Xác định tần số dao động tự nhiên phân đoạn bến cầu tàu tại khu vực Hải Phòng dùng cho phương pháp xung kích động

■ **PGS. TS. NGUYỄN THỊ BẠCH DƯƠNG[1]; KS. PHẠM THÀNH ĐẠT[2]**
Trường Đại học Giao thông vận tải
Email: [1]ntbachduong@utc.edu.vn; [2]thanhdatpham.utc@gmail.com

TÓM TẮT: Hiện nay, việc nghiên cứu các phương pháp thử nghiệm hiện trường để chẩn đoán, kiểm định chất lượng tình trạng sức khỏe, tình trạng kỹ thuật kết cấu luôn được quan tâm nghiên cứu. Phương pháp thí nghiệm xung kích động trong đánh giá tổng thể kết cấu bến cầu tàu là một phương pháp không phá hủy rất khả thi để triển khai áp dụng. Phương pháp này định lượng tình trạng sức khỏe thông qua chỉ số sức khỏe, độ cứng kết cấu... Chỉ số sức khỏe phụ thuộc vào tỷ lệ giữa tần số dao động tự nhiên đo được của kết cấu với tần số tự nhiên thiết kế trong trường hợp không có tần số dao động tự nhiên đo được ban đầu của công trình. Bài báo chỉ ra sự khác nhau của tần số dao động riêng tương ứng khi hệ số nền xung kích động được lấy khác nhau trong thực tế thiết kế bến cầu tàu tại Hải Phòng. Đặc biệt, bài báo đề cập tới việc xác định tần số dao động tự nhiên thiết kế phân đoạn bến cầu tàu tại Hải Phòng một cách đơn giản, nhanh chóng. Điều này có ý nghĩa khoa học và thực tiễn trong những trường hợp bến cầu tàu không đủ hồ sơ thiết kế hoặc hoàn công, không đủ các thông số đặc trưng kết cấu công trình, cần chẩn đoán đánh giá nhanh khi công trình bị sự cố, xói lở.

TỪ KHÓA: Bến cầu tàu, tần số dao động tự nhiên, thí nghiệm xung kích động, chỉ số sức khỏe kết cấu bến cảng, kiểm định kết cấu công trình bến cảng, đánh giá tình trạng sức khỏe, đánh giá tình trạng kỹ thuật, kiểm định chất lượng.

ABSTRACT: Currently, research into field testing methods to diagnose and check the quality of health conditions and structural technical conditions is always of interest. The shock impulse test method in the overall assessment of wharf structures is a non-destructive method that is very feasible to deploy and apply. This method quantifies health status through health index, structural stiffness, etc. The health index depends on the ratio between the measured natural vibration frequency of the structure and the designed natural frequency (in case there is no initial measured natural vibration frequency of the structure). The article mentions that determining the design natural oscillation frequency of a wharf is a simple and quick method in Hai Phong. This has scientific and practical significance in cases where port structures do not have enough design or completion documents, do not have enough specific structural parameters, and require quick diagnosis and assessment when the structure is damaged. erosion, degradation.

KEYWORDS: Piled pier, natural vibration frequency, impact vibration test, the health index of port structure, assessment of port structure, assessment of structure health, technical assessment, technical verification, quality verification.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

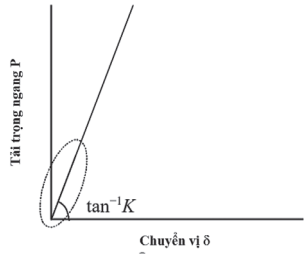
Để ứng dụng phương pháp xung kích động (phương pháp không phá hủy), việc đánh giá chỉ số sức khỏe bởi tần số dao động riêng đo được với tần số dao động riêng thiết kế liên quan đến việc mô hình hóa phân tích động lý thuyết [4]. Tần số dao động tự nhiên đo được là tần số của phân đoạn bến. Tần số dao động tự nhiên thiết kế phân đoạn bến là tần số dao động tự nhiên thu được trong mô hình phân tích động lý thuyết ảnh hưởng khi điều kiện biên là độ cứng các gối đàn hồi bị thay đổi. Độ cứng này phụ thuộc vào xác định chính xác hệ số nền xung kích động. Địa chất xây dựng bến cầu tàu có những đặc điểm khác biệt giữa các vùng miền Việt Nam, nó cũng khác so với đặc trưng địa chất tại Nhật Bản. Trong [1, 2, 3, 7, 8, 9] chỉ ra rằng, hệ số nền xung kích động có thể được lấy gấp đôi tĩnh, gấp 3 hoặc 4 tĩnh với các loại đất khác nhau. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả thực hiện xây dựng mô hình phân tích xung kích động của khung ngang (phẳng) và phân đoạn bến trong các trường hợp bến cầu tàu điển hình ở các khu vực cảng Hải Phòng, từ đó xây dựng phương trình tính toán tần số dao động riêng phân đoạn bến dựa trên tần số dao động riêng khung ngang. Bài báo cũng đưa ra các khuyến cáo lựa chọn mô hình thích hợp đảm bảo tiêu chí an toàn khi xác định chỉ số sức khỏe trong phương pháp thí nghiệm xung kích động.

Cảng biển Hải Phòng có lịch sử phát triển lâu đời, là cảng biển quan trọng nhất trong nhóm cảng số 1 của Việt Nam. Tại đây, các khu bến có đầy đủ các bến cảng cũ mới xây dựng trên nền địa chất yếu điển hình của miền Bắc. Công tác bảo trì, kiểm định công trình bến cảng dường như chưa phản ánh được tình trạng suy giảm kết cấu và kiểm định chất lượng các cầu cảng tại đây, đặc biệt khi công trình có sự cố hoặc tiếp nhận các tàu lớn hơn thiết kế ra vào.

Nghiên cứu tính toán xác định tần số dao động tự nhiên của bến cầu tàu một cách đơn giản (thông quan tần số dao động khung ngang điển hình) tại Hải Phòng có ý nghĩa khoa học và thực tiễn ứng dụng. Nó làm giảm thời gian xây dựng mô hình, dự đoán hoặc chẩn đoán tần số dao động riêng kết cấu khi kết cấu bến cầu tàu mất hồ sơ thiết kế, hoàn công hoặc sự cố công trình cần kiểm định chất lượng. Đặc biệt, nghiên cứu này giúp khoanh vùng xác định chỉ số sức khỏe giảm thời gian xử lý dữ liệu đo đạc cũng như trong nghiên cứu dự báo chỉ số sức khỏe khi sử dụng phương pháp xung kích động các cầu cảng tại Hải Phòng.

2. XÁC ĐỊNH TẦN SỐ DAO ĐỘNG TỰ NHIÊN KHUNG NGANG VÀ PHÂN ĐOẠN BẾN CẦU TÀU ỨNG DỤNG CHO THÍ NGHIỆM XUNG KÍCH ĐỘNG TẠI CẢNG BIỂN HẢI PHÒNG

2.1. Xác định tần số dao động tự nhiên khung ngang



Hình 2.1: Mối quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị từ phân tích khung

Trong phân tích động, các chu kỳ tự nhiên của cầu tàu có thể được tính toán bằng cách phân tích khung ngang [6, 9]. Nếu mối quan hệ giữa chuyển vị và tải trọng thu được từ phân tích khung ngang, như được mô tả trong *Hình 2.1*, khi tải trọng nhỏ tác dụng lên cầu tàu có thể thiết lập các hệ số lò xo (hệ số nền) của cầu tàu và các chu kỳ tự nhiên có thể được xác định từ phương trình [1]. Trong tính toán các chu kỳ tự nhiên, thường sử dụng gấp đôi các giá trị hệ số lò xo tĩnh. Ngoài ra, theo các tài liệu hướng dẫn về thí nghiệm động và xung kích động hệ số lò xo trong phân tích này có giá trị gấp 3 hoặc 4 lần phân tích tĩnh tùy theo loại kết cấu và địa chất [7, 8].

$$T_s = 2\pi\sqrt{\frac{W}{gK}} \quad (1)$$

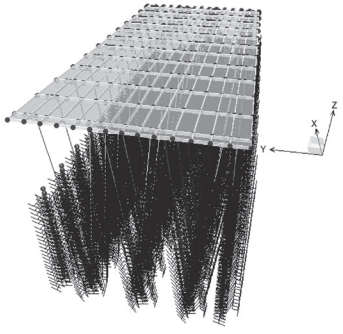
Từ công thức 1 tần số tự nhiên của khung ngang được xác định như sau:

$$F = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{gK}{W}} \quad (2)$$

Trong đó: T_s - Chu kỳ tự nhiên; F - Tần số tự nhiên; W - Trọng lượng của kết cấu trong phân tích động; g - Gia tốc trọng trường; K - Độ cứng lò xo phương ngang của kết cấu.

2.2. Xác định tần số dao động tự nhiên phân đoạn bến

Xác định tần số dao động tự nhiên thiết kế của phân đoạn bến cầu tàu bằng mô hình phân tích xung kích động là mô hình số từ sử dụng phần mềm phần tử hữu hạn như SAP, MIDAS CIVIL... trong phân tích Eigenvalue với các điều kiện biên là các liên kết gối đàn hồi (mô hình cọc làm việc đồng thời với đất nền). Độ cứng các gối đàn hồi được xác định qua hệ số nền động. Mô hình này là hệ kết cấu bao gồm các dầm ngang, dầm dọc và phần tử bản. Liên kết giữa cọc và nền sử dụng liên kết đàn hồi thông qua các lò xo. Khối lượng của cần trục và các kết cấu được gắn lên trên hệ kết cấu. Với các phân đoạn không có cần trục, khối lượng của cần trục sẽ không được kể đến trong mô hình số.



Hình 2.2: Mô hình phân tích động của cầu tàu cảng Mipec

3. XÂY DỰNG BỘ DỮ LIỆU THỐNG KÊ TẦN SỐ DAO ĐỘNG TỰ NHIÊN BẾN CẦU TÀU MỘT SỐ KẾT CẤU BẾN ĐIỂN HÌNH TẠI HẢI PHÒNG

3.1. Hiện trạng thiết kế một số cảng điển hình tại Hải Phòng

Danh sách phân cấp quản lý, khảo sát và thu thập các cảng điển hình tại Hải Phòng [10] như bảng thống kê dưới đây:

Bảng 3.1. Danh sách một số bến cảng điển hình tại Hải Phòng

TT	Tên bến cảng	Phân cấp theo tải trọng tàu	Phân cấp theo chiều cao bến	H_trước bến	Năm khai thác	Tuổi công trình
1	Cảng cá Hạ Long	III	II	12,00	2004	20
2	Bến 1 Tân Vũ	III	II	13,45	2009	15
3	Bến 2 Tân Vũ	III	II	13,45	2009	15
4	Bến 3 Tân Vũ	III	II	13,45	2011	13
5	Bến 4 Tân Vũ	III	II	13,45	2011	13
6	Bến 5 Tân Vũ	III	II	13,45	2012	12

TT	Tên bến cảng	Phân cấp theo tải trọng tàu	Phân cấp theo chiều cao bến	H_trước bến	Năm khai thác	Tuổi công trình
7	Nam Đình Vũ GĐ2	II	II	14,00	2023	1
8	Mipec	II	I	17,70	2020	4
9	Lạch Huyện	Đặc biệt	I	19,50	2018	6

3.2. Tính toán tần số tự nhiên khung ngang bến cầu tàu

Xác định độ cứng lò xo phương ngang K khi quan hệ giữa chuyển vị và tải trọng là tuyến tính và trong giai đoạn đàn hồi

$$K = \frac{P_x}{10^{-3}Dx} = Px/(10^{-3}Dx) \qquad (3)$$

Trong công thức Px là tải trọng ngang trong giai đoạn đàn hồi tính bằng kN, Dx là chuyển vị tính bằng mm, K tính bằng kN/m.

Tần số tự nhiên khung ngang và tần số tự nhiên phân đoạn một số kết cấu bến cầu tàu điển hình tại Hải Phòng theo mô hình cọc làm việc đồng thời với nền đất:

- Mô hình M1, M2: Hệ số nền gấp đôi tĩnh tính theo [6] như *Bảng 3.2*, tính theo [5] như bảng *Bảng 3.3*.
- Mô hình M3, M4: Hệ số nền gấp gấp 3 tĩnh theo [6] như *Bảng 3.2*, tính theo [5] như bảng *Bảng 3.3*.

Bảng 3.2. Thống kê tần số các khung ngang M1, M3

STT	Tên bến cảng	W (kN)	K (kN/m)		g (m/s2)	Tần số khung ngang (Hz)	
			M1	M3		M1	M3
1	Bến 1 Tân Vũ	3.204,58	21.090	25.710	9,81	1,28	1,41
2	Bến 2 Tân Vũ	3.204,58	20.850	20.370	9,81	1,27	1,26
3	Bến 3 Tân Vũ	3.029,86	53.600	57.980	9,81	2,10	2,18
4	Bến 4 Tân Vũ	3.029,86	53.070	57.600	9,81	2,09	2,17
5	Bến 5 Tân Vũ	3.029,86	48.080	57.060	9,81	1,99	2,16
6	Nam Đình Vũ GĐ2	7.108,35	45.990	47.780	9,81	1,27	1,45
7	Mipec	1.785,45	31.020	34.590	9,81	2,08	1,10
8	Lạch Huyện	8.016,24	53.880	58.770	9,81	1,29	1,35

Bảng 3.3. Thống kê tần số các khung ngang M2, M4

STT	Tên bến cảng	W (kN)	K (kN/m)		g (m/s2)	Tần số khung ngang (Hz)	
			M2	M4		M2	M4
1	Cảng cá Hạ Long	5.650,46	83.300	82.800	9,81	1,91	3,39
2	Bến 1 Tân Vũ	3.204,58	37.640	41.000	9,81	1,71	1,78
3	Bến 2 Tân Vũ	3.204,58	37.640	41.000	9,81	1,71	1,78
4	Bến 3 Tân Vũ	3.029,86	56.620	60.560	9,81	2,15	2,23
5	Bến 4 Tân Vũ	3.029,86	59.480	63.900	9,81	2,21	2,29
6	Bến 5 Tân Vũ	3.029,86	33.050	36.170	9,81	1,65	1,72
7	Nam Đình Vũ GĐ2	7.108,35	49.560	51.450	9,81	1,32	1,50
8	Mipec	1.785,45	32.490	35.610	9,81	2,13	1,12
9	Lạch Huyện	8.016,24	54.810	58.150	9,81	1,30	1,34

3.3. Tần số tự nhiên phân đoạn bến

Bảng 3.4. Thống kê tần số các phân đoạn bến M1, M2, M3, M4

STT	Tên bến cảng	Tần số phương ngang phân đoạn bến (Hz)			
		M1	M2	M3	M4
1	Cảng cá Hạ Long		2,0744		2,2656
2	Bến 1 Tân Vũ	0,9665	0,9484	0,9121	0,9984
3	Bến 2 Tân Vũ	0,8596	0,8913	0,9121	0,9353
4	Bến 3 Tân Vũ	1,0930	1,0974	1,0218	1,1328
5	Bến 4 Tân Vũ	1,1701	1,1806	1,2152	1,2215
6	Bến 5 Tân Vũ	1,3274	0,8545	1,4435	0,8978
7	Nam Đình Vũ GĐ2	0,9110	0,9950	1,2132	1,3962
8	Mipec	0,9061	0,9902	0,9573	1,0327
9	Lạch Huyện	0,9310	0,9343	0,9742	0,9659

4. XÁC ĐỊNH TẦN SỐ DAO ĐỘNG PHÂN ĐOẠN BẾN CẦU TÀU XÂY DỰNG TẠI TP. HẢI PHÒNG

Mục đích của nghiên cứu là tìm ra công thức xác định tần số dao động tự nhiên ban đầu của phân đoạn bến cảng tại Hải Phòng một cách đơn giản, nhanh chóng đặc biệt trong trường hợp các bến cầu tàu xây dựng đã lâu, mất hồ sơ thiết kế, hoàn công. Ngay kể cả đối với các bến cảng còn hồ sơ thiết kế, hoàn công nhưng thời điểm thiết kế công tác khảo sát địa chất còn sơ sài, không đầy đủ hoặc không có dữ liệu tần số tự nhiên ban đầu. Ngoài ra, do thời gian có hạn và các yếu tố hạn chế khác, số lượng bến được lựa chọn nghiên cứu như thống kê bảng trên, điều này cho thấy việc sử dụng phương pháp hồi quy trong

dự báo là có ý nghĩa. Trong trường hợp này, thông qua các phương trình hồi quy được xây dựng như dưới đây có thể dự báo được đại lượng cần tìm cho thí nghiệm xung kích động tại Hải Phòng.

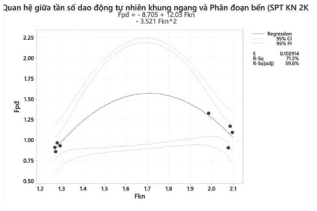
- Phương trình 4 tương ứng mô hình M1 (Biểu đồ *Hình 4.1*):

$$F_{pđ} = -8{,}705+12{,}03F_{kn} - 3{,}521F_{kn}^{2} \quad (4)$$

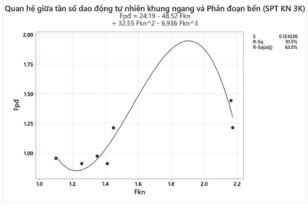
Trong các công thức (4), (5), (6), (7) thì $F_{pđ}$ là tần số tự nhiên phân đoạn cầu tàu (phân đoạn bến), F_{kn} là tần số tự nhiên khung ngang, đơn vị tần số theo Hz.

- Phương trình 5 tương ứng mô hình M3 (Biểu đồ *Hình 4.2*):

$$F_{pđ} = 24{,}19 - 48{,}02F_{kn} + 32{,}55F_{kn}^{2} - 6{,}936F_{kn}^{3} \quad (5)$$



Hình 4.1: Quan hệ giữa F_{kn} và $F_{pđ}$ với mô hình M1



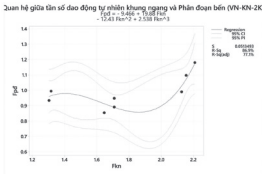
Hình 4.2: Quan hệ giữa F_{kn} và $F_{pđ}$ với mô hình M3

- Phương trình 6 tương ứng mô hình M2 (Biểu đồ *Hình 4.3*):

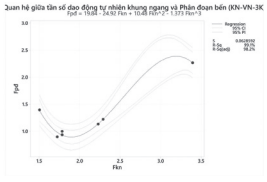
$$F_{pđ} = -9{,}466+19{,}88F_{kn} - 12{,}43F_{kn}^{2} +2{,}538F_{kn}^{3} \quad (6)$$

- Phương trình 7 tương ứng mô hình M4 (Biểu đồ *Hình 4.4*):

$$-F_{pđ} = 19{,}84-24{,}92F_{kn} + 10{,}48F_{kn}^{2} - 1{,}373F_{kn}^{3} \quad (7)$$



Hình 4.3: Quan hệ giữa F_{kn} và $F_{pđ}$ với mô hình M2



Hình 4.4: Quan hệ giữa F_{kn} và $F_{pđ}$ với mô hình M4

5. KẾT LUẬN - KIẾN NGHỊ

Qua hồ sơ thiết kế hiện trạng 9 bến cảng điển hình đại diện cho các khu vực xây dựng bến cầu tàu tại TP. Hải Phòng, nhóm tác giả đã xây dựng mô hình và xử lý dữ liệu tính toán để xác định dữ liệu đầu vào cho việc xử lý dự báo bằng phương trình hồi quy 4, 5, 6, 7 giúp các nhà nghiên cứu, các chuyên gia và các nhà chuyên môn dự báo nhanh chóng tần số phân đoạn bến cầu tàu cần nghiên cứu trong ứng dụng phương pháp xung kích động để chẩn đoán, kiểm định chất lượng, kiểm định sự cố tổng thể kết cấu bến cầu tàu tại Hải Phòng. Danh sách các bến cảng được khảo sát và phân tích thuộc khu bến Đình Vũ, Lạch Huyện (Hải Phòng). Đây là khu bến chính của TP. Hải Phòng có nền địa chất điển hình, các bến thuộc phân cấp đa dạng (cấp đặc biệt, 1, 2, 3).

- Tần số dao động tự nhiên khung ngang có giá trị lớn hơn phân đoạn bến. Các công thức (4), (5), (6), (7) có đủ độ tin cậy. Chênh lệch tần số dao động phân đoạn bến cho mô hình phân tích xung kích động với giá trị hệ số nền động gấp 3 tĩnh cho kết quả lớn hơn đáng kể với hệ số nền động gấp đôi tĩnh, từ đó khi ứng dụng phương pháp xung kích động sự dụng tần số này trong xác định chỉ số sức khỏe khi không có kết quả đo ban đầu.

** Kiến nghị:*

- Hệ số nền tĩnh tính toán theo [6, 9] để xác định độ cứng gối đàn hồi động trong mô hình phân tích xung kích động sẽ cho kết quả chính xác hơn. Do đó, khuyến nghị sử dụng công thức (4), (5) trong xác định tần số dao động phân đoạn bến.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo trong Đề tài mã số B2022-GHA-01.

Tài liệu tham khảo

[1]. Nguyễn Thị Bạch Dương và các cộng sự (2021), *Nghiên cứu hệ số phản lực nền động trong mô hình phân tích động lý thuyết cho đánh giá sức khỏe kết cấu cầu tàu bằng thí nghiệm xung kích động*, Đề tài NCKH cấp Trường, mã số T2020-CT017, Trường Đại học GTVT.

[2]. Nguyễn Thị Bạch Dương, Nguyễn Anh Dân (2021), *The effect of spring coefficients in the dynamic analysis model of the pile foundation structure in Binh Thuan seas*, Vietnam, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển, ISSN:1859 3097.

[3]. Nguyễn Thị Bạch Dương (2021), *Nghiên cứu xác định hệ số nền động trong mô hình phân tích động lý thuyết cho đánh giá tình trạng kỹ thuật cầu tàu bằng thí nghiệm xung kích động tại Việt Nam*, Tạp chí GTVT, Bộ GTVT, ISSN 0866-7012 (2354-0818), số tháng 6.

[4]. Nguyen Thi Bach Duong, Nguyen Huu Hung, Nguyen Anh Dan (2018), *Research on Impact Vibration Test Method for Port Substructure in Viet Nam*, Dynamic Soil-Structure Interaction for Sustainable Infrastructures, Sustainable Civil Infrastructures ISBN 978-3-030-01919-8 (ISBN 978-3-030-01920-4 (eBook)), ISSN 2366-3405 (ISSN 2366-3413 electronic), *https://doi.org/10.1007/978-3-030-01920-46*, p.174, Springer Nature Switzerland AG 2019.

[5]. *TCVN 10304:2014, Móng cọc: Tiêu chuẩn thiết kế.*

[6]. *TCVN 11820-5:2021: Công trình cảng biển - Yêu cầu thiết kế, Phần 5: Công trình bến.*

[7]. Kouichi Tomisawa, Satoshi Nishimoto and Hirofumi Fukushima (2004), *A study on the characteristics of dynamic horizontal subgrade reaction for different types of ground by centrifuge model experiments using single pile models*, 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 1-6, no.162.

[8]. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism of Japan, January (2007), *Structure management and maintenance standard - underground structure and foundation structure*, Japan.

[9]. The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (2020), *Technical Standards and Commentaries for port & Harbour port Facilities*, Tokyo, Japan.

[10]. Các tài liệu, *Hồ sơ thiết kế hoàn công các bến cảng cá Hạ Long, Bến 1 Tân Vũ, Bến 2 Tân Vũ, Bến 3 Tân Vũ, Bến 4 Tân Vũ, Bến 5 Tân Vũ, Nam Đình Vũ giai đoạn 2*, Mipec và Lạch Huyện.

Ngày nhận bài: 26/6/2024
Ngày nhận bài sửa: 04/7/2024
Ngày chấp nhận đăng: 17/7/2024