

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MA SÁT ÂM ĐẾN CÔNG TRÌNH VÀ CÁC BIỆN PHÁP LÀM GIẢM THIỂU MA SÁT ÂM

Đậu Văn Ngộ

Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM

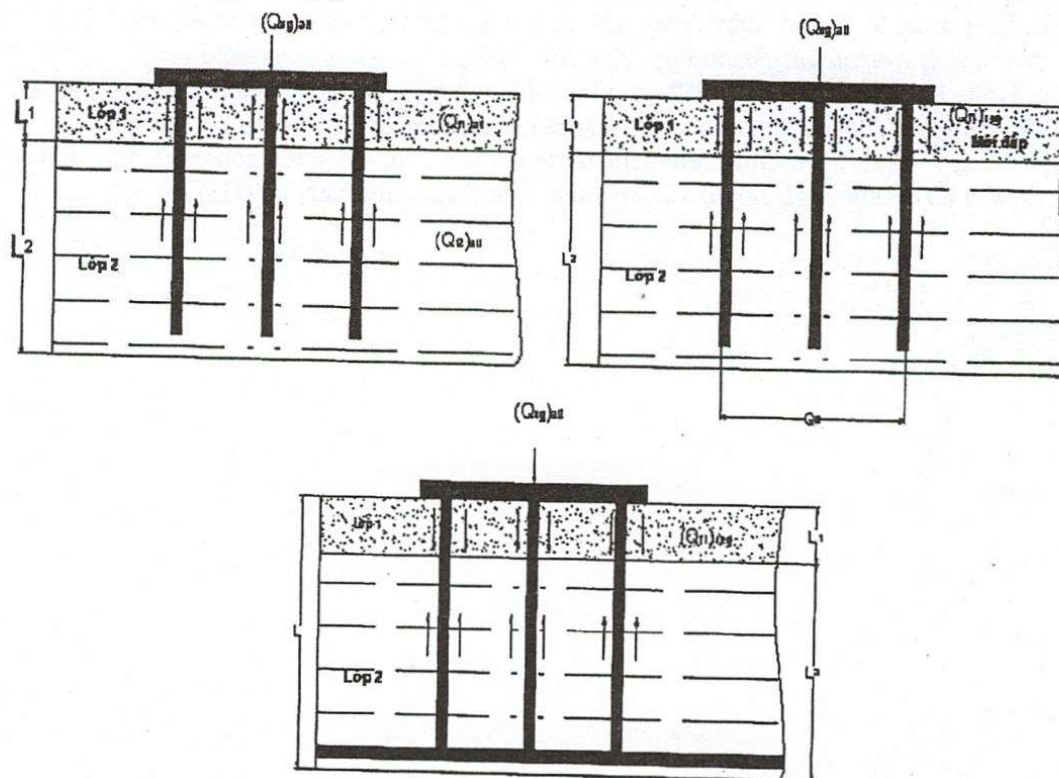
(Bài nhận ngày 29 tháng 05 năm 2008, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 10 tháng 11 năm 2009)

TÓM TẮT: Qua thu thập các công trình nghiên cứu của các nhà khoa học trong và ngoài nước về hiện tượng ma sát âm, đặc biệt qua đúc kết các kinh nghiệm rút ra từ thực tế thiết kế thi công xây dựng các công trình trên nền đất yếu ở đồng bằng sông Cửu Long, tác giả muốn đưa tới bạn đọc về hiện tượng ma sát âm trong nền đất yếu và kiến nghị các giải pháp làm giảm thiểu ma sát âm giữa đất và cọc.

1. ĐỊNH NGHĨA HIỆN TƯỢNG MA SÁT ÂM

Đối với công trình có sử dụng móng cọc, khi cọc được đóng vào trong tầng đất nền có quá trình cố kết chưa hoàn toàn. Nếu tốc độ lún cố kết của nền đất nhanh hơn tốc độ lún của cọc theo chiều đi xuống, thì sự lún tương đối này phát sinh ra lực kéo xuống của tầng đất đối với cọc làm giảm khả năng chịu tải của cọc gọi là hiện tượng ma sát âm, lực kéo xuống gọi là lực ma sát âm.

Lực ma sát âm xảy ra trên một phần thân cọc phụ thuộc vào tốc độ lún của đất xung quanh cọc và tốc độ lún của cọc. Lực ma sát âm có chiều hướng thẳng đứng xuống dưới, có khuynh hướng kéo cọc đi xuống, do đó làm tăng lực tác dụng lên cọc. Ta có thể so sánh sự phát sinh ma sát âm và ma sát dương thông qua hình sau:



- Sự phát sinh ma sát dương.
- Ma sát âm có lớp đất mới đắp xảy ra sự cố do trọng lượng bản thân.
- Ma sát âm khi lớp sét xốp cố kết do thoát nước hoặc có thêm lớp đất mới đắp.

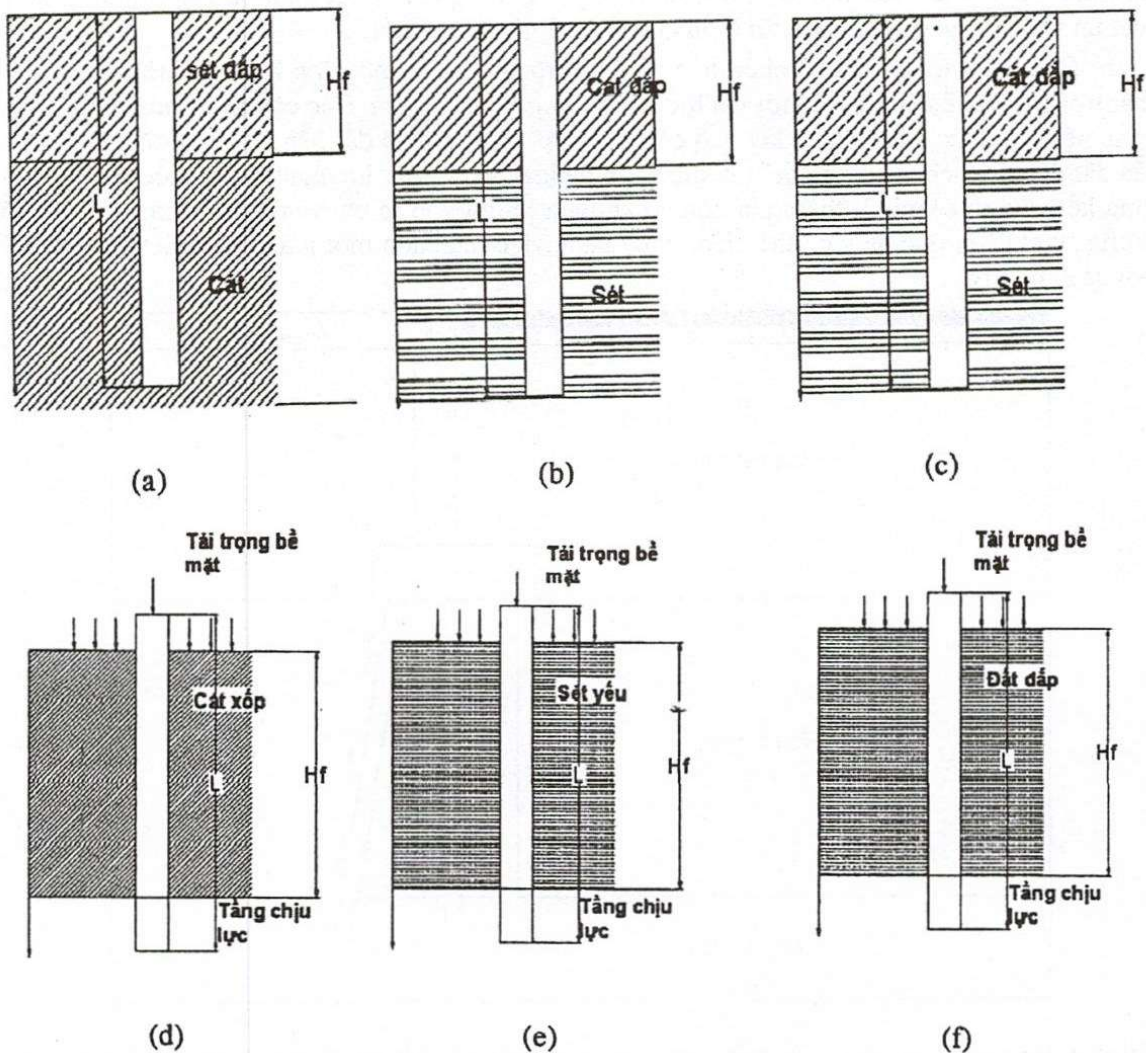
Hình 1. Ma sát âm quanh cọc

2. NGUYÊN NHÂN GÂY RA LỰC MA SÁT ÂM

Một điều dễ dàng nhận thấy rằng, mặc dù ở đây thậm chí tồn tại lún tại lớp đất xung quanh cọc, lực kéo xuống (ma sát âm) sẽ không xuất hiện nếu sự dịch chuyển xuống phía dưới của cọc dưới tác dụng của tĩnh tải lớn hơn sự lún của đất nền. Vì vậy, mối quan hệ giữa biến dạng lún của nền và biến dạng lún của cọc là nền tảng cơ bản để lực ma sát âm xuất hiện. Quá trình xuất hiện ma sát âm được đặc trưng bởi độ lún của đất gần cọc và độ lún tương ứng của đất lớn hơn độ lún và tốc độ lún của cọc xảy ra do tác động của tải trọng. Trong trường hợp này đất gần như buồng khô cọc, còn tải trọng thêm sẽ cộng vào tải trọng ngoài tác dụng lên cọc. Thông thường hiện tượng này xảy ra trong trường hợp cọc xuyên qua đất có tính cố kết và độ dày lớn; khi có phụ tải tác dụng trên mặt đất quanh cọc.

a) Khi nền công trình được tôn cao, gây ra tải trọng phụ tác dụng xuống lớp đất phía dưới làm xảy ra hiện tượng cố kết cho lớp nền bên dưới; hoặc chính bản thân lớp nền đắp dưới tác dụng của trọng lượng bản thân cũng xảy ra quá trình cố kết. Ta có thể xem xét cụ thể trong các trường hợp sau:

- Trường hợp (a): khi có một lớp đất sét đắp phía trên một tầng đất dạng hạt mà cọc sẽ xuyên qua nó, tầng đất đắp sẽ cố kết dần dần. Quá trình cố kết này sẽ sinh ra một lực ma sát âm tác dụng vào cọc trong suốt quá trình cố kết.



Hình 2. Các dạng đất nền

- Trường hợp (b): khi có một tầng đất dạng hạt đắp ở phía trên một tầng đất sét yếu, nó sẽ gây ra quá trình cố kết trong tầng đất sét và tạo ra một lực ma sát âm tác dụng vào cọc.

- Trường hợp (c): khi có một tầng đất dính đắp ở phía trên một tầng đất sét yếu, nó sẽ gây ra quá trình cố kết trong cả tầng đất đắp và trong tầng đất sét và tạo lực ma sát âm tác dụng vào cọc.

Trong trường hợp các cọc được tựa trên nền đất cứng và có tồn tại tải trọng bề mặt, có thể xảy ra các trường hợp sau:

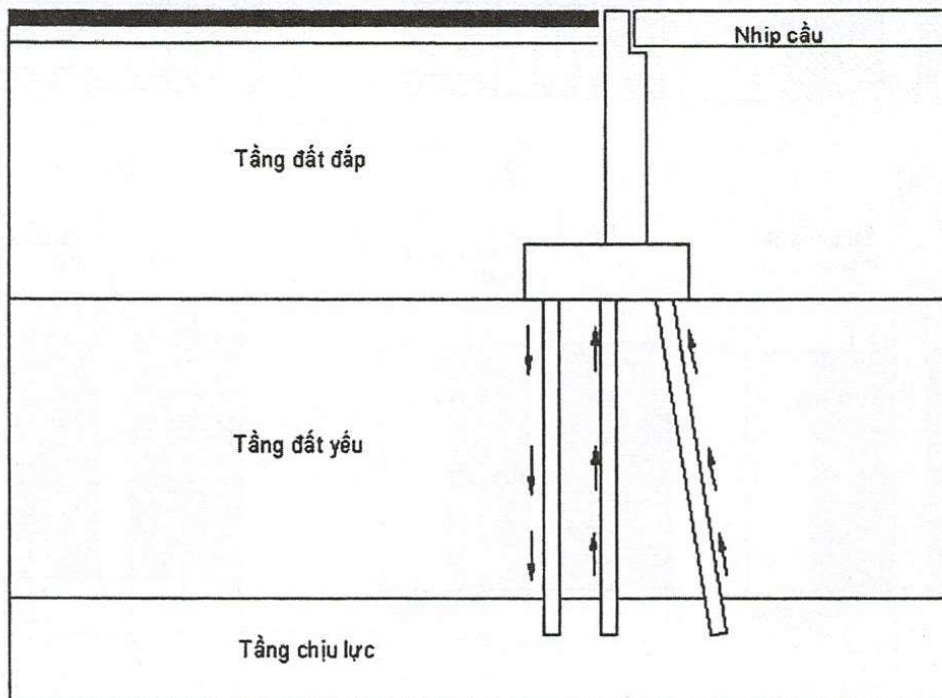
- Trường hợp (d): với tầng cát lỏng sẽ có biến dạng lún tức thời, đặc biệt khi đất nền chịu sự rung động hoặc sự dao động của mực nước ngầm; sự tác động của tải trọng bề mặt sẽ tạo ra sự biến dạng lún.

- Trường hợp (e): đối với nền sét yếu, khuynh hướng xảy ra biến dạng lún có thể rất nhỏ nếu như không chịu tác động của tải trọng bề mặt. Nhưng dù sao khi khoan tại lỗ sẽ gây ra sự cấu trúc lại của nền sét vì vậy biến dạng lún (nhỏ) của nền sét sẽ xảy ra dưới tác dụng của trọng lượng bản thân của nền sét.

- Trường hợp (f): điều hiển nhiên là gần như bất kỳ sự đắp nào sẽ xảy ra biến dạng lún theo thời gian dưới tác động của trọng lực.

Việc xác định mối quan hệ của độ lún của đất nền ở phía trên và của cọc là cần thiết để đề ra giải pháp xử lý phù hợp đối với trường hợp đó. Trong các trường hợp nơi mà đất nền ở phía trên lún xuống phía dưới lớn hơn độ lún cọc, một giải pháp thiên về an toàn có thể có được khi giả thiết tải trọng truyền hoàn toàn tới đỉnh của lớp đất nền phía dưới.

b) Cọc đóng trên nền chưa kết thúc cố kết: Trong thực tế một tình huống thường xuyên gặp phải trong thiết kế cầu đường nơi mà lực ma sát âm có thể xảy ra. Các cọc đã được thi công xong trong nền đất chưa kết thúc cố kết, móng cầu đã được xây dựng và đất nền đã được đắp. Độ lún của nền đất dọc theo chân cọc có thể rất khó khăn để loại bỏ, vì vậy lực ma sát âm thường xảy ra với dạng kết cấu như hình 3, thậm chí còn có khuynh hướng tạo ra chuyển dịch ngang của móng cầu, nhưng sự chuyển dịch này có thể giảm thiểu bằng việc lựa chọn một giải pháp thiết kế nền móng một cách hợp lý.



Hình 3. Hiện tượng ma sát âm do việc đóng cọc móng cầu vào nền đất yếu chưa kết thúc cố kết hoặc còn ở trạng thái tự nhiên

Ma sát âm chỉ xảy ra ở một bên cọc do phần đường vào cầu có lớp đất cao làm cho lớp đất bên dưới bị lún do phải chịu tải trọng của lớp đất đắp này, còn phần bên kia mố (phía sông) thì không có tải trọng đắp nên lớp đất nền không bị lún do tải trọng ngoài, do đó cọc không bị ảnh hưởng của ma sát âm. Vì vậy, một bên cọc chịu ma sát âm còn bên kia chịu ma sát dương.

Ngoài ra, việc hạ thấp mực nước ngầm làm tăng ứng suất thẳng đứng có hiệu tại mọi điểm của nền đất. Vì vậy, làm đẩy nhanh tốc độ lún cố kết của nền đất. Lúc đó, tốc độ lún của đất xung quanh cọc vượt quá tốc độ lún của cọc dẫn đến xảy ra hiện tượng kéo cọc đi xuống của lớp đất xung quanh cọc.

Hiện tượng này được giải thích như sau: Khi hạ thấp mực nước ngầm thì:

- Phần áp lực nước lỗ rỗng u giảm
- Phần áp lực có hiệu thẳng đứng σ_h lên các hạt rắn của đất tăng.

Xem biểu đồ tương quan giữa u và σ_h trong trường hợp bài toán nén một chiều và tải trọng ngoài q phân bố kín đều khắp.

Trong đó:

$\sigma_z = q = const$: Ứng suất toàn phần.

H_a : vùng hoạt động của ứng suất phân bố trong đất.

- Đất bình thường: H_a tương ứng với chiều sâu mà tại đó $\sigma_z = 0.2\sigma_{bt}$
- Đất yếu: H_a tương ứng với chiều sâu mà tại đó $\sigma_z = 0.1\sigma_{bt}$.

σ_{bt} : Ứng suất do trọng lượng bản thân của lớp đất có chiều dày H_a .

Theo tiêu chuẩn TCVN 205-1988: hiện tượng ma sát âm nên được xét đến trong các trường hợp sau:

- Sự cố kết chưa kết thúc của trầm tích hiện tại và trầm tích kiến tạo;
- Sự tăng độ chặt của đất dưới tác dụng của động lực;
- Sự lún ướt của đất khi bị ngập nước;
- Mực nước ngầm hạ thấp làm cho ứng suất có hiệu trong đất tăng lên, dẫn đến tăng nhanh tốc độ cố kết của nền đất;
- Nền công trình được nâng cao với chiều dày lớn hơn 1m trên đất yếu;
- Phụ tải trên nền với tải trọng lớn từ $2T/m^2$ trở lên;
- Sự giảm thể tích đất do chất hữu cơ trong đất bị phân hủy...

3. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN HIỆN TƯỢNG MA SÁT ÂM

Ma sát âm là hiện tượng phức tạp vì nó phụ thuộc vào nhiều yếu tố như:

- Loại cọc, chiều dài cọc, phương pháp hạ cọc, mặt cắt ngang của cọc, bề mặt tiếp xúc giữa cọc và đất nền, sự co ngấn đàn hồi của cọc;
- Đặc tính cơ lý của đất; chiều dày lớp đất yếu, tính trương nở của đất;
- Tải trọng chất tải (chiều cao đắp nền, phụ tải...)
- Thời gian chất tải cho đến khi xây dựng công trình;
- Độ lún của nền đất sau khi đóng cọc, độ lún của móng cọc;
- Quy luật phân bố ma sát âm trên cọc ...;

Trị số của lực ma sát âm có liên quan đến sự cố kết của đất, phụ thuộc trực tiếp vào ứng suất có hiệu của đất xung quanh cọc. Như vậy, lực ma sát âm phát triển theo thời gian và có trị số lớn nhất khi kết thúc cố kết.

Bất kỳ sự dịch chuyển nào xuống phía dưới của nền đất đối với cọc đều sinh ra ma sát âm. Tải trọng này có thể truyền hoàn toàn từ nền đất cho cọc khi mối tương quan về chuyển vị khoảng từ 3mm đến 15mm hoặc 1% đường kính cọc. Khi chuyển vị tương đối của đất tới 15mm thì ma

sát âm được phát huy đầy đủ. Một điều thường được giả thiết trong việc thiết kế khi cho rằng toàn bộ lực ma sát âm sẽ xảy ra khi có một sự dịch chuyển tương đối của nền đất được dự đoán trước.

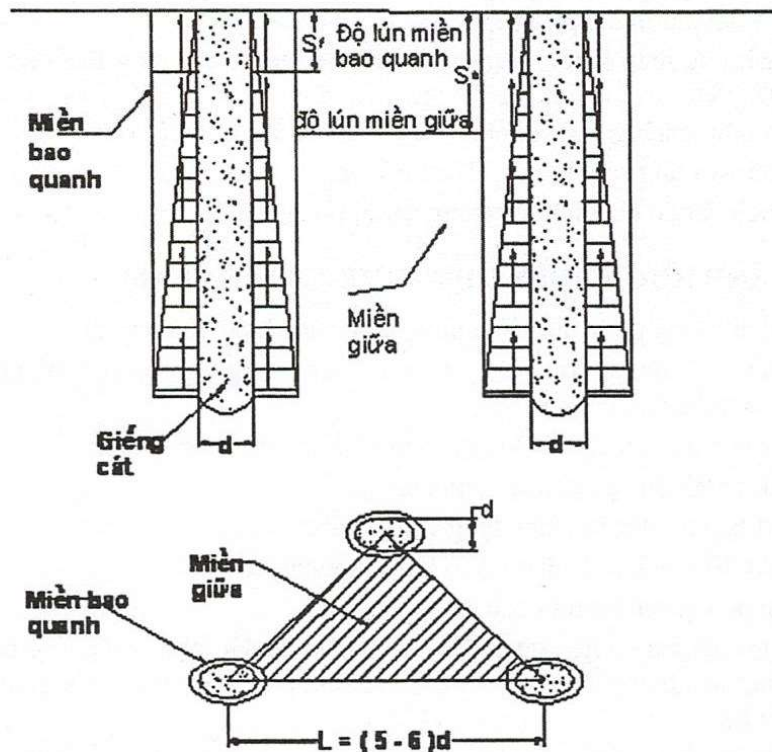
4. ẢNH HƯỞNG CỦA MA SÁT ÂM ĐẾN NỀN MÓNG CÔNG TRÌNH

Khi cọc ở trong đất thì sức chịu tải của của cọc được thể hiện qua thành phần ma sát (dương) xung quanh cọc và sức kháng mũi cọc. Khi cọc bị ảnh hưởng ma sát âm thì sức chịu tải giảm do nó phải gánh chịu một lực kéo xuống mà thường được gọi là ma sát âm. Ngoài ra do quá trình cố kết của lớp đất đã gây nên khe hở giữa đài cọc và lớp đất dưới đài; giữa cọc và đất xung quanh cọc, từ đó gây tăng thêm ứng lực phụ tác dụng lên móng cọc. Đối với đất trương nở, ma sát âm có thể gây nên tải trọng phụ rất lớn tác dụng lên móng cọc.

Trong một số trường hợp ma sát âm khá lớn có thể vượt qua tác dụng lên đầu cọc nhất là đối với cọc có chiều dài khá lớn. Chẳng hạn, năm 1972 Fellenius đã đo quá trình phát triển lực ma sát âm của 2 cọc bê tông cốt thép được đóng qua lớp đất sét mềm dẻo dày 40m và lớp cát dày 15m cho thấy: Sự cố kết lại của lớp đất sét mềm dẻo bị xáo trộn do đóng cọc đã tạo ra lực kéo xuống 300KN trong thời gian 5 tháng và 16 tháng sau khi đóng cọc thì mỗi cọc chịu sự kéo xuống là 440KN.

Johanessen và Bjerrum đã theo dõi sự phát triển hiện tượng ma sát âm trên cọc thép xuyên qua lớp đất sét dày 53m và mũi cọc trên nền đá. Lớp đất đắp bằng cát dày 10m, quá trình cố kết của lớp đất sét đã gây ra độ lún 1,2m và lực kéo xuống khoảng 1500KN của mũi cọc. Ứng suất ở mũi cọc ước tính đạt đến 190KN/m² và có khả năng xuyên thủng lớp đá.

Đối với việc sử dụng giếng cát: Ma sát âm làm hạn chế quá trình cố kết của nền đất yếu có dùng giếng cát. Hiện tượng ma sát âm gây ra hiệu ứng treo của đất xung quanh giếng cát, lớp đất xung quanh giếng cát bám vào giếng cát làm cản trở độ lún và cản trở quá trình tăng khả năng chịu tải của nền đất xung quanh giếng cát. Ta có thể minh họa ảnh hưởng này như hình sau:



Hình 4. Phạm vi ảnh hưởng của ma sát âm ở vùng đất xung quanh giếng cát

Qua sự phân tích cho thấy tác dụng chính của lực ma sát âm là tăng lực nén dọc trục cọc, làm tăng độ lún của cọc, ngoài ra do lớp đất đắp bị lún tạo ra khe hở giữa đài cọc và lớp đất bên dưới đài có thể làm thay đổi moment uốn tác dụng lên đài cọc. Lực ma sát âm làm hạn chế quá trình cố kết thoát nước của nền đất yếu khi có gia tải trước và có dùng giếng cát, cản trở quá trình tăng khả năng chịu tải của đất nền xung quanh giếng cát. Ngoài ra ma sát âm còn có thể làm tăng lực ngang tác dụng lên cọc.

5. MỘT SỐ BIỆN PHÁP LÀM GIẢM MA SÁT ÂM

Xuất phát từ các phân tích trên về sự hình thành và tác dụng của ma sát âm, để giảm ma sát âm có thể sử dụng hai nhóm phương pháp xử lý:

- Nhóm thứ nhất: làm giảm tối đa độ lún còn lại của nền đất yếu như gia tải trước kết hợp với các biện pháp tăng nhanh quá trình cố kết thoát nước thẳng đứng như giếng cát, bắc thấm,... Trong điều kiện cho phép có thể thay đất yếu bằng hạt đầm chặt.

- Nhóm thứ hai: làm giảm sự dính bám của cọc với đất nền trong đoạn cọc phải chịu ma sát âm bằng cách tạo lớp phủ bitumen quanh cọc; khoan tạo lỗ có kích thước lớn hơn cọc trong vùng chịu ma sát âm, sau đó thi công cọc mà vẫn giữ khoảng trống xung quanh bằng cách lấp đầy bentonite... trong trường hợp này cần chú ý đến sức kháng tải theo vật liệu làm cọc vì tại điểm trung hòa lực nén có thể rất lớn và nếu kết hợp với momen lớn do lực ngang sẽ gây bất lợi về mặt vật liệu.

Khi tiến hành các biện pháp xử lý còn phải xem xét các chỉ tiêu kinh tế và tiến độ thi công. Nếu điều kiện thời gian cho phép nên ưu tiên sử dụng các phương pháp xử lý theo nhóm thứ nhất vì tiết kiệm kinh phí. Ngoài ra, ảnh hưởng của ma sát âm giảm dần theo thời gian hết tác dụng của ma sát âm (đất nền cố kết hết), thì vùng chịu ma sát âm lại chuyển thành ma sát dương, khi đó khả năng chịu tải của móng cọc sẽ lớn hơn so với tải trọng yêu cầu và gây ra lãng phí. Tuy nhiên, trong nhiều trường hợp tăng thêm số lượng cọc hoặc kéo dài thêm cọc tỏ ra hữu hiệu hơn cả.

5.1. Biện pháp làm tăng nhanh mức độ cố kết của đất

Đối với công trình có thời gian thi công gấp, công trình có hệ móng cọc trong đất yếu chưa cố kết, để giảm ma sát âm, ta có thể bố trí các phương tiện thoát nước theo phương thẳng đứng (giếng cát hoặc bắc thấm) nên nước cố kết ở các lớp sâu trong đất yếu dưới tác dụng tải trọng đắp sẽ có điều kiện để thoát nhanh (thoát theo phương nằm ngang theo giếng cát hoặc bắc thấm rồi theo chúng thoát lên mặt đất tự nhiên). Tuy nhiên, để đảm bảo phát huy được hiệu quả thoát nước này thì chiều cao nền đất đắp tối thiểu nên 4m, do đó nếu nền đắp không đủ lớn hơn thì ta kết hợp với gia tải trước để phát huy hiệu quả các đường thấm thẳng đứng.

Khi sử dụng các giải pháp thoát nước cố kết thẳng đứng nhất thiết phải bố trí tầng cát đệm. Giếng cát chỉ nên dùng loại có đường kính từ 35 đến 45cm, bố trí kiểu hoa mai với khoảng cách giữa các giếng bằng 8 đến 10 lần đường kính giếng. Nếu dùng bắc thấm thì cũng nên bố trí so le kiểu hoa mai với cự ly không nên dưới 1.3m và không quá 2.2m. Khi sử dụng các giải pháp thoát nước cố kết thẳng đứng nên kết hợp với các biện pháp gia tải trước và trong mọi trường hợp thời gian duy trì tải trọng đắp không dưới 6 tháng. Ưu điểm này có thể áp dụng cả cho cọc đóng và cọc khoan nhồi, tuy nhiên cần thời gian thi công lâu và mặt bằng lớn (nếu có gia tải).

5.2. Biện pháp làm giảm sự ma sát giữa đất và cọc trong vùng ma sát âm

Tạo lớp phủ mặt ngoài để ngăn ngừa tiếp xúc trực tiếp giữa cọc và đất xung quanh làm giảm ma sát thành bên giữa cọc và lớp đất nền xung quanh cọc.

Bitumen thường được dùng để phủ xung quanh cọc bởi vì đặc tính dẻo nhớt của nó, ứng xử như vật liệu rắn đàn hồi dưới tác động tải tức thời (đóng cọc) và như chất lỏng nhớt với sức kháng cắt nhất khi tốc độ di chuyển thấp. Những thành công sử dụng bitumen để làm giảm lực

kéo xuống phụ thuộc rất nhiều vào các yếu tố như loại và tính chất của bitumen, mức độ thâm nhập của hạt đất vào bitumen, sự phá hỏng của bitumen khi đóng cọc và nhiệt độ môi trường.

Theo kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của lớp phủ bitumen làm giảm ma sát âm trong cọc của Brons (1969), kết quả nghiên cứu cho thấy lực ma sát âm giảm khoảng 90% so với trường hợp không dùng lớp phủ mặt ngoài.

Theo kết quả nghiên cứu của Bjerrum (1969), đối với cọc dung lớp phủ bitumen và dùng betonite để giữ ổn định thì lực kéo xuống giảm 15%. Vì vậy có thể kết luận: lớp phủ bitumen có thể làm giảm lực kéo xuống khoảng 75%. Tuy nhiên, nếu không có bentonite khi hạ cọc thì tác dụng của bentonite chỉ còn khoảng 30% mà thôi do phủ bitumen bị phá hỏng trong quá trình hạ cọc do đó chiều dày của lớp phủ bitumen nên vào khoảng 4-5mm để ngừa cho trường hợp bị xước khi hạ cọc.

Ưu điểm của biện pháp này là thi công đơn giản, kinh phí thấp. Tuy nhiên chỉ có thể áp dụng cho cọc đóng. Không áp dụng được cho cọc khoan nhồi.

Ngoài ra, người ta còn có thể khoan tạo lỗ có kích thước lớn hơn kích thước cọc trong vùng chịu ma sát âm, sau đó khi thi công mà vẫn giữ nguyên khoảng trống xung quanh và được lấp đầy bằng bentonite.

5.3. Dùng sàn giảm tải có xử lý cọc (làm giảm tải trọng tác dụng vào đất nền)

Đối với các công trình có phụ tải là hang hóa, vật liệu, container... tải trọng phụ có giá trị lớn thì dùng các sàn bê tông có xử lý cọc để đặt phụ tải.

Trong công trình giao thông, sàn giảm tải (bố trí cho nền đường đắp cao sau mố cầu), ngày càng được sử dụng rộng rãi, đất đắp nền được đắp lên sàn giảm tải chứ không tác dụng trực tiếp lên nền đất yếu bên dưới. Các dự án lớn ở khu vực đồng bằng sông Cửu Long đã sử dụng giải pháp sàn giảm tải như: Cầu Hưng Lợi, cầu Mỹ Thanh, cầu Rạch Mọp... thuộc dự án xây dựng tuyến đường Nam Sông Hậu.

Trong trường hợp này, lực ma sát âm giảm đáng kể do phụ tải được truyền xuống tầng đất tốt có khả năng chịu lực. Như vậy tải trọng phụ sẽ ít ảnh hưởng đến lớp đất có tính nén lún cao từ đó làm giảm độ lún của đất nền dẫn đến giảm lực kéo xuống của đất xung quanh cọc.

Biện pháp này dễ thi công, làm giảm đáng kể lực kéo xuống của cọc, an toàn về kỹ thuật nhưng xét về mặt kinh tế thì chưa đạt hiệu quả cao. Biện pháp này đặc biệt thích hợp với các công trình được xây dựng trên nền cao trên nền đất yếu lớn.

6. NHẬN XÉT VÀ KẾT LUẬN

- Qua phân tích nêu ở trên thấy rằng mối quan hệ giữa biến dạng lún của nền và biến dạng lún của cọc là nền tăng cơ bản để lực ma sát âm xuất hiện. Vị trí mà ma sát thành bên của cọc thay đổi hướng gọi là "mặt phẳng trung hòa". Mặt phẳng trung hòa là nơi mà độ lún của cọc và của đất nền bằng nhau.

- Ma sát âm là hiện tượng phức tạp vì nó phụ thuộc vào nhiều thông số, như độ lún của đất sau khi đóng cọc, sự co ngấn đàn hồi của cọc, độ lún của cọc, qui luật phân bố lực ma sát âm trên cọc, v.v..

- Trị số của lực ma sát âm có liên quan tới sự cố kết của đất, phụ thuộc trực tiếp vào ứng suất có hiệu của đất chung quanh cọc. Như vậy lực ma sát âm phát triển theo thời gian và trị số lớn nhất khi kết thúc cố kết.

- Ma sát âm phát triển ở phần trên của mặt phẳng trung hòa và ma sát âm này cộng với tải trọng tĩnh từ kết cấu không được vượt quá sức kháng của cọc (sức kháng do ma sát dương ở thành bên cộng với sức kháng mũi cọc) ở đoạn dưới của cọc.

- Ma sát âm có liên quan đến cường độ kết cấu của cọc và nhà thiết kế phải khẳng định rằng tải trọng tác dụng không làm cho cọc bị phá hủy về mặt kết cấu. Khi có ma sát âm xuất hiện, sự phân bố tải trọng dọc theo thân cọc cũng thay đổi, lực dọc lớn nhất có thể sẽ xuất hiện tại vị trí

trục trung hòa. Như vậy cần phải bố trí cốt thép cho phù hợp khi kiểm tra sức kháng của cọc theo vật liệu.

NEGATIVE SKIN FRICTION EFFECT IN CONSTRUCTION AND SOME METHODS TO REDUCE NEGATIVE SKIN FRICTION EFFECT

Dau Van Ngo
University of Technology, VNU-HCM

ABSTRACT: Basing on the researches in negative skin friction effect, especially practical experiences of construction on soft soil at Cuu Long delta area, this article want to show the negative skin friction effect in soft soil and suggest some methods to reduce this affect.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lê Quý An, Nguyễn Công Mẫn, Nguyễn Văn Quý, *Cơ học đất*, NXB Đại học và Trung học chuyên nghiệp, (1986).
- [2]. 22 TCN 272 – 01 – *Tiêu chuẩn thiết kế cầu*, NXB Giao thông Vận tải, (2001) (AASHTO LRFD 1998).
- [3]. MJ. Tomlinson, Ceng, FICE, FIStructE, *Foundation design and construction*, Sixth Edition, Longman Scientific & Technical, (1995).
- [4]. MJ. Tomlinson, Ceng, FICE, FIStructE, *File design and construction practice*, fourth edition, Hertfordshire SG6 IJS, INC, (1981).