

KHẢ NĂNG CHỊU TẢI CỦA CỌC TỪ KẾT QUẢ THỬ ĐỘNG BIẾN DẠNG LỚN (PDA) VÀ NÉN TĨNH

TS. Bùi Trường Sơn

Trường đại học Bách Khoa, ĐHQG TP.HCM

ThS. Phạm Cao Huyền

Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: *Đánh giá khả năng chịu tải của cọc tại hiện trường là công tác quan trọng và cần thiết sau khi thi công cọc nhằm kết luận chính xác sức chịu tải của cọc theo điều kiện thực tế. Thí nghiệm thử động biến dạng lớn (PDA) cho phép đánh giá khả năng chịu tải của cọc với độ tin cậy cần thiết trong thời gian ngắn. Ngoài ra, thí nghiệm thử động biến dạng lớn có thể thực hiện nhằm hạn chế những bất lợi của thí nghiệm nén tĩnh như điều kiện mặt bằng chật hẹp, tải trọng thí nghiệm quá lớn hay kết quả thử tĩnh không đạt đến giá trị tới hạn. Nội dung chính của bài viết là đánh giá các mô hình trong thử động biến dạng lớn, phân tích các thông số đầu vào và độ tin cậy của phương pháp thí nghiệm trong điều kiện địa chất khu vực.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các thí nghiệm hiện trường đánh giá khả năng chịu tải của cọc được thực hiện nhằm kiểm tra và khẳng định độ chính xác của các giá trị thiết kế và chất lượng toàn bộ quá trình thi công. Phổ biến có ba nhóm phương pháp được ứng dụng rộng rãi, bao gồm: thí nghiệm tĩnh, thí nghiệm động và thí nghiệm tĩnh động.

Trong nhóm thí nghiệm tĩnh, phương pháp nén tĩnh là giải pháp truyền thống được tin cậy và sử dụng rộng rãi nhất. Kết quả nén tĩnh cọc hiện trường cho phép đánh giá khả năng chịu tải của cọc đơn theo quan hệ giữa tải trọng tác dụng và chuyển vị của cọc mà thực chất là chuyển vị đo được ở đầu cọc. Trong nhóm thí nghiệm động, phương pháp thử động biến dạng lớn được sử dụng để kiểm tra đối chứng hay thay thế phương pháp nén tĩnh. Phương pháp thử động biến dạng lớn có thể khắc phục được một số nhược điểm của phương pháp nén tĩnh và đặc biệt là sự tiện dụng khi có sự hỗ trợ của kỹ thuật hiện đại.

Hiện nay phương pháp thử động biến dạng lớn được áp dụng rộng rãi ở Việt nam do đó cần có các nghiên cứu có hệ thống về phương pháp này cũng như tổng kết đánh giá mức độ tin cậy của các số liệu. Để thực hiện điều này, việc hệ thống các mô hình xử lý, khắc phục các nhược điểm của việc xử lý kết quả cũng như so sánh với kết quả nén tĩnh cọc nhằm xây dựng một

phương pháp kiểm tra sức chịu tải của cọc ở hiện trường có độ tin cậy và hiệu quả.

2. CÁC MÔ HÌNH CƠ BẢN ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG CHỊU TẢI CỦA CỌC BẰNG PHƯƠNG PHÁP THỬ ĐỘNG BIẾN DẠNG LỚN

Phổ biến có ba mô hình cơ bản: mô hình Smith, mô hình Case và mô hình CAPWAP.

Smith sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn để tìm lời giải cho phương trình sóng ứng suất với tải trọng tới hạn. Smith biến đổi phương trình truyền sóng ứng suất thành một hệ phương trình sai phân các phần tử rời rạc trong hệ thống búa-cọc-đất. Giải thuật tính toán của Smith thực hiện theo trình tự: Giả sử các giá trị R_u , tỷ lệ phân phối sức kháng bên và sức kháng mũi, hình thức phân bố sức kháng bên (dạng hình chữ nhật, hình thang hoặc tam giác), hệ số quake của đất, từ đó tính toán giá trị $k_s(m)$; Tính toán vận tốc ban đầu của búa v_0 ; Tính toán chuyển vị, biến dạng, vận tốc của từng phần tử theo thứ tự từ trên xuống dưới; Tính toán lặp lại chuyển vị, biến dạng, vận tốc của từng phần tử sau khoảng thời gian Δt ; Giả thiết lại R_u , tính toán lặp lại các bước. Vẽ đường cong quan hệ giữa chuyển vị và R_u . Dựa vào kết quả đường cong quan hệ giữa chuyển vị và R_u , vẽ đường cong quan hệ số nhát búa và R_u . Sức chịu tải của cọc được xác định căn cứ vào giá trị chuyển vị cuối cùng hoặc số nhát búa cuối cùng, tra đường cong quan hệ để xác định R_u .

Case sử dụng nguyên lý truyền sóng ứng suất trong thanh một chiều, kết quả đo sóng lực và sóng vận tốc hạt tại đầu cọc, phân tích đồ thị sóng để xác định sức chịu tải của cọc. Từ phương trình truyền sóng ứng suất trong cọc, Case đưa ra các giả thiết xây dựng mô hình Case trong đó hệ số cản nhất được xác định theo đề nghị ở bảng 1.

Bảng 1. Giá trị hệ số cản nhất J_c

Đất ở mũi cọc	Đề nghị (Năm 1975)	Đề nghị (Năm 1996)
Cát sạch	0,05-0,20	0,10-0,15
Cát lẫn bụi, bụi chứa cát	0,15-0,30	0,15-0,25
Bụi	0,20-0,45	0,25-0,40
Sét lẫn bụi, bụi lẫn sét	0,40-0,70	0,40-0,70
Sét	0,60-1,00	$\geq 0,7$

Từ kết quả đồ thị sóng lực và sóng vận tốc hạt, xác định vận tốc truyền sóng trong cọc, vị trí phản xạ của các sóng, chọn hệ số J_c phù hợp và ứng dụng công thức để tính toán sức chịu tải của cọc.

Mô hình CAPWAP (Case Pile Wave Analyses Program) còn được gọi là phương pháp tín hiệu phù hợp. Mô hình CAPWAP là sự kế thừa, kết hợp mô hình Smith và mô hình Case trên cơ sở chung của nguyên lý truyền sóng ứng suất và ứng dụng phương trình truyền sóng ứng suất. Trên cơ sở này, mô hình CAPWAP xây dựng mô hình cọc và mô hình đất nền.

Việc tính toán trong mô hình CAPWAP được thực hiện theo trình tự như sau: đo sóng lực và sóng vận tốc tại đầu cọc khi tải trọng tác dụng; rời rạc hóa mô hình cọc và mô hình đất thành những phần tử xác định; giả định các giá trị

thông số cho các phần tử đất nền: khả năng chịu tải R_u , sức kháng động Q , hệ số sức cản động J và các thông số khác trong mô hình; tính toán các giá trị sóng phản xạ theo dữ liệu giả định; đo các sóng phản xạ tại đầu cọc; so sánh tín hiệu sóng tính toán và sóng thực đo. Nếu tín hiệu phù hợp thì xuất kết quả và nếu chưa phù hợp thì giả định lại các thông số đất nền, thực hiện vòng lặp đến khi có sự phù hợp tín hiệu;

Từ việc tìm hiểu các nguyên tắc cơ bản của ba mô hình, có thể rút ra những nhận định chính như sau:

- Mô hình Case cho phép tính toán sức chịu tải ngay sau khi kết thúc thí nghiệm, phương pháp tính toán không dựa trên sự phù hợp tín hiệu sóng tính toán giả định và sóng thực đo, đây là sự khác biệt so với hai mô hình còn lại.

- Mô hình CAPWAP là mô hình phát triển hoàn thiện hơn của mô hình Smith. Mô hình này xem xét đến những ứng xử khác của hệ cọc - đất mà mô hình Smith chưa đề cập đến như sự lan truyền sức cản động, quá trình dỡ tải và tái chất tải, sức kháng động của vật liệu cọc, ứng xử của mũi cọc trên nền đất cứng hay đá và đặc biệt là sự tiếp cận đến ứng xử đàn hồi - dẻo - nhớt của đất nền.

3. ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG CHỊU TẢI CỦA CỌC TỪ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM PDA VÀ NÉN TĨNH

Khả năng chịu tải của cọc tính toán bằng mô hình Case với hệ số J_c được chọn theo giá trị trung bình tương ứng theo từng loại đất ở bảng 1; sức kháng động theo CAPWAP được lựa chọn theo Smith hay Case tùy thuộc vào từng trường hợp cụ thể của điều kiện địa tầng. Giá trị J_c theo Case và theo kết quả hiệu chỉnh được trình bày như ở bảng 2.

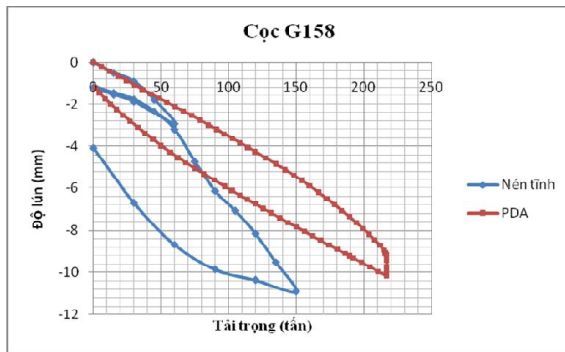
Bảng 2. Khả năng chịu tải của cọc theo mô hình Case và CAPWAP với các giá trị J_c khác nhau.

Lớp đất mũi cọc là Sét (công trình Intel Project - Quận 9 - Tp. HCM: cọc BTCT tiết diện 350x350mm, dài 24m)							
Tên cọc	J_c theo Case		J_c theo CAPWAP		CAPWAP	Nén tĩnh	Thiết kế
	J_c	R_u (Tấn)	J_c	R_u (Tấn)	R_u (Tấn)	R_u (Tấn)	R (Tấn)
G055	0,70	278,33	0,74	172,86	173,20	150	60
G158	0,70	85,23	0,39	227,93	227,82	150	60
G282	0,70	93,26	0,47	252,14	261,97	150	60
G455	0,70	114,26	0,67	205,78	206,15	150	60
G561	0,70	113,16	0,65	229,41	228,88	150	60

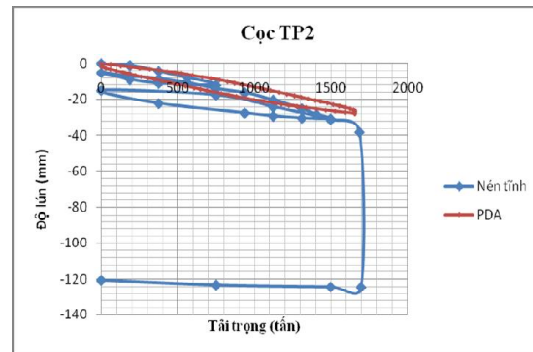
Lớp đất mũi cọc là Sét pha cát (công trình Chung cư Phú Lợi – Quận 8 – Tp. HCM: cọc BTCT tiết diện 350x350mm, dài 24m)							
Tên cọc	J _c theo Case		J _c theo CAPWAP		CAPWAP	Nén tĩnh	Thiết kế
	J _c	R _u (Tấn)	J _c (Tấn)	R _u (Tấn)	R _u (Tấn)	R _u (Tấn)	R (Tấn)
P908	0,60	81,09	0,64	157,60	157,99	128	64
P925	0,60	163,79	0,53	146,35	146,47	128	64
P952	0,60	53,66	0,52	128,56	128,72	128	64

Để thuận tiện cho việc phân tích đánh giá khả năng chịu tải của cọc theo mô hình CAPWAP, chúng tôi biểu diễn quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị đầu cọc theo kết quả nghiệm nén tĩnh và thử động biến dạng lớn theo mô hình CAPWAP trên cùng một biểu đồ với các cọc có cùng thông số về đường kính, chiều dài

và trong cùng một khu vực thí nghiệm. Đặc biệt, tại vị trí cọc TP02, 04 thí nghiệm thử động biến dạng lớn và thí nghiệm nén tĩnh được thực hiện trên cùng một cọc với tải trọng đều đạt giá trị tối hạn cho phép phân tích, đánh giá kết quả các phương pháp thí nghiệm chính xác. Kết quả thể hiện như ở hình 1, 2 và bảng 3.



Hình 1. Tương quan độ lún và tải trọng cọc G158 từ PDA và nén tĩnh



Hình 2. Tương quan độ lún và tải trọng cọc TP2 từ PDA và nén tĩnh

Bảng 3. Khả năng chịu tải của cọc theo mô hình Case, CAPWAP và nén tĩnh

Khả năng chịu tải của cọc (tấn)					
Loại cọc	Tên cọc	theo Case	theo CAPWAP	Nén tĩnh	Thiết kế
Cọc BTCT đúc sẵn	G055	172,86	173,20	150	60
	G158	227,93	227,82	150	60
	G282	252,14	251,87	150	60
	G455	205,78	206,15	150	60
	G561	229,41	228,88	150	60
	P908	157,60	157,99	128	64
	P925	146,35	146,47	128	64
	P952	128,56	128,72	128	64
	P25	239,37	240,24	180	90
Cọc khoan nhồi (đường kính 1-1,2m, sâu 53-70m ở quận 2)	TP02	1650,41	1653,84	1698	750
	TN01	744,57	1099,28	1102	380
	TN02	812,72	961,42	1102	380
	P3	868,44	1014,59	1102	380
	04	826,41	1141,4	1193	530

Bảng 4. Độ chênh lệch khả năng chịu tải của cọc theo kết quả PDA và nén tĩnh

Loại cọc	Tên cọc	R_u theo CAPWAP (Tấn)	Nén tĩnh (Tấn)	Tỷ lệ chênh lệch (%)
Cọc khoan nhồi	TP02	1653,84	1698	2,60
	TN01	1099,28	1102	0,25
	TN02	961,42	1102	12,76
	P3	1014,59	1102	7,93
	04	1141,4	1193	4,33

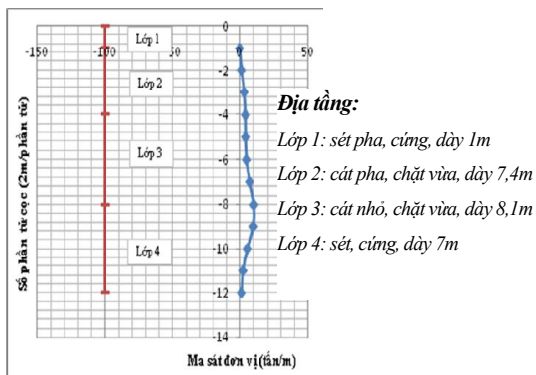
Từ bảng 3 có thể thấy rằng đối với các cọc được hạ bằng phương pháp đóng hay ép, khả năng chịu tải từ phương pháp nén tĩnh đều có giá trị nhỏ hơn đáng kể so với kết quả thu nhận được từ PDA. Tải trọng thí nghiệm nén tĩnh được khống chế theo số liệu dự báo của hồ sơ thiết kế và trong đa số các trường hợp đều chưa đạt đến giá trị cực hạn. Trong khi đó, tải trọng trong thí nghiệm thử động biến dạng lớn có thể đạt đến giá trị cực hạn.

Đối với cọc thi công bằng phương pháp khoan nhồi, theo yêu cầu được nén đến giá trị cực hạn. Trong trường hợp này, khả năng chịu tải xác định theo hai phương pháp đều có giá trị tương đồng. Từ đây có thể nhận thấy rằng khả năng chịu tải theo PDA có độ tin cậy cao, phù hợp với kết quả nén tĩnh.

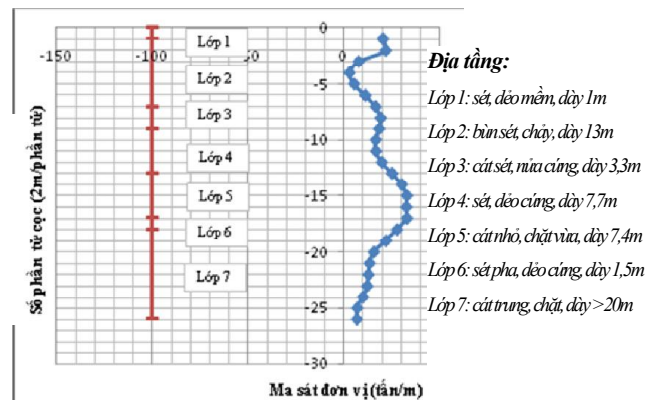
Kết quả nén tĩnh cọc hiện trường trong hầu

hết các trường hợp cho cọc đóng, ép đã nêu ở bảng 3 căn cứ trên cơ sở khả năng chịu tải thiết kế đều có giá trị nhỏ hơn đáng kể so với kết quả thử bằng PDA. Thực vậy, đường cong quan hệ lực nén – chuyển vị cho thấy đất nền còn làm việc trong giai đoạn đàn hồi nên chưa đạt đến giá trị sức chịu tải cực hạn. Thí nghiệm PDA sử dụng lực đóng của búa đủ lớn nhằm huy động toàn bộ sức kháng của đất nền và không bị khống chế như thí nghiệm nén tĩnh cọc hiện trường.

Bảng 4 cho thấy độ chênh lệch giá trị khả năng chịu tải cực hạn theo PDA và nén tĩnh có giá trị trung bình 5,57%. Sự chênh lệch không đáng kể cho phép đánh giá rằng khả năng chịu tải theo PDA có độ tin cậy cao và hoàn toàn phù hợp với kết quả nén tĩnh nếu được thực hiện với tải trọng cực hạn.



Hình 3. Phân bố ma sát đơn vị theo độ sâu của cọc G158



Hình 4. Phân bố ma sát đơn vị theo độ sâu của cọc TN01

Từ các biểu đồ biểu diễn sức kháng đơn vị của đất nền ứng với từng phần tử cọc trong mô hình CAPWAP có thể phân tích sức kháng bên của cọc theo hai nhóm khác nhau gồm cọc bê tông cốt thép đúc sẵn và cọc khoan nhồi. Ở nhóm cọc bê tông cốt thép đúc sẵn, nhận thấy rằng sự phân bố ma sát đơn vị theo độ sâu đối với các cọc cùng nhóm cho kết quả tương

đồng. Trong nhóm cọc khoan nhồi có cùng tiết diện, chiều dài lẫn cấu tạo địa chất, sự phân bố sức kháng bên của cọc có kết quả tương đồng nhưng sự phân bố sức kháng bên đơn vị giữa cọc và đất theo từng phần tử cọc rất phức tạp, không tuân theo qui luật do sự sai khác về tiết diện cọc cũng như sự tẩm ướt đất do quá trình thi công.

Bảng 5. Tỷ lệ phần trăm sức kháng thành phần của cọc theo PDA

Loại cọc	Tên cọc	R_u (Tấn)	R_s (Tấn)	Tỷ lệ % sức kháng bên (%)	R_b (Tấn)	Tỷ lệ % sức kháng mũi (%)
Cọc BTCT đúc sẵn	G055	173,20	101,99	58,89	71,20	41,11
	G158	227,82	112,84	49,53	114,98	50,47
	G282	251,87	171,04	67,91	80,93	32,09
	G455	206,15	146,73	71,18	59,42	28,82
	G561	228,88	171,18	74,79	57,70	25,21
	P908	157,99	130,47	82,58	27,52	17,42
	P925	146,47	88,02	60,09	58,46	39,91
	P952	128,72	101,05	78,05	27,67	21,95
	P25	240,24	172,11	71,64	68,13	28,36
Cọc khoan nhồi	TP02	1653,84	1254,22	75,84	399,62	24,16
	TN01	1099,28	940,91	85,59	158,37	14,41
	TN02	961,42	788,90	82,06	172,53	17,94
	P3	1014,59	810,43	79,88	204,16	20,12
	04	1141,4	911,21	79,83	230,19	20,17

Giá trị sức kháng tổng cũng như các sức kháng thành phần và tỷ lệ sức kháng thành phần của cọc thể hiện ở bảng 5. Trong các trường hợp, khả năng huy động sức kháng ma sát chiếm tỷ lệ đáng kể trong tổng khả năng chịu tải của cọc và dao động trong phạm vi từ 50 – 82% đối với cọc đúc sẵn hạ cọc bằng phương pháp đóng hay ép, chiếm 75 – 85% trong cọc bê tông đổ tại chỗ thi công cọc bằng phương pháp khoan nhồi.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Từ việc tổng hợp, phân tích và so sánh kết quả xác định khả năng chịu tải của cọc bằng phương pháp thử động biến dạng lớn và nén tĩnh cũng như phân tích các yếu tố ảnh hưởng của việc chọn lựa mô hình có thể rút ra các kết luận như sau:

- Khả năng chịu tải của cọc theo phương pháp thử động biến dạng lớn trên cơ sở mô hình CAPWAP tương đồng với kết quả nén tĩnh cọc hiện trường nếu được thực hiện đến tải trọng cực hạn.

- Khả năng chịu tải của cọc từ đa số kết quả nén tĩnh cọc đúc sẵn chưa đạt đến giá trị cực hạn không cho phép đánh giá chính xác sức chịu tải của cọc và cho thấy việc dự đoán khả năng chịu

tải của cọc theo các hồ sơ thiết kế thường dư.

- Theo điều kiện địa chất khu vực, hệ số J_c của mô hình Case có giá trị khác biệt và thường nhỏ hơn giá trị trung bình như theo đề nghị ở bảng 1.

- Sự phân bố ma sát đơn vị giữa đất và cọc theo độ sâu thu nhận từ kết quả thử động biến dạng lớn hợp lý với điều kiện địa tầng đối với cọc bê tông cốt thép đúc sẵn hạ cọc bằng phương pháp đóng hay ép và không tuân theo qui luật qua các lớp đất đối với cọc bê tông cốt thép đổ tại chỗ thi công cọc bằng phương pháp khoan nhồi.

- Khả năng chịu tải của cọc do ma sát chiếm tỷ lệ đáng kể từ 50 – 82% đối với cọc đúc sẵn hạ cọc bằng phương pháp đóng hay ép, chiếm 75 – 85% trong cọc bê tông đổ tại chỗ thi công cọc bằng phương pháp khoan nhồi trong tổng sức chịu tải của cọc.

Kiến nghị

Khi đánh giá khả năng chịu tải của cọc theo mô hình Case nhanh tại hiện trường, có thể lựa chọn hệ số sức kháng động J_c trong khoảng giá trị từ 0,47 đến 0,65 cho cọc có lớp đất ở mũi là sét cứng và trong khoảng lân cận giá trị 0,53 cho loại đất ở mũi cọc là sét pha cát.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **Nguyễn Hữu Đầu.** *Công nghệ mới đánh giá chất lượng cọc*, Nhà xuất bản Xây dựng, 2000.
2. **Nguyễn Huy Cường.** *Phân tích đánh giá khả năng chịu tải của cọc bằng phương pháp thử động biến dạng lớn PDA và kết quả nén tĩnh. Luận văn Thạc sĩ.* Đại học Bách Khoa, ĐHQGTPHCM. 2010.
3. **Cung Nhất Minh, Diệp Vạn Linh, Lưu Hưng Lục.** *Thí nghiệm và kiểm tra chất lượng cọc*, Nhà xuất bản Xây dựng, 1999.
4. **Bùi Trường Sơn, Nguyễn Thanh Đạt.** *Sức chịu tải của cọc theo thời gian trong nền sét bão hòa nước sau khi thi công.* Tập 13, Tuyển tập kết quả khoa học công nghệ 2010, NXB Nông nghiệp. Trang 377-385.
5. **Shamsher Prakash, Hari D.Sharma,** *Móng cọc trong thực tế xây dựng (bản dịch)*, Nhà xuất bản Xây dựng, 1999.
6. **TCXD 269:2002** *Cọc – Phương pháp thí nghiệm bằng tải trọng ép dọc trục.*
7. **ASTM D1143-1981** *Method of Testing Pile under Static Axial Compressive Load.*
8. **ASTM D4595-89** *Standard Test Method for High Strain Dynamic Test of Pile.*
9. **Braja M.Das,** *Principle of Soil Dynamics*, PWS-KENT Publishing Company, 1993.
10. **Bengt H. Fellenius,** *Application of Stress-Wave theory on piles*, Bitech Publishers, Canada, 1998.
11. **Pile Dynamics, Inc,** *User's Manual Pile Driving Analyzer model PAX*, 11/2008.
12. **Nguyễn Trường Tiến,** *Dynamic and static behaviour of driven piles*, Chalmers University of Technology, Sweden, 1987.

Abstract

PILE CAPACITY FROM PILE DYNAMIC ANALYSIS (PDA) AND RESULT OF TESTING PILE UNDER STATIC COMPRESSIVE LOAD

Evaluation of pile capacity in-situ is an important and necessary work after pile installation in order to conclude the exactly pile bearing capacity in actual conditions. Pile dynamic analysis (PDA) allows determining pile capacity more reliable in short term. In addition, PDA can be able to carry out in cases sort of building site and so large of testing load or when the tested load is underestimating. The main content of the paper is evaluation of PDA models in order to heighten reliability, to analyze input parameters and reliability of PDA in geological conditions of the area.