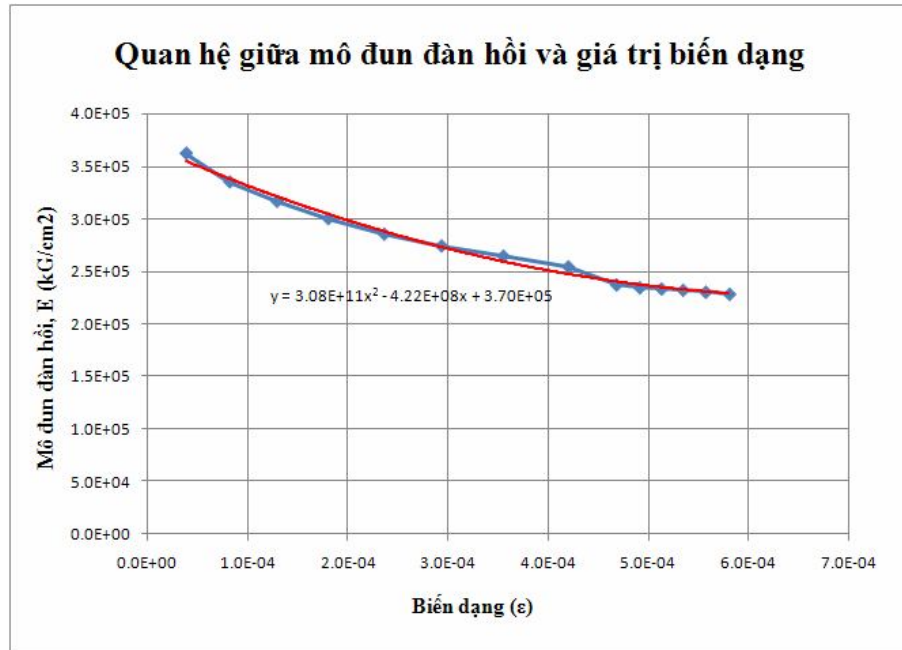
$$E_{1j} = \frac{P_{1j}}{\varepsilon_{1j} \times A} = \frac{P_j}{\varepsilon_{1j} \times A} \quad (10)$$

$$\text{Mặt khác, } E_{1j} = \frac{E_s \times A_s + E_{c1j} \times A_c}{A} \quad (11)$$

Như vậy, mô đun đàn hồi của bê tông được tính theo công thức:

$$E_{c1j} = \frac{\frac{P_j}{\varepsilon_{1j}} - E_s \times A_s}{A_c} \quad (12)$$

Từ đó, ta có được biểu đồ mối quan hệ giữa mô đun đàn hồi của bê tông và giá trị biến dạng như hình 3.



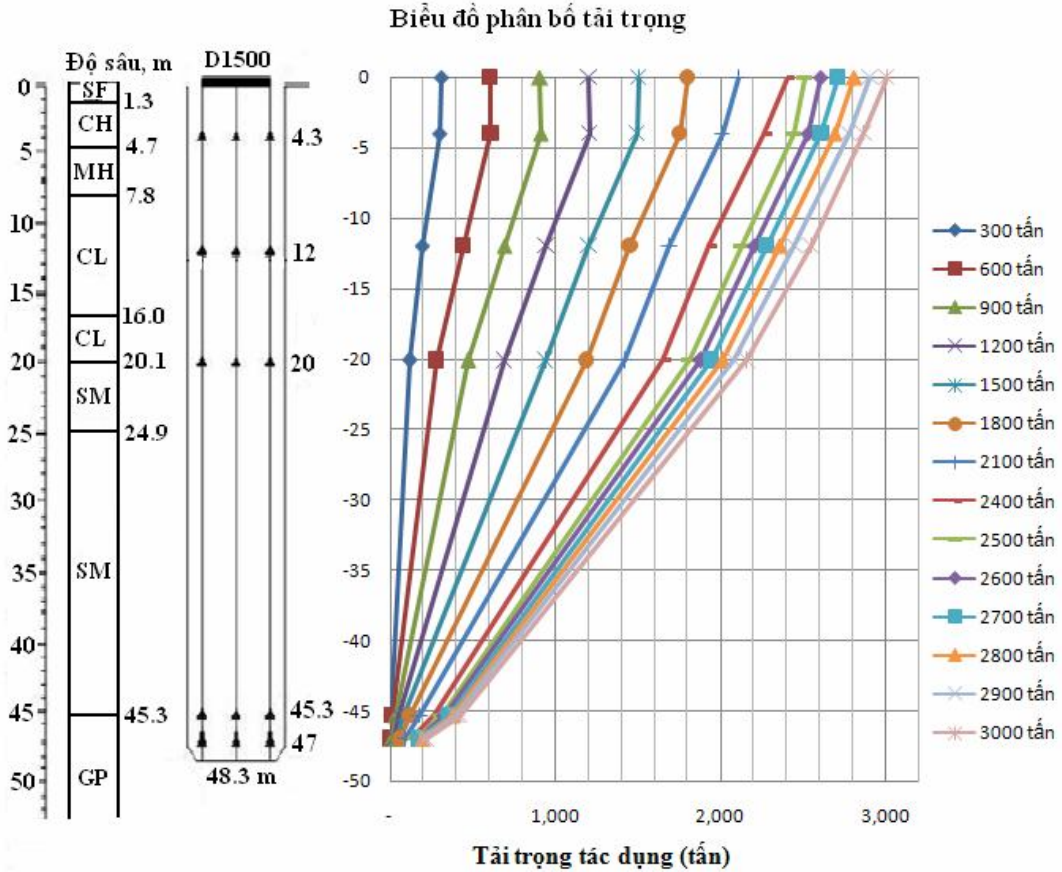
Hình 3. Quan hệ giữa mô đun đàn hồi và giá trị biến dạng

Căn cứ biểu đồ mối quan hệ giữa mô đun đàn hồi của bê tông và giá trị biến dạng, ta có được mô đun đàn hồi của bê tông tại các mặt cắt khác nhau ứng với các cấp tải trọng tác dụng lên đỉnh cọc khác nhau.

Khi đó, giá trị tải trọng tác dụng lên mặt cắt  $i$  tại cấp tải trọng thí nghiệm  $j$  được tính theo công thức:

$$P_{ij} = \varepsilon_{ij} \times (E_s \times A_s + E_{cij} \times A_c) \quad (13)$$

Như vậy, ta có thể xây dựng được biểu đồ phân bố tải trọng theo độ sâu và từng cấp tải trọng tương tự như hình 4:



Hình 4. Biểu đồ phân bố tải trọng theo độ sâu (kết quả tại Indochina Plaza, Hà Nội)

Giá trị ma sát đơn vị huy động giữa cọc và đất của đoạn cọc thứ  $i$  tại cấp tải trọng thí nghiệm được tính toán theo công thức:

$$f_{sij} = \frac{P_{(i-1)j} - P_{ij}}{D_i \times L_i} \quad (14)$$

#### 2.4. Xây dựng đường cong T-Z

Sau khi xác định được sự phân bố tải trọng, giá trị ma sát bên huy động của cọc khoan nhồi theo độ sâu, ta còn có thể xây dựng được các đường cong quan hệ giữa phản lực của cọc (ma sát bên, sức kháng mũi) và chuyển vị thẳng đứng của thân cọc hoặc mũi cọc khi chịu lực tương ứng – quan hệ này gọi là đường cong T-Z.

Để xác định được chuyển vị thẳng đứng của thân cọc khi cọc chịu các cấp tải trọng khác nhau tác dụng, trước hết ta cần xác định được giá trị chuyển vị tương đối giữa hai mặt cắt thí nghiệm,  $\Delta s_{ij}$ , giá trị này được xác định theo công thức:

$$\Delta s_{ij} = \frac{(\varepsilon_{ij} + \varepsilon_{(i-1)j})}{2} \times L_i \quad (15)$$

Giá trị chuyển vị thẳng đứng của đoạn cọc thứ  $i$  được xác định như sau:

$$s_{ij} = s_j - \Delta s_{ij} \quad (16)$$

Trong đó:  $s_j$  - Giá trị chuyển vị đỉnh cọc khi chịu cấp tải thí nghiệm thứ  $j$ .

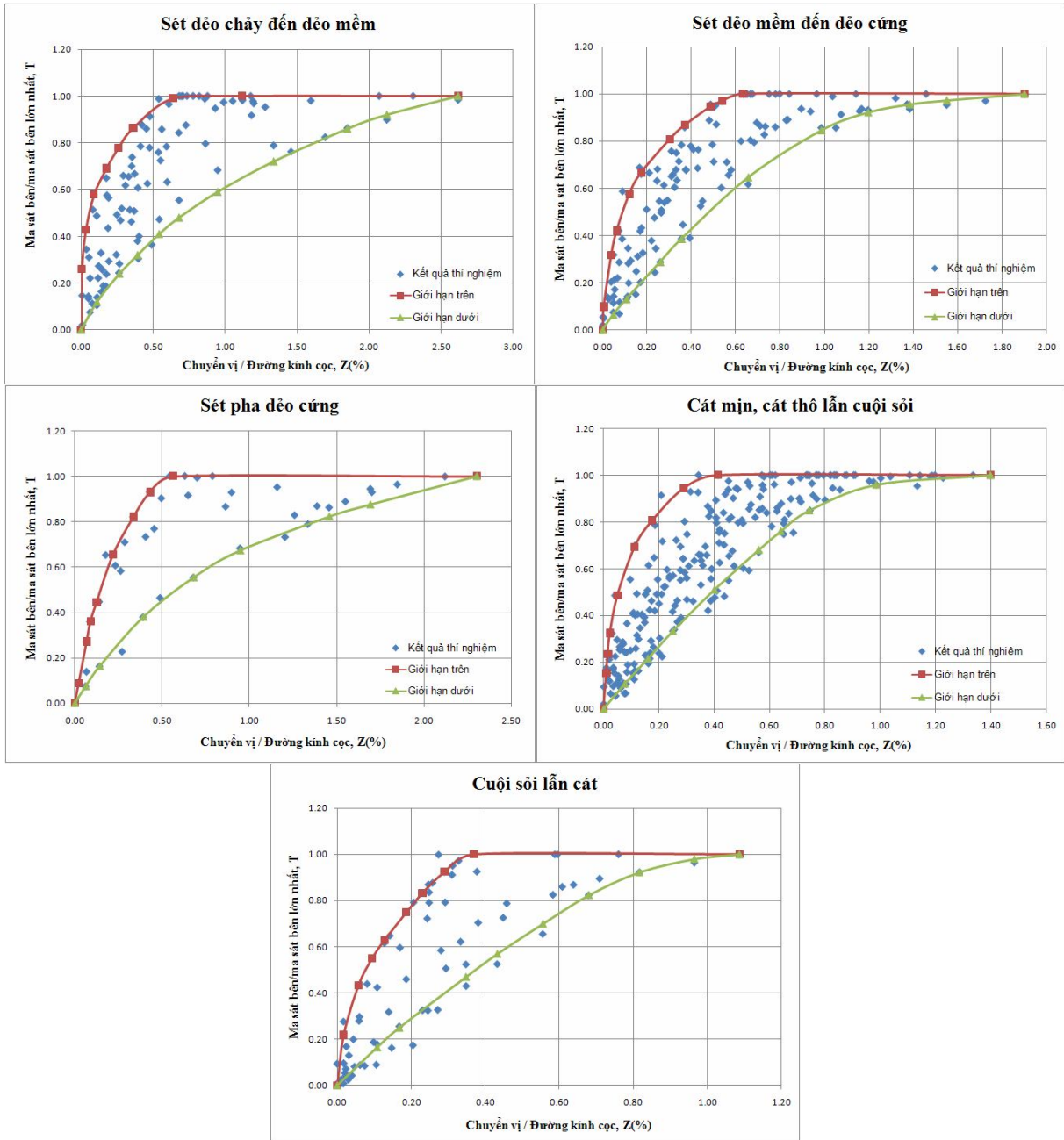
Như vậy, khi cọc chịu tải trọng tác dụng, đoạn cọc thứ  $i$  sẽ huy động ma sát bên  $f_{sij}$  và chuyển vị  $s_{ij}$ , mối quan hệ giữa hai giá trị này được thể hiện trên biểu đồ huy động ma sát bên cho đoạn cọc tương ứng. Từ đó,

## THI CÔNG XÂY LẬP - KIỂM ĐỊNH CHẤT LƯỢNG

ta có đường cong T-Z cho mỗi đoạn cọc bằng cách lập quan hệ giữa tỷ số  $f_{sij}/f_{s,max}$  và tỷ số  $s_{ij}/D$ , trong đó  $D$  là đường kính cọc khoan nhồi.

Căn cứ theo điều kiện địa chất tại các vị trí cọc khoan nhồi được lắp đặt thiết bị đo biến dạng trong thân cọc, ta có thể phân loại đất thành 5 loại là: sét dẻo mềm dẻo chảy, sét dẻo mềm đến dẻo cứng, sét pha dẻo cứng, cát mịn-cát thô lẫn cuội sỏi và cuội sỏi.

Trong quá trình xử lý số liệu, các kết quả không hợp lý đã được loại bỏ. Từ đó, ta xây dựng được đường cong T-Z giới hạn cho mỗi loại đất nêu trên.



Hình 5. Đường cong T-Z cho một số loại đất

### 3. Dự báo quan hệ tải trọng - độ lún của cọc khoan nhồi

#### 3.1. Đặc điểm công trình

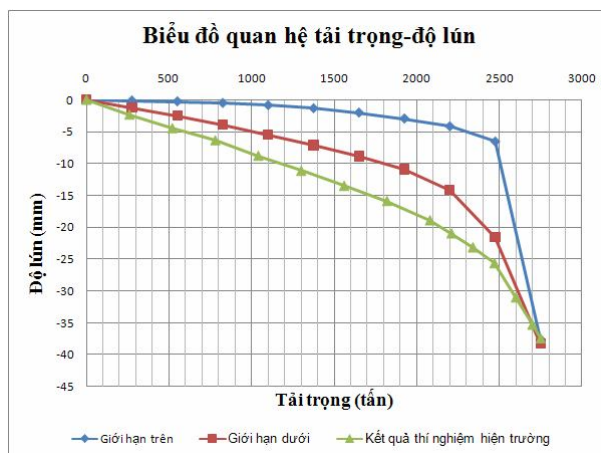
Công trình được áp dụng là Tòa tháp văn phòng cao 35 tầng được xây dựng tại Mỹ Đình – Từ Liêm – Hà Nội. Theo kết quả khảo sát địa chất công trình, khu vực xây dựng có địa tầng theo thứ tự từ trên xuống dưới như sau:

- Lớp 1: Sét pha dẻo cứng, màu vàng, xám vàng dày 8,0m, chỉ số SPT, N=11;
- Lớp 2: Sét dẻo mềm dẻo chảy dày 10,0m, chỉ số SPT, N=5;
- Lớp 3: Cát hạt mịn hạt trung, trạng thái chặt vừa đến chặt, dày 22,0m, chỉ số SPT, N=31;
- Lớp 4: Cuội sỏi, đa màu, trạng thái rất chặt, độ sâu mặt lớp 38,0m ~ 40,0m, khoan chưa xuyên qua lớp này, chỉ số SPT, N=50 đến ≥100;

Móng công trình được thiết kế tựa trên cọc khoan nhồi, đường kính D1200mm và D1500mm. Cọc thí nghiệm có đường kính 1500mm, dài 42,0m. Tải trọng thiết kế đề ra là 1300 tấn, tải trọng thí nghiệm là 2750 tấn. Các cọc thí nghiệm đều được thi công kéo dài lên tận bề mặt đất tự nhiên và được thí nghiệm như là cọc làm việc theo suốt chiều dài kể từ mặt đất tự nhiên.

#### 3.2. Dự báo quan hệ tải trọng - độ lún bằng phần mềm SAP2000

Trong phần mềm SAP, cọc được mô hình hóa dưới dạng thanh với các điều kiện biên tại hai đầu để mô tả cọc chịu tải trọng dọc trục. Với giả thiết khi cọc chịu tải trọng nén dọc trục chỉ xuất hiện các chuyển vị thẳng đứng nên khi mô tả gối đàn hồi của các lò xo theo phương ngang được cố định. Để khai báo được quan hệ tải trọng-độ lún cho các lò xo, các đường cong T-Z cho các loại đất được xây dựng ở trên đã được sử dụng. Trong đó, giá trị ma sát lớn nhất được xác định theo tiêu chuẩn TCXD 195:1997 “Nhà cao tầng - Thiết kế cọc khoan nhồi” với hệ số an toàn FS=3.



**Hình 6.** Biểu đồ quan hệ tải trọng - độ lún theo tính toán và thí nghiệm

Kết quả thí nghiệm nén tĩnh và tính toán dự báo quan hệ tải trọng - độ lún từ đường cong T-Z cho thấy có sự khác biệt do một số nguyên nhân sau:

- Khi tính toán sử dụng giá trị SPT từ thí nghiệm hiện trường vẫn còn nhiều hạn chế nên số liệu không được chính xác;
- Các hệ số trong công thức tính ma sát bên lớn nhất được áp dụng từ các công thức nước ngoài, nên có thể chưa phù hợp với điều kiện đất nền Hà Nội;
- Các thí nghiệm để xây dựng đường cong T-Z vẫn còn hạn chế về số lượng và chưa đạt đến phá hoại nên đường cong được xây dựng vẫn chưa hoàn toàn phù hợp với sự làm việc giữa cọc và đất.



### 4. Kết luận

Phương pháp sử dụng đường cong T-Z là phương pháp hiệu quả để dự báo quan hệ tải trọng-độ lún của cọc, tuy nhiên vẫn còn những hạn chế nhất định về độ chính xác của kết quả được dự báo.

Để có thể áp dụng phương pháp này, công tác nén tĩnh, đặc biệt là công tác thí nghiệm nén tĩnh có sử dụng thiết bị đo biến dạng nên gia tải đến phá hoại, để có thể xác định được mức độ huy động sức kháng bên, từ đó có thể xây dựng được đường cong T-Z một cách chính xác.

---

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

---

1. TCXD 195:1997. "Nhà cao tầng - Thiết kế cọc khoan nhồi". *Nhà xuất bản Xây dựng*, 2007.
2. VŨ CÔNG NGŨ, NGUYỄN THÁI. "Móng cọc – Phân tích và thiết kế". *Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật*, 2004.
3. Shamsheer Prakash, Hari D.Sharma. "Móng cọc trong thực tế xây dựng". *Nhà xuất bản Xây dựng*, 2008.
4. John Duncicliff. "Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance". *John Wiley&Sons,Inc*, 1993.
5. SEED, H. B., and REESE, L. C. "The Action of Sof Clay Along Friction Piles". *Transactions, ASCE, Vol 122, pp 731-753, 1957*.
6. COYLE, H. M., and REESE, L. C. "Load transfer for axially loaded piles in clay". *Journal Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol 92, No.SM2, pp 1-26, 1966*.
7. DUNCAN, J. M. and CHANG, C. Y. "Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soils". *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol 96, pp 1629-1653, 1970*.
8. JOSEPH E. Bowles. "Analytical and Computer Methods in Foundation Engineering". *McGraw-Hill Companies, Inc, 1974*.
9. VIJAYVERGIYA, V. N. "Load-Movement Characteristics of Piles". *Port 77 Conference, American Society of Civil Engineers, 1977*.
10. RANDOLPH, M. F., and WROTH, C. P. "Analysis of Deformation of Vertically Loaded Piles". *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol 104, pp 1465-1488, 1978*.
11. FAHEY M., and CARTER J.P. "A Finite element Study of the Pressuremeter Test in Sand using a Nonlinear Elastic Plastic Model". *Canadian Geotechnical Journal, Vol. 30, pp 348-362, 1993*.
12. JOSEPH E. Bowles. "Foundation Analysis and Design". *McGraw-Hill Companies, Inc, 1997*.