



KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC VIETGEO 2023
THỪA THIÊN HUẾ, NGÀY 28 & 29 THÁNG 9 NĂM 2023

ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ MÔI TRƯỜNG PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

MỤC LỤC

Chủ đề I. ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ ĐỊA CHẤT THỦY VĂN

- NGUỒN HÌNH THÀNH TRỮ LƯỢNG NƯỚC DƯỚI ĐẤT VÙNG ĐỒNG BẰNG TỈNH HÀ TĨNH
Dương Thị Thanh Thủy, Hoàng Thăng Long.....6
- NGHIÊN CỨU ỨNG XỬ CƠ HỌC CỦA VỎ TRỐNG HAI ĐƯỜNG HẸM VÀ KẾT CẤU NGẦM
CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG LÂN CẬN TRONG ĐÔ THỊ
Đỗ Ngọc Thái, Nguyễn Thế Mộc Chân..... 12
- PHÂN TÍCH CHỌN THÔNG SỐ THÍ NGHIỆM BA TRỤC ĐỘNG PHÙ HỢP CHO CÔNG TRÌNH
ĐIỆN GIÓ Ở VIỆT NAM
Nguyễn Văn Phóng, Đỗ Hồng Thăng21
- NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ THẨM NƯỚC NGẦM TRONG CÁC LỚP ĐẤT ĐÁ TỚI SỰ
ỔN ĐỊNH CỦA HỒ MÓNG TẦNG HẦM NHÀ CAO TẦNG TẠI VIỆT NAM
Nguyễn Chí Thành.....31
- NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ, NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC VÀ MỘT SỐ YẾU TỐ
CHÍNH ẢNH HƯỞNG ĐẾN SỰ LÀM VIỆC CỦA TƯỜNG CHẮN ĐẤT CỘT LƯỚI ĐỊA KỸ THUẬT
Phạm Văn Hùng, Vũ Minh Ngạn, Phạm Minh Tuấn, Mai Văn Toàn.....41
- PHÂN NHÓM SUY THOẢI NGUỒN NƯỚC MẠCH LỘ KARST VÙNG NÚI CAO, KHAN HIỀM
NƯỚC KHU VỰC MIỀN NÚI BẮC BỘ
*Đào Đức Bằng, Nguyễn Văn Trãi, Nguyễn Minh Việt, Nguyễn Văn Lâm, Trần Vũ Long,
Kiều Thị Vân Anh, Vũ Thu Hiền, Dương Thị Thanh Thủy, Đỗ Anh Đức, Bùi Mạnh Bằng,
Nguyễn Văn Thắng*50
- ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG ĂN MÒN CỦA NƯỚC NGẦM ĐỐI VỚI CÁC KẾT CẤU BÊ TÔNG MÓNG
CÔNG TRÌNH KHU VỰC ĐỒNG BẰNG VEN BIỂN PHÍA BẮC TỈNH QUẢNG TRỊ
*Hoàng Ngô Tự Do, Trần Thị Ngọc Quỳnh, Nguyễn Thị Thanh Nhân, Hoàng Hoa Thám,
Lê Thanh Phong*.....57
- NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH PHƯƠNG ÁN THOÁT NƯỚC MỎ THAN TRĂNG BẠCH,
ĐÔNG TRIỀU, QUẢNG NINH PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG
Trần Quang Tuấn..... 67
- MỘT SỐ VẤN ĐỀ LIÊN QUAN ĐẾN VIỆC LỰA CHỌN TUYẾN KHI THIẾT KẾ ĐƯỜNG
Ô TÔ XÂY DỰNG MỚI QUA VÙNG ĐÔI NÚI THEO HƯỚNG TIẾP CẬN MỚI
Nguyễn Đức Dăm, Nguyễn Đức Mạnh, Phạm Thái Bình 77
- XÁC ĐỊNH TỐC ĐỘ NGẦM TRONG ĐỐI KHÔNG BẢO HÒA CỦA CÁC THÀNH TẠO BỎ RỜI
PHỤC VỤ NGHIÊN CỨU MỘT SỐ THÔNG SỐ DỊCH CHUYỂN KIM LOẠI NẶNG VÀO TẦNG
CHỨA NƯỚC
*Trần Quang Tuấn, Đào Đức Bằng, Trần Vũ Long, Nguyễn Văn Lâm, Kiều Thị Vân Anh,
Vũ Thu Hiền, Dương Thị Thanh Thủy, Nguyễn Bách Thảo, Nguyễn Thanh Minh*.....86
- VỀ CÔNG TÁC ĐÁNH GIÁ CHỈ TIÊU CHẤT LƯỢNG KHÓI ĐÁ RQD BẰNG MÁY GHI HÌNH LỖ
KHOAN KHẢO SÁT
Đào Viết Đoàn96

PHÂN TÍCH CHỌN THÔNG SỐ THÍ NGHIỆM BA TRỤC ĐỘNG PHÙ HỢP CHO CÔNG TRÌNH ĐIỆN GIÓ Ở VIỆT NAM

Nguyễn Văn Phóng^{1,2*}, Đỗ Hồng Thắng³

¹Trường Đại học Mở - Địa chất

²Nhóm nghiên cứu Địa chất công trình và Địa môi trường (EEG), HUMG

³Công ty Cổ phần Khảo sát thiết kế xây dựng Đất Việt

*Tác giả chịu trách nhiệm: nvphong.dcct@gmail.com

Tóm tắt

Trong những năm gần đây, năng lượng điện gió có những bước phát triển mạnh mẽ ở Việt Nam. Trụ điện gió thuộc loại công trình có tải trọng động nên việc tính toán thiết kế nền móng liên quan đến tính chất cơ học động của đất nền. Phương pháp thí nghiệm ba trục động được sử dụng phổ biến để xác định các đặc trưng cơ học động của đất. Tuy nhiên, tải trọng động của trụ điện gió có nhiều đặc điểm mang tính đặc thù như tần số, thời gian tác dụng (khác với tải trọng động do động đất khi tính toán nhà cao tầng). Do đó, khi áp dụng các tiêu chuẩn về thí nghiệm ba trục động gặp nhiều khó khăn trong việc lựa chọn sơ đồ, thông số thí nghiệm phù hợp với bài toán. Báo cáo dựa trên việc tổng hợp, phân tích lý thuyết và thực nghiệm để đưa ra chỉ dẫn kỹ thuật, chọn thông số thí nghiệm ba trục động phù hợp với công trình điện gió trong điều kiện Việt Nam. Nội dung báo cáo không chỉ đưa ra thủ tục, quy trình thí nghiệm theo các tiêu chuẩn ASTM D3999, ASTM D5311, mà còn đưa ra chỉ dẫn lựa chọn thông số, sơ đồ thí nghiệm phù hợp với ba loại đất: đất rời, đất dính và đất yếu. Trong đó, các thông số thí nghiệm ở các bước chế bị, bão hòa và cố kết mẫu được đề xuất theo thành phần và trạng thái của mẫu; các thông số ở bước gia tải được đưa ra theo mô hình bài toán và loại đất.

Từ khóa: ba trục động; biến dạng động; độ bền động; thông số thí nghiệm; điện gió.

1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, năng lượng tái tạo nói chung, điện gió nói riêng đã và đang có những bước phát triển mạnh mẽ ở nhiều nước trên thế giới. Việt Nam được coi là nước có nguồn tài nguyên gió tốt nhất Đông Nam Á, đặc biệt là ở các vùng ven biển ở phía Nam Việt Nam với tốc độ gió trung bình hàng năm là 9 đến 10 mét/giây. Với bờ biển dài hơn 3.000 km, tiềm năng phát triển và sản xuất điện gió của Việt Nam là rất lớn. Bộ Công Thương, với sự hỗ trợ của Ngân hàng Thế giới, đã phát hành Bản đồ Tài nguyên Gió vào năm 2011. Trong đó xác định tiềm năng khoảng 24 GW năng lượng gió có thể khai thác ở các vùng Nam Trung Bộ và Đồng bằng sông Cửu Long của Việt Nam. Do đó, nhiều trang trại điện gió đã, đang và sẽ được xây dựng ở nước ta nhờ ưu thế vượt trội mà nó mang lại so với thủy điện và nhiệt điện.

Tháp điện gió thuộc loại công trình có hình dạng và cấu tạo đặc biệt (dạng cột mảnh có khối nặng quay ở trên cùng), rất nhạy cảm về mặt động lực học. Ngoài trọng lượng bản thân toàn bộ hệ thống, có bốn tải trọng chính tác động lên tháp điện gió gồm: gió, sóng, tải 1P (tần số rôto) và 2P/3P (tần số cánh quạt). Do vậy, đặc điểm tải trọng động của tháp điện gió có đặc thù riêng, phức tạp. Nhiệm vụ của móng tháp điện gió là truyền tải trọng của kết cấu bên trên xuống nền đất an toàn. Để giải quyết được nhiệm vụ đặt ra, việc thiết kế nền móng cần dựa trên các thông số động học của đất nền phù hợp với bài toán thực tế (Subhamoy Bhattacharya, 2019).

Các thông số động học của đất nền gồm các chỉ tiêu liên quan đến độ bền động (hoặc khả năng hóa lỏng) và biến dạng động. Hiện nay, có nhiều phương pháp xác định các thông số này, nhưng phương pháp ba trục động (Cyclic Triaxial Test) được sử dụng phổ biến nhất do dễ dàng mô phỏng điều kiện thực tế và cho phép thí nghiệm trong khoảng biến dạng nhỏ đến biến dạng lớn. Trong những năm gần đây, một số thiết bị ba trục động đã được nhập vào Việt Nam và đã tham gia triển khai một số dự án liên quan đến thiết kế nhà cao tầng chống động đất và tháp điện

gió. Các tiêu chuẩn về thí nghiệm ba trục động được áp dụng ở nước ta (được tư vấn thiết kế nước ngoài chấp nhận) gồm: tiêu chuẩn ASTM D5311 - Xác định độ bền và khả năng hóa lỏng của đất; Tiêu chuẩn ASTM D3999 - Xác định môđun và hệ số giảm chấn của đất. Nhìn chung, quy trình thí nghiệm theo các tiêu chuẩn này đều gồm 4 bước là chế bị, bão hòa, cố kết mẫu và gia tải. Để có kết quả phù hợp với điều kiện thực tế thì việc lựa chọn các thông số thí nghiệm là đặc biệt quan trọng. Các thông số thí nghiệm phụ thuộc vào thành phần, trạng thái, tính chất của đất và đặc điểm tải trọng động. Tuy nhiên, quá trình áp dụng thực tế, đặc biệt với công trình điện gió còn gặp nhiều khó khăn do thiếu kinh nghiệm và cơ sở lựa chọn.

Nội dung báo cáo giới thiệu quy trình thí nghiệm theo các tiêu chuẩn ASTM D3999, ASTM D5311 và đưa ra chỉ dẫn lựa chọn thông số, sơ đồ thí nghiệm phù hợp dựa trên việc tổng hợp, phân tích lý thuyết và thực nghiệm cho ba loại đất: đất rời, đất dính và đất yếu.

2. Quy trình và các thông số thí nghiệm ba trục động

Do có rất nhiều loại thiết bị ba trục hiện đang được sử dụng, nên các tiêu chuẩn ASTM D3999, ASTM D5311 đưa ra quy trình mang tính chung nhất đối với bất kỳ loại thí nghiệm ba trục động. Thủ tục thí nghiệm theo cả hai tiêu chuẩn này đều có bốn bước là chế bị (với đất rời), bão hòa, cố kết mẫu và gia tải chu kỳ. Chỉ dẫn kỹ thuật chi tiết được đưa ra trong các tiêu chuẩn này. Ở đây, báo cáo trình bày các thủ tục và thông số cơ bản.

2.1. Quy trình thí nghiệm

a) Chuẩn bị - chế bị mẫu

- Chuẩn bị mẫu đất dính: Với đất dính, việc lấy mẫu về phòng thí nghiệm để đảm bảo trạng thái tự nhiên của mẫu. Do vậy, công việc chủ yếu ở bước này là cắt gọt mẫu theo đúng kích thước quy định bằng khuôn cắt mẫu chuyên dụng sao cho đảm bảo ít tác động nhất đến trạng thái mẫu. Quy định khuôn mẫu có đường kính tối thiểu 51 mm và chiều cao bằng từ 2,0 đến 2,5 lần đường kính mẫu.

- Chế bị mẫu với đất rời: Việc chế bị mẫu đất rời có ba phương pháp: phương pháp rót khô; phương pháp trầm tích trong nước và phương pháp đầm ầm. Công tác chế bị mẫu phải đảm bảo mẫu chế bị phải đồng nhất về sự phân bố hệ số rỗng tại các vị trí và có độ chặt tương đương với trạng thái tự nhiên của nó.

b) Bão hòa mẫu

Tùy theo mục đích nghiên cứu, mẫu có thể được bão hòa và cố kết hoặc để ở trạng thái tự nhiên trước khi gia tải. Trước khi bão hòa, mẫu được tạo lực hút chân không 35 kPa. Quá trình bão hòa được thực hiện bằng cách tăng đồng thời áp lực buồng (σ_3) và áp lực ngược (σ_{back}), với độ chênh áp lực buồng - ngược ($\sigma_r = \sigma_3 - \sigma_{back}$) bằng (10 - 20) kPa. Sau khi trị số áp lực ổn định, tiến hành điền nước vào mẫu bằng cách mở van để nước chảy qua dụng cụ đo thể tích vào mẫu từ đường áp lực ngược. Quá trình bão hòa được tiến hành cho đến khi độ bão hòa (B) đạt trên 90% ($B = \Delta u / \Delta \sigma_3 \geq 0,95$; $\Delta \sigma_3$ là gia số áp lực buồng và Δu là độ gia tăng áp lực nước lỗ rỗng). Nếu độ bão hòa B chưa đạt yêu cầu thì quá trình gia tăng áp lực buồng - ngược và điền nước lại được tiếp tục cho đến khi đạt.

c) Cố kết mẫu

Quá trình cố kết mẫu là một khâu quan trọng nhằm khôi phục trạng thái của mẫu tự nhiên hoặc trạng thái mẫu dự đoán. Quá trình này được thực hiện bằng cách tăng áp lực buồng cho đến khi đạt áp lực cố kết (σ_c) yêu cầu. Áp lực cố kết là hiệu giữa áp lực buồng và áp lực ngược ($\sigma_c = \sigma_3 - \sigma_{back}$). Quá trình cố kết kết thúc khi độ cố kết lớn hơn 90%.

d) Gia tải

Tải trọng động được chọn là tải trọng điều hòa (chu kỳ điều hòa) với tần số $f = 0,1 - 2$ Hz tùy theo loại và đặc điểm của tải trọng động. Bước gia tải có thể thực hiện theo một trong hai sơ đồ:

- Sơ đồ A - điều khiển tải trọng: điều kiện tải trọng được giữ không đổi trong quá trình thí nghiệm. Biên độ ứng suất chu kỳ ($\Delta\sigma_a$) được xác định theo tỷ số ứng suất mong muốn CSR (desired Cyclic Stress ratio), với CSR được xác định theo biểu thức:

$$CSR = \frac{\Delta\sigma_a}{2\sigma_c} \tag{1}$$

với σ_c là ứng suất cố kết hiệu quả.

Việc xác định CSR phụ thuộc vào loại thí nghiệm và mục đích nghiên cứu.

- Sơ đồ B - điều khiển biến dạng: Biên độ biến dạng dọc trục ($\Delta\varepsilon_a$) được giữ không đổi. Việc lựa chọn cho thí nghiệm phụ thuộc vào đặc điểm tải trọng động, loại đất và mục đích nghiên cứu.

Theo ASTM D3999, số chu kỳ thí nghiệm là $N = 40$ chu kỳ. Theo ASTM D5311, số chu kỳ thí nghiệm là $N = 500$ chu kỳ hoặc khi trạng thái phá hủy mẫu được xác định.

2.2. Các thông số thí nghiệm

Trong thủ tục thí nghiệm ba trục động, mỗi bước đều có các thông số thí nghiệm cần lựa chọn và yêu cầu kỹ thuật cần đảm bảo. Theo chỉ dẫn kỹ thuật từ hai tiêu chuẩn ASTM, về cơ bản các thông số và yêu cầu kỹ thuật được nêu ra khá rõ ràng. Tuy nhiên, việc lựa chọn thông số thí nghiệm cần phân tích, làm rõ cơ sở để áp dụng cho phù hợp với bài toán thực tế. Tổng hợp các thông số và yêu cầu kỹ thuật trong thí nghiệm ba trục động được đưa ra trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số và yêu cầu kỹ thuật trong thủ tục thí nghiệm ba trục động

Thủ tục thí nghiệm	Thông số thí nghiệm	Yêu cầu	Vấn đề cần phân tích
- Chuẩn bị mẫu đất dính	- D, H	- Đảm bảo trạng thái tự nhiên;	- Không
- Chế bị mẫu đất rời	- G_{dry} , D, H, w, e_{max} , e_{min} , D_{r0}	- Đảm bảo độ chặt yêu cầu D_{r0} ; $D > 51$ mm; $H/D = 2 \div 2,5$	- Phương pháp chế bị và lượng cát G_w , G_{dry} ?
Bảo hòa mẫu	σ_3 , σ_{back} , σ_r , B, $\Delta\sigma_{back}$	Đảm bảo phân rỗng trong đất được lấp đầy nước	Gia số áp lực ngược $\Delta\sigma_{back}$ và trị số áp lực ngược tối thiểu
Cố kết mẫu	σ_3 , σ_{back} , σ_c	Độ cố kết $> 90\%$	Không
Gia tải chu kỳ	f, $\Delta\sigma_a$, $\Delta\varepsilon_a$, CSR, N	Phù hợp với đặc điểm tải trọng động và ứng xử thực tế của đất nền	Cơ sở lựa chọn các thông số thí nghiệm (f, $\Delta\sigma_a$, $\Delta\varepsilon_a$, CSR, N)

Ghi chú: D, H tương ứng là đường kính và chiều cao của mẫu (khuôn); G_{dry} là khối lượng cát khô cần cho vào khuôn; w là độ ẩm của cát đem chế bị (khi đảm ẩm); e_{max} , e_{min} tương ứng là hệ số rỗng lớn nhất, nhỏ nhất của cát; D_{r0} là độ chặt yêu cầu.

3. Lựa chọn các thông số thí nghiệm ba trục động phù hợp với công trình điện gió ở Việt Nam

Việc lựa chọn thông số thí nghiệm rất quan trọng nhằm đảm bảo yêu cầu kỹ thuật và có được kết quả phù hợp với điều kiện thực tế về tải trọng động và đất nền. Đặc điểm tải trọng động công trình điện gió rất phức tạp, có đặc thù riêng nên việc lựa chọn các thông số thí nghiệm cần dựa trên cơ sở lý thuyết và cơ sở thực nghiệm.

3.1. Cơ sở lý thuyết lựa chọn thông số thí nghiệm

Về mặt lý thuyết, thông số thí nghiệm ba trục động là các thông số cài đặt trong các bước thí nghiệm nhằm đảm bảo khôi phục trạng thái của mẫu và mô phỏng ứng suất động gây ra bởi tải trọng công trình. Các thông số này phụ thuộc vào đặc điểm đất nền, đặc điểm tải trọng động và điều kiện tồn tại cũng như trạng thái ứng suất.

a) Thành phần, trạng thái, tính chất của đất: Đây là yếu tố phản ánh tính chất xây dựng của đất. Theo tính chất xây dựng, có thể phân biệt ba loại đất là đất dính, đất rời và đất yếu (trên cơ

sở phân loại đất của F.P Xavarenxki). Loại đất quyết định đến phương pháp chuẩn bị - chế bị mẫu, các thông số bão hòa mẫu (σ_3 , σ_{back} , σ_r và $\Delta\sigma_{back}$) và biên độ biến dạng ($\Delta\varepsilon_a$ - khi thí nghiệm theo sơ đồ B), cụ thể như sau:

- Đất dính gồm sét, á sét, á cát có trạng thái từ cứng đến dẻo mềm. Việc lấy và bảo quản tính nguyên trạng của mẫu khá dễ dàng, không cần khôi phục trạng thái tự nhiên nên có thể bỏ qua bước bão hòa, cố kết mẫu, trừ trường hợp có yêu cầu đặc biệt. Bước chuẩn bị mẫu (cắt gọt mẫu) được thực hiện bằng bộ dụng cụ chuyên dụng. Trường hợp cần bão hòa mẫu, có thể chọn các thông số bão hòa mẫu (σ_{back} , σ_r và $\Delta\sigma_{back}$) ở ngưỡng lớn do đất dính có gradien thủy lực thẩm ban đầu (I_0) và áp lực tiền cố kết (p_c) tương đối lớn (so với đất yếu).

- Đất yếu gồm sét, á sét, á cát có trạng thái từ dẻo chảy đến chảy. Việc đảm bảo tính nguyên trạng của mẫu thường khó khăn nên cần bão hòa, cố kết mẫu nhằm khôi phục lại trạng thái tự nhiên hoặc trạng thái dự đoán của mẫu (sau xử lý đất yếu). Các thông số bão hòa mẫu cần chọn sao cho không phá hủy kết cấu của mẫu: σ_r phải nhỏ hơn p_c ; trị số σ_{back} ban đầu và gia số $\Delta\sigma_{back}$ cần được chọn ở ngưỡng nhỏ theo quy định của tiêu chuẩn.

- Đất rời gồm các loại đất cát không hoặc có lẫn sạn sỏi, nhưng kích thước hạt lớn nhất phải nhỏ hơn 1/6 đường kính mẫu. Với đất rời, trong thực tế không thể đảm bảo tính nguyên trạng của mẫu. Vì vậy, việc thí nghiệm được thực hiện trên mẫu chế bị với yêu cầu đảm bảo phù hợp với thực tế. Việc khôi phục, mô phỏng lại điều kiện thực tế của mẫu đất rời (lấy tại độ sâu thực tế) bao gồm độ ẩm, độ chặt và trạng thái ứng suất được thực hiện qua 3 bước là chế bị, bão hòa và cố kết với phương pháp chế bị, thông số thí nghiệm phù hợp.

Việc lựa chọn thông số biên độ biến dạng ($\Delta\varepsilon$) cho sơ đồ thí nghiệm B (điều khiển biến dạng) phụ thuộc lớn vào loại đất. Theo Vucetic M. (1994), biến dạng động của đất được chia ra ba mức độ: biến dạng rất nhỏ (biến dạng đàn hồi); biến dạng nhỏ; biến dạng vừa đến lớn. Các mức biến dạng rất nhỏ và biến dạng nhỏ được giới hạn bởi ngưỡng biến dạng thể tích (ε_{IV}). Khi biến dạng động của đất nhỏ hơn ε_{IV} , đất không có sự thay đổi đáng kể về thể tích và áp lực nước lỗ rỗng, biến dạng của đất được xem là ổn định. Bài toán đặt ra là cần xác định các đặc trưng biến dạng động (môđun và hệ số giảm chấn - theo ASTM D3999). Do đó, cần lựa chọn $\Delta\varepsilon \leq \varepsilon_{IV}$ cho thí nghiệm. Khi biến dạng vượt quá ε_{IV} (mức biến dạng vừa đến lớn), biến dạng của đất không ổn định, có sự thay đổi thể tích và gia tăng đáng kể áp lực nước lỗ rỗng. Khi đó, bài toán cần xác định đặc trưng độ bền động (theo ASTM D5311). Tuy nhiên, mỗi loại đất lại có các ngưỡng biến dạng riêng. Do đó, cần có các nghiên cứu thực nghiệm làm cơ sở để xác định mức độ biến dạng cho phù hợp với bài toán thực tế.

b) Đặc điểm tải trọng động: Đặc điểm tải trọng động quyết định đến các thông số thí nghiệm ở bước gia tải bao gồm: tần số (f), biên độ ($\Delta\sigma_a$, $\Delta\varepsilon_a$ hoặc CSR) và thời gian tác dụng (N). Việc lựa chọn các thông số này dựa trên các phân tích, tính toán sự lan truyền ứng suất động trong nền đất. Tải trọng động tác động lên tháp điện gió gồm: gió, sóng, tải 1P (tần số rôto) và 2P/3P (tần số cánh quạt). Do vậy, ứng suất động lan truyền trong nền đất là kết quả tác động lên tháp điện gió của tổ hợp tải trọng trên. Các tải trọng này mặc dù thuộc tải trọng tạm thời, nhưng có thời gian tác dụng lâu dài (khác với động đất, thuộc tải trọng tạm thời ngắn hạn), nên số chu kỳ thí nghiệm lớn hơn so với động đất.

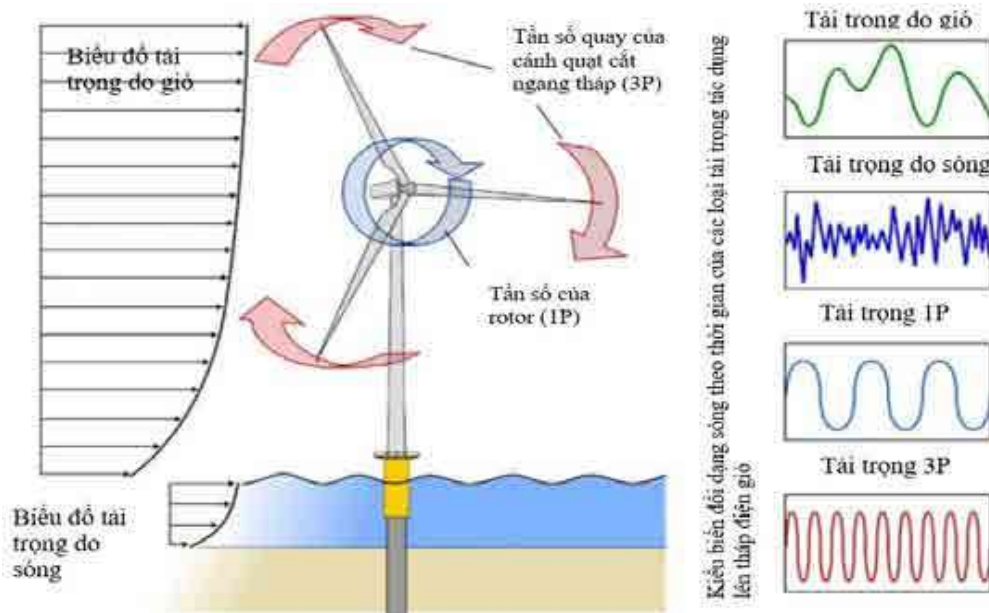
c) Điều kiện tồn tại và trạng thái ứng suất thực tế: Điều kiện tồn tại của đất trong cấu trúc nền quyết định đến điều kiện thoát nước. Nhưng nhìn chung, ứng xử của đất với tải trọng động thường được xem xét trong điều kiện không thoát nước. Trạng thái ứng suất thực tế bao gồm áp lực địa tầng và áp lực nước lỗ rỗng. Các thông tin này là cơ sở lựa chọn các thông số về áp lực (σ_3 , σ_{back} , σ_c) khi bão hòa, cố kết mẫu. Trong đó, σ_3 được xác định từ áp lực địa tầng; σ_{back} chọn theo áp lực nước lỗ rỗng tại vị trí lấy mẫu, từ đó tính được σ_c cho thí nghiệm.

3.2. Cơ sở thực nghiệm lựa chọn thông số thí nghiệm

Việc phân tích lý thuyết đã cho phép xác định được cụ thể một số thông số thí nghiệm và khoanh được phạm vi lựa chọn các thông số thí nghiệm khác. Các nghiên cứu thực nghiệm sẽ bổ sung thông tin, cho phép người thí nghiệm có thêm cơ sở lựa chọn các thông số thí nghiệm phù hợp hơn. Trong đó, những nội dung quan trọng trong nghiên cứu thực nghiệm là xác định được mô hình tải trọng phù hợp với tổ hợp tải trọng động của tháp điện gió và các sơ đồ, thông số thí nghiệm phù hợp với mỗi loại đất.

3.2.1. Xác định thông số tải trọng cho tổ hợp tải trọng động tác dụng lên tháp điện gió

Các tháp điện gió, do hình dạng và đặc điểm cấu tạo (cột mảnh có khối lượng nặng cũng như có khối quay ở trên), rất nhạy cảm với tải động. Tần số riêng của kết cấu thanh mảnh mai rất gần với tần số kích thích do tải trọng động cơ học và môi trường gây ra. Mục đích của móng là chuyển tải trọng của hệ kết cấu bên trên xuống nền đất một cách an toàn. Do đó, cần phải xem xét các tải tác động lên kết cấu tháp điện gió. Ngoài trọng lượng bản thân của toàn bộ hệ thống (tải tĩnh), có bốn loại tải trọng động chính tác động (hình 1): (1) tải trọng gió, (2) sóng, (3) 1P (tần số rôto) và (4) 3P (tần số cánh quạt). Phân phối thực tế của bốn loại tải trọng động được biểu diễn trên hình 1 (Bhattacharya, S., 2019).



Hình 11. Phân phối thực tế của bốn loại tải trọng động (Bhattacharya, S., 2019).

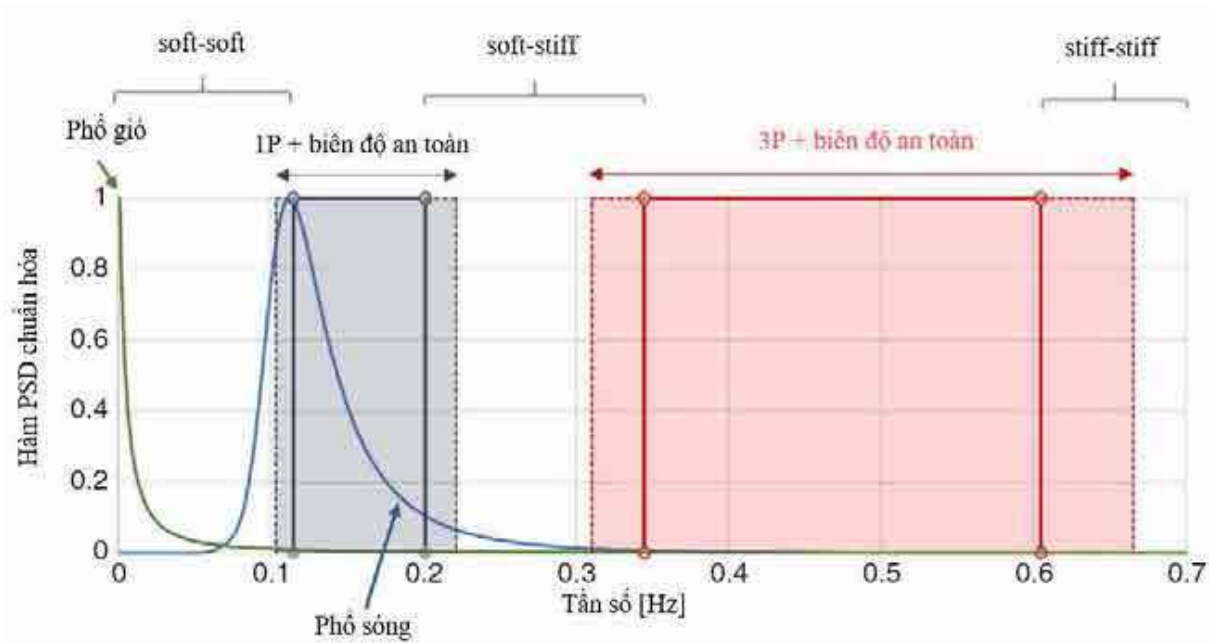
Với tải động, cần phải xem xét ảnh hưởng đến quán tính của hệ thống kết cấu tháp. Nếu tần số của tải động tiếp cận với tần số riêng của kết cấu tháp sẽ dẫn tới chuyển vị quá lớn. Do đó, phải thiết kế tần số riêng thích hợp cho kết cấu tháp. Hình 2 thể hiện hàm số cho gió và sóng điển hình, cho thấy các dải tần số 1P và 3P, dải 3P phụ thuộc vào dải tần số 1P. Theo quan điểm chống cộng hưởng, cần tránh tần số kích thích nên có ba kiểu thiết kế khả dĩ:

1. Thiết kế kiểu “soft-soft” với giá trị tần số riêng nhỏ hơn giá trị dải tần số 1P. Điều này có nghĩa là tháp điện gió sẽ có tính mềm dẻo, linh động (flexible) và hầu như không dùng để thiết kế cho kiểu công trình cố định.

2. Thiết kế kiểu “soft-stiff” với giá trị tần số riêng nằm giữa dải tần số 1P và 3P và kiểu thiết kế này đang khá phổ biến hiện nay.

3. Thiết kế kiểu “stiff-stiff” với giá trị tần số riêng lớn hơn giới hạn trên của tần số 3P và điều này thường cần một kết cấu cứng chắc để nâng đỡ tháp điện gió.

Như vậy, tần số thích hợp cho kết cấu tháp điển hình sẽ nằm trong ba khoảng: $< 0,1\text{Hz}$; $(0,22 - 0,31)\text{Hz}$ và $> 0,67\text{Hz}$ tùy theo kiểu thiết kế.



Hình 2. Dải tần số tác động lên kết cấu tháp điện gió (Bhattacharya, S., 2019).

Ứng suất động do tổ hợp tải trọng động gây ra trong nền đất có biên độ thay đổi phụ thuộc khoảng cách của điểm đang xét đến nguồn gây tải (móng). Do vậy, việc xác định biên độ ứng suất cho thí nghiệm thường dựa vào trị số CSR lớn nhất trong nền đất. Theo kết quả tính toán cho tháp điện gió điển hình (hình 3) với trường hợp tải trọng gió cực đoạn (Trường hợp E-3, gió và sóng tác động cùng hướng) ở khu vực ven biển Sóc Trăng (Lê Văn Quyên, 2021), xác định được CSR lớn nhất bằng 0,37.



Hình 3. Sơ đồ kích thước trụ tuabin điện gió điển hình.

Như vậy, mô hình tải trọng của tổ hợp tải trọng động tác động lên tháp điện gió điển hình ở khu vực Sóc Trăng có tần số $f < 0,1\text{Hz}$ với kiểu “soft-soft”; $(0,22 - 0,31)\text{Hz}$ với kiểu “soft-stiff” và $> 0,67\text{Hz}$ với kiểu “stiff-stiff”; tỷ số ứng suất động lớn nhất $\text{CSR}_{\text{max}} = 0,37$. Khi thí nghiệm ba trục động, các thông số tải trọng cho thí nghiệm cần bao quát được phạm vi tải trọng động có xét tới yếu tố an toàn. Mặt khác, hiện nay các dự án điện gió trên cạn thường thiết kế trên móng trọng lực hoặc móng cọc (thuộc loại “stiff-stiff”). Do đó, trong thực tế có thể thí nghiệm với các thông số rộng hơn các trị số trên: $f = 1\text{ Hz}$ và $\text{CSR} < 0,4$.

3.2.2. Xác định các thông số thí nghiệm khôi phục trạng thái cho đất rời

Về mặt lý thuyết, để mẫu đất rời được chế bị đạt độ chặt mong muốn (D_{r0}), cần xác định một lượng cát khô (G_{dry}) cho vào khuôn mẫu có thể tích V . Trong đó, G_{dry} được dự tính theo công thức sau:

$$G_{dry} = \frac{\gamma_s}{(1+e)} \cdot V \tag{1}$$

$$e = e_{max} - D_{r0}(e_{max} - e_{min}) \tag{2}$$

Với e_{max} , e_{min} tương ứng là hệ số rỗng lớn nhất và nhỏ nhất của mẫu đất.

Tuy nhiên, trong thực tế trạng thái của mẫu đất rời còn phụ thuộc lớn vào phương pháp chế bị, bão hòa và cố kết mẫu. Nghiên cứu thực nghiệm với ba loại cát phân bố ở khu vực Sóc Trăng (bảng 2, Nguyễn Văn Phóng, 2022) cho thấy: bước chế bị quyết định lớn đến độ chặt; bước bão hòa khôi phục lại độ bão hòa và bước cố kết khôi phục lại trạng thái ứng suất và độ chặt. Trong đó phương pháp rót khô phù hợp cho mẫu cát xốp, đầm ầm phù hợp cho mẫu cát chặt, chặt vừa.

Bảng 2. Độ chặt của cát đạt được theo phương pháp chế bị, thông số bão hòa và cố kết (Nguyễn Văn Phóng, 2022)

Ký hiệu mẫu	Độ sâu mô phỏng (m)	Phương pháp chế bị	Bão hòa		Cố kết			
			σ_{cell} (kPa)	σ_{back} (kPa)	σ_c (kPa)	Thay đổi thể tích, ΔV (ml)	Khối lượng thể tích khô, γ_c (g/cm ³)	Độ chặt tương đối, D_r
S1-0	8,5	Rót khô	100	80	60	-1,34	1,377	0,192
S1-1	5,5	Rót khô	110	90	40	-1,83	1,402	0,280
S1-2	7,0	Rót khô	100	80	50	-8,83	1,442	0,290
S1-3	11,5	Rót khô	110	90	80	-1,33	1,424	0,300
S2-1	34,0	Đầm ầm	90	80	240	-1,49	1,572	0,780
S2-2	43,0	Đầm ầm	120	110	300	-1,78	1,579	0,794
S2-3	31,5	Đầm ầm	90	80	220	-33,3	1,518	0,701
STs_1	7,0	Đầm ầm	100	80	50	+0,600	1,453	0,557
STs_2	7,0	Đầm ầm	90	70	50	+0,860	1,462	0,583
STs_3	7,0	Đầm ầm	90	70	50	+0,340	1,454	0,560

Ghi chú: S1 - Cát hạt mịn, cấp phối tốt (amQ_2^{2-3}); S2 - Cát hạt nhỏ, cấp phối tốt (am, mQ_2^{1-2}); STs - Cát hạt nhỏ, cấp phối kém (mQ_2^{2-3}).

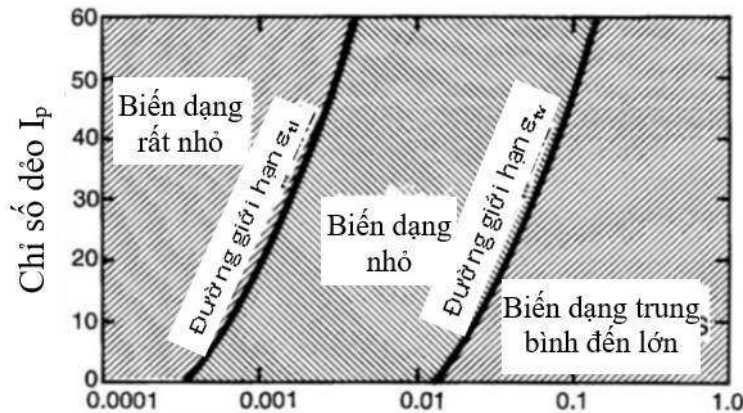
Theo kết quả trong bảng 2, có thể thấy áp lực ngược cần thiết bão hòa mẫu nhỏ nhất bằng 70 kPa ($\sigma_{back} \geq 70$ kPa). Trong bước cố kết, thay đổi thể tích (ΔV) của mẫu thể hiện lượng nước vào (+) hoặc ra (-). Nếu mẫu được bão hòa hoàn toàn và có áp lực hiệu quả ở bước trước (σ_{c0}) nhỏ hơn áp lực cố kết (σ_c), thì $\Delta V < 0$ khi cố kết. Trường hợp mẫu chưa bão hòa hoàn toàn hoặc có σ_{c0} lớn hơn σ_c thì $\Delta V > 0$. Ở trường hợp thứ nhất ($\Delta V < 0$), mẫu có độ chặt lớn hơn có xu hướng cần áp lực bão hòa (σ_{back}) cao hơn. Như vậy, để đảm bảo khôi phục lại trạng thái, độ chặt của cát mịn - nhỏ bão hòa, áp lực bão hòa $\sigma_{back} \geq 80$ kPa cho cát xốp, $\sigma_{back} \geq 90$ kPa cho cát chặt vừa và $\sigma_{back} \geq 100$ kPa cho cát chặt.

3.2.3. Xác định biên độ biến dạng cho thí nghiệm sơ đồ B

Thí nghiệm ba trục động có hai loại thí nghiệm: (1) Thí nghiệm xác định môđun và hệ số giảm chấn (theo ASTM D3999) và (2) Thí nghiệm xác định độ bền và khả năng hóa lỏng (theo ASTM D5311). Loại thí nghiệm (1) có thể tiến hành ở khoảng biến dạng tuyến tính (nhỏ hơn ϵ_{IV} - mô hình tuyến tính) và phi tuyến (mô hình phi tuyến). Loại thí nghiệm (2) được tiến hành theo các cấp (từ 5 đến 7 cấp) ở mức biến dạng phi tuyến (lớn hơn ϵ_{IV}) đến biến dạng phá hủy (ϵ_{fl}). Do vậy, việc xác định thông số biên độ biến dạng ($\Delta\epsilon$) cho thí nghiệm sơ đồ B cần dựa trên cơ sở ngưỡng biến dạng thể tích ϵ_{IV} và ngưỡng biến dạng phá hủy (ϵ_{fl}) của mỗi loại đất.

Ngưỡng biến dạng thể tích ε_{tv} : Bằng nghiên cứu thực nghiệm, Vucetic M. và cộng sự (1994) đã xác định được quan hệ giữa ε_{tv} với chỉ số dẻo của đất (PI) như hình 4. Theo đó, đất cát (PI = 0) có $\varepsilon_{tv} \approx 0,014\%$; đất á sét ($7 \leq PI \leq 17$) có $\varepsilon_{tv} = (0,020 - 0,035)\%$; đất sét (PI > 17) có $\varepsilon_{tv} > 0,035$. Ở Việt Nam, Nguyễn Văn Phóng (2014, 2016, 2018, 2022) đã xác định được ε_{tv} cho một số loại đất như tổng hợp ở bảng 3. Trong thực tế, các loại đất yếu thường có chỉ số dẻo lớn và độ rỗng cao nên ngưỡng biến dạng động của đất yếu thường lớn hơn đất loại sét thông thường.

Ngưỡng biến dạng phá hủy ε_{fl} : Tương tự ngưỡng biến dạng thể tích, ngưỡng biến dạng phá hủy cũng phụ thuộc lớn vào chỉ số dẻo. Theo các kết quả nghiên cứu (Li, L., 1996; Matsui, T., 1992) và tổng hợp (hình 5 - Ishihara và Yoshimine, 1992), đất loại sét có $\varepsilon_{fl} = (2,5 \div 10)\%$ tùy theo PI; đất cát có $\varepsilon_{fl} = (3 - 10)\%$. Kết hợp với một số kết quả nghiên cứu ở Việt Nam (bảng 3), có thể thấy biến dạng phá hủy có thể thay đổi từ 2% đến 10% tùy theo loại đất.



Hình 4. Ảnh hưởng của chỉ số dẻo đến các ngưỡng biến dạng động của đất (Vucetic M., 1994).

Bảng 3. Ngưỡng biến dạng động của một số loại đất ở Việt Nam (Nguyễn Văn Phóng, 2016 -2022)

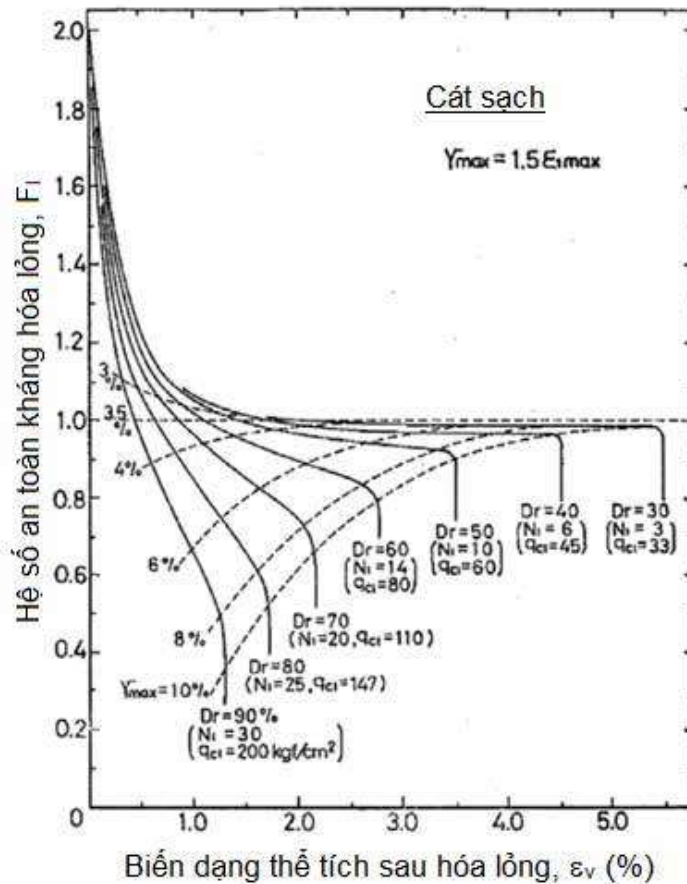
Loại đất		Ngưỡng biến dạng thể tích, ε_{tv} (%)	Biến dạng phá hủy, ε_{fl} (%)
Đất dính	Á sét, dẻo cứng ($aQ_2^3tb_1$) - Hà Nội	0,018	2,0 ÷ 5,0
	Sét, dẻo mềm ($mQ_2^{1-2}hh_2$) - Hà Nội	0,030	
Đất yếu	Á sét, dẻo chảy ($albQ_2^3tb_1$) - Hà Nội	0,025	
	Sét, chảy ($lbQ_2^{1-2}hh_1$) - Hà Nội	0,036	
	Sét, dẻo chảy (amQ_2^{2-3}) - Sóc Trăng	0,100	4,0
Đất rời	Cát mịn, chặt vừa ($aQ_2^3tb_1$) - Hà Nội	0,017	3,0 ÷ 4,0

Căn cứ theo kết quả phân tích lý thuyết, nghiên cứu thực nghiệm, kết hợp với các yêu cầu kỹ thuật được nêu trong các tiêu chuẩn ASTM, biên độ biến dạng cho thí nghiệm ba trục sơ đồ B được kiến nghị cho ba loại đất và biểu diễn chi tiết trong bảng 4.

Bảng 4. Đề xuất lựa chọn biên độ biến dạng (%) cho thí nghiệm ba trục động theo sơ đồ B

Loại đất	Thí nghiệm xác định mô đun và hệ số giảm chấn (ASTM D3999)		Thí nghiệm xác định độ bền và khả năng hóa lỏng (ASTM D5311)
	Mô hình tuyến tính	Mô hình phi tuyến	
Đất dính	< 0,030	0,030 - 0,500*	0,25; 0,50; 1,00; 2,00; 5,00
Đất yếu	< 0,050	0,050 - 0,500	0,500; 1,00; 2,00; 5,00; 10,00
Đất rời	< 0,020	0,020 - 0,500	0,25; 0,500; 1,00; 2,00; 5,00; 10,00

Ghi chú: * - Theo ASTM D3999, biên độ biến dạng nên chọn $\leq 0,500\%$.



Hình 5. Biến dạng thể tích khi hóa lỏng tương ứng với hệ số an toàn F_s (Ishihara và Yoshimine, 1992).

4. Kết luận và kiến nghị

Từ kết quả phân tích lý thuyết và thực nghiệm về cơ sở lựa chọn thông số thí nghiệm ba trục động phục vụ công trình điện gió, có thể rút ra một số kết luận và kiến nghị sau:

Thí nghiệm ba trục động có hai loại thí nghiệm là thí nghiệm xác định môđun và hệ số giảm chấn và thí nghiệm xác định độ bền và khả năng hóa lỏng của đất. Quy trình và thủ tục thí nghiệm đã được quy định trong hai tiêu chuẩn ASTM D3999 và ASTM D5311, đều gồm bốn bước: chế bị, bão hòa, cố kết và gia tải. Việc lựa chọn các thông số thí nghiệm phụ thuộc vào loại đất và đặc điểm tải trọng động, chúng có vai trò rất quan trọng trong việc đảm bảo kết quả thí nghiệm phù hợp với bài toán thực tế. Trong đó, phương pháp chế bị và các thông số bão hòa, cố kết quyết định đến trạng thái và độ chặt của đất rời; bước cố kết quyết định đến trạng thái của đất yếu; tần số và biên độ ứng suất (biến dạng) quyết định sự phù hợp của mô hình tải trọng động với thực tế. Khi thí nghiệm theo sơ đồ B, biên độ biến dạng phụ thuộc vào ngưỡng biến dạng động của mỗi loại đất.

Khi thí nghiệm ba trục động cho công trình điện gió ở nước ta, các thông số thí nghiệm chính được kiến nghị sử dụng:

- 1) Chế bị mẫu cát chặt và chặt vừa dùng phương pháp đầm ẩm; mẫu cát xốp dùng phương pháp rót khô;
- 2) Áp lực bão hòa ở cấp cuối cùng cần đạt $\sigma_{back} \geq 80$ kPa cho cát xốp, $\sigma_{back} \geq 90$ kPa cho cát chặt vừa và $\sigma_{back} \geq 100$ kPa cho cát chặt;
- 3) Mô hình tải trọng: $f = 1$ Hz và $CSR < 0,4$;
- 4) Biên độ biến dạng được chọn theo bảng 4 tương ứng với loại đất và loại thí nghiệm.

Tài liệu tham khảo

- ASTM D 3999, 2013. Standard test method for the Determination of the Modulus and Damping Properties of Soils Using the Cyclic Triaxial Apparatus. Annual Book of ASTM.
- ASTM D5311, 2004. Standard Test Method for Load Controlled Cyclic Triaxial Strength of Soil.
- Bhattacharya, S., 2019. Design of foundations for offshore wind turbines. Wiley Online Library.
- Ishihara K., 2003. *Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics*, Oxford Science Publications.
- Li, L. L., Dan, H.B., and Wang, L.Z., 1996. Undrained behavior of natural marine clay under cyclic loading. *Ocean Engineering*, 38(16):1792-1805, 1996.
- Matsui, T., Bahr, M.A., and Abe, N, 1992. Estimation of shear characteristics degradation and stress-strain relationship of saturated clays after cyclic loading. *Soils and Foundations*, 32(1):161-172, 1992.
- Lê Văn Quyền, 2021. Luận chứng và thiết kế móng cho trụ tua-bin điện gió Nhà máy điện gió Sóc Trăng - Giai đoạn 1. Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
- Nguyễn Văn Phóng, 2014. Nghiên cứu đặc trưng biến dạng động của đất loại sét hệ tầng Thái Bình phân bố ở khu vực Hà Nội bằng thiết bị ba trục động. *Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, số 45.
- Nguyễn Văn Phóng, 2016. *Nghiên cứu tính chất cơ học của trầm tích Đệ tứ phân bố ở khu vực Hà Nội dưới tác dụng của tải trọng động*. Luận án tiến sỹ Kỹ thuật địa chất, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
- Nguyễn Văn Phóng, 2018. Research on characteristics of cyclic deformation phases of soils distributed in urban area Hanoi for seismic design. *Proceedings of The International conference Vietgeo2018*.
- Nguyễn Văn Phóng, Lê Văn Quyền, 2022. *Đặc trưng biến dạng động của đất yếu amQ2 2-3 1 khu vực Vĩnh Châu, tỉnh Sóc Trăng*. Hội nghị toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với phát triển bền vững (ERSD 2022).
- Vucetic M., 1994., *Cyclic threshold shear strains in soils*, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol. 120, No. 12.

The analysis and selection of cyclic triaxial testing parameters for wind turbines in Vietnam

Nguyen Van Phong^{1,*}, Do Hong Thang²

¹Hanoi University of Mining and Geology;

²Dat Viet Construction survey and design Joint Stock Company

*Corresponding author: nvphong.dcct@gmail.com

Abstract

In recent years, wind power energy has developed strongly in Vietnam. Wind turbines are a type of building with dynamic loads, so the foundation design is related to the dynamic mechanical properties of the soils. The cyclic triaxial test method is commonly used to determine the dynamic mechanical characteristics of the soil. However, the dynamic load of wind turbines has many specific characteristics that different from earthquakes. Therefore, the applying the standards for cyclic triaxial test has many difficulties in choosing the testing parameters. This paper is based on the analysis of theory and experiment to provide technical guidance of cyclic triaxial test that suitable for wind turbines in Vietnam. The content of this paper not only provides testing procedures of ASTM D3999 and ASTM D5311, but also provides technical guidance for testing the soil types: sandy soil, clayey soil and weak soil. In particular, experimental parameters in the steps of preparation, saturation, consolidation and cyclic loading are proposed accordingly for each soil type.

Keywords: cyclic Triaxial Test, cyclic deformation, cyclic strength, testing parameters, wind turbines.