

MỘT PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG ỨNG XỬ CỦA KẾT CẤU SỬ DỤNG MÔ HÌNH RESPONSE SURFACE META-MODEL

A METHOD FOR STRUCTURAL BEHAVIOUR SIMULATION WITH RESPONSE SURFACE META-MODEL

Lê Khánh Toàn

Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; khanhtoan67@gmail.com

Tóm tắt - Hiện nay, mô phỏng ứng xử của kết cấu dưới tác động của những yếu tố ngẫu nhiên từ bên ngoài, thay đổi trong một khoảng thời gian dài, bằng các phương pháp số rất phức tạp. Các phương pháp số chỉ giải quyết bài toán ứng xử của kết cấu khi những yếu tố tác động lên công trình là xác định, không có yếu tố ngẫu nhiên. Bài báo này giới thiệu phương pháp ứng dụng một mô hình xác suất dựa trên lý thuyết Response Surface Meta-Models (RS) để mô phỏng ứng xử của kết cấu khi những yếu tố ngẫu nhiên tác động lên công trình thay đổi trong khoảng thời gian dài. RS cho phép tích hợp các thông số đầu vào của mô hình số và kết quả mô phỏng ứng xử từ phần mềm phần tử hữu hạn thông qua các biến và các hệ số điều chỉnh. Các hệ số điều chỉnh sẽ được xác định thông qua bài toán hồi quy, từ đó có thể biểu diễn ứng xử của kết cấu với độ chính xác cao.

Từ khóa - Meta-models; response surface; mô phỏng; ứng xử; mô hình xác suất.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học và công nghệ, tạo ra những thiết bị quan trắc và thu thập dữ liệu rất hiện đại, cho phép ứng dụng phương pháp “quan trắc sức khỏe công trình - The Structure Health Monitoring (SHM)” [9], giúp các nhà khoa học có thể dự đoán chính xác ứng xử thực của kết cấu công trình dưới những tác động ngẫu nhiên từ bên ngoài, qua đó xác định những hiện tượng bất thường làm cơ sở trong việc bảo trì, sửa chữa nhằm nâng cao tuổi thọ công trình.

SHM đã được ứng dụng trên thế giới từ khoảng vài chục năm trở lại đây, chủ yếu để quan trắc công trình ở giai đoạn thi công và trong suốt quá trình làm việc của công trình sau khi đưa vào sử dụng [9, 13, 16, 17]. Các số liệu đo đạc thu được ngoài việc được sử dụng để đánh giá và theo dõi trong giai đoạn thi công cũng như trong quá trình sử dụng mà còn được nhiều tác giả sử dụng để xác định các tham số của mô hình ứng xử thông qua các mô hình toán mô phỏng khác nhau như: Thuật toán di truyền (Genetic Algorithm-GA) [8, 12]; phương pháp mạng trí tuệ nhân tạo (Artificial Neural Networks-ANN) [12, 18, 19]; phương pháp phân tích dựa trên các đa thức hỗn mang (Chaos Polynomial-CP) [6, 13, 16]. Tuy vậy, các phương pháp đề cập thường khá phức tạp, đòi hỏi kinh nghiệm và chuyên môn sâu.

Ứng dụng một mô hình xác suất đơn giản có thể mô phỏng ứng xử của công trình từ kết quả mô phỏng ứng xử số là bước quan trọng và cần thiết trong việc khai thác và sử dụng hiệu quả số liệu từ SHM.

2. Mô hình phần tử hữu hạn và mô hình xác suất mô phỏng ứng xử của công trình

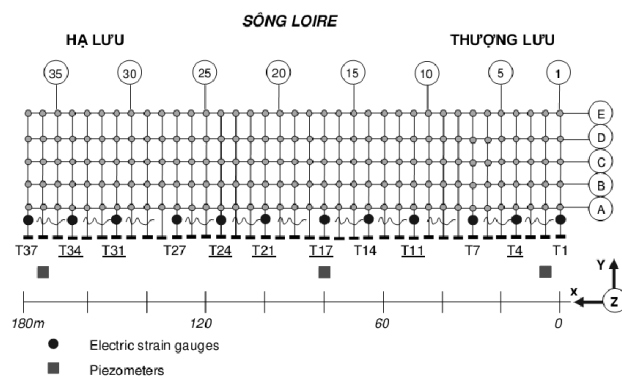
2.1. Giới thiệu công trình và các đặc điểm tính toán

Công trình nghiên cứu là phần mở rộng của cảng

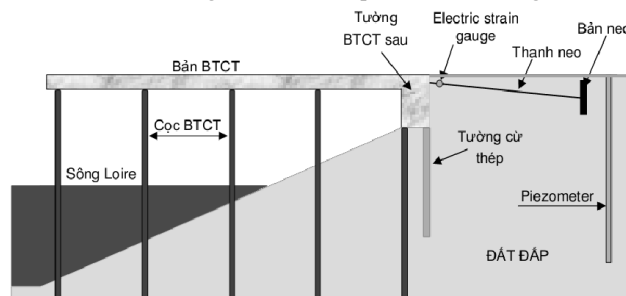
Abstract - Nowadays, the simulation of structural behaviour under the influence of random factors from outside changes for a long time by numerical methods which are very complicated. The numerical method only solves the structural behaviour problem when the factors around are identified and no random factor is involved. This paper introduces a method based on Response Surface Meta-models (RS) for the structural behaviour simulation when random factors around change for a long time. RS facilitates the integration of input parameters of numerical model and the results of simulated behaviour of structure by finite element software through variables and adjusting coefficients which can be identified through regression, from which the behaviour of structure can be presented with high accuracy.

Key words - Meta-models; response surface; simulation; behaviour; probabilistic modelling.

Cheviré ở gần thành phố Nantes (phía tây của Cộng hoà Pháp), cầu cảng Cheviré-4 [13, 16]. Việc lựa chọn công trình để thực hiện nghiên cứu do bởi có đầy đủ các số liệu quan trắc được thực hiện một cách tự động nhờ bởi các thiết bị đo đạc. Mặt bằng, mặt cắt, việc bố trí thiết bị quan trắc công trình được giới thiệu trong Hình 1 và Hình 2.



Hình 1. Mặt bằng bố trí thiết bị quan trắc của công trình



Hình 2. Mặt cắt ngang công trình

Cheviré-4 là một bản bê tông cốt thép đặt trên hệ dầm ngang dọc bố trí trên hệ cọc bê tông cốt thép được đóng sâu vào lớp đá gốc ở độ sâu khoảng 36m so với mặt đất, có chiều

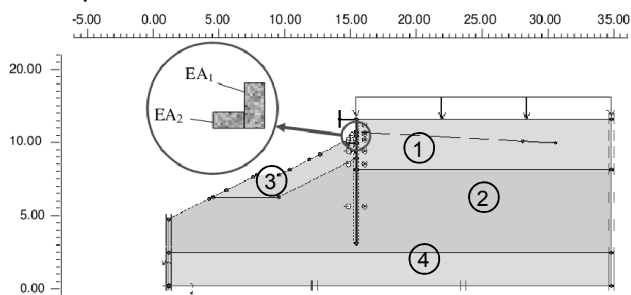
dài 180m, rộng 34,5m, được xây dựng trên bờ trái của sông Loire, gần cửa biển. Cầu cảng được liên kết sâu vào trong vùng đất đắp nhờ 37 thanh neo bằng thép, bản neo bằng bê tông cốt thép dày 50cm, kích thước mỗi chiều là 2,6m. Trong tổng số 37 thanh neo, có 12 thanh neo được gắn các electric strain gauges để đo lực neo. Phía sau, người ta gắn một số piezometer để đo mực nước trong lớp đất đắp. Sự lên xuống của thủy triều được đo đạc bởi một thiết bị đo thủy triều (thủy triều kế) đặt ở hạ lưu cách công trình khoảng 1 km. Việc đo đạc thủy triều và mực nước trong lớp đất đắp phía sau cầu cảng được thực hiện tự động cứ mỗi 5 phút.

2.2. Mô hình phần tử hữu hạn và các tham số đầu vào của kết cấu công trình

Plaxis (Version V8.2) [3, 11] được sử dụng để mô hình hóa công trình. Phần mềm này được xây dựng dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn, có thể mô phỏng kết cấu dưới dạng 2D hoặc 3D (trong nghiên cứu này sẽ ứng dụng V8.2-2D). Đây là phần mềm phân tích địa kỹ thuật, nó cho phép phân tích biến dạng và sự ổn định của đất đối với các bài toán khác nhau trong địa kỹ thuật. Phần mềm cũng cho phép mô phỏng sự tương tác giữa ứng xử của kết cấu với bài toán phân tích địa kỹ thuật như đã đề cập ở trên. Chương trình sử dụng một giao diện đồ họa, cho phép dễ dàng xây dựng một mô hình địa kỹ thuật và nhanh chóng phát sinh một lưới các phần tử hữu hạn trên mặt cắt khảo sát. Kết quả mô phỏng với nhiều thông số đầu ra khác nhau như: Ứng suất, biến dạng hay nội lực trong các phần tử của kết cấu công trình, v.v. Plaxis cho phép mô phỏng ứng xử của đất với nhiều mô hình khác nhau tùy thuộc vào đặc điểm, cấu tạo, tính chất của đất. Đối với công trình nghiên cứu sẽ sử dụng mô hình ứng xử Mohr-Coulomb, đây là mô hình đàn dẻo được sử dụng rất phổ biến hiện nay vì nó cho kết quả mô phỏng sát với thực tế. 5 thông số cơ học của mô hình ứng xử Mohr-Coulomb gồm:

- E : Mô đun đàn hồi của đất (Young's modulus);
- ν : Hệ số Poisson;
- c : Lực dính (Cohesion);
- φ : Góc nội ma sát (Frictional internal angle);
- ψ : Góc giãn nở (Dilatancy angle).

Mô hình hóa các phần tử của công trình trong Plaxis được biểu diễn trong Hình 3. Theo đó, các phần tử của kết cấu được mô hình hóa như sau:



Hình 3. Một mô hình tính toán xây dựng trong Plaxis

- Hệ cọc, dầm và bản, khi làm việc, được xem xét như một phần tử neo có chiều dài và độ cứng xác định, được mô hình hóa trong Plaxis bởi một phần tử neo một đầu ngàm (Fixed and Anchors), tương ứng với một lò xo đàn hồi có độ cứng dọc trục không đổi (trên Hình 3, phần tử này có dạng chữ T), khoảng cách theo phương dọc là 5m.

- Tường phía sau, một dầm bê tông chữ L, được mô hình hóa dưới hình thức phần tử bản (plate).

- Thanh neo, được xem xét như một lò xo đàn hồi có độ cứng dọc trục không đổi, được mô hình hóa bởi phần tử neo (node-to-node anchors).

- Bản neo được thay thế bởi một phần tử vải địa kỹ thuật (Geogrid), có độ cứng dọc trục để mô hình hóa như một phần tử đàn dẻo. Như vậy có thể thay đổi được độ cứng của bản neo tùy theo cấu tạo của bản neo và đặc trưng cơ lý của đất xung quanh.

- Tường cừ thép được mô hình hóa dưới hình thức phần tử bản (Plate).

Các thông số cơ bản của các phần tử nêu trên được giới thiệu trong [7].

Trên bề mặt cảng có các lớp cấu tạo và lớp bê tông bề mặt quy về tải trọng phân bố có giá trị 25kN/m^2 .

Thông số đầu vào của đất, mô hình hóa trong Plaxis, được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số đặc trưng của các lớp đất

Lớp đất	Loại đất	Mô hình vật liệu	Ứng xử của đất	Chiều dày (m)
1	Đất đắp	MC (Mohr-Coulomb)	Thoát nước (Drained)	4,0
2	Đất phù sa, cát thô màu ghi, sét	MC (Mohr-Coulomb)	Thoát nước (Drained)	8,0
3	Đá bề mặt talus	MC (Mohr-Coulomb)	Thoát nước (Drained)	2,0
4	Đất phù sa, cát thô màu ghi, sét, lèn chặt	MC (Mohr-Coulomb)	Thoát nước (Drained)	>20

Mục đích tính toán là xác định nội lực trong các thanh neo dưới tác dụng của thủy triều trên sông Loire và sự thay đổi mực nước trong lớp đất phía sau tường chắn.

Các giả thuyết tính toán gồm:

- Về mặt cơ học: Các mặt cắt ngang của công trình làm việc giống nhau, chỉ có biến dạng phẳng trong mặt phẳng của mặt cắt ngang.

- Về mặt ngẫu nhiên: Chỉ xem xét trong khoảng thời gian 2 năm (1/2004-12/2005), trong khoảng thời gian này công trình chỉ chịu tác động lên xuống của thủy triều trên sông Loire, không có tác động của các tải trọng khác như tải trọng cập cảng của tàu hay tải trọng do khai thác sử dụng công trình. Mặt khác, những ảnh hưởng ngẫu nhiên như chuyển vị, lún, v.v., được xem như không đáng kể.

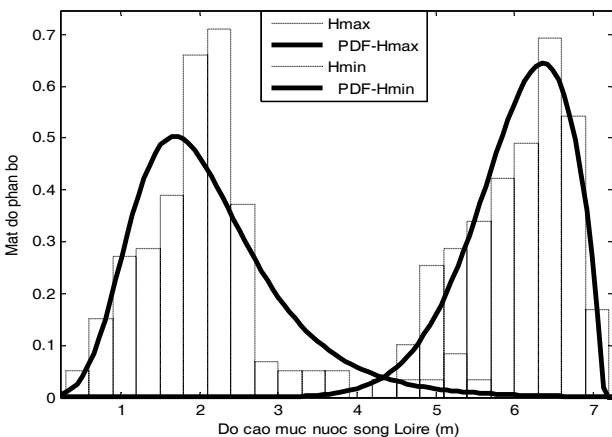
Như vậy, các thông số ngẫu nhiên đầu vào dùng để tính toán gồm: Độ cao mực nước thủy triều trên sông Loire và mực nước trong lớp đất đắp, nơi bố trí hệ thống 37 thanh neo; các thông số đặc trưng của đất đắp (nơi đặt các thanh neo) tương ứng với các thông số của mô hình ứng xử Mohr-Coulomb; trọng lượng bản thân của đất đắp.

Các đặc trưng cơ học của đất đắp, cát có giá trị ngẫu nhiên và thay đổi tùy thuộc vào loại đất đắp hay cát dưới công trình. Bằng cách tập hợp tất cả các giá trị có thể có của đất đắp và cát trong các nghiên cứu hoặc tài liệu khác nhau có đề cập đến [7], trong nghiên cứu này, đề xuất lựa chọn các thông số đầu vào của đất đắp một cách ngẫu nhiên

với những khoảng thay đổi như sau:

- Trọng lượng riêng của đất đắp ẩm γ_{unsat} : [16; 17; 18; 19; 20] kN/m³;
- Mô đun đàn hồi của đất đắp E : [(3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0)*10⁴] kN/m²;
- Góc ma sát trong φ : [25; 27; 30; 32; 35] (°);
- Hệ số Poisson ν : [0,25; 0,3; 0,35; 0,4];
- Hệ số dính $c = 0$;
- Góc dẫn nở $\psi = 0$.

Thủy triều trên sông Loire được đo đạc bằng một thủy triều kế đặt ở phía hạ lưu của công trình, được đo đạc cứ mỗi năm phút và thực hiện trong 2 năm (01/2004 đến 12/2005). Số liệu đo đạc mực nước trong các lớp đất phía sau công trình cũng được đo đạc một cách tương ứng. Toàn bộ số liệu đo đạc được thể hiện trong [16, 17]. Trong khoảng thời gian 2 năm, phân bố của mức thủy triều cao nhất và thấp nhất của sông Loire tương ứng với một chu kỳ lên xuống trong ngày được thể hiện trên Hình 4.



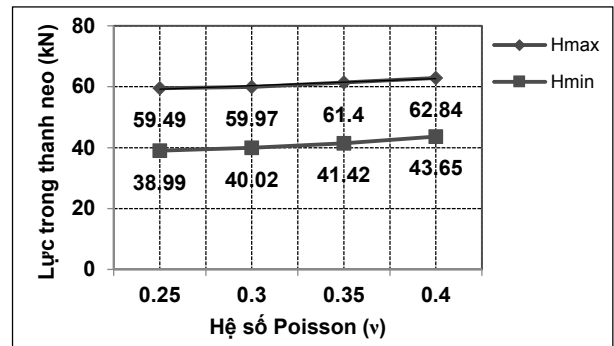
Hình 4. Phân bố mực nước cao nhất và thấp nhất của sông Loire trong 2 năm

Dựa trên biểu đồ phân bố mực nước cao nhất và thấp nhất của thủy triều, căn cứ vào số liệu đo đạc như đã chỉ ra trong khoảng thời gian 2 năm [16, 17], một hệ số thủy triều CMAR (biên độ dao động của thủy triều trong ngày) bao hàm khoảng với biên là mực cao nhất và thấp nhất được lựa chọn tương ứng với xác suất phân bố lớn nhất như trên Hình 4, đó là thủy triều ngày 02/3/2005 với $H_{max}=6,21m$, $H_{min}=2,19m$ tương ứng với mực nước đo được trong đất sau công trình lần lượt là 5,19m và 4,13m [16,17]. Tính toán nội lực trong các thanh neo bằng Plaxis dưới tác động của thủy triều trong 6 thời điểm khác nhau trong một chu kỳ lên xuống trong ngày, từ thời điểm thủy triều cao nhất đến khi thủy triều xuống thấp nhất. Bảng 2 thể hiện độ cao của thủy triều và mực nước trong đất đắp.

Bảng 2. Độ cao thủy triều và mực nước trong đất đắp

Thời điểm	Giờ	Độ cao thủy triều (m)	Độ cao mực nước trong đất (m)
1	7h30	6,21	5,19
2	9h00	5,75	5,39
3	10h30	4,84	5,19
4	12h00	4,17	4,96
5	14h00	2,98	4,54
6	16h00	2,19	4,13

Khảo sát với hai độ cao thủy triều ở mức cao nhất và thấp nhất cho thấy: Hệ số Poisson ít ảnh hưởng đến lực căng trong thanh neo, đặc biệt trong khoảng từ 0,25 đến 0,3, lực trong thanh neo hầu như không thay đổi (Hình 5). Do đó, đối với hệ số Poisson, sẽ xem xét như một giá trị xác định đã biết và bằng 0,27 để tính toán lực căng trong thanh neo bởi Plaxis.



Hình 5. Ảnh hưởng của hệ số Poisson đến sự thay đổi lực căng trong thanh neo

2.3. Giới thiệu Response Surface Meta-models

Response surface Meta-models đã được ứng dụng rộng rãi để mô phỏng những sự không chắc chắn trong tính toán kết cấu công trình [2, 4, 5, 14, 15]. Nó đã được ứng dụng từ rất lâu trong những lĩnh vực khác nhau của cuộc sống. Hiện nay, có hai loại mô hình chính được ứng dụng [1]: Mô hình vật lý (physical response) và mô hình phân tích (analytical response). Dưới đây giới thiệu mô hình phân tích, một hình thức phổ biến của Response Surface Meta-models. Hàm phân tích (analytical response function) được xác định bởi một đa thức bậc hai tổng quát như trong công thức (1):

$$Y(X) = a_0 + \sum_i a_i X_i + \sum_{i \neq j} a_{ij} X_i X_j + \sum_i a_{ii} X_i^2 \quad (1)$$

Trong đó: Y là ứng xử của hệ dưới tác động của các biến ngẫu nhiên đầu vào X , $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$; $a = \{a_0, a_i, a_{ij}, a_{ii}\}$ là các hệ số được xác định bằng phép toán hồi quy dựa trên phương pháp bình phương nhỏ nhất từ số liệu của tập biến ngẫu nhiên X và ứng xử tương ứng của hệ Y có được từ kết quả mô phỏng hoặc số liệu thực nghiệm.

Hình thức (1) được gọi là mặt đáp ứng bậc 2/Quadratic Response Surface. Nó có những thuộc tính đặc biệt, trong đó khả năng có thể tiệm cận với một đoạn nào đó của một phân bố từ các kết quả lý thuyết hoặc thực nghiệm, là một trong những thuộc tính sẽ được khai thác trong bài báo này. Thuộc tính đặc biệt này rất cần thiết khi chỉ có một số ít các số liệu biểu diễn một ứng xử nào đó của kết cấu công trình. Khi đó, từ việc mô phỏng được phân bố của tập số liệu, cho phép xác định phân bố ngẫu nhiên của các thông số đầu vào của hệ. Như vậy, từ các kết quả đo đạc ứng xử của hệ dưới tác động của các yếu tố ngẫu nhiên, bằng việc áp dụng Quadratic Response Surface cho phép xác định các tham số dưới hình thức các biến ngẫu nhiên đầu vào khi mà các số liệu ít, không đầy đủ hoặc không rõ ràng, không chắc chắn [1].

Đối với công thức (1), khi có mặt đầy đủ tất cả các hệ số a_i được gọi là bậc hai đầy đủ (Full Quadratic). Trong trường hợp vắng mặt một trong các hệ số a_i cụ thể nào đó ($a_i=0$), chúng ta có các hình thức khác nhau của (1):

- Hình thức tuyến tính (Linear) khi $a_{ij, i \neq j} = 0; a_{ii} = 0$:
$$Y(X) = a_0 + \sum_i a_i X_i \tag{2}$$
- Hình thức bậc hai thuần nhất (Pure quadratic) khi $a_i = 0$ và $a_{ij, i \neq j} = 0$:
$$Y(X) = a_0 + \sum_i a_{ii} X_i^2 \tag{3}$$
- Hình thức tuyến tính với sự tương tác (Linear with interaction) khi $a_{ii} = 0$:

$$Y(X) = a_0 + \sum_i a_i X_i + \sum_{i \neq j} a_{ij} X_i X_j \tag{4}$$

Những hình thức khác nhau của RS trong các công thức từ (1) đến (4) sẽ được ứng dụng để mô phỏng ứng xử số của kết cấu, từ đó sẽ lựa chọn hình thức hợp lý của RS (thông qua độ chính xác của kết quả mô phỏng).

3. Mô phỏng ứng xử số của kết cấu bằng RS

3.1. Ứng xử số của kết cấu

Để có thể mô phỏng ứng xử số của kết cấu bằng lý thuyết RS, cần phải xác định các hệ số a_i trong công thức (1). Một cơ sở dữ liệu là ứng xử số của kết cấu cần được xây dựng. Đối với công trình nghiên cứu, ứng xử số là lực trong các thanh neo khi có sự lên xuống của thủy triều sông Loire và mực nước ngầm trong đất được lựa chọn như trong Bảng 2. Nội lực trong các thanh neo sẽ được tính toán bởi phần mềm Plaxis. Các số liệu đầu vào để tính toán bằng Plaxis, là các biến ngẫu nhiên được biểu diễn trong Bảng 3:

Bảng 3. Biến ngẫu nhiên đầu vào cho xây dựng cơ sở dữ liệu ban đầu để tính lực trong thanh neo

Biến đầu vào	Phân bố	Kích cỡ biến	Giá trị lựa chọn
Trọng lượng riêng đất ẩm γ_{unsat} (kN/m ³)	Phân bố đều	[16÷20]	16,17,18,19,20
Trọng lượng riêng no nước γ_{sat} (kN/m ³)	Phân bố đều	Quan hệ với γ_{unsat}	$\gamma_{unsat} + \varepsilon$
Mô đun đàn hồi E (MPa)	Phân bố đều	[30÷50]	30,35,40,45,50
Góc nội ma sát $\varphi(^{\circ})$	Phân bố đều	[25÷35]	25,30,35
Hệ số Poisson ν	Xác định	0.27	0.27
Lực dính c (MPa)	Xác định	0	0
Độ cao thủy triều sông Loire (m)	Hình 4	Bảng 2	Xem Bảng 2
Độ cao mực nước sau tường chắn (m)	Theo mực nước sông Loire	Bảng 2	Xem Bảng 2

Lựa chọn phân bố đều cho các đặc trưng cơ lí của đất do bởi các thông tin không đầy đủ, không rõ ràng và không chắc chắn của đất đắp. Theo các kết quả nghiên cứu [7], trọng lượng riêng của đất đắp no nước (γ_{sat} - nước chiếm đầy các lỗ rỗng trong đất) tăng lên một giá trị ε so với trọng lượng riêng đất ẩm (γ_{unsat} - lỗ rỗng trong đất bị chiếm chỗ bởi nước và không khí), ε phụ thuộc vào đặc điểm của từng loại đất đắp, hệ số rỗng hay chất lượng đầm nén khi thi công đắp đất, v.v. Trong nghiên cứu này, giá trị của $\varepsilon = 2$. Với mối quan hệ phụ thuộc này cho phép giảm số lượng biến, thuận tiện hơn cho tính toán nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác cần thiết.

Đất đắp thường là loại đất rời, vì vậy lực dính thường không đáng kể và có thể bỏ qua. Trong Plaxis, giá trị này được gán cho rất nhỏ có thể xem bằng không.

Với 6 biến ngẫu nhiên đầu vào như liệt kê trong Bảng 3, theo đó, 6 biến đầu vào gồm: Trọng lượng riêng của đất ẩm (γ_{unsat}); Mô đun đàn hồi E ; Góc nội ma sát φ ; Hệ số Poisson ν ; Mực nước sông Loire H_i ; Mực nước trong đất sau tường chắn H_n . Trọng lượng riêng no nước γ_{sat} có quan hệ với trọng lượng riêng ẩm, lực dính c trong đất đắp rất nhỏ nên có thể bỏ qua. 450 tính toán đã được thực hiện bởi Plaxis ứng với từng trường hợp tổ hợp khác nhau của 6 biến để xác định lực trong thanh neo. Một bộ cơ sở dữ liệu số là nội lực trong thanh neo được xây dựng. Bộ cơ sở dữ liệu số vừa xây dựng sẽ được sử dụng để xác định các hệ số a_i của Quadratic Response Surface, làm cơ sở để mô phỏng ứng xử số của công trình bằng Response Surface Meta Models.

3.2. Mô phỏng ứng xử số của kết cấu bằng RS

Các hệ số a_i trong phương trình (1) sẽ được xác định như sau: Gán các tổ hợp biến ngẫu nhiên đầu vào của 6 biến (Bảng 3) cho các biến X_i, X_j . Ứng với mỗi tổ hợp biến, đáp ứng của hệ thống là Y sẽ được gán bằng kết quả mô phỏng số tương ứng đã thực hiện bởi Plaxis (bộ cơ sở dữ liệu là nội lực trong thanh neo). Lập trình matlab [10], trên cơ sở bài toán hồi quy, áp dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất, sẽ xác định được các hệ số a_i .

Như đã đề cập ở trên, 450 tính toán lực căng trong thanh neo bằng Plaxis đã được thực hiện. Theo [1], sự hội tụ của bài toán hồi quy sẽ càng nhanh và càng chính xác khi số liệu đầu vào đủ lớn, số liệu đầu vào ở đây là kết quả tính toán lực căng trong thanh neo dựa trên tổ hợp các số liệu đầu vào là đặc trưng của nền đất. Tuy nhiên, do hạn chế bởi khoảng thay đổi của các tham số đầu vào (Bảng 3), bởi số lượng lớn các toán tử tương tác trong phương trình (1), theo đó, nếu có n biến ngẫu nhiên, sẽ có: $(n+2)(n+1)/2$ toán tử tương tác khi triển khai phương trình (1) [1] và do bởi thời gian thực hiện các tính toán bằng Plaxis. Với 6 biến ngẫu nhiên đầu vào (Bảng 3 - Lực dính $c=0$), có 28 toán tử khi khai triển (1) và cũng có từng đó hệ số a_i , điều này đòi hỏi số liệu đầu vào đủ lớn khi thực hiện. Vì lí do trên, khi thực hiện bài toán hồi quy đã cho kết quả không hội tụ, chương trình không thể cho kết quả chính xác cuối cùng. Để giảm số biến đầu vào, một phép đổi biến đã được thực hiện bằng cách chia trọng lượng riêng của đất tự nhiên (γ_{unsat}) cho mô đun đàn hồi E của đất. Kết quả lựa chọn biến ngẫu nhiên đầu vào vòng hai được thể hiện trong Bảng 4.

Với 4 biến X_1, X_2, X_3, X_4 (Bảng 4), có tối đa 15 hệ số a_i (trường hợp hệ số a_i đầy đủ: Full Quadratic), các hệ số a_i được xác định nhờ hội tụ hồi quy trong Matlab được thể hiện trong Bảng 5.

Bảng 4. Lựa chọn biến ngẫu nhiên đầu vào cho việc mô phỏng ứng xử số của công trình bằng RS

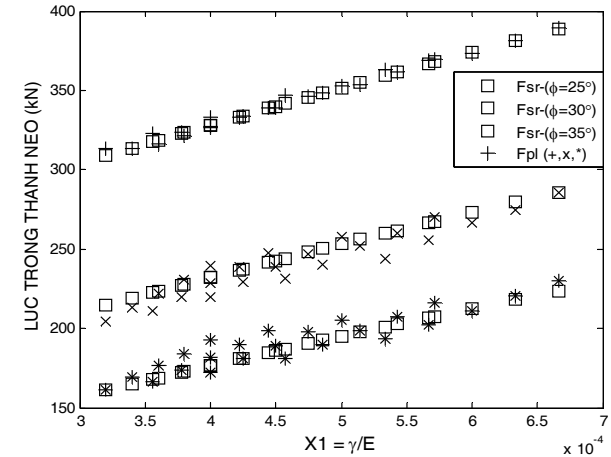
Biến ban đầu	Đặc điểm	Quan hệ	Biến lựa chọn
Trọng lượng riêng đất ẩm γ_{unsat}	Đôi biến	$X_1 = \frac{\gamma_{unsat}}{E}$	$[X_1]$
Mô đun đàn hồi E	Đôi biến		
Trọng lượng riêng no nước γ_{sat}	Quan hệ với γ_{unsat}	$\gamma_{unsat} + \varepsilon$	

Góc nội ma sát φ	-	$X_2 = \varphi$	$[X_2]$
Hệ số Poisson ν	Xác định	$\nu = 0,27$	Biến xác định
Độ cao thủy triều sông Loire	Xem Bảng 2	-	$[X_3]$
Độ cao mực nước sau tường chắn	Xem Bảng 2	-	$[X_4]$
Cơ sở dữ liệu số	Lực căng trong thanh neo (tính bởi Plaxis)	-	$[Y]$

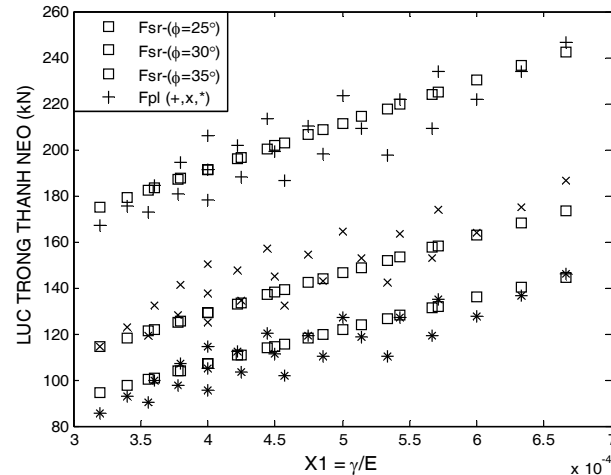
Bảng 5. Hệ số a_i của Quadratic Response Surface

Các hệ số a_i	Giá trị	Các hệ số a_i	Giá trị
a_0	1078,497	a_{23}	2,594443
a_1	415392,2	a_{24}	-3,49643
a_2	-52,9327	a_{34}	-11,9983
a_3	-57,1674	a_{11}	-4,8E+07
a_4	28,75112	a_{22}	0,809133
a_{12}	-5041,22	a_{33}	0,476507
a_{13}	-9538,02	a_{44}	17,31634
a_{14}	2315,487		

Thay thế các hệ số a_i vào (1) sẽ xác định được lực căng trong thanh neo như thể hiện trong Hình 5, ứng với trường hợp thủy triều thấp nhất và Hình 6 ứng với thủy triều cao nhất.



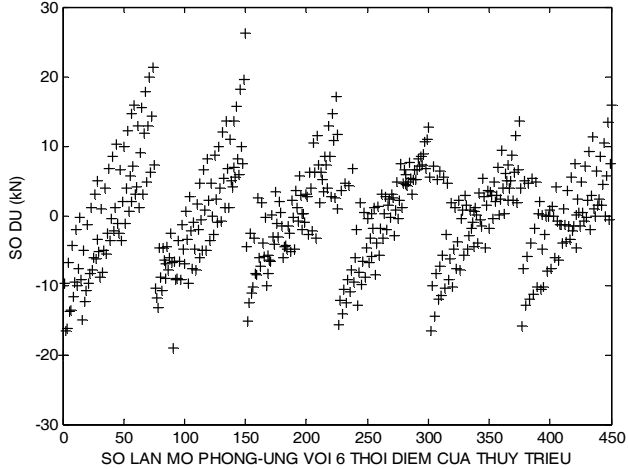
Hình 5. Mô phỏng lực trong thanh neo bởi RS (F_{sr}) so sánh với tính toán bởi Plaxis (F_{pl}), trường hợp thủy triều thấp nhất



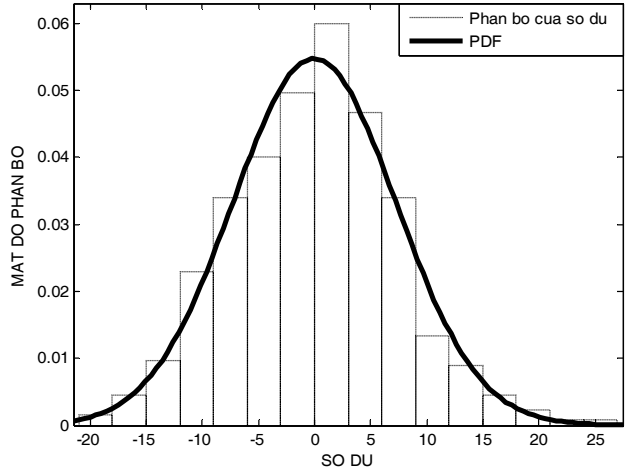
Hình 6. Mô phỏng lực trong thanh neo bởi RS (F_{sr}) so sánh với tính toán bởi Plaxis (F_{pl}), trường hợp thủy triều cao nhất

Ứng với từng tổ hợp khác nhau của tham số đầu vào, kết quả mô phỏng trên Hình 5 và Hình 6 cho thấy có sự tiệm cận các giá trị giữa tính toán bởi Plaxis và mô phỏng bởi RS. Để đánh giá sự sai khác giữa tính toán lực căng trong thanh neo bởi Plaxis và mô phỏng bởi RS, dưới đây sẽ xác định sự sai khác thông qua số dư và xác suất phân bố của số dư giữa hai kết quả tính toán và mô phỏng.

Số dư chênh lệch lực trong thanh neo tính bởi Plaxis và mô phỏng bởi RS theo cả 6 thời điểm của thủy triều (Bảng 2) được thể hiện trên Hình 7.



Hình 7. Số dư kết quả tính toán lực trong thanh neo bằng Plaxis và mô phỏng bằng RS



Hình 8. Xác suất phân bố của số dư thể hiện độ sai lệch giữa kết quả tính toán lực căng trong thanh neo bằng Plaxis và kết quả mô phỏng lực căng bằng RS

Chúng ta có thể nhận thấy sự sai khác giữa kết quả tính toán lực trong thanh neo bởi Plaxis và kết quả mô phỏng bởi RS là không đáng kể. Xác suất phân bố của số dư tập trung chủ yếu trong đoạn $[-10; +10]$ kN và có giá trị bằng 0,83 (Hình 8).

4. Kết luận

Kết quả mô phỏng ứng xử số của kết cấu công trình bằng RS cho thấy có thể sử dụng mô hình toán này để biểu diễn ứng xử của kết cấu, cho kết quả có độ chính xác cao. Kết quả mô phỏng này cho phép mở ra một hướng nghiên cứu mới: Dựa trên kết quả đo đặc hiện trường (là ứng xử thực của kết cấu), thông qua bài toán phân tích ngược trên mô hình RS cho phép xác định các tham số đầu vào ngẫu

nhien của mô hình ứng xử của kết cấu công trình, các tham số này đã được tích hợp trong phương trình (1) khi xây dựng cơ sở dữ liệu số là lực căng trong thanh neo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Baroth J., Schoefs F., Breysse D. *et al.*, *Fiabilité des ouvrages*, Hermès-Lavoisier, 2011.
- [2] Box G.E.P., Youle P.V., The exploration and exploration of response surface: an example of the link between the fitted surface and the basic mechanism of the system, *Biometrics*, n° 11, 287-322, 1955.
- [3] Brinkgreve R.B.J. *et al.*, “*Plaxis V8 Manuel de reference*”, Delft University of Technology & PLAXIS bv, Pays-Bas, 2003.
- [4] Labeyrie J., “Response surface Methodology in Structural Reability. Probabilistic Methods for Structural Design”, *Solid Mechanics and its Application*, Ed. C. Guedes Soares, vol 56, 39-58, 1997.
- [5] Labeyrie J., Schoefs F., *Matrix response surfaces for describing environmental loads, Safety and Reliability, Proc. of 15th int. conf. on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, (O.M.A.E’96), vol. II, 119-126, ASME, Florence, 1996.
- [6] Lanata F., Schoefs F., Calcul en Fiabilité, *Comparaison entre CP et MCMC lors de l’identification de variables à partir d’instrumentation*, In *Ouvrages en Service et Développement Durable*; Proc. AUGC 2010, La Bouboule, France, june 2010, 183-184 (online at <http://cust.univ-bpclermont.fr/~augc/page10.html>, 10 pp), 2010.
- [7] Le KT. *Identification des caractéristiques aléatoires de remblais à partir du suivi de santé des structures: application aux structures portuaires*, PhD Thesis, Thèse sciences l’ingénieur Génie Civil et mécanique, Université de Nantes-UFR Sciences et techniques, Ecole doctorale « Sciences pour ingénieur, Géosciences, Architecture », 2012.
- [8] Levasseur S., Malécot Y., Boulon M., Flavigny E., “Soil parameter identification using a genetic algorithm”, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, vol 32(2), 189-213, 2008.
- [9] Martel S., *Etude expérimentale et méthodologique sur le comportement des écrans de soutènement*, Thèse géotechnique de docteur de l’école nationale des ponts et chaussées, 2005.
- [10] *Matlab*, COPYRIGHT 1990-2007 by The MathWorks, Inc. Optimization Toolbox 3, User’s guide.
- [11] PLAXIS, Reference manual, Version 8, 2003.
- [12] Renders J.M., *Algorithmes génétiques et réseaux de neurones*, Hermès, 1994
- [13] Schoefs F., Yáñez-Godoy H., Lanata F., “Polynomial Chaos Representation for Identification of Mechanical Characteristics of Instrumented Structures: Application to a Pile Supported Wharf”, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, spec. Issue “Structural Health Monitoring”*, First published online 2nd November 2010, volume 26, issue 3, p.173-189, 2011.
- [14] Schoefs F., *Surface de réponse des efforts de houle dans le calcul de fiabilité des ouvrages*, Thèse de doctorat, ED 82-208, Université de Nantes, 1996.
- [15] Schoefs F., “Sensitivity approach for modeling the environmental loading of marine structures though a matrix response surface”, *Reliability Engineering and System Safety*, Available online 19 june 2007, Vol 93, issue 7, July 2008, pp 1004-1017, doi: [dx.doi.org/10.1016/j.ress.2007.05.006](https://doi.org/10.1016/j.ress.2007.05.006), 2007.
- [16] Yáñez-Godoy H., *Le Chaos Polynomial pour l’identification des Paramètres du Modèle d’un Quai sur pieux à partir de Données d’Instrumentation*, 25^{ème} Rencontres de l’Association Universitaires de Génie Civil (AUGC)-Prix Jeunes Chercheurs “René Houpert”, Bordeaux, 23-25 mai 2007, 2007.
- [17] Yáñez-Godoy H., *Mise à jour de variables aléatoires à partir des données d’instrumentations pour le calcul en fiabilité de structures portuaires*, Thèse sciences de l’ingénieur Génie Civil et mécanique. Université de Nantes-UFR Sciences et Techniques, école doctorale “Mécanique, Thermique et Génie Civil”, 2008.
- [18] Yamagami Y., Jiang J.C. and Ueta Y., *Back calculation of strength parameters for landslide control work using neural networks*, In *Proceedings of the 9th Int. Cont. on computer methods and advances in geomechanics*, Wuhan, China, 1997.
- [19] Zaghoul N.A., Abu Kiefa M.A., Neural network solution of inverse parameters used in the sensitivity-calibration of the SWMM model simulations, *Advances in Engineering and software*, vol 32, 587-595, 2001.

(BBT nhận bài: 17/11/2014, phản biện xong: 26/11/2014)