

XÁC ĐỊNH TẦN SỐ DAO ĐỘNG RIÊNG CƠ BẢN CỦA KẾT CẤU THÉP CHÂN ĐẾ GIÀN KHOAN BIỂN BẰNG PHÂN TÍCH KẾT QUẢ PHẢN ỨNG ĐỘNG

TS. NGUYỄN THÀNH TRUNG

Trường đại học Giao thông vận tải

Tóm tắt: Việc xác định các đặc trưng động lực học kết cấu là một trong những bước quan trọng trong công tác bảo trì kết cấu chân đế giàn khoan biển trong giai đoạn vận hành. Hiện nay, phần lớn các chương trình tính chỉ xác định được các tần số dao động riêng không xét đến sự làm việc phi tuyến của hệ kết cấu. Vì vậy, việc xác định sự thay đổi tần số dao động riêng cơ bản do ảnh hưởng của phi tuyến của hệ kết cấu giàn khoan dưới tác dụng của tải trọng môi trường cực hạn đang được quan tâm. Bài báo này trình bày phương pháp xác định tần số dao động riêng cơ bản của kết cấu chân đế giàn khoan biển sử dụng phương pháp xử lý số liệu phản ứng động của mô hình số bằng biến đổi nhanh Fourier. Ảnh hưởng của sự làm việc phi tuyến của các cấu kiện ống thép và sự tương tác giữa cọc và đất nền được xem xét trong nghiên cứu này.

Từ khóa: Tần số dao động riêng; kết cấu thép chân đế giàn khoan biển; biến đổi nhanh Fourier; sự làm việc phi tuyến;

1. Đặt vấn đề

Kết cấu chân đế giàn khoan biển bằng thép là dạng kết cấu điển hình, truyền thống áp dụng thích hợp cho độ nước dưới 150m. Kết cấu chân đế này làm việc trong điều kiện rất khắc nghiệt của môi trường biển, chịu tác động thường xuyên của các tải trọng động như sóng, dòng chảy, gió,... và đôi khi là các tải trọng đặc biệt như tải trọng động đất. Vì vậy, công tác bảo trì và sửa chữa giàn khoan biển luôn được thực hiện thường xuyên hàng năm để đảm bảo an toàn trong giai đoạn vận hành. Một trong những công tác quan trọng của quá trình bảo trì này là phải đánh giá được sự làm việc của kết cấu trước và sau quá trình duy tu, sửa chữa.

Trong những năm gần đây, có khá nhiều các phương pháp nghiên cứu cả về lý thuyết và thực nghiệm đã được áp dụng cho việc phân tích đánh giá lại kết cấu giàn khoan dầu khí. Đặc biệt, các phương pháp xác định các đặc trưng động của kết

cấu và vị trí các khuyết tật bằng cách phân tích các phản ứng động được quan tâm rất lớn. Hills A.J. [1] và Nichols J.M. [2] thực hiện một số nghiên cứu về hệ thống quan trắc đánh giá giàn khoan biển bằng phương pháp đo phản ứng dao động hiện trường để xác định ảnh hưởng sự suy giảm kết cấu trong giai đoạn vận hành. Wang S. [3] sử dụng phương pháp năng lượng biến dạng các dạng dao động (IMSE) để xác định các vị trí biến dạng từ kết quả đo phản ứng tại một số điểm trên kết cấu. MojtahediA. [4] đã tiến hành xác định sự thay đổi các đặc trưng động của kết cấu giàn khoan dưới ảnh hưởng phi tuyến hình học và sự suy giảm kết cấu. Liu J.[5] sử dụng phương pháp biến đổi Hilbert-Huang (HHT) để xác định các đặc trưng động của kết cấu giàn khoan. Asgarian B. [6] đã sử dụng phương pháp đẩy dần(push-over) để đánh giá sự làm việc phi tuyến của liên kết giữa cọc và đất.

Tuy nhiên, các nghiên cứu xử lý phân tích các phản ứng động này vẫn chưa làm rõ ràng được ảnh hưởng phi tuyến của các cấu kiện suy giảm và sự tương tác giữa cọc và đất nền lên kết cấu giàn khoan biển thép. Các ống thép chân đế giàn sau một thời gian hoạt động thường bị ăn mòn và bị suy giảm cường độ. Đồng thời, liên kết giữa cọc và đất nền san hô cũng bị giảm yếu dưới tác dụng liên tục của tải trọng môi trường. Chính vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện để xác định các tần số dao động riêng cơ bản của kết cấu qua sự làm việc phi tuyến của chân đế giàn khoan thép bằng phương pháp phân tích phản ứng động sử dụng biến đổi nhanh Fourier. Nghiên cứu chỉ xem xét sự làm việc phi tuyến của cấu kiện thép ống và tương tác giữa cọc và đất nền.

2. Phương pháp nghiên cứu

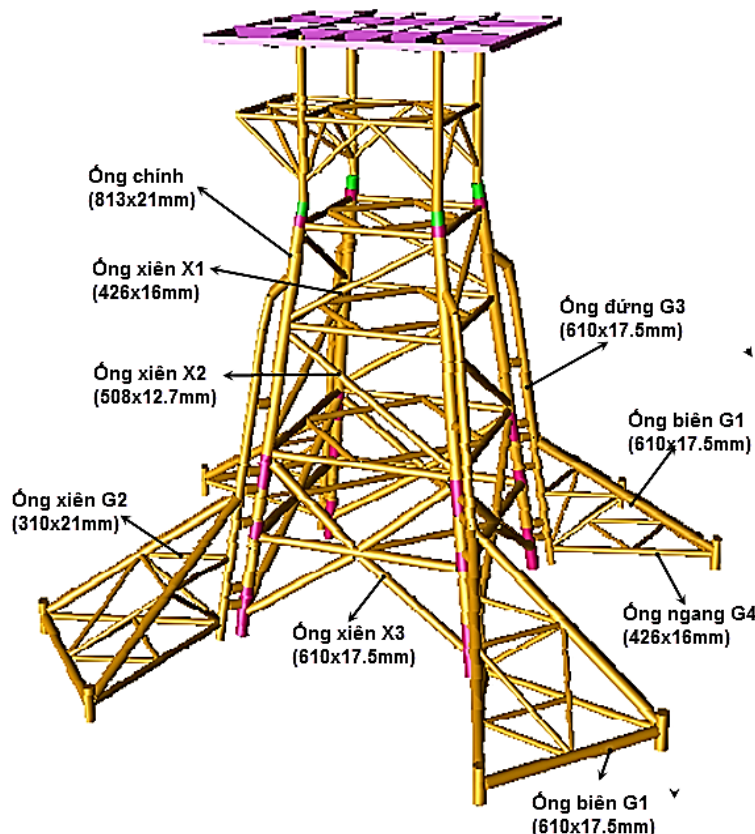
2.1 Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là kết cấu chân đế không gian dạng chóp cụt, vuông, được chế tạo từ vật liệu

KẾT CẤU – CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

thép ống đặc chủng. Khối chân đế có 04 vách đứng, 3 vách cứng ngang, độ dốc vách đứng so với mặt phẳng thẳng đứng là 1:10. Tổng chiều cao công trình là 25,397m, kích thước mặt đỉnh là 8,1x8,1m, kích thước mặt đáy là 14,7x14,7m (hình 1). Chân đế lắp đặt thêm hệ thống kết cấu gia cố, tại mỗi góc của khối chân đế lắp bổ sung cụm kết cấu khung

tam giác chế tạo từ thép đặc chủng. Khung tam giác được liên kết với 4 cột chính của chân đế bằng các liên kết cứng thông qua mối hàn. Để liên kết với nền, giữ ổn định cho khung tam giác và toàn hệ thống, sử dụng 08 khối bê tông gia tải tại tám góc của các khung tam giác. Số liệu địa chất tại vị trí xây dựng xem bảng 1.



Hình 1. Kết cấu chân đế giàn khoan biển bằng thép đã gia cố

Bảng 1. Số liệu địa chất tại vị trí xây dựng

Lớp đất	Chiều dày (m)	Loại đất	Trọng lượng hữu hiệu, (kN/m ³)	Góc ma sát (độ)	Lực dính (kN/m ²)
1	2.5	Sét	7.5		17
2	7.4	Cát	8.7	25	
3	5.7	Sét	8.9		62
4	2	Sét	8.7	30	
5	2.4	Sét	8.8		74
6	7.7	Cát	8.7	33	

Bảng 2. Kích thước hình dạng các cấu kiện chính của kết cấu chân đế giàn khoan thép (xem chi tiết hình 1)

STT	Cấu kiện	Loại vật liệu	Chiều dài (m)	Kích thước D×t (mm)	Mác vật liệu	Cường độ chảy dẻo (MPa)
1	Ống chính	Hình tròn API-2H	28.74	813×21	X52	455
2	Cọc	Hình tròn API-2H	25.17	720×20	X52	455
3	Thanh xiên X1	Hình tròn API-2H	11.61	426×16	X50	365
4	Thanh xiên X2	Hình tròn API-2H	15.35	508×12.7	X50	365
5	Thanh xiên X3	Hình tròn API-2H	15.2	610×17.5	X50	365
6	Thanh xiên ở các vách ngang DX1	Hình tròn API-2H	5.84	426×16	X50	365
7	Thanh ngang ở vách ngang	Hình tròn API-2H	8.27(D1) và	426×16	X50	365

	D1 và D2		9.25(D2)			
8	Thanh ngang ở vách ngang D3	Hình tròn API-2H	11.1	508x12.7	X50	365
9	Thanh biên khung tam giác G1	Hình tròn API-2H	13.9	610x17.5	X50	365
10	Thanh biên khung tam giác G2	Hình tròn API-2H	4.5÷9	315x11	X50	365
11	Thanh liên kết khung tam giác và ống chính G3	Hình tròn API-2H	22.89	610x17.5	X50	365
12	Thanh đáy khung tam giác G4	Hình tròn API-2H	9	426x16	X50	365

2.2 Phương pháp số

Trong nghiên cứu này, phần mềm SAP 2000 và phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng để mô phỏng kết cấu chân đế giàn khoan biển thép.

2.2.1 Mô hình tính

Kết cấu chân đế giàn khoan biển thép được mô hình từ đỉnh ống chính trở xuống. Các cấu kiện ống chính, cọc, ống liên kết được mô hình làm việc như phần tử thanh tuyến tính. Ảnh hưởng của khối lượng nước kèm theo ống được tính toán quy về khối lượng tập trung các nút của kết cấu. Các ống thép bị suy giảm chiều dày được mô hình như phần tử Link làm việc phi tuyến kép (bilinear) xem xét cho

kéo nén, cắt, uốn và xoắn (hình 2). Cường độ chảy dẻo cho vật liệu thép lấy bằng 365 MPa. liên kết cọc và đất nền cũng được mô tả như phần tử Link làm việc phi tuyến kép. Cường độ giới hạn của đất xác định công thức sau (tiêu chuẩn JRA 2002, [7]):

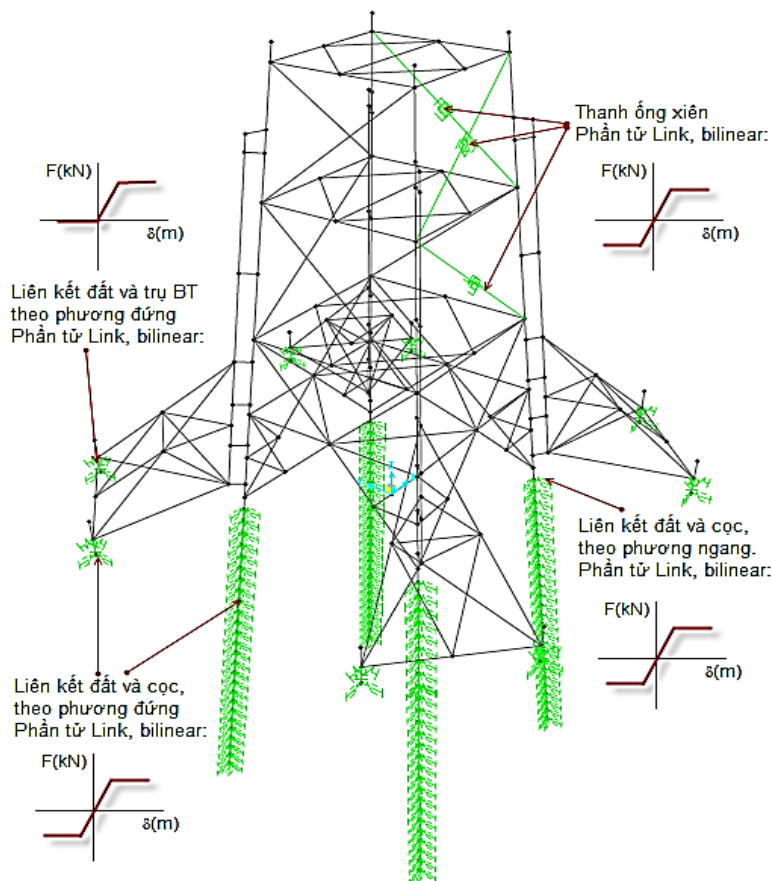
Cường độ giới hạn của đất rời theo phương ngang:

$$p_n = K_p \sum \gamma_i h_i \quad (1)$$

Cường độ giới hạn của đất dính theo phương ngang:

$$p_n = \sum \gamma_i h_i + 2c \quad (2)$$

trong đó: K_p - hệ số áp lực chủ động; γ_i - trọng lượng riêng của đất thứ i (kN/m^3); h_i - chiều dày của lớp đất thứ i (m); c - lực dính đơn vị (kN/m^2).

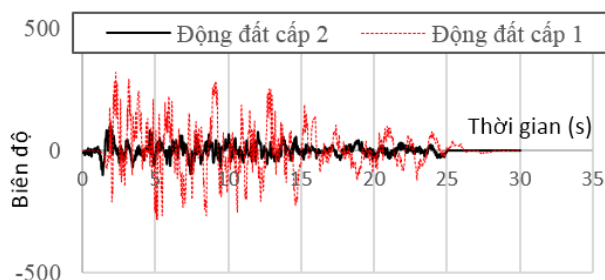


Hình 2. Mô hình phi tuyến kết cấu chân đế giàn khoan

2.2.2 Lựa chọn tải trọng tác động

Để đánh giá sự làm việc phi tuyến của các cấu kiện kết cấu và sự tương tác giữa cọc và đất nền, trong nghiên cứu này tải trọng động đất thay đổi theo thời gian được sử dụng phân tích vì đặc tính phi tuyến của hệ kết cấu được thể hiện rõ nét trong trường hợp tải trọng đặc biệt và tính tiện lợi trong chương trình. Hai trường hợp tải trọng động đất biến đổi theo thời gian trong mô hình tính được lấy từ số liệu phân loại sóng động đất của Nhật Bản, tiêu chuẩn JRA 2002. Trường hợp 1 là

sóng động đất cấp 1 loại 1 Dorokyou Shihousho (Type 1-level 1) với biên độ lớn nhất 102 cm/s^2 . Trường hợp 2 là sóng động đất cấp 2 loại 1Kaihoku (Type 1-level 2) với biên độ lớn nhất 318 cm/s^2 . Thời gian dao động là 30 s với bước thời gian 0.01 s. Mục đích của việc lựa chọn hai trường hợp tải trọng động đất này là để thể hiện sự làm việc của kết cấu từ biến đổi cấp tải trọng tăng dần. Hai dạng sóng động đất này có biên độ lớn phân bố khá đều trong thời gian dao động là lý do lựa chọn trong phân tích phản ứng động.



Hình 3. Hàm gia tốc theo thời gian của động đất cấp 1 và cấp 2

2.2.3 Trình tự tính toán

Tải trọng thượng tầng, tải trọng sóng, dòng chảy và gió được tổ hợp và tính toán kết hợp với tải trọng đặc biệt động đất. Tác động của tổ hợp tải trọng thông thường được xem như trạng thái ban đầu trong phân tích sự làm việc của kết cấu chân đế biến đổi theo thời gian. Hơn nữa, tải trọng sóng và dòng chảy được tính toán trong điều kiện khai thác, không phải cực trị. Phương pháp phân tích hàm phi tuyến biến thiên theo thời gian (nonlinear time history analysis) được sử dụng để xác định

các phản ứng biến đổi thời gian, hệ số cản được khai báo bằng 0.05 cho mọi dạng dao động riêng. Sự làm việc phi tuyến vật liệu của ống thép có xét đến sự suy giảm do ăn mòn được khai báo bằng cách giảm chiều dày ống thép, bốn thanh ống xiên nằm trong vùng dao động mực nước được lựa chọn phân tích trong nghiên cứu này. Chiều dày suy giảm bằng 0.85 chiều dày ống thép thiết kế vì đây là điều kiện giới hạn của yêu cầu sửa chữa. Có ba trường hợp phân tích được đưa ra trong nghiên cứu này:

Bảng 3. Các trường hợp phân tích

STT	Ký hiệu	Tải trọng tác động	Phi tuyến vật liệu ống thanh do suy giảm	Phi tuyến tương tác giữa cọc và đất nền
1	TH1	Động đất cấp 1	Thanh 121, 122, 123, 124	Có xem xét
2	TH2	Động đất cấp 2	Không xem xét	Có xem xét
3	TH3	Động đất cấp 3	Thanh 121, 122, 123, 124	Có xem xét

Các phản ứng của kết cấu qua quá trình xử lý dữ liệu bằng phương pháp biến đổi hàm từ miền thời gian sang miền tần số để xác định được các tần số dao động riêng cơ bản.

2.3 Phương pháp biến đổi nhanh Fourier

Phương pháp biến đổi nhanh Fourier (FFT) được sử dụng trong nghiên cứu này để xác định các tần số dao động riêng cơ bản của kết cấu chân đế giàn khoan biển. Phương pháp FFT dùng thuật

toán để biến đổi chuỗi dữ liệu từ miền thời gian sang miền tần số. Công thức cơ bản của phương pháp là:

$$X_k = \sum_{j=0}^{N-1} x_j e^{-\frac{2\pi i k j}{N}}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3)$$

trong đó: x_j - biến dữ liệu trong miền thời gian và X_k - biến dữ liệu miền tần số, $N=2^n$ với n là số nguyên; $t_j=j\Delta t$ với $j = 0$ đến $N-1$; $i = \sqrt{-1}$ là số phức.

Dữ liệu miền tần số được thể hiện theo một hai cách, một là phổ biên độ xác định theo công thức:

$$A_k = \frac{2}{N} |X_k| \quad (4)$$

Hai là phổ công suất, xác định theo công thức:

$$A_k = \frac{1}{N} |X_k|^2 \quad (5)$$

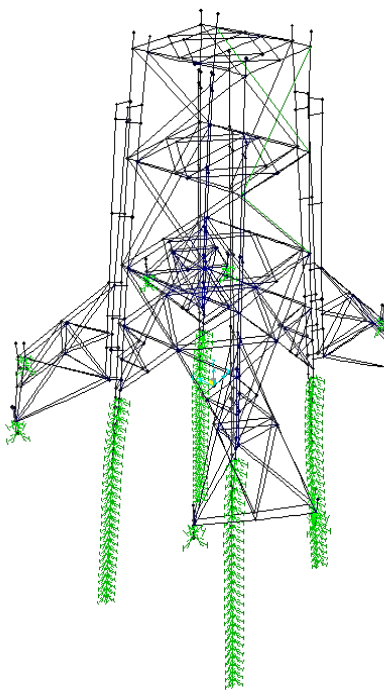
3. Kết quả và so sánh

3.1. Kết quả phân tích trị riêng

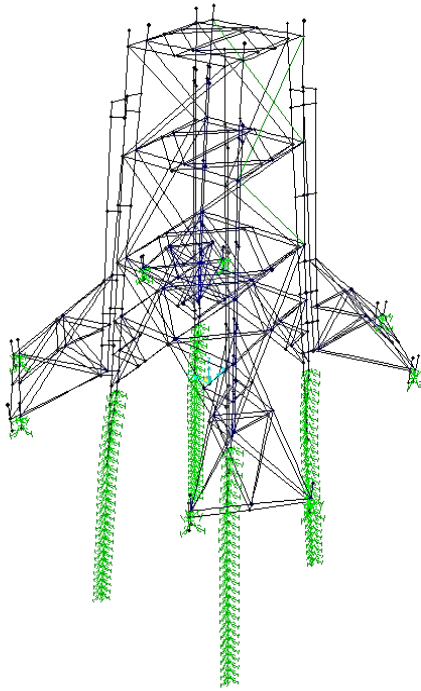
Các tần số dao động riêng cơ bản của kết cấu chân đế giàn khoan được thể hiện trong bảng 4 và hình 4. Khối lượng tham gia dao động tập trung khá lớn trong 5 dạng dao động đầu tiên, chủ yếu là hai dạng đầu tiên theo phương Y và X chiếm hơn 80% tổng khối lượng tham gia. Dạng thứ 3 là dao động xoắn quanh trục Z với khối lượng tham gia các trục X, Y, Z bằng không.

Bảng 4. Các thông số đặc trưng động của kết cấu chân đế giàn khoan

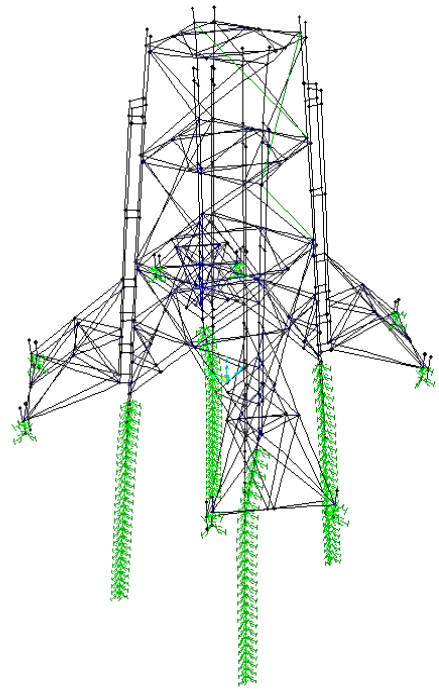
STT	Chu kỳ (s)	Tần số (Hz)	Tỷ số khối lượng tham gia			Ghi chú
			UX	UY	UZ	
1	0.594	1.682	0.175	0.660	0.000	Theo phương Y
2	0.587	1.705	0.669	0.170	0.000	Theo phương X
3	0.437	2.287	0.000	0.000	0.000	Xoắn quanh Z
4	0.215	4.662	0.110	0.002	0.000	Theo phương X
5	0.210	4.769	0.000	0.118	0.000	Theo phương Y



Mode 1, f1=1.682 Hz
(Uốn theo phương Y)



Mode 2, f2=1.705 Hz
(Uốn theo phương X)



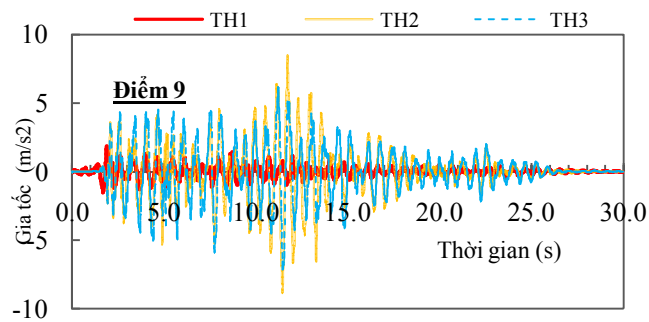
Mode 3, f2=2.287 Hz
(Xoắn quanh Z)

Hình 4. Ba dạng dao động riêng cơ bản đầu tiên của kết cấu chân đế

3.2 Gia tốc phản ứng kết cấu

Phản ứng gia tốc theo thời gian tại điểm số 9 của đỉnh kết cấu chân đế theo ba trường hợp TH1, TH2 và TH3 được thể hiện trong hình 5. Biên độ gia tốc của TH1 nhỏ hơn khá nhiều so với các trường hợp còn lại. Khi không xét sự làm việc phi tuyến của

tương tác cọc và đất nền chịu tải trọng động đất cấp 2 trong hợp TH2 thì biên độ gia tốc của TH2 lớn hơn so với trường hợp 3 TH3. Nguyên nhân do sự làm việc phi tuyến giữa đất nền và cọc dưới tác dụng của tải trọng động đất cấp 2 làm tăng chiều dài làm việc tự do của cọc và độ cứng hệ kết cấu giảm.

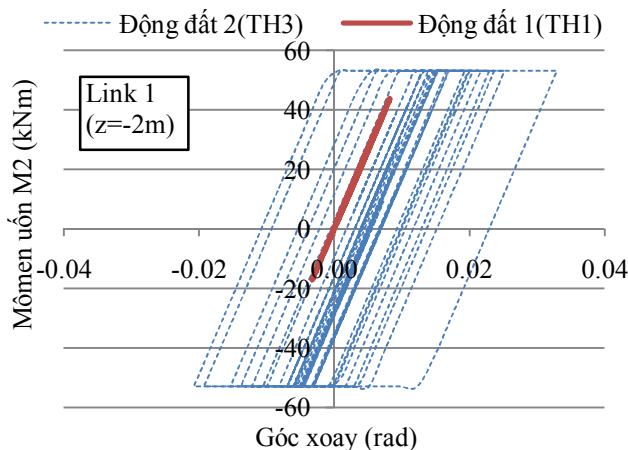


Hình 5. Hàm gia tốc biến thiên theo thời gian của điểm 9

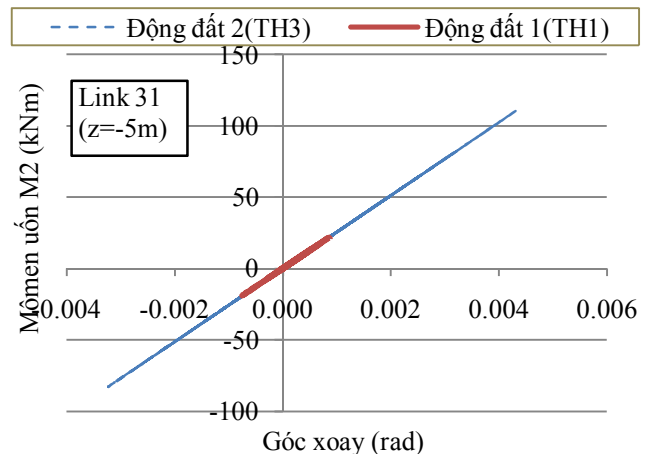
3.3 Sự làm việc phi tuyến

Sự làm việc của tương tác giữa cọc và đất nền trong hai cấp động đất được thể hiện qua mối quan hệ lực cắt và chuyển vị của hai phần tử link 3 trong lớp đất 1 (cao độ $z=-2\text{m}$) và link 31 trong lớp đất 2 (cao độ $z=-5\text{m}$), xem trong hình 6 và hình 7 tương ứng. Trong hình 6, sự phi tuyến được thể hiện rõ dưới tác dụng của tải trọng động đất cấp 2 của

trường hợp TH3, trong TH1 động đất cấp 1 sự thể hiện phi tuyến là khá nhỏ. Sự làm việc phi tuyến cũng thể hiện không rõ cả hai cấp động đất của phần tử link 31 của lớp đất 2. Bắt đầu từ phần tử link 31 xuống dưới, sự tương tác giữa cọc và đất nền đều là tuyến tính. Như vậy, dưới tác dụng của tải trọng động đất cấp 2 sự phi tuyến thể hiện rõ ở lớp đất 1 và một phần lớp 2.



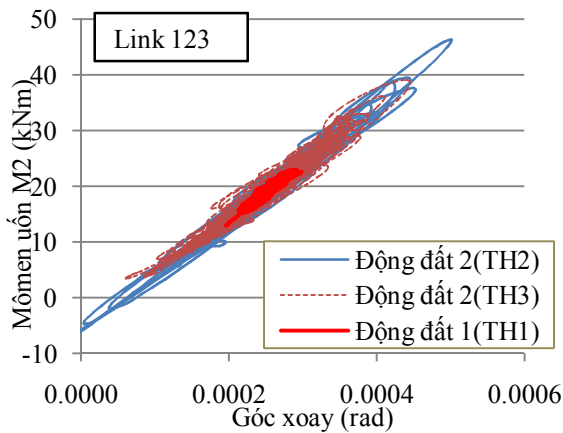
Hình 6. Mối quan hệ giữa lực cắt và chuyển vị của phần tử link 1 trong lớp đất 1



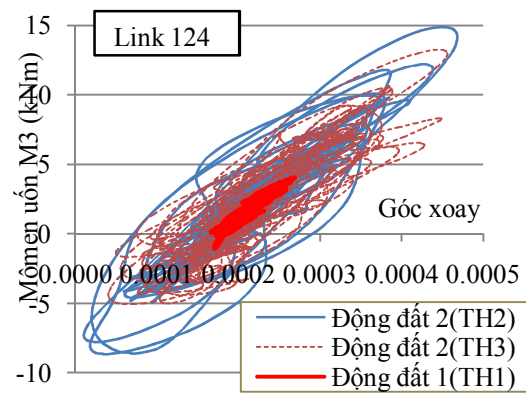
Hình 7. Mối quan hệ giữa lực cắt và chuyển vị của phần tử link 31 trong lớp đất 2

Sự làm việc phi tuyến của ống thép trong ba trường hợp TH1, TH2 và TH3 được thể hiện qua mối quan hệ giữa mômen và góc xoay của hai phần tử Link 123 và Link 124, xem hình 8 và 9. Phần tử Link 123 nằm trong mặt phẳng song song với phương tác động của tải trọng động đất và phần tử Link 124 nằm

trong mặt phẳng vuông góc phương tác động của động đất. Tính phi tuyến thể hiện rõ nét trong hai trường hợp TH2 và TH3 của trường hợp động đất cấp 2. Trong đó, mômen uốn của trường hợp TH2 khi không xem xét tính phi tuyến của tương tác đất và cọc lớn hơn mômen trường hợp TH3.



Hình 8. Mối quan hệ giữa mômen M2 và góc xoay của phần tử link 123



Hình 9. Mối quan hệ giữa mômen M3 và góc xoay của phần tử link 124

3.4 Xác định các tần số dao động riêng cơ bản từ phương pháp FFT

Hàm biên độ phổ phản ứng trong miền tần số của 3 trường hợp TH1, TH2 và TH3 thể hiện trong hình 10, 11 và 12 tương ứng. Vì phương tác dụng của tải trọng tác dụng theo phương X nên các tần số dao động riêng đầu tiên theo phương X sẽ được thể hiện rõ nét trong ba sơ đồ trên, xem bảng 5. Nhận thấy rằng, giá trị tần số dao động riêng xác định theo phương pháp FFT đều nhỏ hơn so với phương pháp trị riêng. Trong TH1 khi sự làm việc phi tuyến của vật liệu và tương tác đất và cọc không nhiều, thì giá trị tần số xấp xỉ theo phương pháp trị riêng. Ảnh hưởng phi tuyến vật liệu của bốn thanh chéo xét đến sự suy giảm (chiều dày 85%) ảnh hưởng khá nhỏ đến sự thay đổi tần số dao động

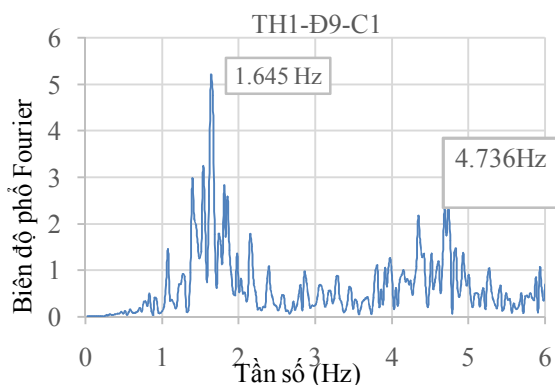
riêng cơ bản, chiếm 2.7%, trong khi đó ảnh hưởng phi tuyến của tương tác cọc và đất nền là lớn hơn chiếm 7.1%. Do khối lượng phân bố tập trung chủ yếu cho dạng dao động 1 nên biên độ Fourier không thể hiện rõ ràng hơn trong dạng dao động 2. Tần số dao động riêng thứ 2 theo phương X chỉ được xác định trong TH1 theo phương pháp FFT. Biên độ phổ của tần số 1.416 Hz trong TH3 lớn hơn trong TH2, sự xuất hiện của các tần số thấp do ảnh hưởng của phi tuyến tương tác đất và cọc nhiều hơn.

Hình 13 thể hiện phổ biên độ của hai trận động đất cấp 1 và 2, dải tần số từ 1 đến 6 Hz có biên độ tập trung cũng khá nhiều, điều này gây nhiều khó cho việc xác định các tần số dao động riêng cơ bản theo phương pháp FFT.

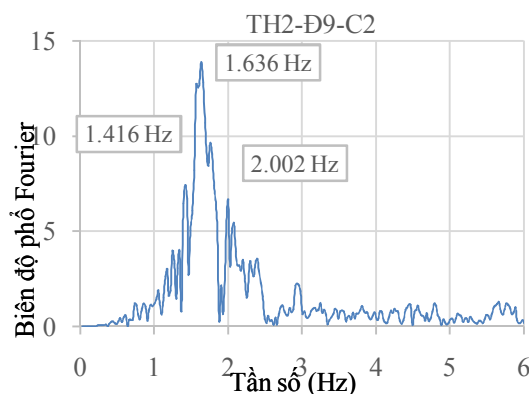
Bảng 5. Tần số dao động riêng cơ bản theo phương X xác định theo phương pháp trị riêng và xử lý FFT

Tần số riêng theo phương X	Tần số theo PP trị riêng, (Hz)	Tần số theo phương pháp FFT			Δ TH1 (%)	Δ TH2 (%)	Δ TH3 (%)
		TH1	TH2	TH3			
Tần số 1	1.682	1.645	1.636	1.563	2.2	2.7	7.1
Tần số 2	4.769	4.736	x	x	0.7	x	x

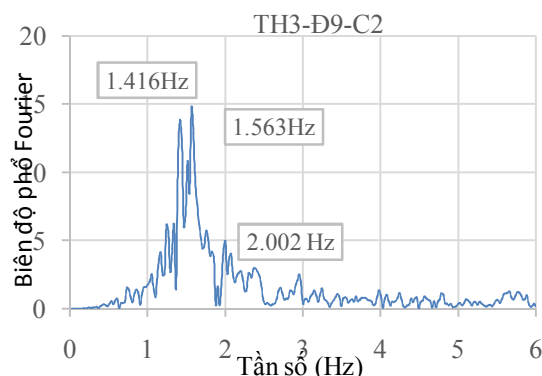
Chú ý: $\Delta TH_i = \frac{f_{\text{trị riêng}} - f_{\text{FFT}_i}}{f_{\text{trị riêng}}} 100\%$



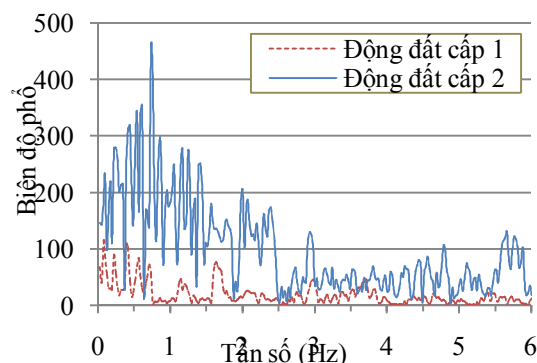
Hình 10. Hàm biên độ phổ phản ứng trong miền tần số của TH1 tại điểm 9



Hình 11. Hàm biên độ phổ phản ứng trong miền tần số của TH2 tại điểm 9



Hình 12. Hàm biên độ phổ Fourier trong miền tần số của TH3 tại điểm 9



Hình 13. Hàm biên độ phản ứng trong miền tần số của TH3 tại điểm 9

4. Kết luận và khuyến nghị

Phương pháp xác định các tần số dao động riêng cơ bản bằng biến đổi nhanh Fourier đã được thực hiện dựa trên kết quả phản ứng gia tốc động của kết cấu chân đế giàn khoan biển. Sự làm việc phi tuyến vật liệu có xét đến sự suy giảm do ăn mòn và tương tác phi tuyến giữa cọc và đất nền được xem xét trong mô hình tính. Qua đó đưa ra một số nhận xét sau:

- Sự làm việc phi tuyến của vật liệu và tương tác giữa cọc và đất nền làm giảm tần số dao động riêng cơ bản của kết cấu, được xác định rõ ràng qua phương pháp phân tích phản ứng động sử dụng biến đổi FFT. Tuy nhiên, sự suy giảm của 4 thanh chéo trong vùng dao động mực nước với chiều dày ăn mòn bằng 85% chiều dày thiết kế thì ảnh hưởng là khá nhỏ đến tần số riêng kết cấu. Ảnh hưởng phi tuyến của tương tác cọc và đất nền là đáng kể. Trong điều kiện nền đất yếu hoặc lớp san hô dày thì nên xem xét ảnh hưởng này đến tính toán phân tích động kết cấu giàn khoan biển;
- Sự phi tuyến của hệ kết cấu thể hiện rõ ở thời điểm tương ứng với các biên độ lực tác động lớn. Tương ứng, là ảnh hưởng nhiều khá lớn của các dải tần số kích thích gây khó khăn cho việc xử lý xác định các đặc trưng động lực học kết cấu giàn khoan. Các tần số riêng cơ bản đầu tiên với khối lượng tham gia dao động lớn sẽ dễ dàng được nhận dạng hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hillis A.J. and Courtney C.R.P (2010), Structural health monitoring of fixed offshore structures using the bicoherence function of ambient vibration measurements. *Journal of sound and vibration*, Vol.330, pp. 1141-1152.
- [2] Nichols J.M (2003), Structural health monitoring of offshore structures using ambient excitation. *Journal of Applied Ocean Research*, Vol. 25, pp.101-114.
- [3] Wang S. (2013), Damage detection in offshore platform structures from limited modal data, *Journal of Applied Ocean Research*, Vol. 41, pp. 48-56.
- [4] Mojtahedi A., Lotfollahi Yaghin M.A. , Etefagh M.M. , Hassanzadeh Y., Fujikubo M. (2013), Detection of nonlinearity effects in structural integrity monitoring methods for offshore jacket-type structures based on principal component analysis, *Journal of Marine Structures*, Vol. 33, pp. 100-119.
- [5] Liu J. , Li H., Wang Y. and Hu A. (2009), Modal Parameters Identification of Offshore Platform Structures using HHT Method, *Proceedings of the Nineteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, Osaka, Japan, ISSN 1098-618*, pp. 242-248.
- [6] Asgarian B. and Lesani M. (2009), Pile-soil-structure interaction in pushover analysis of jacket offshore platforms using fiber elements, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 65, pp. 209-218.
- [7] Specification for highway bridges (2002), part IV Substructure. *Japan road Association*.

Ngày nhận bài: 17/06/2016.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 10/10/2016.