



NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ LẠI SỰ RUNG LẮC CÁC KẾT CẤU CÔNG TRÌNH DKI BẰNG THÉP MÓNG CỌC TRÊN NỀN SAN HỒ DỰA TRÊN TRẠNG THÁI GIỚI HẠN PHÁ HỦY LŨY TIẾN

Đinh Quang Cường¹, Vũ Đan Chinh², Bùi Thế Anh², Đặng Đình Tuấn²

Tóm tắt: Trong những năm gần đây chúng ta đã xây dựng hơn 20 công trình DKI, là các công trình biển thép móng cọc trên nền san hô. Hầu hết các công trình DKI đều đã bị rung lắc, trong đó có một số công trình đã bị phá hủy. Một số nghiên cứu cho rằng: lực đóng cọc thép đã phá hủy nền san hô gây mất ma sát cọc - nền, khi chịu tải trọng động (sóng biển), cọc thép tiếp tục ép vỡ nền san hô, dẫn đến rung lắc lớn và phá hủy công trình [3, 7-9]. Tuy nhiên, trong [2] lại cho rằng không có hiện tượng tách cọc và nền, nguyên nhân rung lắc là do đóng cọc chưa đủ số lượng và độ sâu. Những hình ảnh trong [8], [9] đã chỉ rõ hiện tượng tách cọc - nền ở công trình đã bị đổ (DKI/6). Bài báo này đặt vấn đề đánh giá sự ảnh hưởng của độ sâu ngàm giả định đến khả năng tồn tại của các công trình DKI trên nền san hô, dựa trên việc xác định hệ số cường độ dự trữ của công trình "RSR". Thông qua hệ số RSR xác định được, nhóm tác giả sẽ chứng minh rằng: nếu chiều sâu ngàm bị hạ so với thiết kế ban đầu thì công trình bị phá hủy theo tiêu chuẩn API.

Từ khóa: Công trình DKI; nền san hô; phá hủy lũy tiến.

Summary: In the recent years we've built more than 20 DKI platforms supported by piles in coral ground. Almost of DKI platforms were vibrated, and some of them were collapsed. There are some researchs supposed that the forces due to pile driving process broke coral layers and destructed frictions between piles and soils, and then piles beared dynamic loadings (wave loadings) continue to break the soils which leads to large vibrations and collapse of the platform structures [3, 7-9]. However, in [2] authors stated that there weren't the separation between the piles and the soils and the main reasons of the vibrations are the lack of number of pile and pile penetration. The photos in [8], [9] shown the cleavage at the collapsed platform (DKI/6). This paper purposes to assess effects of apparent fixity depth to viability of the DKI platforms based on determination of Reserve Strength Ratio (RSR). Through the RSR, we will prove that: If the apparent fixity depths more than the depths in initial designs, the platforms will be collapsed in accordance with API standard.

Keywords: DKI structures; coral ground based; progressive Collapse.

Nhận ngày 11/5/2015, chỉnh sửa ngày 25/5/2015, chấp nhận đăng 30/9/2015



1. Phương pháp "Push-Over" trong phân tích quá trình phá hủy lũy tiến của kết cấu chân đế công trình biển cố định bằng thép (jacket)

1.1 Nội dung phương pháp

Phương pháp "đẩy dần" (Push-over) phân tích quá trình phá hủy lũy tiến kết cấu jacket dưới tác động của tải trọng ngang gây ra bởi điều kiện môi trường biển. Tác động của tải trọng môi trường được xem là tựa tĩnh: Tải trọng được tăng từng bước (hoặc điều kiện biên tương đương với gia tăng tải trọng), các phần tử kết cấu như nút và thanh hay cọc được kiểm tra làm việc ngoài miền đàn hồi để đảm bảo phù hợp với mô hình tính. Tuy có những vị trí hư hỏng cục bộ hay ứng suất dư cho phép, nhưng không bị sụp đổ. Khi chịu quá tải, phần tử được xem xét làm việc trong giai đoạn chảy dẻo, có sự suy giảm cường độ và độ cứng của kết cấu. Kết cấu được phân tích cho đến khi tải trọng tiếp tục tăng thì chuyển vị tổng thể của công trình tiến nhanh đến

¹PGS.TS, Khoa Xây dựng Công trình biển và dầu khí. Trường Đại học Xây dựng. E-mail: cuongdq.vctb@gmail.com

²ThS, Khoa Xây dựng Công trình biển và dầu khí. Trường Đại học Xây dựng.

vô cùng (công trình bị sụp đổ). Sự sụp đổ của công trình là do sự phá hủy tích lũy của các phần tử làm cho độ cứng của công trình giảm, hay các phần tử chính bị phá hủy do chảy dẻo. Phương pháp Push - Over cho phép xác định được “hệ số cường độ dự trữ của công trình (Reserve Strength Ratio - RSR)”.

1.2 Xây dựng chỉ tiêu cường độ dự trữ [14], [11], [12]

Bất đẳng thức thể hiện kết cấu công trình đủ đảm bảo khả năng chịu lực tổng thể như sau:

$$R\left(\frac{R_s}{F_s}, \frac{R_F}{F_F}\right) \geq F_D \cdot D + F_E \cdot E \quad (1)$$

trong đó: R là cường độ cực hạn của kết cấu công trình; R_s là cường độ cực hạn phi tuyến của kết cấu công trình; R_F là cường độ cực hạn phi tuyến của nền móng công trình; D là các tải trọng ngoài tải trọng môi trường; E là tải trọng môi trường; F_D là hệ số tải trọng của các tải trọng ngoài tải trọng môi trường = 1.0; F_E là hệ số tải trọng môi trường (phụ thuộc vào phân loại gián); F_s là hệ số vật liệu của kết cấu công trình = 1.15 và F_F là hệ số vật liệu của nền móng công trình = 1.13 [14].

Nhân cả hai vế của phương trình (1) với F_s và thay các giá trị trên vào ta được:

$$R_{ULT}\left(R_s, \frac{R_F}{1.13}\right) = 1.15 \cdot D + RSR \cdot E \quad (2)$$

Trong đó RSR là hệ số cường độ dự trữ của công trình. Giá trị cường độ dự trữ cho phép [RSR] phụ thuộc vào phân loại gián. Theo API-RP-2A: với gián không có người ở, [RSR]=1.6.



2. Đánh giá lại kết cấu công trình DKI trên nền san hô dùng phương pháp Push-Over

2.1 Giới thiệu tổng quát về công trình DKI



Hình 1. Công trình DKI/14 và các thông số chính

Bảng 1. Các thông số chính của công trình DKI/14

TT	Thông số	Giá trị
1	Độ sâu nước	22m
2	Chiều cao công trình	Khoảng 40m
3	Kích thước đỉnh KCĐ	8mx8m
4	Mặt bằng thượng tầng	16mx16m
5	Trọng lượng thượng tầng	350 tấn
6	Đường kính ống chính	812,8mm
7	Đường kính cọc	711,7mm
8	Chiều dài cọc	~ 20m
9	Tuổi thọ dự kiến	25 năm

DKI/14 được xây dựng năm 1995

DKI/14 được gia cố lại năm 2001-2002

Các công trình DKI, đại diện là công trình DKI/14 (Hình 1), được xây dựng bằng thép, móng cọc trên nền san hô. Sau khoảng 10 năm xây dựng, hầu hết các công trình DKI đều bị rung lắc. Một số công trình đã bị đổ, các công trình còn lại đều đã được gia cố bằng cách gia tải thêm nhằm trọng lực hóa các công trình để chống rung lắc [3], [7], [8].

Các điều kiện biên đã sử dụng để tính toán thiết kế công trình DKI:

- Tính toán kết cấu khối chân đế các công trình DKI, bài toán tựa tĩnh với liên kết ngàm giả định. Độ sâu ngàm giả định phụ thuộc vào loại đất, được chọn theo [13]. Thông thường lấy $L_{ngàm} = (5,0 \div 7,0)D$, với D là đường kính cọc.

- Để tính toán cọc, hệ số ma sát giữa cọc thép và nền san hô đã được chọn theo thiết kế ban đầu là $1,0 \text{ kG/cm}^2$, sau đó được chọn lại là $0,6 \text{ kG/cm}^2$. Khi gia cố các công trình DKI, các tác giả thiết kế gia cố đã thay đổi nguyên lý làm việc của công trình (chuyển dạng công trình thép móng cọc thành công trình trọng lực) và đã bỏ qua ma sát giữ cọc và nền (cọc chỉ chịu cắt và có tác dụng chống trượt cho công trình). Gần đây các tác giả trong [4] có đề nghị lấy hệ số ma sát giữa cọc thép và nền san hô là $0,2 \text{ kG/cm}^2$.

Bảng 2. Các số liệu ban đầu để thiết kế công trình DKI/14

Số liệu khí tượng hải văn			Số liệu địa chất nền san hô
TT	Số liệu	Giá trị	Cấu trúc phức tạp, không đồng nhất, nhiều lớp, nhiều hang, rãnh,...; Ứng suất nền mẫu từ 40-260 kG/cm ² ; Lực ma sát giữa cọc thép và san hô từ 0.15 - 0.17kG/cm ² theo kết quả thí nghiệm hiện trường và 0.5-1.3kG/cm ² theo kết quả xác định ở phòng thí nghiệm; Tính chất giòn làm giảm đáng kể lực ma sát giữa cọc và nền sau quá trình thi công và quá trình chịu tải trọng động lâu dài.
1	Độ sâu nước	22m	
2	Chiều cao sóng lớn nhất	15,4m	
3	Chu kỳ sóng	11s	
4	Tốc độ gió trung bình 2'	50m/s	
5	Tốc độ gió trung bình 10'	46m/s	
6	Dòng chảy mặt	247cm/s	
7	Dòng chảy đáy	236cm/s	
8	Biên độ triều	211cm	
9	Nước dâng tương ứng	115cm	

Nhận xét: Có ba vấn đề cần phải được bàn luận liên quan đến các điều kiện biên:

- Độ sâu ngàm: $L_{ngàm}=(5,0 \text{ đến } 7,0)D$ được tính từ mặt đáy biển đến điểm ngàm giả định. Độ sâu ngàm giả định đã chọn chỉ thỏa mãn khi mặt đáy biển không bị biến dạng (hoặc phải được hồi phục lại như ban đầu) sau khi đóng cọc. Điều này chỉ xảy ra với nền sét, cát mà không xảy ra với nền san hô, vì ngay sau khi đóng cọc, bề mặt nền san hô đã bị phá hoại giòn và không còn khả năng hồi phục như sét hoặc cát. Rõ ràng điểm ngàm (như thiết kế đã chọn) đã bị thay đổi, trong quá trình chịu tải trọng dài hạn và lặp (sóng biển), điểm ngàm tiếp tục thay đổi (hạ sâu hơn) - xem các nhận xét về số liệu địa chất công trình làm số liệu đầu vào - Bảng 2.

- Khả năng chịu tải của cọc được tính bằng tổng của lực kháng mũi cọc và tổng lực ma sát giữa cọc và nền. Đối với nền san hô, sức kháng mũi cọc rất lớn và khả năng chịu nén của cọc luôn thỏa mãn. Khả năng chịu nhỏ của cọc phụ thuộc nhiều vào ma sát giữa cọc và nền. Nếu nền san hô bị phá hủy giòn (do lực đóng cọc) thì giữa cọc và nền không còn tiếp xúc nữa đồng nghĩa với không còn ma sát, cọc đã mất (hoặc giảm đáng kể khả năng chịu nhỏ).

- Nền san hô bị phá hủy không phải là hoàn toàn theo suốt chiều dài cọc mà có xu hướng giảm dần từ mặt đáy biển theo hướng mũi cọc và sự mất ma sát cọc - nền cũng chỉ xảy ra ở khu vực mất tiếp xúc. Đây là lý do các cọc không mất hoàn toàn khả năng chịu nhỏ, tuy nhiên khó có thể xác định được chiều sâu nền đã bị phá hủy do đóng cọc.

2.2 Đặt bài toán đánh giá lại kết cấu công trình DKI/14

Từ các nhận xét nêu trên đây về các điều kiện biên đã sử dụng để tính toán kết cấu khối chân đế các công trình DKI trên nền san hô. Bài báo này đặt vấn đề:

- Chiều sâu ngàm hạ đến bao nhiêu thì kết cấu sẽ bị phá hủy.
- Sự ảnh hưởng của hệ số nền (trong bài toán cọc - nền làm việc đồng thời) như thế nào.

Dưới đây trình bày kết quả đánh giá ảnh hưởng của liên kết nối đất tới cường độ cực hạn của giàn DKI-14.

- Số liệu môi trường dùng để đánh giá lại được cho trong Bảng 2.

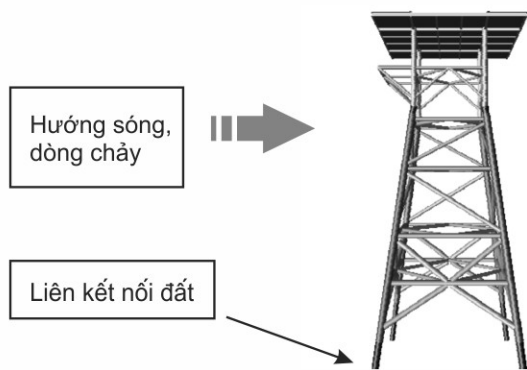
- Điều kiện biên để tính toán đánh giá lại kết cấu DKI/14 cho trong Bảng 3, với độ sâu ngàm giả định tăng dần từ $L_{ngàm}=6D$, $L_{ngàm}=7D$ và $L_{ngàm}=8D$. Mục đích tăng dần chiều sâu ngàm để khảo sát hiện tượng hạ dần chiều sâu ngàm do nền san hô bị ép vỡ khi công trình DKI/14 rung lắc.

- Bảng 2 cũng đề cập hai sơ đồ tính với điều kiện biên là liên kết lò xo tại vị trí ngàm giả định. Độ cứng lò xo được tính với hệ số ma sát đã được dùng để tính toán thiết kế ($0,6\text{kG/cm}^2$) và hệ số đề nghị sử dụng trong tương lai ($0,2\text{kG/cm}^2$).

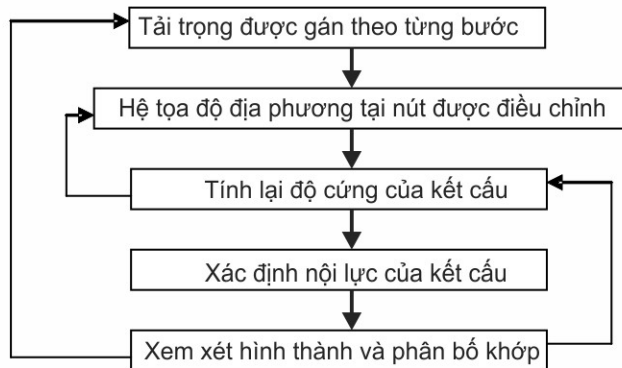
- Thuật toán phân tích Static Push-over áp dụng để đánh giá lại DKI-14, xem Hình 3.
- Dùng chương trình phần mềm SACS [15] để thực hiện tính toán.

Bảng 3. Điều kiện biên để đánh giá lại DKI/14

Loại liên kết	Giá trị
1) Ngàm giả định	$L_{ngàm} = 6D = 4,26m$
2) Ngàm giả định	$L_{ngàm} = 7D = 4,97m$
3) Ngàm giả định	$L_{ngàm} = 8D = 5,68m$
4) Liên kết lò xo	Hệ số ma sát $f=0,6 \text{ kG/cm}^2$
5) Liên kết lò xo	Hệ số ma sát $f=0,2 \text{ kG/cm}^2$



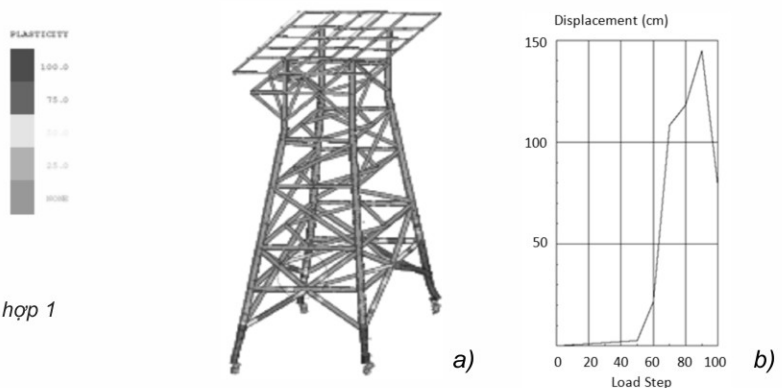
Độ cứng lò xo [13]: $k = \frac{T_{ms}}{0.1D} = \frac{\sum f_i u_i l_i}{0.1D} \quad (4)$



Hình 3. Thuật toán phân tích Static Push-over áp dụng để đánh giá lại DKI-14

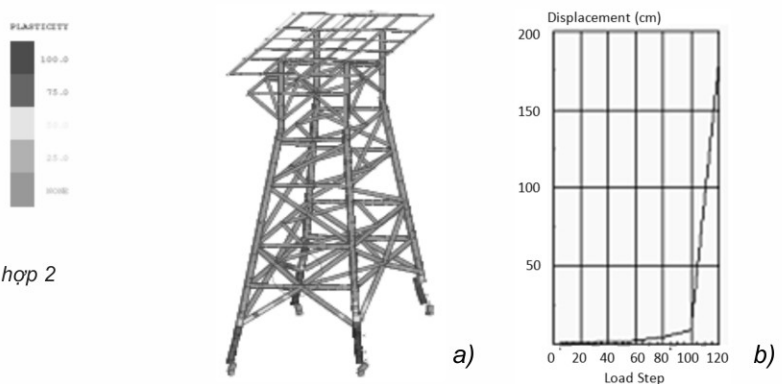
2.3 Một số kết quả tính toán và nhận xét

Trường hợp 1: Ngàm giả định $L_{ngàm} = 6D = 4,26m$; $RSR=1,75$



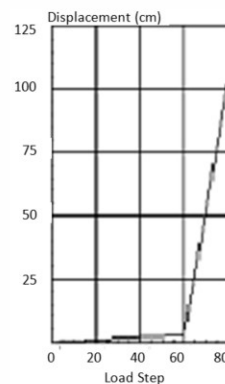
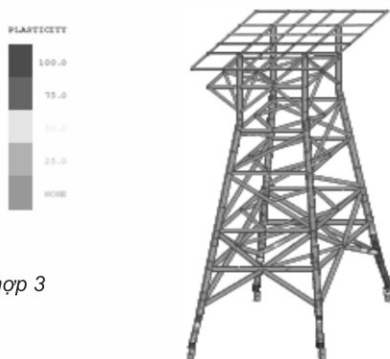
Hình 4. Kết quả phân tích Static Push-over DKI-14, trường hợp 1
a) Sơ đồ phá hủy;
b) Chuyển vị nút điển hình;

Trường hợp 2: Ngàm giả định $L_{ngàm} = 7D = 4,97m$; $RSR=1,5$



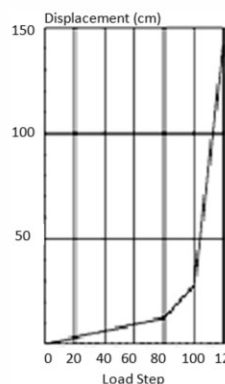
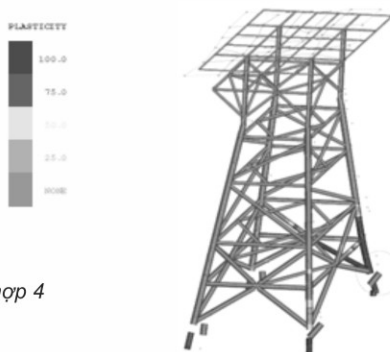
Hình 5. Kết quả phân tích Static Push-over DKI-14, trường hợp 2
a) Sơ đồ phá hủy;
b) Chuyển vị nút điển hình;

Trường hợp 3: Ngầm giả định $L_{ngầm} = 8D = 5,68m$; $RSR=1$



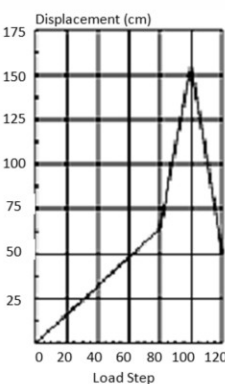
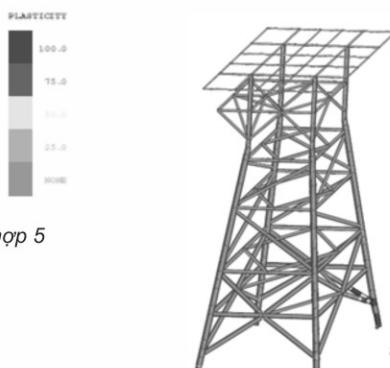
Hình 6. Kết quả phân tích
Static Push-over DK1-14, trường hợp 3
a) Sơ đồ phá hủy;
b) Chuyển vị nút điển hình;

Trường hợp 4: Hệ số ma sát $0,6kG/cm^2$, $K_z=28260T/m$; $RSR=1,5$



Hình 7. Kết quả phân tích
Static Push-over DK1-14, trường hợp 4
a) Sơ đồ phá hủy;
b) Chuyển vị nút điển hình;

Trường hợp 5: Hệ số ma sát $0,2kG/cm^2$, $K_z=14130T/m$; $RSR=1,25$



Hình 8. Kết quả phân tích
Static Push-over DK1-14, trường hợp 5
a) Sơ đồ phá hủy;
b) Chuyển vị nút điển hình;

- Trường hợp 1 (Hình 4), kết cấu làm việc an toàn theo tiêu chuẩn API RP2A 2005 với $RSR=1,75 > [RSR]=1,6$ khi chiều sâu ngầm giả định $L_{ngầm}=6D=4,26m$;

- Trường hợp 2 (Hình 5), có thể chấp nhận kết cấu làm việc gần đạt chuẩn an toàn theo tiêu chuẩn API RP2A 2005 với $RSR=1,5 \approx [RSR]=1,6$ khi chiều sâu ngầm giả định $L_{ngầm}=7D=4,97m$;

- Kết quả tính toán trường hợp 2 cho thấy: Kết cấu DK1/14 đã được thiết kế khá tiết kiệm, hoặc các tác giả thiết kế đã chọn chiều sâu ngầm giả định nhỏ hơn 7D, vì tiêu chuẩn cho phép tính với ngầm giả định $(5D \div 7D)$;

- Trường hợp 3 (Hình 6) cho thấy: Nếu chỉ cần hạ độ sâu ngầm giả định thêm một lần đường kính cọc (tương đương 71cm) thì kết cấu bị sụp đổ với tải trọng thiết kế: $RSR=1,0$ [11, 12, 14].

- Trên thực tế các số liệu nhận được từ khảo sát hiện trạng các công trình DKI bằng thép, móng cọc trên nền san hô đều cho thấy các chân cọc bị tách khỏi san hô và chiều sâu vết tách khá lớn [8], [9]. Vì vậy, tất cả các công trình DKI trên nền san hô đã bị rung lắc. Nguyên nhân cơ bản gây ra sự rung lắc là do lớp san hô bề mặt đáy biển bị phá hủy và điểm ngầm giả định thực tế đã bị hạ sâu không còn đúng như điểm ngầm giả định đã dùng để thiết kế công trình [7-9].

- Trường hợp 4 và trường hợp 5 với điều kiện biên liên kết lò xo tại vị trí ngàm giả định. Để tính độ cứng của liên kết lò xo, bài báo này đã giả thiết giữa cọc thép và nền san hô luôn có tiếp xúc và không có hiện tượng phá vỡ mặt nền san hô (do đóng cọc). Giả thiết này là xa rời thực tế. Tuy nhiên nếu giả thiết không tồn tại thì mặc nhiên là đã không tồn tại ma sát cọc - nền, vì ma sát chỉ xuất hiện khi có tiếp xúc [7], [8]. Với giả thiết trên đây, độ cứng lò xo được tính theo công thức (4). Kết quả tính toán trường hợp 4 và 5 cho thấy: Hệ số ma sát giữa cọc và nền (nếu có) từ $0,2\text{kg/cm}^2$ đến $0,6\text{kg/cm}^2$ thì kết cấu công trình vẫn không đủ an toàn theo tiêu chuẩn API RP2A 2005.



3. Kết luận

Các số liệu dùng để tính toán trong nghiên cứu này đều là số liệu thực tế.

Việc thay đổi chiều sâu ngàm trong phân tích Push-Over hoặc giữ nguyên điều kiện biên và tăng dần tải trọng cho đến khi công trình bị sụp đổ là tương đương.

Chương trình phần mềm sử dụng để tính toán trong nghiên cứu này là chương trình chuyên dụng đã được kiểm định quốc tế, các kết quả tính toán đánh giá lại DKI/14 là tin cậy.

Kết quả tính toán góp phần làm sáng tỏ nguyên nhân chính dẫn đến sự rung lắc và phá hủy các công trình DKI bằng thép, móng cọc trên nền san hô.

Việc nghiên cứu xác định hệ số ma sát giữ cọc và nền san hô là cần thiết, tuy nhiên cần phải nhớ rằng ma sát giữa cọc và nền chỉ xuất hiện khi giữa cọc và nền còn tiếp xúc. Khi tính toán thiết kế móng cọc trên nền san hô, nếu tác giả thiết kế khẳng định được phương pháp thi công không phá vỡ nền san hô (ví dụ dùng giải pháp cọc khoan nhồi) thì khi đó có thể tính đến ma sát cọc và nền.

Kết quả nghiên cứu nêu trong bài báo này hoàn toàn có thể được tham khảo trong việc nghiên cứu lựa chọn một phương án móng hợp lý cho các công trình trên nền san hô trong tương lai.

Tài liệu tham khảo

1. Phạm Khắc Hùng, Phan Ý Thuận, Chu Chất Chính, Đinh Quang Cường (1997), *Nghiên cứu cơ sở khoa học cho việc xây dựng công trình thử nghiệm DKI trọng lực bê tông cốt thép*, Đề tài độc lập cấp Nhà nước.
2. Phạm Ngọc Nam và nnk (2005), "Một số vấn đề khoa học rút ra từ quá trình xây dựng, sử dụng công trình DKI và đề xuất phương hướng tới", *Tuyển tập công trình Hội nghị Khoa học về công trình biển DKI lần thứ 2*, Hà Nội.
3. Phạm Khắc Hùng, Đinh Quang Cường và nnk (2006), *Nghiên cứu thiết kế, thi công các loại công trình biển thích hợp điều kiện Việt Nam và các giải pháp phòng tránh, khắc phục sự cố công trình*, Đề tài NCKH cấp Nhà nước, mã số KC.09-16, Tuyển tập các kết quả của yếu của Chương trình Biển KC.09, Quyển III, Bộ KH & CN, Hà Nội.
4. Hoàng Xuân Lượng (2011), *Nghiên cứu các chỉ tiêu kỹ thuật của nền san hô và tương tác giữa kết cấu công trình và nền san hô*, Đề tài NCKH cấp NN, mã số KC.09-07/06-10, Tuyển tập các kết quả của yếu của Chương trình Biển KC.09/06-10, Quyển III, Bộ KH & CN.
5. Phạm Khắc Hùng, Đinh Quang Cường và nnk (2011), *Nghiên cứu điều kiện kỹ thuật môi trường biển và nền móng công trình nhằm xác định luận chứng kinh tế kỹ thuật xây dựng công trình biển vùng nước sâu Việt Nam*, Đề tài NCKH cấp Nhà nước, mã số KC.09-15/06-10, 2010, Tuyển tập các kết quả của yếu của Chương trình Biển KC.09/06-10, Quyển III, Bộ KH & CN, Hà Nội.
6. Đinh Quang Cường (2009), *Nghiên cứu xây dựng các công trình biển trọng lực bê tông để đỡ các đèn biển phù hợp điều kiện thực tế ở ven và trên các đảo bán chìm thuộc Trường Sa*, Đề tài trọng điểm cấp Bộ, mã số B2007-03-29TD, (đã được ứng dụng thực tế ở cho 4 đảo thuộc QĐ Trường Sa).
7. Đinh Quang Cường (2011), "Một vài suy nghĩ về vấn đề lựa chọn phương án hợp lý cho công trình biển thép móng cọc trên nền san hô", *Tuyển tập công trình khoa học, Hội nghị KHCN biển toàn quốc lần thứ V*.
8. Dinh Quang Cuong (2011), "Some common problems in offshore engineering construction analyze the cause and suggst the solutioun", *Tuyển tập công trình khoa học, Hội nghị KHCN biển toàn quốc lần thứ V*.
9. Dinh Quang Cuong (2005), "Estimations of actual state and select the solution for re - design and consolidation of some offshore piles-steel platform on the coral and madreporian basis", *Proceedings of the International workshop Hanoi Geoengineering 2005 Integrated Geoengineering for a Sustainable Infrastructure Development*.
10. Dawson T.H (1983), *Offshore Structural Engineering*, USA.
11. API (1999; 2005), *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms*, American Petroleum Institute Publication RP-2A, Dallas, Texas, USA.
12. DNV (1992; 2010), *Rules for the Design, Construction and Inspection of Offshore Structures*.
13. N.D.P.Barltrop, A.J.Adams (1991), *Dynamics of Fixed Marine Structures*, Third Edition, The Marine Technology Directorate Limited.
14. NPD-Norwegian Petroleum Directorate (1990), *Guidelines on Design and Analysis of Steel Structures in the Petroleum Activity*.
15. SACS 5.3 Executive Service Pack1, Version 5.3.1.1, Engineering Dynamics, Inc.