

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO ĐẦU ĐO ÁP LỰC TRONG MÔI TRƯỜNG ĐẤT

Nguyễn Công Thắng¹, Nguyễn Thái Hoàng¹

Tóm tắt: Việc đo đặc ứng suất trong môi trường đất đóng vai trò quan trọng trong nghiên cứu thiết kế, cũng như đánh giá an toàn công trình. Hiện nay ứng suất trong môi trường đất được xác định nhờ các đầu đo áp lực. Trên thế giới có rất nhiều hãng sản xuất đầu đo áp lực trong môi trường đất, tuy nhiên giá thành tương đối cao, ngoài ra phần lớn các thiết bị này chỉ đo được ứng suất tổng mà và không xác định được thành phần ứng suất hiệu quả. Bài báo trình bày quá trình nghiên cứu chế tạo và hiệu chuẩn đầu đo áp lực trong môi trường đất dạng cảm biến điện trở có thể dùng để xác định giá trị ứng suất tổng và ứng suất hiệu quả.

Từ khóa: đầu đo áp lực, cảm biến điện trở, mô hình số, hiệu chuẩn thiết bị, độ nhạy, giới hạn đo

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thực tế xây dựng các công trình đất cho thấy, một số công trình như đập đá đổ lõi giữa, tường hào bentonite... xuất hiện hiện tượng treo ứng suất. Do vậy, việc đo đặc ứng suất trong môi trường đất đóng vai trò quan trọng trong nghiên cứu thiết kế, cũng như đánh giá an toàn công trình. Hiện nay ứng suất trong môi trường đất được xác định nhờ các đầu đo áp lực.

Đầu đo áp lực trong môi trường đất là thiết bị chuyển tín hiệu từ dạng năng lượng này sang dạng năng lượng khác. Năng lượng có thể có các dạng khác nhau: năng lượng điện, năng lượng cơ học, năng lượng điện từ trường, năng lượng hóa học, năng lượng sóng và nhiệt năng. Các cảm biến áp lực được sử dụng hiện nay tiếp nhận áp lực (dạng năng lượng cơ học) và chuyển thành tín hiệu điện sau đó được hiển thị trên máy đọc từ xa (Agarwal, 2005). Các đầu đo áp lực trong môi trường đất tạo ra tín hiệu điện có cường độ tỷ lệ thuận với giá trị áp lực cần được xác định.

Hiện nay, có rất nhiều loại đầu đo áp lực trong môi trường đất được sử dụng: các loại đầu đo áp lực sử dụng cảm biến điện trở (strain gauge load cell), đầu đo kiểu áp điện (piezoelectric load cell), đầu đo kiểu thủy lực

(hydraulic load cell), đầu đo dạng khí nén (pneumatic load cell) và đầu đo dạng dây rung (vibrating wire load cell).

Đầu đo áp lực trong môi trường đất dạng cảm biến điện trở thường có một tấm màng mỏng, một bên tiếp nhận áp lực cần đo một bên gắn tấm cảm biến điện trở. Cấu tạo của tấm cảm biến điện trở (strain gauge) gồm lớp vỏ bằng giấy cách điện hoặc bằng polyester, một dây điện trở được dán chặt vào giữa hai lớp vỏ và được hàn vào hai dây dẫn điện. Dưới tác dụng của áp lực làm biến dạng tấm màng qua đó làm biến dạng tấm điện trở dẫn đến thay đổi giá trị điện trở của dây dẫn. Sự thay đổi tương đối của điện trở tỉ lệ bậc nhất với sự thay đổi tương đối của chiều dài dây dẫn, tức là tỉ lệ bậc nhất với biến dạng dài tương đối. Như vậy nếu đo được sự thay đổi này thì sẽ xác định được biến dạng dài tương đối qua đó xác định được áp lực.

Đầu đo áp lực trong môi trường đất kiểu áp điện (piezoelectric) hoạt động dựa trên nguyên lý áp điện: Tinh thể áp điện (thạch anh) bình thường không sinh ra điện áp nhưng khi chịu tác dụng của áp lực thì sinh ra điện áp. Đầu đo này thường được sử dụng để đo các tải trọng động (Engineering I.a., 2011).

Đầu đo áp lực trong môi trường đất kiểu thủy lực thường có một piston và một xi lanh. Đầu đo được bơm đầy dầu hoặc một loại chất lỏng khác.

¹ Bộ môn Sức bền - Kết cấu, Trường Đại học Thủy lợi

Dưới tác dụng của áp lực, piston và màng mỏng chuyển động làm gia tăng áp suất của dầu, sự thay đổi áp suất này tạo ra sự thay đổi áp suất trong ống Bourdon được nối trực tiếp với đầu đo (Geokon T.W, 2013).

Đầu đo áp lực trong môi trường đất kiểu khí nén được thiết kế để tự động điều chỉnh sự cân bằng áp suất. Áp lực của khí nén tác dụng vào một bên của màng ngăn và thoát ra qua vòi phun ở dưới đáy của đầu đo. Để xác định áp suất bên trong đầu đo, một đồng hồ đo áp suất được gắn với đầu đo. Độ lệch của màng ngăn ảnh hưởng đến dòng không khí qua vòi phun cũng như áp suất bên trong đầu đo (Harris, et al 1994).

Đầu đo áp lực trong môi trường đất kiểu dây rung sử dụng một dây dao động ở tần số cao, áp lực tác dụng làm thay đổi lực căng của dây, dẫn đến sự thay đổi của tần số dao động. Xác định được sự thay đổi tần số này có thể đo được áp lực tác dụng lên đầu đo.

Hiện nay trên thế giới có rất nhiều hãng sản xuất đầu đo áp lực trong môi trường đất, tuy nhiên giá thành tương đối cao. Ngoài ra phần lớn các thiết bị này chỉ đo được giá trị ứng suất tổng và không xác định được thành phần ứng suất hiệu quả. Để xác định được ứng suất hiệu quả các thiết bị đo này cần phải kết hợp với các thiết bị đo áp lực nước lỗ rỗng (piezometer).

Theo (Jaroslaw Pytko, 2009), điểm hạn chế của các đầu đo dạng dây rung là mối liên hệ phi tuyến giữa tần số dao động và áp lực tác dụng, ngoài ra nó không phù hợp trong các trường hợp có tải trọng động tác dụng do hiện tượng “trễ”.

Điểm hạn chế của các đầu đo dạng thủy lực cũng theo (Jaroslaw Pytko, 2009) có liên quan đến khả năng chịu áp lực của tấm màng mỏng ngăn cách chất lỏng với đất và việc ngăn cản không khí lọt vào hệ thống thủy lực.

Các đầu đo dạng cảm biến điện trở tuy cũng có một số hạn chế liên quan đến độ bền của tấm cảm biến nhưng vẫn vượt trội so với các dạng khác về độ chính xác cũng như phạm vi sử dụng (phù hợp với cả các trường hợp chịu tác dụng của tải trọng tĩnh cũng như tải trọng động).

Trong khuôn khổ bài báo nhóm tác giả sẽ trình bày quá trình nghiên cứu thiết kế để chế

tạo đầu đo áp lực dạng cảm biến điện trở trong môi trường đất.

2. NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VÀ HIỆU CHUẨN ĐẦU ĐO ÁP LỰC TRONG MÔI TRƯỜNG ĐẤT

2.1. Lựa chọn vật liệu chế tạo đầu đo áp lực trong môi trường đất

Đầu đo áp lực trong môi trường đất dạng cảm biến điện trở thường có một tấm màng mỏng, một bên tiếp nhận áp lực cần đo một bên gắn tấm cảm biến điện trở. Theo (Jaroslaw Pytko, 2009) vật liệu chế tạo tấm màng này nên có mô đun biến dạng lớn hơn mười lần so với mô đun biến dạng của đất. Hiện nay có ba loại vật liệu được sử dụng phổ biến để chế tạo tấm màng của đầu đo áp lực dạng cảm biến điện trở là: thép, nhôm và titanium. Các loại vật liệu này phù hợp bởi ngoài các tính chất về cơ học còn có khả năng kết dính tốt với tấm cảm biến điện trở.

Trong ba loại vật liệu này, thép là vật liệu dễ gia công nhất, tuy nhiên mô đun đàn hồi của thép lớn hơn ba lần so với mô đun đàn hồi của nhôm vì thế nếu sử dụng vật liệu thép sẽ có hạn chế về giới hạn đo so với nhôm. Titanium rất phù hợp với các trường hợp chịu tác dụng của tải trọng động nhờ có giới hạn bền cao, tuy nhiên nhược điểm của titanium là khó gia công.

Bảng 2.1. Các đặc trưng cơ bản của cả 3 loại vật liệu trên

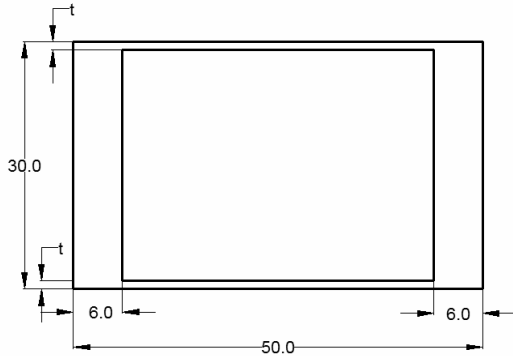
	Thép	Titanium	Nhôm 6061
Mô đun đàn hồi (GPa)	207	118	70
Hệ số Poisson	0.285	0.34	0.34

Nhóm tác giả lựa chọn nhôm 6061 để chế tạo đầu đo trong nghiên cứu của mình.

2.2. Sử dụng mô hình số xác định các kích thước cơ bản của đầu đo áp lực

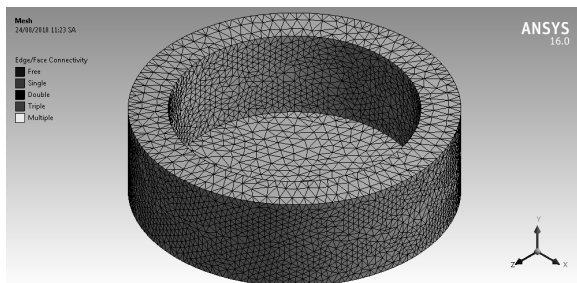
Để có thể xác định thành phần ứng suất hiệu quả, đầu đo được chế tạo dạng hình trụ tròn có hai đáy được dát mỏng là nơi gắn các tấm cảm biến điện trở, một đầu sẽ dùng để đo ứng suất tổng, đầu còn lại dùng để xác định áp lực nước lỗ rỗng. Các

tấm cảm biến điện trở được gắn bên trong đầu đo tại vị trí có biến dạng lớn nhất của hai đáy, vị trí này sẽ được xác định nhờ mô hình số. Kích thước đầu đo được chế tạo càng nhỏ càng tốt, tuy nhiên vẫn phải đảm bảo có thể gia công gắn các tấm cảm biến điện trở vào bên trong.



Hình 2.1. Hình chiếu cạnh của đầu đo

Độ dày t của hai đáy có ảnh hưởng rất lớn đến độ nhạy cũng như giới hạn đo. Để xác định độ dày này nhóm tác giả tiến hành nghiên cứu trạng thái ứng suất biến dạng của đầu đo trên mô hình số bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Do tính chất đối xứng về mặt hình học nghiên cứu được tiến hành cho sơ đồ một nửa với ba giá trị độ dày t : 0,3mm; 0,5mm; 1mm. Lưới phần tử của bài toán được thể hiện ở hình 2.2:



Hình 2.2. Lưới phần tử và hệ trục tọa độ

Bảng 2.2. Bảng tổng hợp kết quả cho trường hợp $t = 1\text{mm}$

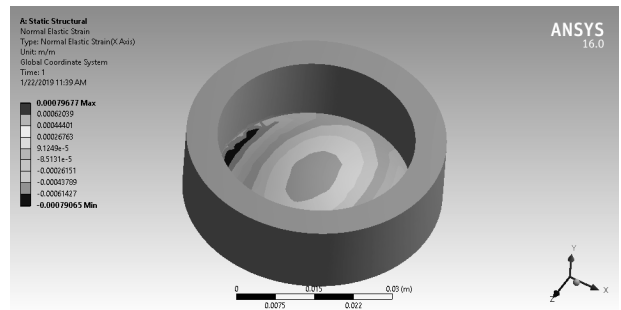
q (Mpa)	0.1	0.2	0.5	1
ϵ_x	2,656E-04	7,968E-04	13,279E-04	26,559E-04
σ_{eq} (Mpa)	20,492	61,477	102,46	204,92

b) Trường hợp $t = 0,5\text{mm}$; tính toán với các trường hợp tải trọng phân bố đều $q = 0,01\text{Mpa}$; 0,05Mpa; 0,1Mpa; 0,2Mpa.

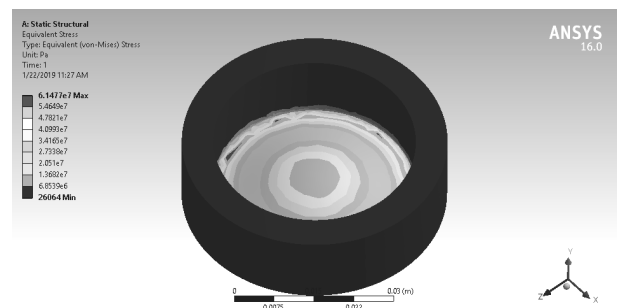
Ứng với các giá trị tải trọng khác nhau, bằng mô hình số tìm ra giá trị ứng suất lớn nhất và giá trị biến dạng lớn nhất.

a) Trường hợp $t = 1\text{mm}$; tính toán với các trường hợp tải trọng phân bố đều $q = 0,1\text{Mpa}$; 0,3Mpa; 0,5Mpa; 1Mpa.

Hình 2.3 và 2.4 thể hiện kết quả tính toán cho trường hợp $q = 0,3\text{Mpa}$.

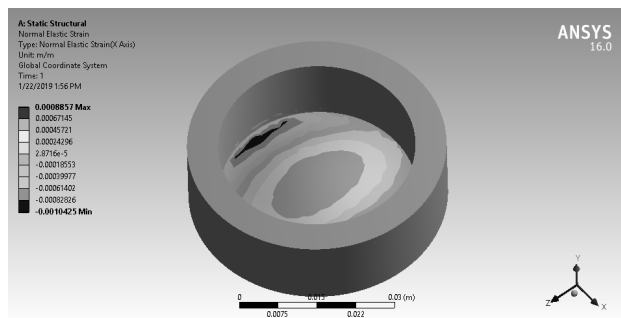


Hình 2.3. Biến dạng tương đối theo phương X , ϵ_x trường hợp $q=0,3\text{Mpa}$

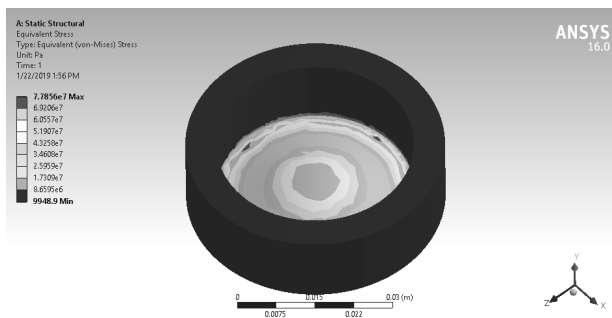


Hình 2.4. Ứng suất lớn nhất theo Von-mises, trường hợp $q=0,3\text{Mpa}$

Hình 2.5 và 2.6 thể hiện kết quả tính toán cho trường hợp $q = 0,1\text{Mpa}$.



Hình 2.5. Biến dạng tương đối theo phương X , ϵ_x trường hợp $q=0,1\text{Mpa}$



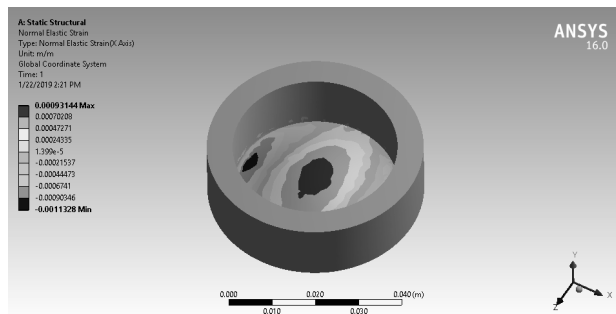
Hình 2.6. Ứng suất lớn nhất theo Von-mises, trường hợp $q=0,1\text{Mpa}$

Bảng 2.3. Bảng tổng hợp kết quả cho trường hợp $t = 0,5\text{mm}$

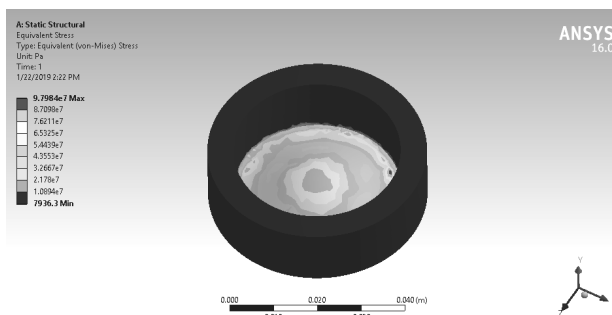
q (Mpa)	0,01	0,05	0,1	0,2
ϵ_x	0,886E-05	4,429E-04	8,857E-04	1,771E-03
σ_{eq} (Mpa)	7,786	38,928	77,856	155,71

c) Trường hợp $t = 0,3\text{mm}$; tính toán với các trường hợp tải trọng phân bố đều $q = 0,01\text{Mpa}$; $0,03\text{Mpa}$; $0,05\text{Mpa}$; $0,1\text{Mpa}$.

Hình 2.7 và 2.8 thể hiện kết quả tính toán cho trường hợp $q = 0,05\text{Mpa}$.



Hình 2.7. Biến dạng tương đối theo phương X , ϵ_x trường hợp $q=0,05\text{Mpa}$



Hình 2.8. Ứng suất lớn nhất theo Von-mises, trường hợp $q=0,05\text{Mpa}$

Như vậy với các mục đích đo khác nhau, phụ thuộc vào giới hạn đo cũng như độ nhạy cần thiết có thể lựa chọn độ dày thích hợp cho đầu đo áp lực.

Bảng 2.4. Bảng tổng hợp kết quả cho trường hợp $t = 0,3\text{mm}$

q (Mpa)	0,01	0,03	0,05	0,1
ϵ_x	0,186E-03	0,559E-03	0,931E-03	1,863E-03
σ_{eq} (Mpa)	19,597	58,79	97,984	195,97

2.3. Chế tạo đầu đo áp lực trong môi trường đất

Dựa vào kết quả tính toán trên mô hình số ta xác định được điểm có biến dạng dài tương đối lớn nhất là tâm của đáy, biến dạng này tỷ lệ thuận với áp lực tác dụng. Ứng với các chiều dày khác nhau của tấm màng đầu đo áp lực

chúng ta sẽ thiết lập được đồ thị biểu diễn mối quan hệ này. Như vậy chỉ cần đo được biến dạng tại vị trí tâm của đáy đầu đo áp lực, chúng ta sẽ xác định được áp lực cần đo.

Sử dụng nhôm 6061 chế tạo vỏ đầu đo áp lực trong môi trường đất với đáy được dát mỏng, chiều dày hai đáy $t=0,5\text{mm}$. Các tấm cảm biến

điện trở được gắn vào tâm của hai đáy, với mỗi tấm điện trở gắn thêm một điện trở bù nhiệt để loại bỏ ảnh hưởng của thay đổi nhiệt độ đến kết quả đo biến dạng.



Hình 2.9. Đầu đo áp lực trong môi trường đất

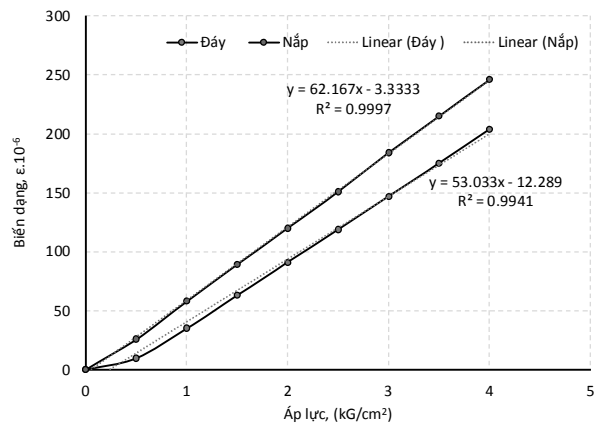
2.4. Hiệu chỉnh đầu đo áp lực trong môi trường đất

Để có thể áp dụng vào thực tế cần xây dựng trước đường quan hệ giữa biến dạng tại vị trí tâm của hai đáy và áp lực tác dụng. Tiến hành thí nghiệm với đầu đo vừa chế tạo, kết quả được thể hiện ở bảng 2.5:

Bảng 2.5. Mối liên hệ giữa kết quả đo biến dạng và áp lực từ thực nghiệm

Áp lực (kG/cm ²)	Biến dạng thực nghiệm ($\epsilon \cdot 10^{-6}$)	
	Đáy	Nắp
0	0	0
0.5	10	26
1	35	58
1.5	63	89
2	91	120
2.5	119	151
3	147	184
3.5	175	215
4	204	246

Kết quả thu được từ bảng trên có thể biểu diễn dưới dạng đồ thị, thích hợp cho việc xác định nhanh giá trị áp lực từ kết quả đo biến dạng. Trên đồ thị hình 2.10, đường nét liền thể hiện các giá trị đo từ thực nghiệm, mối quan hệ giữa biến dạng và áp lực từ thực nghiệm này có thể xem gần đúng là quan hệ tuyến tính với sai số rất nhỏ được thể hiện bằng đường nét đứt thuận tiện cho việc áp dụng trực tiếp tại hiện trường.



Hình 2.10. Đồ thị biểu diễn mối liên hệ giữa kết quả đo biến dạng và áp lực

3. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày quá trình nghiên cứu chế tạo và hiệu chỉnh đầu đo áp lực trong môi trường đất dạng cảm biến điện trở.

Loại đầu đo áp lực được chế tạo có hai đầu, một đầu có thể dùng để xác định ứng suất tổng đầu còn lại có thể dùng để xác định áp lực nước lỗ rỗng qua đó xác định được giá trị ứng suất hiệu quả. Ngoài ra kết quả đo không bị ảnh hưởng bởi sự thay đổi nhiệt độ môi trường.

Giới hạn đo và độ nhạy yêu cầu có thể dễ dàng đáp ứng bằng việc thay đổi độ dày của tấm màng. Kết quả tính toán được xác định bằng mô hình số sau đó được hiệu chỉnh bằng thực nghiệm nên đảm bảo độ chính xác cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Agarwal A. (2005), “*Foundations of Analog and Digital Electronic Circuits*”, Solutions to Exercises and Problems, 2005, pp. 43-50.
- Engineering I. a. (2011), “*Load cell and Load cell types*”, Retrieved January 2015, pp.26, from <http://instrumentationandcontrollers.blogspot.de/2010/11/load-cell-and-load-celltypes.html>
- Geokon T.W. (2013), “*Instruction Manual, Model 3500, 3510, 3515, 3600, Earth Pressure Cells*”, Lebanon, USA: Geokon.
- Harris H.D, Bakker D.M. (1994), “*A soil stress transducer for measuring in situ soil stresses*”, Soil & Tillage Research 29, pp. 35-48.
- Jaroslav Pytka. (2009), “*Design considerations and calibration of stress transducers for soil*”, Journal of Terramechanics 46, pp 241-249.

Abstract:

RESEARCH AND MANUFACTURING OF SOIL STRESS TRANSDUCERS

Stress measurement in the soil environment plays an important role in construction design as well as its safety assessment. Currently, stresses in the soil environment are measured by soil stress transducers. Although there are numerous manufacturers of soil stress transducer in the world, the price is relatively high. In addition, most of these devices can only measure the total stress but can not determine effective stress. This paper aims at presenting the processes of researching, manufacturing as well as calibrating the stress transducers in the soil environment, which use strain gauges to determine the values of effective and total stresses.

Keywords: stress transducer, strain gauge, numerical model, device calibration, sensitivity, measurement limit.

Ngày nhận bài: 20/3/2019

Ngày chấp nhận đăng: 17/4/2019