

# PHÂN TÍCH ĐƯỜNG CONG QUAN HỆ TẢI TRỌNG - ĐỘ LÚN CỦA CỌC ĐƠN BÊ TÔNG CỐT THÉP CHỊU TẢI TRỌNG DỌC TRỤC TRONG ĐIỀU KIỆN ĐỊA CHẤT KHU VỰC THÀNH PHỐ TRÀ VINH

● KỶ MINH HƯNG

## TÓM TẮT:

Bài báo phân tích và so sánh đường cong tải lún của cọc đơn dựa theo kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc tại hiện trường và đường cong tải lún có được từ việc sử dụng công thức tính toán theo phương pháp Xaratov đối với cọc bê tông cốt thép sử dụng cho công trình dân dụng trong điều kiện địa chất khu vực TP. Trà Vinh. Kết quả phân tích cho thấy, dạng đường cong tải lún (Q - S) trong thí nghiệm nén tĩnh và theo “phương pháp Xaratov” xấp xỉ nhau, đồng thời đường cong Q - S theo “phương pháp Xaratov” hầu như nằm dưới đường cong (Q - S) của thí nghiệm nén tĩnh.

**Từ khóa:** cọc đơn, đường cong tải lún, thí nghiệm nén tĩnh, phương pháp Xaratov.

## 1. Đặt vấn đề

Trong móng cọc, sức chịu tải của cọc đơn đánh giá sức chịu tải của toàn bộ hệ móng cọc công trình. Dự báo sớm sức chịu tải của cọc sẽ giúp ta chọn lựa những phương án móng cọc cũng như kích thước cọc phù hợp với điều kiện địa chất và tải trọng khác nhau. Hiện nay, có khá nhiều phương pháp xác định sức chịu tải cực hạn của cọc, trong đó thí nghiệm nén tĩnh cọc là phương pháp cho phép xác định chính xác nhất sức chịu tải của cọc. Các số liệu như tải trọng, chuyển vị đầu cọc,... thu được trong quá trình thí nghiệm là cơ sở để xây dựng đường cong tải lún (đồ thị quan hệ giữa tải trọng và độ lún đầu cọc). Từ đường cong tải lún có thể phân tích, đánh giá sức chịu tải cọc. Nếu kết quả dự báo sức chịu tải của cọc theo các công thức lý thuyết

tính toán không sai khác nhiều với sức chịu tải của cọc có được từ kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc, phương án móng cọc sẽ được chấp nhận và mang lại nhiều lợi ích kinh tế.

Như vậy, việc dự báo sức chịu tải của cọc có vai trò quan trọng trong công tác thiết kế, thẩm định, lựa chọn phương án và kết cấu móng cọc cho công trình. Nếu làm tốt công tác dự báo, sức chịu tải của cọc sẽ tiết kiệm được nhiều thời gian, kinh phí cho công trình. Nghiên cứu này phân tích đường cong tải lún của cọc đơn bê tông cốt thép làm móng các công trình dân dụng, trong điều kiện một số dạng trụ địa chất tiêu biểu thuộc khu vực TP. Trà Vinh dựa trên kết quả phương pháp Xaratov dự báo sức chịu tải của cọc bằng tính toán lý thuyết và kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc.

**2. Công tác thử nghiệm cọc thực tế tại hiện trường trong điều kiện địa chất khu vực TP.Trà Vinh bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục**

**2.1. Trụ địa chất điển hình và chỉ tiêu cơ lý các tầng đất tại TP.Trà Vinh**

Bài báo đã thu thập và tổng hợp các báo cáo khảo sát địa chất trên địa bàn TP Trà Vinh và từ đó xây dựng các trụ địa chất điển hình để phục vụ cho việc nghiên cứu. Dựa trên các báo cáo khảo sát địa chất thu thập được, chia ra 6 dạng trụ địa chất điển hình:

*Dạng 1:* Dạng địa chất tiêu biểu tại khu vực Trường Trung học phổ thông chuyên Trà Vinh.

*Dạng 2:* Dạng địa chất tiêu biểu tại khu vực Khối phòng học Lý thuyết - Trường Đại học Trà Vinh.

*Dạng 3:* Dạng địa chất tiêu biểu tại khu vực Ký túc xá sinh viên - Trường Đại học Trà Vinh.

*Dạng 4:* Dạng địa chất tiêu biểu tại khu vực Khoa Kỹ thuật và Công nghệ - Trường Đại học Trà Vinh.

*Dạng 5:* Dạng địa chất tiêu biểu tại khu vực Khu hiệu bộ - Trường Đại học Trà Vinh.

*Dạng 6:* Dạng địa chất tiêu biểu tại khu vực Khu hành chính tập trung Phường 7, TP. Trà Vinh.

Qua 6 dạng trụ địa tầng trên ta nhận thấy địa bàn TP. Trà Vinh có điều kiện địa chất rất yếu, trong nền đất có tồn tại lớp đất bùn yếu hoặc có lớp bùn sét xen kẽ là lớp đất tốt hơn. Tùy từng nơi mà chiều dày lớp bùn sét và phân bố ở độ sâu khác nhau, chiều dày lớp đất bùn có thể đến 28 m.

**2.2. Công tác thử nghiệm cọc thực tế tại hiện trường trong điều kiện địa chất khu vực TP. Trà Vinh bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục**

**2.2.1. Phương pháp thí nghiệm**

Thí nghiệm được tiến hành bằng phương pháp dùng tải trọng tĩnh ép dọc trục cọc sao cho dưới tác dụng của lực ép, cọc lún sâu thêm vào đất nền. Tải trọng tác dụng tăng theo từng cấp lên cọc thí nghiệm và đo độ lún ổn định tương ứng. Tải trọng tác dụng lên đầu cọc được thực hiện bằng kích thủy lực với hệ phản lực là dàn chất tải, neo hoặc kết hợp cả hai.

**2.2.2. Quy trình gia tải**

Thí nghiệm được thực hiện theo quy trình gia tải và giảm tải từng cấp, tính bằng phần trăm (%) của tải trọng thiết kế. Cấp tải mới chỉ được tăng

hoặc giảm khi chuyển vị hoặc độ phục hồi đầu cọc đạt ổn định quy ước hoặc đủ thời gian quy định.

Quy trình gia tải thông thường được thực hiện theo 2 chu kỳ:

- Chu kỳ 1: gia tải với các cấp tải trọng lần lượt tăng từ 0%; 25%; 50%; 75%; 100% tải trọng thiết kế. Mỗi cấp tải được duy trì và theo dõi trong thời gian 1 giờ. Sau đó, tải trọng được giảm theo các cấp 50%; 0% tải trọng thiết kế. Khi giảm tải, thời gian quan sát ở các cấp tải là 30 phút.

- Chu kỳ 2: gia tải với các cấp tải trọng lần lượt tăng từ 0%; 50%; 100%; 125%; 150%; 175%; 200% tải trọng thiết kế. Mỗi cấp tải được duy trì và theo dõi trong thời gian 1 giờ, cấp gia tải lại được lưu 30 phút, riêng cấp tải trọng 200% được duy trì trong thời gian 24 giờ. Sau đó, tải trọng được giảm theo các cấp 50%; 0% tải trọng thiết kế. Khi giảm tải, thời gian quan sát ở các cấp tải là 30 phút và cấp 0% là 1 giờ.

**2.2.3. Xây dựng Biểu đồ quan hệ tải trọng (Q) - độ lún (S) qua kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc**

Để phục vụ cho việc nghiên cứu của đề tài, tác giả đã thu thập được 6 cọc thí nghiệm nén tĩnh tiêu biểu trong điều kiện địa chất khu vực nghiên cứu. Sau đây kết quả về thí nghiệm nén tĩnh cho từng cọc.

- Cọc nén tĩnh 01 - Dạng địa chất 01: Đặc điểm cọc thí nghiệm: Chiều dài cọc 39.5 m; Tải trọng thiết kế ban đầu 350 kN; Tải trọng thí nghiệm lớn nhất 700 kN; Tiết diện cọc 0.25 m x 0.25 m, số liệu chỉ tiêu cơ lý đất tại Bảng 1.

- Cọc nén tĩnh 02 - Dạng địa chất 02: Đặc điểm cọc thí nghiệm: Chiều dài cọc 24.0 m; Tải trọng thiết kế ban đầu 400 kN; Tải trọng thí nghiệm lớn nhất 800 kN; Tiết diện cọc 0.3 m x 0.3 m, số liệu chỉ tiêu cơ lý đất tại Bảng 2.

- Cọc nén tĩnh 03 - Dạng địa chất 03: Đặc điểm cọc thí nghiệm: Chiều dài cọc 24 m; Tải trọng thiết kế ban đầu 350 kN; Tải trọng thí nghiệm lớn nhất 700 kN; Tiết diện cọc 0.25 m x 0.25m, số liệu chỉ tiêu cơ lý đất tại Bảng 3.

- Cọc nén tĩnh 04 - Dạng địa chất 04: Đặc điểm cọc thí nghiệm: Chiều dài cọc 22.45 m; Tải trọng thiết kế ban đầu 180 kN; Tải trọng thí nghiệm lớn nhất 600 kN; Tiết diện cọc 0.3 m x 0.3 m, số liệu chỉ tiêu cơ lý đất tại Bảng 4.

**Bảng 1. Tổng hợp kết quả thí nghiệm  
- cọc nén tĩnh 01**

| Tải trọng |     | Chu kỳ 1    |          | Chu kỳ 2    |          |
|-----------|-----|-------------|----------|-------------|----------|
|           |     | Độ lún (mm) |          | Độ lún (mm) |          |
| %         | kN  | Tăng tải    | Giảm tải | Tăng tải    | Giảm tải |
| 0         | 0   | 0           | -0,3     | -0,27       | -2,07    |
| 20        | 70  | -0,27       | -1,13    | -0,56       |          |
| 40        | 140 | -0,56       |          | -0,9        | -4,25    |
| 60        | 210 | -0,9        | -1,54    | -1,3        |          |
| 80        | 280 | -1,27       |          | -1,85       | -5,58    |
| 100       | 350 | -1,83       | -1,83    | -2,5        |          |
| 120       | 420 |             |          | -3,3        | -6,78    |
| 140       | 490 |             |          | -4,2        |          |
| 160       | 560 |             |          | -5,0        | -7,1     |
| 180       | 630 |             |          | -6,1        |          |
| 200       | 700 |             |          | -7,3        | -7,3     |

**Bảng 2. Tổng hợp kết quả thí nghiệm  
- cọc nén tĩnh 02**

| Tải trọng |     | Chu kỳ 1    |          | Chu kỳ 2    |          |
|-----------|-----|-------------|----------|-------------|----------|
|           |     | Độ lún (mm) |          | Độ lún (mm) |          |
| %         | kN  | Tăng tải    | Giảm tải | Tăng tải    | Giảm tải |
| 0         | 0   | 0           | -0,6     | -0,6        | -5,2     |
| 20        | 80  | -0,21       | -1,8     | -1,19       |          |
| 40        | 160 | -0,63       |          | -1,75       | -8,76    |
| 60        | 240 | -1,3        | -3,09    | -2,36       |          |
| 80        | 320 | -2,29       |          | -2,98       | -10,46   |
| 100       | 400 | -3,49       | -3,49    | -3,91       |          |
| 120       | 480 |             |          | -4,83       | -12,08   |
| 140       | 560 |             |          | -6,33       |          |
| 160       | 640 |             |          | -7,73       | -12,62   |
| 180       | 720 |             |          | -9,81       |          |
| 200       | 800 |             |          | -13,1       | -13,1    |

**Bảng 3. Tổng hợp kết quả thí nghiệm  
- cọc nén tĩnh 03**

| Tải trọng |     | Chu kỳ 1    |          | Chu kỳ 2    |          |
|-----------|-----|-------------|----------|-------------|----------|
|           |     | Độ lún (mm) |          | Độ lún (mm) |          |
| %         | kN  | Tăng tải    | Giảm tải | Tăng tải    | Giảm tải |
| 0         | 0   | 0           | -0,24    | -0,24       | -0,94    |
| 20        | 70  | -0,2        | -0,9     | -0,33       |          |
| 40        | 140 | -0,52       |          | -0,68       | -2,28    |
| 60        | 210 | -0,91       | -1,21    | -1,13       |          |
| 80        | 280 | -1,51       |          | -1,51       | -4,3     |
| 100       | 350 | -2,09       | -2,09    | -2,17       |          |
| 120       | 420 |             |          | -3,19       | -6,28    |
| 140       | 490 |             |          | -4,16       |          |
| 160       | 560 |             |          | -5,3        | -7,12    |
| 180       | 630 |             |          | -6,6        |          |
| 200       | 700 |             |          | -8,0        | -8,0     |

- Cọc nén tĩnh 05 - Dạng địa chất 05: Đặc điểm cọc thí nghiệm: Chiều dài cọc 23 m; Tải trọng thiết kế ban đầu 350 kN; Tải trọng thí nghiệm lớn nhất 900 kN; Tiết diện cọc 0.3m x 0.3 m, số liệu chỉ tiêu cơ lý đất tại Bảng 5.

- Cọc nén tĩnh 06 - Dạng địa chất 06: Đặc điểm cọc thí nghiệm: Chiều dài cọc 26 m; Tải trọng thiết kế ban đầu 300 kN; Tải trọng thí nghiệm lớn nhất 600 kN; Tiết diện cọc 0.25 m x 0.25 m, số liệu chỉ tiêu cơ lý đất tại Bảng 6.

Với các cọc thí nghiệm trong phạm vi nghiên cứu cho thấy tải trọng thí nghiệm cọc lớn nhất thường lấy khoảng (2 ÷ 3) lần sức chịu tải thiết kế dự kiến ban đầu nhằm xác định lại chuyển vị đầu cọc để kiểm tra lại sức chịu tải.

Tuy nhiên, các kết quả thí nghiệm cọc đã thu thập được chưa làm rõ được giá trị sức chịu tải giới hạn của cọc vì chưa đạt đến điều kiện quy ước phá hỏng cọc theo tiêu chuẩn quy định.

Bảng 4. Tổng hợp kết quả thí nghiệm  
- cọc nén tĩnh 04

| Tải trọng |     | Chu kỳ 1    |          | Chu kỳ 2    |          |
|-----------|-----|-------------|----------|-------------|----------|
|           |     | Độ lún (mm) |          | Độ lún (mm) |          |
| %         | kN  | Tăng tải    | Giảm tải | Tăng tải    | Giảm tải |
| 0         | 0   | 0           | -0,35    | -0,35       | -4,3     |
| 25        | 45  | -0,2        |          | -0,45       |          |
| 50        | 90  | -0,55       | -1,15    | -0,65       | -5,8     |
| 75        | 135 | -1          |          | -1,2        |          |
| 100       | 180 | -1,65       | -1,65    | -1,8        | -7,4     |
| 125       | 225 |             |          | -2,4        |          |
| 150       | 270 |             |          | -3,1        | -9,3     |
| 175       | 315 |             |          | -4          |          |
| 200       | 360 |             |          | -5,1        | -11,1    |
| 225       | 405 |             |          | -6,1        |          |
| 250       | 450 |             |          | -7,2        | -12      |
| 275       | 495 |             |          | -8,6        |          |
| 300       | 540 |             |          | -10         | -12,8    |
| 325       | 585 |             |          | -11,9       |          |
| 333       | 600 |             |          | -13,2       | -13,2    |

Bảng 5. Tổng hợp kết quả thí nghiệm  
- cọc nén tĩnh 05

| Tải trọng |       | Chu kỳ 1    |          | Chu kỳ 2    |          |
|-----------|-------|-------------|----------|-------------|----------|
|           |       | Độ lún (mm) |          | Độ lún (mm) |          |
| %         | kN    | Tăng tải    | Giảm tải | Tăng tải    | Giảm tải |
| 0         | 0     | 0           | -0,36    | -0,65       | -1,6     |
| 25        | 87,5  | -0,18       |          | -0,8        | -3,3     |
| 50        | 175   | -0,62       | -1,99    | -1,12       |          |
| 75        | 262,5 | -1,28       |          | -1,75       | -5       |
| 100       | 350   | -2,4        | -2,4     | -2,6        |          |
| 125       | 437,5 |             |          | -3,5        | -7,3     |
| 150       | 525   |             |          | -4,6        |          |
| 175       | 612,5 |             |          | -5,6        | -9,6     |
| 200       | 720   |             |          | -7,1        |          |
| 225       | 790   |             |          | -8,9        | -12,6    |
| 250       | 840   |             |          | -10,6       |          |
| 275       | 900   |             |          | -13,5       | -13,5    |

Bảng 6. Tổng hợp kết quả thí nghiệm  
- cọc nén tĩnh 06

| Tải trọng |     | Chu kỳ 1    |          | Chu kỳ 2    |          |
|-----------|-----|-------------|----------|-------------|----------|
|           |     | Độ lún (mm) |          | Độ lún (mm) |          |
| %         | kN  | Tăng tải    | Giảm tải | Tăng tải    | Giảm tải |
| 0         | 0   | 0           | -0,7     | -0,7        | -3,25    |
| 25        | 75  | -0,35       |          | -1,8        | -6,3     |
| 50        | 150 | -1,05       | -2       | -2,9        | -7,6     |
| 75        | 225 | -1,9        |          | -3,6        |          |
| 100       | 300 | -2,76       | -2,76    | -5,4        | -8,8     |
| 175       | 525 |             |          | -7,8        |          |
| 200       | 600 |             |          | -10,1       | -10,1    |

3. Xây dựng đường cong tải lún của cọc đơn bê tông cốt thép bằng phương pháp xaratorv - so sánh với kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc

3.1. Cơ sở lý thuyết phương pháp xaratorv

Phương pháp Xaratorv giới thiệu một cách tính sức chịu tải của cọc thông qua các đặc trưng cơ lý đất nền và cho phép xây dựng được các đường cong tải trọng - độ lún. Phương pháp tổng hợp của sức chịu tải do ma sát mặt bên (phần cọc và đất tiếp xúc)  $Q_s$  và sức chịu tải tại mũi cọc  $Q_m$ :

$$Q_u = Q_s + Q_m \quad (3.1)$$

3.1.1. Sức chịu tải ma sát mặt bên cọc  $Q_s$

$$Q_s = U \cdot \sum_{i=1}^n l_i f_i \quad (3.2)$$

Trong đó: U là chu vi tiết diện ngang của cọc,  $l_i$  là chiều dày lớp đất thứ i,  $f_i$  là sức kháng ma sát đơn vị lên mặt bên cọc của từng lớp đất mà cọc xuyên qua.

Sức kháng ma sát đơn vị lên mặt bên cọc của các lớp đất phụ thuộc vào áp lực nén Q lên mặt bên cọc, các đặc trưng độ bền của đất (c, φ) và độ lún trượt  $S_c$  của cọc trong đất và được tính theo công thức (3.3).

$$f_b = (Qtg \varphi + c) \cdot S / S_c \quad (3.3)$$

Trong đó: Q là áp lực nén lên thân cọc, c là lực dính đơn vị của từng lớp đất, φ là góc ma sát trong của từng lớp đất, S là độ lún giới hạn tính toán của cọc,  $S_c$  là độ lún trượt của cọc trong đất.

Nếu cho độ lún S của cọc các giá trị từ 0 đến độ

lún giới hạn  $S_c$  thì sẽ nhận được các giá trị khác nhau của  $f_b$  rồi xác định  $Q_s$ . Từ kết quả thu được ta xây dựng nên đường cong tải - lún cho mặt bên.

Các nhà khoa học ở Leningrad đã đề nghị một công thức kinh nghiệm từ kết quả xử lý hơn 100 số liệu nén tĩnh cọc để tính độ lún giới hạn  $S_{ub}$  cho đất dính có dạng [11]:

$$S_c = 0.5 + 10 \cdot I_L \cdot I_P \text{ (cm)} \quad (3.4)$$

Trong đó:  $I_L$  là độ cố kết,  $I_P$  là chỉ số dẻo.

Khi hạ cọc vào trong đất sẽ gây ra hiện tượng nén chặt theo hướng xuyên tâm, tạo sinh áp lực ban đầu  $Q$  tác dụng vuông góc trên chu vi tiết diện cọc:

$$Q = \left[ \frac{E}{4Q_p(1-\mu^2) - 2Q_0(2-\mu)} \right]^{\frac{\sin \varphi}{1+\sin \varphi}} \cdot (Q_p + c \cdot \text{ctg} \varphi) - c \cdot \text{ctg} \varphi \quad (3.5)$$

Sau đó, áp lực này suy giảm đến giá trị cuối cùng  $Q$ . Sự giảm theo thời gian phụ thuộc vào tính lưu biến của từng loại đất nền. Giá trị  $Q$  được xác định từ việc giải phương trình siêu việt sau:

$$Q_p + Q_0 + c \cdot \text{ctg} \varphi = (Q + c \cdot \text{ctg} \varphi) \cdot \left( \frac{Q_p + c \cdot \text{ctg} \varphi}{Q' + c \cdot \text{ctg} \varphi} \right)^{\frac{1+\sin \varphi}{\sin \varphi}} - (Q - Q') \cdot \left( \frac{Q' + c \cdot \text{ctg} \varphi}{Q_p + c \cdot \text{ctg} \varphi} \right)^{\frac{1+\sin \varphi}{\sin \varphi}} \quad (3.6)$$

Trong đó:  $\mu$  là hệ số nở hông của đất;  $E$  là mô đun biến dạng của đất;  $c, \varphi$  là lực dính, góc ma sát trong của đất;  $Q_0$  là áp lực tự nhiên của từng lớp đất ứng với trọng lượng riêng trung bình ở độ sâu trung bình của mỗi lớp đất:

$$Q_0 = \frac{\mu \cdot \gamma \cdot h}{1 - \mu} \quad (3.7)$$

Trong đó:  $Q_p$  là áp lực của đất khi bắt đầu biến dạng dẻo.

$$Q_p = Q_0 \cdot (1 + \sin \varphi) + c \cdot \cos \varphi \quad (3.8)$$

### 3.1.2. Sức chịu tải mũi cọc $Q_m$

Theo phương pháp Xaraton, sức chịu tải mũi cọc  $Q_m$  được tính bởi công thức:

$$Q_m = Q_{m1} + Q_{m2} \quad (3.9)$$

Trong đó:  $Q_{m1}$  là sức kháng của đất dưới mũi cọc tạo thành do ứng suất nén của đất tương ứng với áp lực nén của đất dưới mũi cọc  $Q_p$ .

$$Q_{m1} = \frac{(Q_{pm} + B \cdot c) \cdot d^2}{A} \quad (3.10)$$

$$Q_{pm} = Q_{0m} \cdot (1 + \sin \varphi_0) + c_0 \cdot \cos \varphi_0 \quad (3.11)$$

Trong đó:  $d$  là đường kính hay cạnh cọc;  $A, B$  là các hệ số;  $c_0, \varphi_0$  là lực dính, góc ma sát trong của lớp đất mũi cọc.

Dưới tác dụng của áp lực ngang  $Q_{pm}$  ở mũi cọc, cọc bị lún với giá trị  $S_1$  được tính theo công thức:

$$Q_0 = \frac{(1 - \mu^2) (Q_{pm} + B \cdot c) d}{A \cdot E_s} \quad (3.12)$$

Với  $E_s$  là mô đun biến dạng của đất dưới mũi cọc khi bị nén chặt;  $Q_{m2}$  là sức kháng của đất dưới mũi cọc tạo bởi do ứng suất nén  $Q_F$  của đất vượt qua áp lực nén  $Q_p$ .

$$Q_{m2} = \frac{(Q_F + B \cdot c) d}{A} \quad (3.13)$$

Áp lực nén  $Q_F$  được tính từ phương trình siêu việt sau đây:

$$S_2 = \frac{0.3(1 + \mu_0)(1 - 2\mu_0)d \cdot D}{E_0} \left[ \text{ctg} \frac{\alpha}{2} - \text{ctg} \left( \frac{\alpha}{2} + \varphi_0 \right) \right] \left[ Q_{pm} \left( \frac{Q_F + c_0 \text{ctg} \varphi_0}{Q_{pm} + c_0 \text{ctg} \varphi_0} \right)^{\frac{1+\sin \varphi_0}{\sin \varphi_0}} - Q_F \right] \quad (3.14)$$

Trong đó:  $S_2$  là độ lún của cọc khi bắt đầu xuất hiện sức kháng mũi cọc.

$$S_2 = S - S_1 \quad (3.15)$$

Với:  $S$  là độ lún giới hạn tính toán mũi cọc. ( $S > S_1$ ; lấy  $S_{\max} = 10\% \cdot d$ );  $c_0, \varphi_0, E_0$  là lực dính, góc ma sát trong, mô đun đàn hồi của lớp đất mũi cọc;  $D$  là hệ số tra theo Bảng 7.

## 3.2. Ứng dụng phương pháp Xaraton để xây dựng đường cong tải lún cho cọc đơn của công trình thực tế

Cọc 01 - Dạng địa chất 01 có chỉ tiêu cơ lý chủ yếu của các lớp đất Bảng 1. Áp dụng tính toán lý thuyết được kết quả tính toán theo Phương pháp Xaraton - cọc 01 như Bảng 8:

Bảng 8 ta vẽ đường cong tải lún cho cọc 01 như Hình 8 (kết hợp kết quả thí nghiệm nén tĩnh ở Bảng 7).

Cọc 02 - Dạng địa chất 02 có chỉ tiêu cơ lý chủ yếu của các lớp đất tại vị trí cọc 02 bảng 2. Áp dụng tính toán lý thuyết được kết quả tính toán theo Phương pháp Xaraton - cọc 01 như Bảng 9.

Từ Bảng 9, ta vẽ đường cong tải lún cho cọc 01 như Hình 2 (kết hợp kết quả thí nghiệm nén tĩnh ở Bảng 7).

Cọc 03 - Dạng địa chất có chỉ tiêu cơ lý chủ yếu của các lớp đất tại vị trí cọc 03 Bảng 3. Áp dụng

Bảng 7. Giá trị các hệ số A,B và D

| $\alpha$ (độ) | Hệ số | Góc ma sát trong $\varphi$ (độ) |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|               |       | 8                               | 12    | 16    | 20    | 24    | 28    | 32    | 36    |
| 45°           | A     | 0,448                           | 0,384 | 0,332 | 0,288 | 0,250 | 0,217 | 0,188 | 0,162 |
|               | B     | 1,056                           | 0,935 | 0,836 | 0,753 | 0,682 | 0,619 | 0,564 | 0,513 |
|               | D     | 0,717                           | 0,960 | 1,158 | 1,323 | 1,466 | 1,591 | 1,702 | 1,802 |
| 60°           | A     | 0,47                            | 0,408 | 0,355 | 0,308 | 0,267 | 0,230 | 0,195 | 0,164 |
|               | B     | 0,929                           | 0,844 | 0,772 | 0,708 | 0,652 | 0,601 | 0,555 | 0,511 |
|               | D     | 0,452                           | 0,622 | 0,767 | 0,893 | 1,006 | 1,108 | 1,201 | 1,287 |
| 90°           | A     | 0,480                           | 0,413 | 0,353 | 0,297 | 0,244 | 0,195 | 0,147 | 0,101 |
|               | B     | 0,877                           | 0,825 | 0,777 | 0,733 | 0,692 | 0,653 | 0,615 | 0,579 |
|               | D     | 0,247                           | 0,351 | 0,446 | 0,534 | 0,616 | 0,694 | 0,769 | 0,842 |

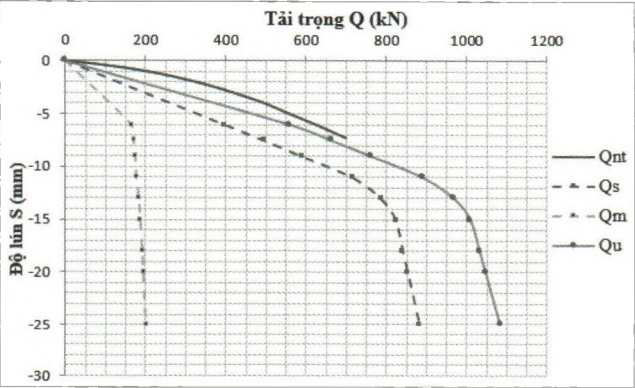
Bảng 8. Kết quả tính toán theo Phương pháp Xaratov - cọc 01

| S (mm)     | 6     | 7.5   | 9     | 11    | 13    | 15     | 18     | 20    | 25     |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|
| $Q_s$ (kN) | 395,4 | 493,1 | 588,5 | 714,3 | 785,4 | 821,8  | 840    | 852,2 | 882,4  |
| $Q_m$ (kN) | 163.9 | 169.9 | 174.6 | 177.4 | 183.8 | 187.5  | 192.1  | 194.8 | 200.8  |
| $Q_u$ (kN) | 559,3 | 663   | 763,1 | 891,7 | 969,2 | 1009,3 | 1032,1 | 1047  | 1083,2 |

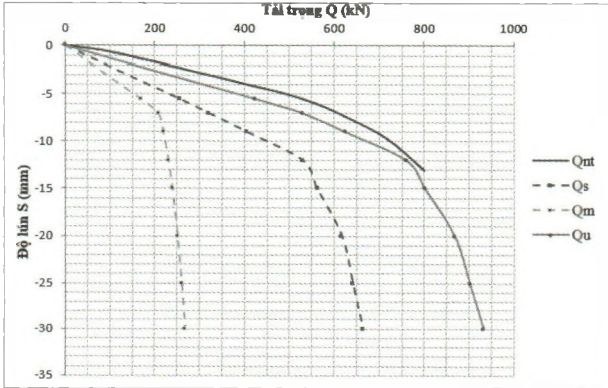
Bảng 9. Kết quả tính toán theo phương pháp Xaratov - cọc 02

| S (mm)     | 5.5   | 7     | 9     | 12    | 15    | 20    | 25    | 30    |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $Q_s$ (kN) | 255.8 | 321.4 | 406   | 529   | 562   | 616.8 | 641   | 664   |
| $Q_m$ (kN) | 168.7 | 207.2 | 218.5 | 230.6 | 239.7 | 251.4 | 260.7 | 268.4 |
| $Q_u$ (kN) | 424.5 | 528.6 | 624.5 | 759.6 | 801.7 | 868.2 | 901.7 | 932.4 |

Hình 1: Đường cong tải lún - cọc 01



Hình 2: Đường cong tải lún - cọc 02



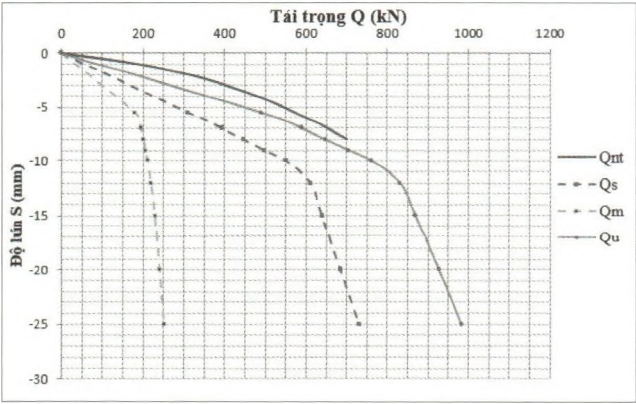
Bảng 10. Kết quả tính toán theo phương pháp Xaratorv - cọc 03

| S (mm)     | 5,5   | 7     | 8     | 9     | 10    | 12    | 15    | 20    | 25    |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $Q_s$ (kN) | 311.1 | 394.4 | 446.5 | 498.7 | 551   | 612.2 | 639.8 | 685.6 | 731.5 |
| $Q_m$ (kN) | 180.3 | 194.6 | 201.3 | 206.7 | 211.3 | 219.5 | 229.1 | 241.2 | 251.5 |
| $Q_u$ (kN) | 491.4 | 589   | 647.8 | 705.4 | 762.3 | 831.7 | 868.9 | 926.8 | 982.5 |

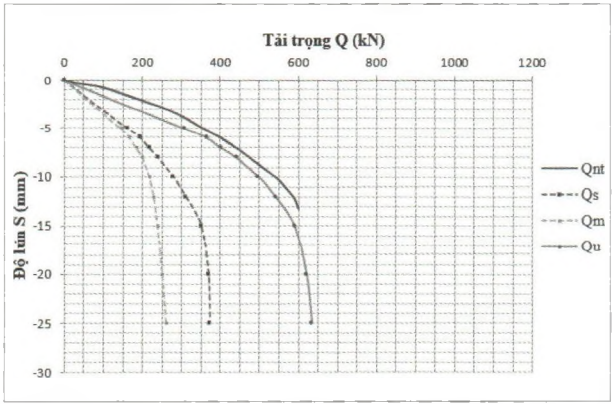
Bảng 11. Kết quả tính toán theo phương pháp Xaratorv - cọc 04

| S (mm)     | 5     | 6     | 7     | 8     | 10    | 12    | 15    | 20    | 25    |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $Q_s$ (kN) | 156   | 183.8 | 212.3 | 241.3 | 284.9 | 310.9 | 350   | 369.1 | 373   |
| $Q_m$ (kN) | 144.9 | 168   | 195.8 | 211.6 | 218.3 | 229.8 | 239.4 | 251.9 | 261.5 |
| $Q_u$ (kN) | 300.9 | 351.8 | 408.1 | 452.9 | 503.2 | 540.7 | 589.4 | 621   | 634.5 |

Hình 3: Đường cong tải lún - cọc 03



Hình 4: Đường cong tải lún - cọc 04



tính toán lý thuyết được kết quả tính toán theo Phương pháp Xaratorv - cọc 01 như Bảng 10.

Từ Bảng 10, ta vẽ đường cong tải lún cho cọc 01 như Hình 3 (kết hợp kết quả thí nghiệm nén tĩnh ở Bảng 7).

Cọc 04 - Dạng địa chất 04 có chỉ tiêu cơ lý chủ yếu của các lớp đất tại vị trí cọc 04 Bảng 4. Kết quả trình bày ở Bảng 11.

Từ Bảng 11 ta vẽ đường cong tải lún cho cọc 01 như Hình 4 (kết hợp kết quả thí nghiệm nén tĩnh ở Bảng 7).

Cọc 05 - Dạng địa chất 05 có chỉ tiêu cơ lý chủ yếu của các lớp đất tại vị trí cọc 05 Bảng 5. Kết quả được trình bày ở Bảng 12.

Từ Bảng 12, ta vẽ đường cong tải lún cho cọc 01 như Hình 5 (kết hợp kết quả thí nghiệm nén tĩnh ở Bảng 7).

Cọc 06 - Dạng địa chất 06 có chỉ tiêu cơ lý chủ

yếu của các lớp đất tại vị trí cọc 04 Bảng 6. Kết quả trình bày ở Bảng 13:

Từ bảng 13, ta vẽ đường cong tải lún cho cọc 01 như Hình 6 (kết hợp kết quả thí nghiệm nén tĩnh ở Bảng 7).

3.3. Phân tích, so sánh đường cong  $Q - S$  từ thí nghiệm nén tĩnh và phương pháp Xaratorv

Qua kết quả tính toán 06 cọc thí nghiệm ứng với 06 dạng địa chất khác nhau như đã trình bày ở trên ta rút ra các bảng tổng hợp so sánh. Mục đích là so sánh tỷ số  $Q_s/Q_m$ ;  $\frac{Q_{nt}}{(Q_s + Q_m)_{nt}}$

ở các độ lún của cọc khác nhau  $S = (4 \div 6)$  mm;  $S =$  độ lún dừng thí nghiệm nén tĩnh  $= S_{nt}$  ; và  $S = 0.1d$  (với  $d$  là cạnh tiết diện cọc).

Lưu ý:  $(Q_s + Q_m)_{nt}$  là tổng sức kháng bên và sức kháng mũi cọc theo Xaratorv khi độ lún cọc bằng với độ lún cọc trong thí nghiệm nén tĩnh.

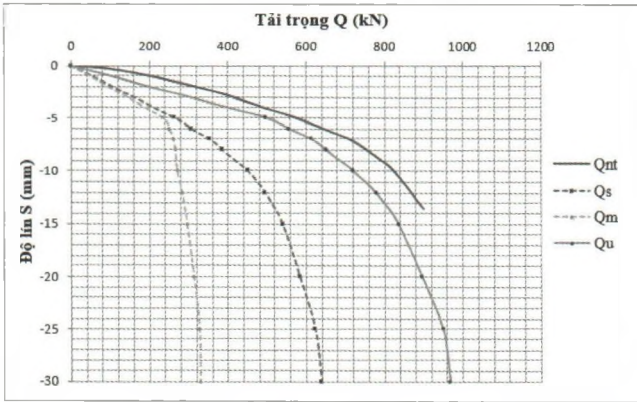
Bảng 12. Kết quả tính toán theo phương pháp Xaratov - cọc 05

| S (mm)              | 5     | 6     | 7     | 8     | 10    | 15    | 20    | 25    | 30    |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Q <sub>s</sub> (kN) | 260.4 | 310.2 | 352.0 | 385.4 | 450   | 539.5 | 583.2 | 622.5 | 638.8 |
| Q <sub>m</sub> (kN) | 234.1 | 251.3 | 260.5 | 266.2 | 270.8 | 296   | 313.2 | 327   | 329.3 |
| Q <sub>u</sub> (kN) | 494.5 | 561.5 | 612.6 | 651.6 | 720.8 | 835.5 | 896.4 | 949.5 | 968.1 |

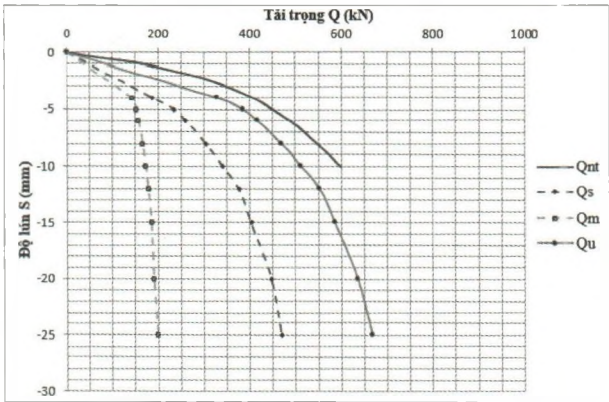
Bảng 13. Kết quả tính toán theo phương pháp Xaratov - cọc 06

| S (mm)              | 4     | 5     | 6     | 8     | 10    | 12    | 15    | 20    | 25    |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Q <sub>s</sub> (kN) | 188.3 | 235.4 | 260.4 | 304.3 | 341.0 | 376.4 | 403.0 | 447.3 | 469.4 |
| Q <sub>m</sub> (kN) | 141.3 | 150.5 | 156.5 | 165.3 | 172.3 | 177.4 | 184.1 | 189.5 | 198.9 |
| Q <sub>u</sub> (kN) | 329.6 | 385.9 | 416.9 | 469.6 | 513.3 | 553.8 | 587.1 | 636.8 | 668.3 |

Hình 5: Đường cong tải lún - cọc 05



Hình 6: Đường cong tải lún - cọc 06



Bảng 14. So sánh quan hệ Q - S giữa thí nghiệm nén tĩnh và Xaratov -- cọc 01, cọc 02

| Nội dung so sánh                  | Cọc 01: Q <sub>nt</sub> = 700 kN; S <sub>nt</sub> = 7.6mm |                       |               | Cọc 02: Q <sub>nt</sub> = 800 kN; S <sub>nt</sub> = 13.1 mm |                        |               |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|-------------------------------------------------------------|------------------------|---------------|
|                                   | Độ lún S (mm)                                             |                       |               | Độ lún S (mm)                                               |                        |               |
|                                   | S = 6                                                     | S <sub>nt</sub> = 7.6 | S = 0.1d = 25 | S = 5.5                                                     | S <sub>nt</sub> = 13.1 | S = 0.1d = 30 |
| Q <sub>s</sub>                    | 395.4                                                     | 499.6                 | 882.4         | 255.8                                                       | 552.4                  | 664           |
| Q <sub>m</sub>                    | 163.9                                                     | 170.2                 | 200.8         | 168.7                                                       | 233.6                  | 268.4         |
| Q <sub>s</sub> /Q <sub>m</sub>    | 2.413                                                     | 2.935                 | 4.394         | 1.516                                                       | 2.365                  | 2.474         |
| Q <sub>s</sub> + Q <sub>m</sub>   | 559.3                                                     | 669.8                 | 1083.2        | 424.5                                                       | 786                    | 932.4         |
| $\frac{Q_{nt}}{(Q_s + Q_m)_{nt}}$ | 700/669.8 = 1.045                                         |                       |               | 800/786 = 1.018                                             |                        |               |

**3. Kết luận**  
Dùng phương pháp Xaratov tính toán với độ lún lớn nhất của cọc là  $S_{max} = S_{gh} = 10\%$  cạnh tiết diện cọc cho ta 2 thành phần sức chịu tải mật bên  $Q_s$  và

mũi cọc  $Q_m$ . Và sức chịu tải giới hạn là:  $Q_u = Q_s + Q_m$   
Khi tính toán 2 thành phần sức chịu tải với độ lún cọc tăng dần từ độ lún ban đầu  $S_1$  đến độ lún giới hạn, ta nhận thấy tỷ số  $Q_s/Q_m$  có giá trị càng

Bảng 15. So sánh quan hệ Q - S giữa thí nghiệm nén tĩnh và Xarátov - - cọc 03, cọc 04

| Nội dung so sánh                  | Cọc 03: $Q_{nt} = 700 \text{ kN}$ ; $S_{nt} = 8.0 \text{ mm}$ |                       |               | Cọc 04: $Q_{nt} = 600 \text{ kN}$ ; $S_{nt} = 13.2 \text{ mm}$ |                        |               |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|----------------------------------------------------------------|------------------------|---------------|
|                                   | Độ lún S (mm)                                                 |                       |               | Độ lún S (mm)                                                  |                        |               |
|                                   | S = 5.5                                                       | S <sub>nt</sub> = 8.0 | S = 0.1d = 25 | S = 5                                                          | S <sub>nt</sub> = 13.2 | S = 0.1d = 30 |
| $Q_s$                             | 311.1                                                         | 446.5                 | 731.5         | 156                                                            | 325.2                  | 373           |
| $Q_m$                             | 180.3                                                         | 201.3                 | 251.5         | 144.9                                                          | 232.5                  | 261.5         |
| $Q_s/Q_m$                         | 1.726                                                         | 2.218                 | 2.91          | 1.077                                                          | 1.399                  | 1.426         |
| $Q_s + Q_m$                       | 491.4                                                         | 647.8                 | 982.0         | 300.9                                                          | 557.7                  | 634.5         |
| $\frac{Q_{nt}}{(Q_s + Q_m)_{nt}}$ | 700/647.8 = 1.081                                             |                       |               | 600/557.7 = 1.076                                              |                        |               |

Bảng 16. So sánh quan hệ Q - S giữa thí nghiệm nén tĩnh và Xarátov - cọc 05, cọc 06

| Nội dung so sánh                  | Cọc 05: $Q_{nt} = 900 \text{ kN}$ ; $S_{nt} = 13.5 \text{ mm}$ |                        |               | Cọc 06: $Q_{nt} = 600 \text{ kN}$ ; $S_{nt} = 10.1 \text{ mm}$ |                        |               |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------|------------------------|---------------|
|                                   | Độ lún S (mm)                                                  |                        |               | Độ lún S (mm)                                                  |                        |               |
|                                   | S = 5                                                          | S <sub>nt</sub> = 13.5 | S = 0.1d = 30 | S = 4                                                          | S <sub>nt</sub> = 10.1 | S = 0.1d = 25 |
| $Q_s$                             | 260.4                                                          | 524.4                  | 638.8         | 188.3                                                          | 342                    | 469.4         |
| $Q_m$                             | 234.1                                                          | 290.5                  | 329.3         | 141.3                                                          | 172.3                  | 198.9         |
| $Q_s/Q_m$                         | 1.112                                                          | 1.805                  | 1.94          | 1.333                                                          | 1.985                  | 2.36          |
| $Q_s + Q_m$                       | 494.5                                                          | 814.9                  | 968.1         | 329.6                                                          | 514.3                  | 668.3         |
| $\frac{Q_{nt}}{(Q_s + Q_m)_{nt}}$ | 900/841.9 = 1.069                                              |                        |               | 600/514.3 = 1.167                                              |                        |               |

lớn khi độ lún cọc càng lớn. Cụ thể như sau:

- Với độ lún cọc  $S = (4 \div 6) \text{ mm} \rightarrow$  Tỷ lệ  $Q_s/Q_m = (1.077 \div 2.58)$ .

- Với độ lún cọc  $S = S_{gh} \rightarrow$  Tỷ lệ  $Q_s/Q_m = (1.426 \div 4.394)$ .

Kết quả phân tích cho thấy, dạng đường cong tải lún (Q - S) trong thí nghiệm nén tĩnh và theo “phương pháp Xarátov” xấp xỉ nhau, đồng thời đường cong Q - S theo “phương pháp Xarátov” hầu như nằm dưới đường cong (Q - S) của thí

nghiệm nén tĩnh. Như vậy, dự báo sức chịu tải cọc theo “phương pháp Xarátov” không vượt quá thực tế khả năng chịu tải của cọc và luôn nằm trong vùng an toàn cần thiết.

Tùy thuộc vào tiết diện, chiều dài cọc và dạng địa chất mà tỷ số giữa tải trọng dừng thí nghiệm nén tĩnh và tổng sức chịu tải của cọc tính theo Xarátov khi độ lún cọc bằng với độ lún trong thí nghiệm nén tĩnh  $(Q_s + Q_m)_{nt}$  dao động trong khoảng  $(3.0 \div 8.0)\%$  ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. Vũ Công Ngữ, Nguyễn Thái (2004). *Móng cọc phân tích và thiết kế*. Hà Nội: NXB Khoa học và Kỹ thuật.  
2. Vũ Công Ngữ, Nguyễn Thái (2003). *Thí nghiệm đất hiện trường và ứng dụng phân tích nền móng*. Hà Nội: NXB Khoa học và Kỹ thuật.  
3. Võ Phán (2014). *Các phương pháp khảo sát hiện trường và thí nghiệm đất trong phòng*. Hà Nội: NXB Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.

4. Châu Ngọc Ẩn (2002). *Nền móng công trình*. TP. Hồ Chí Minh: NXB Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.

5. Hoàng Thanh Hải (2011). Nghiên cứu sử dụng đường cong t - z dự báo quan hệ tải trọng - độ lún của cọc khoan nhồi ở khu vực Hà Nội. Truy cập tại <http://www.ibst.vn/DATA/admin/Tapchi2011/Thanh%20Hai3.2011.pdf>

6. Phan Dũng (2000). Phương pháp Xaratorov để dự báo sức chịu tải dọc trục của cọc. Truy cập tại <https://www.portcoast.com.vn/public/pdf/de-tai-nghien-cuu/phuong-phap-xaratorov-de-du-bao-suc-chiu-tai-doc-truc-cua-coc-dong.pdf>

7. Phan Dũng (2017). Về một phương pháp dự báo sức chịu tải dọc trục của cọc dựa trên các đặt trưng vật lý - cơ học của đất. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Giao thông Vận tải*, No.01/2007.

8. Đỗ Hữu Đạo (2010). Nghiên cứu thực nghiệm xác định sức chịu tải của cọc bằng thí nghiệm nén tĩnh và so sánh với các quy trình hiện hành ở Việt Nam. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Đà Nẵng*, 6 (41), 1-7.

Ngày nhận bài: 4/5/2022

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 21/5/2022

Ngày chấp nhận đăng bài: 10/6/2022

Thông tin tác giả:

**KỶ MINH HÙNG**

Giảng viên, Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh

**ANALYZING THE RELATIONSHIP BETWEEN  
THE LOAD-DISPLACEMENT CURVE AND THE SETTLEMENT  
OF THE SINGLE PILE AT THE WORKING LOAD FOR PILES  
IN THE GEOLOGICAL CONDITIONS OF TRA VINH CITY**

**● KY MINH HUNG**

Lecturer, School of Engineering and Technology  
Tra Vinh University

**ABSTRACT:**

This study analyzes and compares curves of single pile settlement based on the results of static compression experiment at the site and curves of load settlement which are obtained by applying the Xaratorov method in geological conditions of Tra Vinh city. The study's results show that the settlement curve (Q-S) in the static compression experiment is quite the same as the curve obtained by using the Xaratorov method. In addition, the Q-S curve obtained by using the Xaratorov method is almost below the Q-S curve in the static compression experiment.

**Keywords:** single pile, subsidence load curve, static compression experiment, Xaratorov method.