

THÍ NGHIỆM XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA KHỐI LƯỢNG NỀN ĐỐI VỚI TẦN SỐ DAO ĐỘNG RIÊNG CỦA TẤM TRÊN NỀN ĐÀN HỒI

AN EXPERIMENT TO DETERMINE THE INFLUENCE OF THE FOUNDATION MASS ON VIBRATING FREQUENCY OF PLATES ON FOUNDATION

Đỗ Kiến Quốc và Không Trọng Toàn*

Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Đại học Bách Khoa, Tp. Hồ Chí Minh.

* NCS Bộ môn Sức bền - Kết cấu, Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Đại học Bách Khoa, Tp. Hồ Chí Minh.

BẢN TÓM TẮT

Cho đến nay, khi phân tích ứng xử động lực học của tấm bê tông xi măng trên nền đất, các nghiên cứu đã không xét đến ảnh hưởng của khối lượng nền tham gia vào dao động của tấm. Bài báo này trình bày phương pháp và kết quả nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của khối lượng nền cùng tham gia dao động với tấm trong bài toán động lực học của tấm trên nền đàn hồi.

SUMMARY

Until now, in dynamic analysis of concrete plate on foundation, the mass of foundation has not been considered. The authors of this paper have experimentally studied the influence of the foundation participating in the vibration of the plate. The results have proved that the influence of the foundation mass on vibrating frequency of the plate is significant so that it is necessary to consider in analysis. The study is meaningful in the dynamic analysis of the plate on elastic foundation.

I. MỞ ĐẦU

Cho đến nay, khi phân tích ứng xử động lực học của tấm bê tông xi măng trên nền đất, các nghiên cứu đã không xét đến ảnh hưởng của khối lượng nền tham gia vào dao động của tấm [2, 3, ..., 14, ...]

Bài báo này trình bày phương pháp và kết quả nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của khối lượng nền cùng tham gia dao động với tấm trong bài toán động lực học của tấm trên nền đàn hồi.

Thực nghiệm được tiến hành tại Phòng Chẩn đoán Kỹ thuật thuộc Viện Cơ học ứng dụng TP. Hồ Chí Minh và Phòng Thí nghiệm Trường Đại học Dân lập Kỹ thuật Công nghệ TP. Hồ Chí Minh.

II. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

2.1. Thiết kế mô hình

2.1.1. Mô hình nền

Trong bài toán tấm trên nền đàn hồi, tác giả đã sử dụng mô hình tính toán nền đàn hồi Winkler [1], nền đất được mô tả bởi các lò xo đàn hồi theo phương thẳng đứng, các lò xo có độ cứng k . Khi thực hiện thực nghiệm, tác giả đã sử dụng *tấm nệm cao su* có các đặc tính đàn hồi theo phương đứng giống như lò xo làm mô hình cho nền, về phương diện liên tục của mô hình nền thì nệm cao su thể hiện tốt hơn khi thể hiện bằng các lò xo liền nhau. Tấm nệm cao su được đặt cố định trên một mặt cứng, không có chuyển vị.

Chọn 3 tấm nệm có kích thước và khối lượng như sau:

- Tấm nệm thứ nhất (mẫu 1): kích thước mặt bằng là 21.18cm x 22.88cm, chiều dày là 9.6cm, khối lượng là 0.468 kg.

- Tấm nệm thứ hai (mẫu 2): kích thước mặt bằng là 21.29cm x 22.70cm, chiều dày là 13.7cm, khối lượng là 0.666 kg.

- Tấm nệm thứ ba (mẫu 3): được tạo thành từ việc dán chồng 2 tấm nệm thứ nhất và thứ hai, kích thước mặt bằng là 21.29cm x 22.70cm, chiều dày là 9.6 + 13.7 = 23.3cm, khối lượng là 0.468 + 0.666 = 1.134 kg.

2.1.2. Mô hình tấm

Xét tấm bê tông trên nền đất, ta nhận thấy rằng tấm bê tông có chiều dày nhỏ hơn chiều dày của nền, khối lượng riêng của bê tông lớn hơn không nhiều lắm khối lượng riêng của đất, tấm bê tông thì cứng hơn nền rất nhiều. Vì vậy tấm bê tông trên nền đất có thể được mô phỏng là một tấm gỗ đặt trên nệm cao su.

Chọn 3 tấm gỗ có kích thước và khối lượng như sau:

- Tấm gỗ thứ nhất (mẫu 1): kích thước mặt bằng là 24.9cm x 24.8cm, chiều dày 0.8 cm và có khối lượng là 0.3889kg

- Tấm gỗ thứ hai (mẫu 2): kích thước mặt bằng là 24.9cm x 25cm, chiều dày 0.8 cm và có khối lượng là 0.3916kg.

- Tấm gỗ thứ ba (mẫu 3): kích thước mặt bằng là 24.9cm x 25cm, chiều dày 0.8 cm và có khối lượng là 0.3916kg.

Hình ảnh 3 mẫu thí nghiệm được thể hiện trên *Hình 1*.

2.2. Cách thức tiến hành

2.2.1. Xây dựng quan hệ lực - chuyển vị của mô hình nền

Trên mô hình thí nghiệm, tải trọng tác dụng lên tấm thông qua một xô chứa nước bên trong đặt ở giữa tấm (nước được chọn để gia tải vì dễ xác định khối lượng).

Chuyển vị của tấm được xác định bằng hệ thống 4 đồng hồ đo chuyển vị tại 4 góc của tấm. Các đồng hồ có giá trị vạch đo 0.01, giải đo 0-50mm. Giá trị chuyển vị được lấy trung bình giữa 4 đồng hồ đo.

Trong 3 lần gia tải, ở mỗi lần ứng với mỗi cấp tải trọng (được xác định trên cân điện tử OHAUS ARB 120 có cấp nhỏ nhất 0.01g, khối lượng lớn nhất 2.1kg), ta xác định được chuyển vị tương ứng. Giá trị chuyển vị ở mỗi cấp tải được lấy trung bình giữa 3 lần gia tải. Các kết quả được thể hiện trong Bảng 1

Bảng 1: Quan hệ lực – chuyển vị

Mẫu 1

m₁ (kG)	0.3889	2.1832	2.6832	3.1832	3.6832	4.1832	4.6832
Chuyển vị (mm)	-0.1976	-1.1091	-1.3634	-1.6459	-1.9634	-2.2834	-2.6274

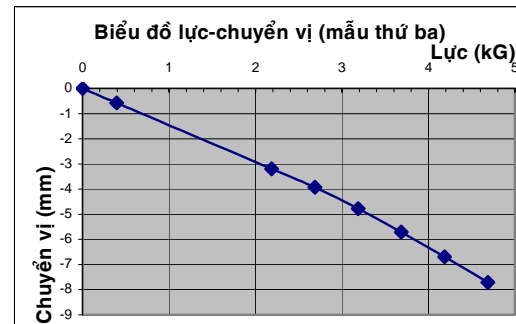
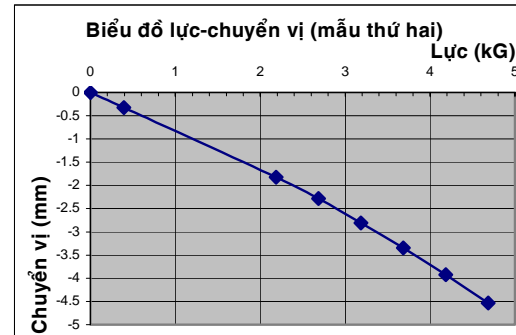
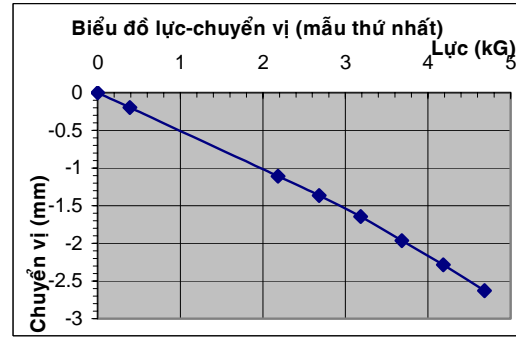
Mẫu 2

m₂ (kG)	0.3916	2.1859	2.6859	3.1859	3.6859	4.1859	4.6859
Chuyển vị (mm)	-0.3269	-1.8248	-2.2815	-2.8056	-3.3440	-3.9215	-4.5356

Mẫu 3

m₃ (kG)	0.3916	2.1859	2.6859	3.1859	3.6859	4.1859	4.6859
Chuyển vị (mm)	-0.5717	-3.1911	-3.9217	-4.7721	-5.7077	-6.6871	-7.7121

Từ kết quả trên ta xây dựng mối quan hệ lực – chuyển vị qua biểu đồ trên *Hình 2*



Hình 1: Hình ảnh 3 mẫu thí nghiệm và sự gia tải trên mẫu.

Hình 2: Biểu đồ lực –chuyển vị của 3 mẫu.

2.2.2. Xác định hệ số độ cứng của nền

Ứng với trọng lượng p của tấm ta có được chuyển vị y của nền. Hệ số độ cứng k của nền được xác định từ quan hệ như sau:

$$p = k.y \rightarrow k = \frac{p}{y}$$

Cụ thể với mẫu 1, mẫu 2, mẫu 3 ta có các giá trị hệ số độ cứng ứng với trọng lượng p của tấm:

Bảng 2: Hệ số độ cứng k của nền ứng với trọng lượng p của tấm

	Trọng lượng của tấm p (N)	Chuyển vị của tấm y (m)	Hệ số độ cứng của nền k (N/m)
Mẫu 1	3.815	0.1976×10^{-3}	19306.680
Mẫu 2	3.842	0.3269×10^{-3}	11752.830
Mẫu 3	3.842	0.5717×10^{-3}	6720.308

2.2.3. Xác định tần số dao động riêng của hệ

Tần số dao động riêng của hệ được xác định bằng phương pháp thử nghiệm động, dựa trên máy phân tích tín hiệu FFT, sử dụng đầu

đo gia tốc. Trong thiết bị này đã có sẵn bộ xử lý, phân tích số do đó có thể nhận được tham số cần thiết là tần số dao động riêng.



Hình 3: Thí nghiệm xác định tần số dao động riêng của mô hình.

Việc xác định tần số dao động riêng của hệ được thực hiện tại Phòng chẩn đoán kỹ thuật thuộc Viện Cơ học TP. Hồ Chí Minh trên máy FFT Analyser 2 Channel với đầu đo gia tốc Kistler 8704B100, M1 có dải đo 0.6-9000 Hz ($\pm 5\%$).

Đầu đo gia tốc được gắn cố định ở giữa tấm bằng keo đặc chủng và được nối với máy phân tích tín hiệu, máy tính. Dao động riêng được tạo ra bởi một kích động ban đầu. Sử

dụng búa cao su tác dụng một lực giữa tấm để tạo ra kích động. Máy phân tích thu các tín hiệu, qua bộ phận xử lý thu được phổ tần số các dao động riêng, trong đó chỉ lưu ý đến tần số cơ bản (Hình 3).

Đối với từng mẫu thực hiện 4 lần thí nghiệm và thu được các tần số riêng tương ứng. Các giá trị thu được và kết quả trung bình được thể hiện trong bảng dưới đây:

Bảng 3: Tần số cơ bản đo được của các mẫu thí nghiệm

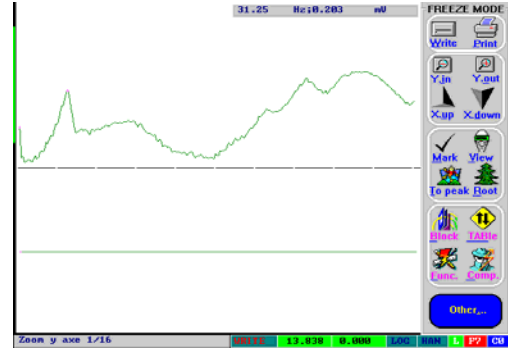
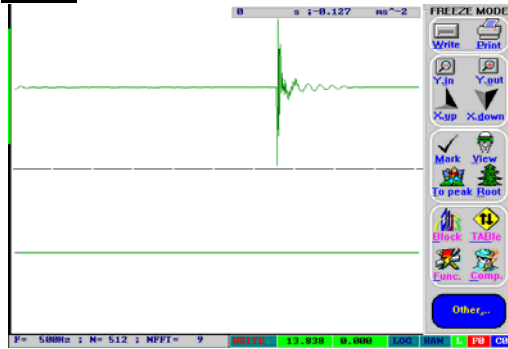
Tần số (Hz)	Lần 1	Lần 2	Lần 3	Lần 4	Trung bình
Mẫu 1	31.25	30.27	31.25	31.25	31.005
Mẫu 2	22.46	23.44	23.44	23.44	23.195
Mẫu 3	16.60	16.60	16.60	16.60	16.600

Nhận xét: Các giá trị tần số cơ bản đo được qua 4 lần thí nghiệm cho thấy chênh lệch là nhỏ (đối với mẫu 1 và 2 chênh lệch lớn nhất là

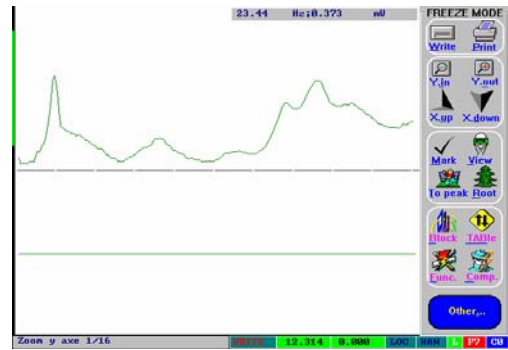
3.13% và 4.18%), nếu so với giá trị trung bình thì càng nhỏ hơn. Do vậy các kết quả thu được là đáng tin cậy.

Kết quả phân tích điển hình như sau (Hình 4):

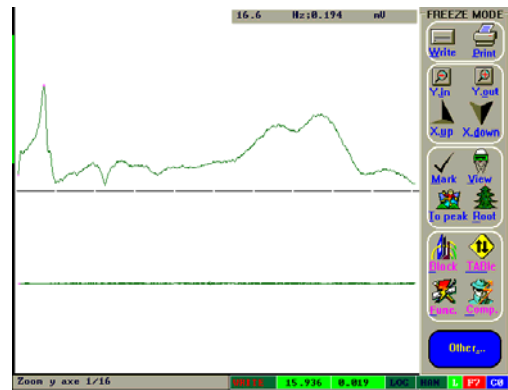
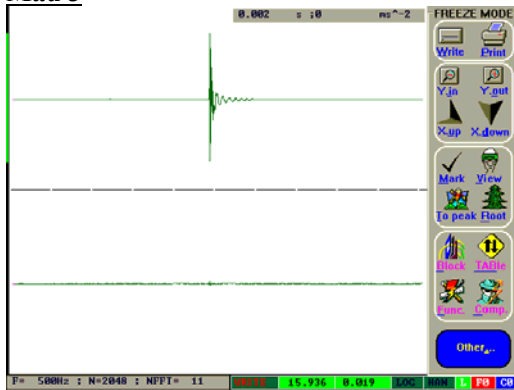
Mẫu 1



Mẫu 2



Mẫu 3



Hình 4: Biểu đồ gia tốc theo thời gian và phổ tần số của các mẫu thí nghiệm.

2.3. Xác định khối lượng suy rộng của nền

Khái niệm: nếu như chọn chuyển vị của tâm là tọa độ suy rộng thì khối lượng nền được đưa lên, đó chính là khối lượng suy rộng của nền. Tổng khối lượng tâm và khối lượng suy rộng của nền được gọi là khối lượng suy rộng của hệ.

Nguyên tắc xác định: dựa vào tần số dao động riêng của hệ được xác định theo thực

thực nghiệm tìm được khối lượng suy rộng của hệ, từ đó tìm được khối lượng suy rộng của nền.

Quá trình được thực hiện như sau:

- Trên mô hình thực nghiệm, qua việc phân tích số liệu nhận được từ đo đạc, ta xác định được tần số dao động riêng của hệ tâm-nền f_{TN} .

- Tần số vòng tương ứng được xác định theo công thức: $\omega_{TN} = 2\pi f_{TN}$

- Khối lượng suy rộng của hệ được xác định như sau: $m = \frac{k}{\omega_{TN}^2}$

Bảng 4: Xác định khối lượng suy rộng của hệ.

	Tần số dao động riêng của hệ f_{TN} (Hz)	Tần số vòng của hệ ω_{TN} (rad/s)	Khối lượng suy rộng của hệ m (kg)
Mẫu 1	31.005	194.810	0.5087
Mẫu 2	23.195	145.738	0.5533
Mẫu 3	16.600	104.301	0.6177

Bảng 5: Sắp xếp lại khối lượng tấm, nền, hệ tấm nền và khối lượng suy rộng của hệ.

	Khối lượng tấm m_T (kg)	Khối lượng nền m_N (kg)	Tổng khối lượng của tấm-nền m_T+m_N (kg)	Khối lượng suy rộng của hệ m (kg)
Mẫu 1	0.3889	0.468	0.8569	0.5087
Mẫu 2	0.3916	0.666	1.0576	0.5533
Mẫu 3	0.3916	1.134	1.5256	0.6177

Từ các kết quả trên, ta nhận thấy: $m_T < m < m_T+m_N$, có nghĩa là:

- Khối lượng suy rộng của hệ lớn hơn khối lượng của tấm: $m > m_T$
- Khối lượng suy rộng của hệ nhỏ hơn tổng khối lượng của tấm-nền: $m < m_T+m_N$

Từ đó, ta nhận xét rằng khối lượng suy rộng của hệ dao động bao gồm khối lượng của tấm và khối lượng suy rộng của nền.

Hay là: $m = m_T + \mu m_N$

trong đó:

μ – Hệ số, thể hiện tỉ lệ giữa khối lượng suy rộng của nền và khối lượng toàn bộ của nền.

Hệ số μ ứng với các mẫu thí nghiệm như sau:

Bảng 6: Hệ số μ ứng với các mẫu thí nghiệm.

	Chiều dày của nền trong mô hình (cm)	Khối lượng nền m_N (kg)	Khối lượng suy rộng của hệ m (kg)	Khối lượng suy rộng của nền $\mu.m_N$ (kg)	Hệ số μ
Mẫu 1	9.6	0.468	0.5087	0.1198	0.256
Mẫu 2	13.7	0.666	0.5533	0.1617	0.243
Mẫu 3	23.3	1.134	0.6177	0.2261	0.199

Có thể nhận xét như sau:

- Hệ số μ tham gia dao động là đáng kể.
- Chiều dày của nền ảnh hưởng tỉ lệ thuận đến khối lượng suy rộng của nền, ảnh hưởng tỉ lệ nghịch đến hệ số μ , có nghĩa là khối lượng suy rộng của nền chỉ tăng đến một giá trị nhất định.

III. KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm trên, ta có thể rút ra kết luận sau:

1. Trong khối lượng suy rộng của hệ tham gia dao động, ngoài khối lượng của tấm còn có khối lượng suy rộng của nền.
2. Tỉ lệ khối lượng nền tham gia dao động là đáng kể, do đó cần thiết phải được xem xét trong phân tích.
3. Khối lượng suy rộng của nền tăng khi chiều dày nền tăng nhưng chỉ tăng đến một giá trị nhất định.
4. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm này là cơ sở để giải quyết bài toán động lực học tấm trên nền đất có xét đến khối lượng của nền.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đỗ Kiến Quốc, Khổng Trọng Toàn, *Phân tích dao động của tấm trên nền đàn hồi chịu tải trọng chuyển động*, Tuyển tập Công trình khoa học Hội nghị Cơ học vật rắn biến dạng toàn quốc lần thứ 6, Hà nội, trang 434-440, 1999.
2. Fryba, L., *Vibration of Solids and Structures under Moving Loads*. Thomas Telford, 1999.
3. Huang M.H., Thambiratnam D.P., *Dynamic Response of Plates on Elastic Foundation to Moving Loads*, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 128(9), 1016-1022, 2002.
4. Kerr A.D., *Continuously Supported Beams and Plates Subjected to Moving Loads – A Survey*, S M Archives 6, pp. 401-449, 1981.
5. Kim S.M., Roesset J.M., *Moving Loads on a Plate on Elastic Foundation*, Journal of Engineering Mechanics., ASCE, Vol. 124, No.9, 1010-1017, 1998.
6. Kim S.M., Won M.C., McCullough B.F., *Airport Pavement Response under Moving Dynamic Aircraft Loads*, Designing, Construction, Maintaining and Financing Today's Airport Project, The 27th Inter. Air Transp. Conf., Orlando, Florida, pp.1-10, 2002.
7. Kukreti A.R., Taheri M.R., Ledesma R.H., *Dynamic Analysis of Rigid Airport Pavements with Discontinuities*, Journal of Transportation Engineering, ASCE, 118(3), pp. 341-359, 1992.
8. Liu C., McCullough B.F., Oey H.S., *Response of Rigid Pavements due to Vehicle-Road Interaction*, Journal of Transportation Engineering, ASCE, 126(3), 237-242, 2000.
9. Siddharthan R., Sebaaly P.E., Zafir R., *Dynamic Pavement Strain Histories from Moving Traffic Load*, J. Transp. Engrg., ASCE, 120(5), pp. 821-842, 1994.
10. Sun L., Deng X., *Predicting Vertical Dynamic Loads Caused by Vehicle-Pavement Interaction*, Journal of Transportation Engineering., ASCE, 124(5), 407-478, 1998.
11. Taheri M.R., Zaman M.M., Alvappillai A., *Dyanamic Response of Concrete Pavements to Moving Aircraft*, J. Appl. Math. Modelling, 31(3), pp. 562-575, 1990.
12. Taheri M.R., Ting E.C., *Dynamic Response of Plates to Moving Loads: Finite Element Method*, Comput. Struct., 34(3), pp. 509-521, 1990.
13. Wu C.P., Shen P.A., *Dynamic Analysis of Concrete Pavements Subjected to Moving Loads*, Journal of Transportation Engineering, ASCE, 122(5), 367-373, 1996.
14. Zaman M., Taheri M.R., Alvappillai A., *Dynamic Response of Thick Plate on Viscoelastic Foudation to Moving Loads*, Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech., 15(9), pp. 627-647, 1991.