

CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH ĐÁNH GIÁ HÓA LỎNG: PHÂN TÍCH ĐƠN GIẢN, PHÂN TÍCH TUYẾN TÍNH TƯƠNG ĐƯƠNG VÀ PHÂN TÍCH BẰNG ỨNG SUẤT HỮU HIỆU

ĐOÀN NHẬT PHI

Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Công nghiệp thành phố Hồ Chí Minh
doannhatphi@iuh.edu.vn

DOIs: <https://doi.org/10.46242/jstiuh.v61i07.4732>

Tóm tắt. Dưới tác động của tải trọng động, nền đất bão hòa có thể mất đi sức kháng cắt và độ cứng trong khi áp lực nước lỗ rỗng có thể tăng lên. Hiện tượng này được gọi là hóa lỏng, có thể gây ra thiệt hại đáng kể cho công trình, mái dốc, kết cấu đập và các kết cấu địa kỹ thuật khác. Trong nghiên cứu này, ba phương pháp phân tích hóa lỏng bao gồm: phân tích đơn giản, phân tích tuyến tính tương đương, phân tích bằng ứng suất hữu hiệu, lần lượt được áp dụng để đánh giá nguy cơ hóa lỏng, tính toán độ lún nền đất và mức độ phá hoại do hóa lỏng gây ra. Dữ liệu thí nghiệm xuyên động (CPT) tại một hố khoan gần tâm chấn của trận động đất Christchurch tháng 2 năm 2011, được sử dụng như số liệu đầu vào cho các phân tích trên. Dữ liệu gia tốc theo thời gian của nền đất được sử dụng cho phân tích tương đương tuyến tính và ứng suất hữu hiệu, trong khi đó gia tốc đỉnh được trích xuất sử dụng cho phương pháp phân tích đơn giản. Các dự đoán về tỷ số ứng suất (*CSR*), hệ số an toàn (*FS*), độ lún bề mặt đất (*S*), chỉ số nguy cơ hóa lỏng (*LPI*) và chỉ số mức độ phá hoại do hóa lỏng gây ra (*LSN*) tính từ ba phân tích được so sánh với nhau.

Từ khóa. hóa lỏng, phân tích đơn giản, phân tích tuyến tính tương đương, phân tích bằng ứng suất hữu hiệu, thí nghiệm xuyên động CPT, động đất Christchurch tháng 2 năm 2011.

1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Hóa lỏng do động đất là một trong những hiểm họa đến các kết cấu được xây dựng trên nền đất bão hòa nước. Từ những thiệt hại do hóa lỏng của những trận động đất gần đây như 1994 Northridge, 1999 Kocaeli, 1999 Chi-Chi, 2005 Kashmir, 2008 Wenchuan, 2010 Chile, 2010 và 2011 Newzealand, Tohoku 2011, hóa lỏng có thể gây ra biến dạng lớn cho nền đất, cả về biến dạng ngang và biến dạng đứng, dẫn đến hư hại các kết cấu được xây trên hoặc trong nền đất. Đánh giá khả năng hóa lỏng cho nền là đánh giá sức kháng của nền đất đó với tác động của tải trọng động. Sức kháng hóa lỏng có thể được dự đoán bằng thí nghiệm trong phòng hoặc thí nghiệm ngoài hiện trường. Thí nghiệm trong phòng được sử dụng để đánh giá khả năng kháng hóa lỏng của đất từ rất sớm bằng cách mô phỏng lại điều kiện chịu tải trọng động của mẫu đất thực ngoài hiện trường. Ưu điểm của phương pháp này là tính kinh tế, tiện lợi, có thể làm nhiều lần. Tuy nhiên độ tin cậy của kết quả thí nghiệm trong phòng phụ thuộc rất lớn vào cách tạo mẫu đất và tính đúng đắn khi mô phỏng lại các áp lực thực tế tác dụng lên mẫu. Thí nghiệm thông dụng dùng để đánh giá khả năng kháng hóa lỏng của đất là thí nghiệm ba trục động (CTX) và thí nghiệm cắt động (CDSS). Thí nghiệm ngoài hiện trường có thể khắc phục được sự tráo trộn mẫu đất và không cần mô phỏng lại các điều kiện tải trọng của mẫu đất. Hiện nay, các thí nghiệm xuyên tĩnh (SPT), thí nghiệm xuyên động (CPT), thí nghiệm đo vận tốc sóng ngang (V_s), thí nghiệm xuyên Becker (BPT) đang được sử dụng rộng rãi để đánh giá khả năng kháng hóa lỏng của nền.

Từ những năm 70 của thế kỷ XX, một phương pháp thực hành được xem như tiêu chuẩn dùng để đánh giá hóa lỏng của đất được gọi là phương pháp “phân tích đơn giản” vẫn đang tiếp tục cải tiến và phát triển. Do thiệt hại đáng kể sau hai trận động đất Alaska và Niigata vào năm 1964, Seed and Idriss [1] đã đề xuất những nền tảng cho phương pháp “phân tích hóa lỏng đơn giản”. Phương pháp này vẫn đang được cải tiến và cập nhật thường xuyên đến hiện nay [2]. Có rất nhiều phương pháp đánh giá sức kháng hóa lỏng của nền đất được phát triển qua 50 năm kể từ khi phương pháp phân tích đơn giản được giới thiệu bởi Seed and Idriss [1]. Ví dụ, phương pháp phân tích đơn giản dựa trên kết quả CPT; đánh giá dựa trên kết quả SPT; đánh giá dựa trên kết quả thí nghiệm đo sóng ngang V_s [2].

Một quy trình phân tích tuyến tính tương đương được sử dụng để giải thích ứng xử phi tuyến của đất bằng các phân tích lặp sự giảm dần mô đun cắt và độ giảm xóc của đất, tương đương với một giá trị biến dạng đều được gây ra do tải trọng trong mỗi lớp đất. Phương pháp này còn được sử dụng để dự đoán sự lan truyền

CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH ĐÁNH GIÁ...

sóng động đất qua các lớp đất. Phần mềm SHAKE là chương trình phân tích tuyến tính tương đương đầu tiên. Sau nhiều bản cập nhật, SHAKE91 [3] là chương trình được sử dụng rộng rãi nhất. SHAKE91 là phần mềm tiêu chuẩn cho phân tích tuyến tính tương đương, có rất nhiều phần mềm được phát triển sau này đều được phát triển dựa trên chương trình SHAKE91.

Mô hình ứng suất hữu hiệu là một phân tích hoàn chỉnh cho ứng xử đàn hồi-dẻo của đất, trong đó áp lực nước lỗ rỗng tăng lên theo biến dạng cát và tích lũy biến dạng thể tích trong suốt quá trình chịu tải trọng động đất, không phụ thuộc vào ứng suất pháp tuyến hữu hiệu. Có rất nhiều mô hình ứng suất hữu hiệu—ví dụ như mô hình UBCSAND [4]—dự đoán chính xác ứng xử động của đất không chỉ trong thí nghiệm trong phòng (e.g., thí nghiệm cắt động CDSS) mà còn trong các bài toán động đất gây hóa lỏng cho các công trình địa kỹ thuật (e.g., kết cấu mái dốc, bờ kè, đập, và cảng).

Thành phố Christchurch, Newzealand bị ảnh hưởng nặng nề do hóa lỏng sau chuỗi động đất Christchurch tháng 9 năm 2010, tháng 2 năm 2011 và tháng 6 năm 2011. Trong đó, trận động đất vào ngày 22 tháng 2 năm 2011 gây thiệt hại nặng nề nhất. Hóa lỏng gây ra biến dạng lún nền có chỗ lên đến 40-50 cm, biến dạng ngang tại các mái dốc lên đến 100-200 m làm ảnh hưởng đến các công trình, cầu, đường và cảng biển. Gần 20,000 căn hộ bị ảnh hưởng và có đến 8,000 căn hộ phải sửa chữa do hóa lỏng sau trận động đất này [5]. Newzealand nằm trong vành đai đứt gãy Thái Bình Dương nên thường xuyên xảy ra các trận động đất. Vì vậy chính phủ Newzealand đã sớm thiết lập một mạng lưới dữ liệu địa chất với các thí nghiệm xuyên động CPT dày đặc, và nhiều trạm đo chấn động mạnh đặt xuyên suốt thành phố Christchurch [5].

Cho đến nay, chưa có nghiên cứu nào so sánh các kết quả phân tích hóa lỏng từ ba phương pháp nêu trên. Chính vì vậy, bài báo này sử dụng các phương pháp phân tích hóa lỏng đơn giản dựa trên kết quả CPT, hay còn gọi là NCCER (1998); phương pháp phân tích tuyến tính tương đương bằng phần mềm SHAKE91; và phương pháp phân tích bằng ứng suất hữu hiệu sử dụng mô hình UBCSAND. Các kết quả tính toán từ ba phương pháp phân tích hóa lỏng trên được so sánh với nhau trên tiêu chí đánh giá các tiêu chí bao gồm: tỷ số ứng suất động (CSR), hệ số an toàn do hóa lỏng (FS), biến dạng cát lớn nhất (γ_{max}), độ lún bề mặt nền (S), chỉ số khả năng hóa lỏng (LPI) và chỉ số phá hoại do hóa lỏng (LSN). Từ đó cho cái nhìn khách quan và các đánh giá về ưu điểm và nhược điểm của mỗi phương pháp trên.

2 QUY TRÌNH ĐÁNH GIÁ HÓA LỎNG

2.1 Tỷ số ứng suất động (CSR)

Tỷ số ứng suất động CSR là tỷ số giữa ứng suất cắt τ_{cyc} và ứng suất đứng hữu hiệu σ'_{v0} dưới tác động của tải trọng động. Tỷ số CSR có thể tính theo công thức như sau:

$$CSR = \frac{\tau_{xy}}{\sigma'_{v0}} \quad (1)$$

Tỷ số CSR được sử dụng rộng rãi trong phương pháp phân tích hóa lỏng đơn giản được đề xuất bởi Seed and Idriss [1] để đánh giá nguy cơ hóa lỏng của nền đất. Theo phương pháp này, tỷ số CSR có thể tính được tính từ gia tốc lớn nhất của tải trọng động đất a_{max} , ứng suất đứng hữu hiệu σ'_{v0} .

2.1.1 Phương pháp phân tích đơn giản

Trong phương pháp này, tỷ số CSR được tính như sau:

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) r_d \quad (2)$$

$$r_d = 1.0 - 0.000765z \quad (\text{khi } z \leq 9.15 \text{ m}) \quad (3)$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267z \quad (\text{khi } 9.15 \text{ m} \leq z \leq 23 \text{ m}) \quad (4)$$

Trong đó, a_{max} = gia tốc lớn nhất của tải trọng động đất, g =gia tốc trọng trường, σ_{v0} và σ'_{v0} =ứng suất tổng và ứng suất hữu hiệu, r_d =hệ số giảm ứng suất xét đến độ sâu lớp đất. z =độ sâu lớp đất. Hệ số 0.65 được sử dụng để chuyển đổi tải trọng phức tạp của động đất sang tải trọng phân bố đều.

2.1.2 Phương pháp phân tích tuyến tính tương đương

Trong mỗi lớp đất, quy trình phân tích tuyến tính tương đương xấp xỉ như là ứng xử phi tuyến của ứng suất-biến dạng sử dụng sự giảm dần mô đun cắt và đường cong độ giảm xóc. Phân tích lặp được sử dụng để xác định sự mềm hóa của đất do biến dạng gây ra sự phi tuyến. Đối với vòng lặp đầu tiên của thuật toán, ứng xử của đất được tính toán sử dụng giá trị biến dạng nhỏ cho mô đun đàn hồi cắt và độ giảm xóc. Bằng cách sử dụng mô đun cắt và độ giảm xóc ban đầu, ứng xử biến dạng cắt theo thời gian được ước tính, trong khi giữ nguyên những thông số khác của đất. Từ ứng xử theo thời gian của từng lớp đất, một giá trị đại diện gọi là biến dạng cắt hữu hiệu, γ_{eff} , được chọn. Giá trị này được sử dụng để tính toán giá trị mô đun cắt và độ giảm xóc trong vòng lặp kế tiếp. Các phân tích được lặp lại đến khi giá trị của mô đun cắt và độ giảm xóc hội tụ theo các đường cong riêng biệt. Đã có rất nhiều phương pháp tính toán biến dạng cắt hữu hiệu γ_{eff} . Giá trị biến dạng cắt hữu hiệu được lấy bằng 65% giá trị biến dạng cắt lớn nhất là phổ biến nhất hiện nay.

Trong bài báo này, phần mềm SHAKE91 được sử dụng để đánh giá hóa lỏng nền đất cho phân tích tuyến tính tương đương. Dữ liệu địa chất đầu vào được lấy từ một dữ liệu tiêu biểu của thí nghiệm CPT tại một địa điểm gần tâm chấn của trận động đất Christchurch tháng 2 năm 2011.

2.1.3 Phân tích ứng suất hữu hiệu

Mô hình ứng suất hữu hiệu được sử dụng trong bài báo là mô hình UBCSAND. Mô hình này được tích hợp theo dạng chương trình con trong phân tích 2D: phần mềm FLAC2D version 7.0 [4]. Mô hình được phát triển cho ứng dụng các bài toán phân tích động dựa trên mô hình đàn hồi-dẻo kinh điển Mohr-Coulomb. Dữ liệu đầu vào quan trọng nhất cho mô hình này là giá trị hiệu chỉnh $(N_1)_{60,cs}$ của thí nghiệm SPT. Mô hình UBCSAND được dùng rộng rãi để dự đoán ứng xử của đất và so sánh với các thí nghiệm trong phòng và các bài toán thực. Chi tiết về mô hình, lý thuyết, cách sử dụng được mô tả rất cụ thể trong Itasca [4]. Các thông số tổng quát sử dụng cho mô hình UBCSAND được cho trong Bảng 1. Có thể thấy, chỉ cần cung cấp giá trị đầu vào là giá trị hiệu chỉnh $(N_1)_{60,cs}$ của thí nghiệm SPT, các thông số khác của mô hình UBCSAND có thể được tính một cách dễ dàng.

2.2 Tỷ số kháng hóa lỏng (CRR)

Nhìn chung, khả năng kháng hóa lỏng được định nghĩa như là tỷ số CSR của mẫu đất sẽ đạt tới trạng thái hóa lỏng sau 15 chu kỳ tải động.

Trong phạm vi bài báo này, phương pháp đánh giá CRR dựa trên kết quả thí nghiệm CPT, hay còn gọi là NCCER (1998) được sử dụng. Quy trình này được trình bày theo lưu đồ như trong Hình 1.

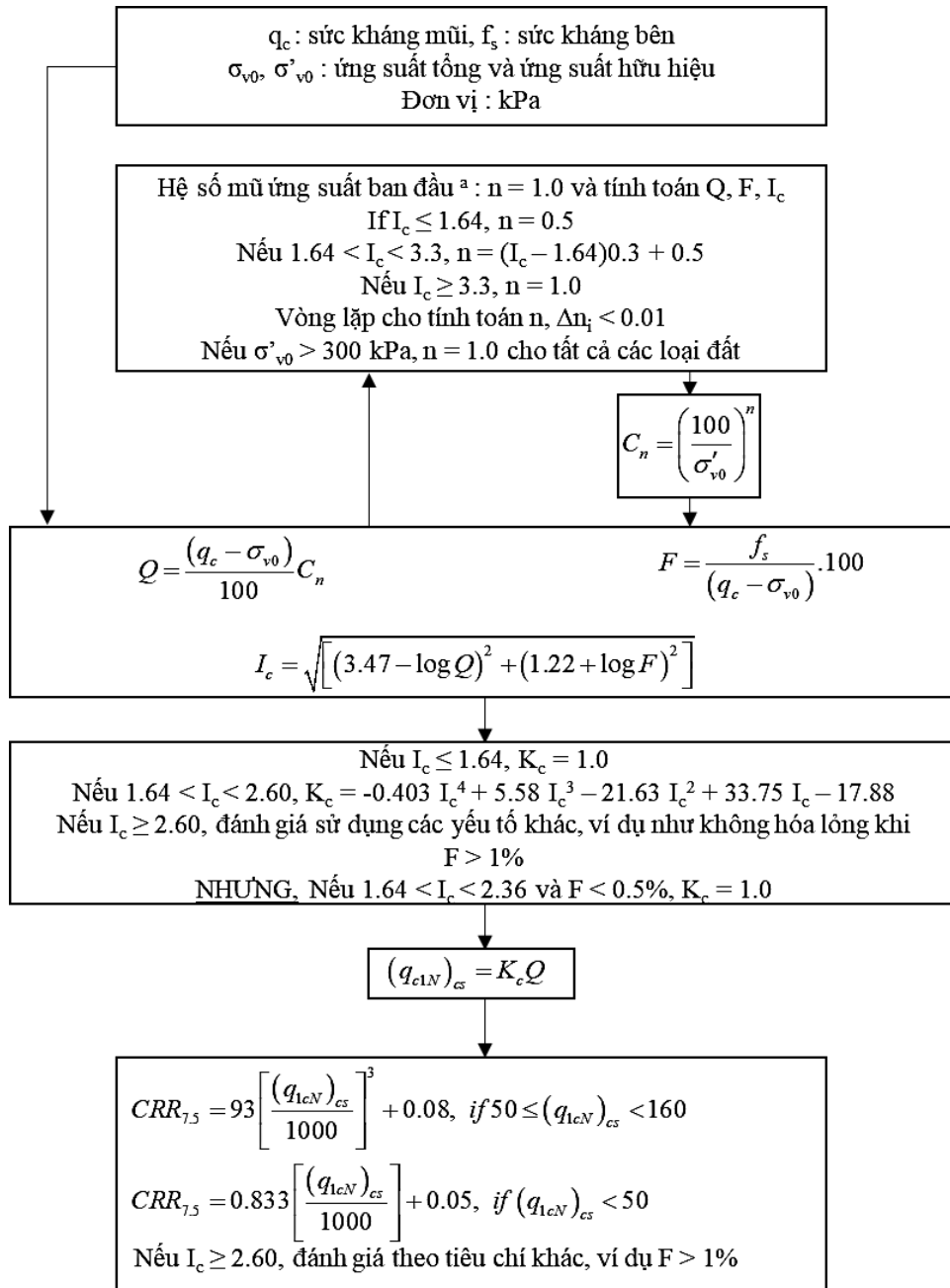
Bảng 1. Thông số đầu vào cho mô hình UBCSAND

Thông số đầu vào	Thông số tổng quát	
	Miêu tả	Giá trị
$(N_1)_{60,cs}$	Giá trị hiệu chỉnh số búa của SPT	Biến số
C_{Dr}	Hệ số tương quan giữa $(N_1)_{60}$ và D_r	Hằng số
D_r	Độ chặt tương đối	$[(N_1)_{60}/C_{Dr}]^{0.5}$
ϕ_{cv}	Góc ma sát thể tích không đổi	33°
ϕ_f	Góc ma sát đỉnh	$\phi_{cv} + (N_1)_{60}/10 + \max(0, ((N_1)_{60} - 15)/5)$
k_G^e	Hằng số mô đun đàn hồi cắt	$21.7 \times 20 \times (N_1)_{60}^{0.333}$
k_B^e	Hằng số mô đun đàn hồi thể tích	$0.7 \times k_G^e$
k_G^p	Hằng số mô đun dẻo cắt	$k_G^e \times (N_1)_{60}^2 \times 0.003 + 100$
m_e	Số mũ của mô đun đàn hồi cắt	0.5
n_e	Số mũ của mô đun đàn hồi thể tích	0.5
n_p	Số mũ của mô đun dẻo cắt	0.4
R_f	Hệ số phá hủy	$\min(1.1 \times (N_1)_{60}^{-0.15}, 0.99)$
a	Hệ số để tính $hfac1$	$1.05 - 0.03 \times (N_1)_{60} + 0.04 \times [(N_1)_{60}]^2 - 0.000185 \times [(N_1)_{60}]^3 + 2.92E-6 \times [(N_1)_{60}]^4$
b	Hệ số để tính $hfac1$	$1.0 / \{-0.424 - 0.259 \times (N_1)_{60} + 0.00763 \times [(N_1)_{60}]^2\}$

CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH ĐÁNH GIÁ...

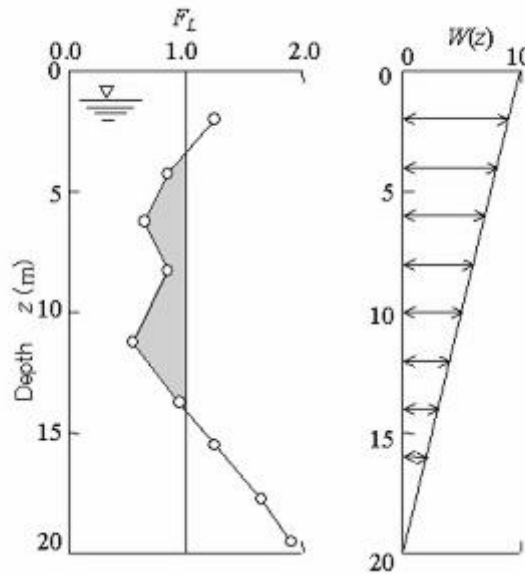
<i>hfac1</i>	Hệ số hóa cứng sơ cấp	$a \times (\sigma'_{v0} / P_{atm})^b$
<i>hfac2</i>	Hệ số hóa cứng thứ cấp	1.0
<i>hfac3</i>	Hệ số hóa cứng góc nở	1.0
<i>anisofac</i>	Hệ số ứng xử dẻo phi tuyến	1.0

Ghi chú: σ'_{v0} = ứng suất hữu hiệu đứng ban đầu, P_{atm} = áp suất không khí (~100 kPa).



Hình 1: Lưu đồ đánh giá kháng hóa lỏng của đất dựa trên thí nghiệm CPT (NCEER 1998)

2.3 Chỉ số nguy cơ hóa lỏng (*LPI*)



Hình 2. Mô hình tính toán F_L và W_z

Chỉ số khả năng hóa lỏng (*LPI*) được sử dụng để đánh giá khả năng hóa lỏng của nền đất theo độ sâu. Chỉ số *LPI* được tính theo công thức như sau:

$$LPI = \int_0^{20} W_z \times F_L \times dz = \int_0^{20} (10 - 0.5z) \times F_L \times dz \quad (5)$$

Trong đó:

$$W_z = 10 - 0.5z$$

$$F_L = 1 - FS \text{ khi } FS < 1$$

$$F_L = 0 \text{ khi } FS > 1$$

z là độ sâu theo mét (m)

Mô hình tính toán F_L và W_z được thể hiện như trong Hình 2.

Giá trị của *LPI* nằm trong khoảng từ 0 đến 100. Iwasaki et al. [6] đề xuất phân loại 5 mức độ dựa theo giá trị của *LPI*.

- $LPI = 0$: Không có khả năng hóa lỏng
- $0 < LPI \leq 2$: Khả năng hóa lỏng thấp
- $2 < LPI \leq 5$: Khả năng hóa lỏng trung bình
- $5 < LPI \leq 15$: Khả năng hóa lỏng cao
- $LPI > 15$: Khả năng hóa lỏng rất cao

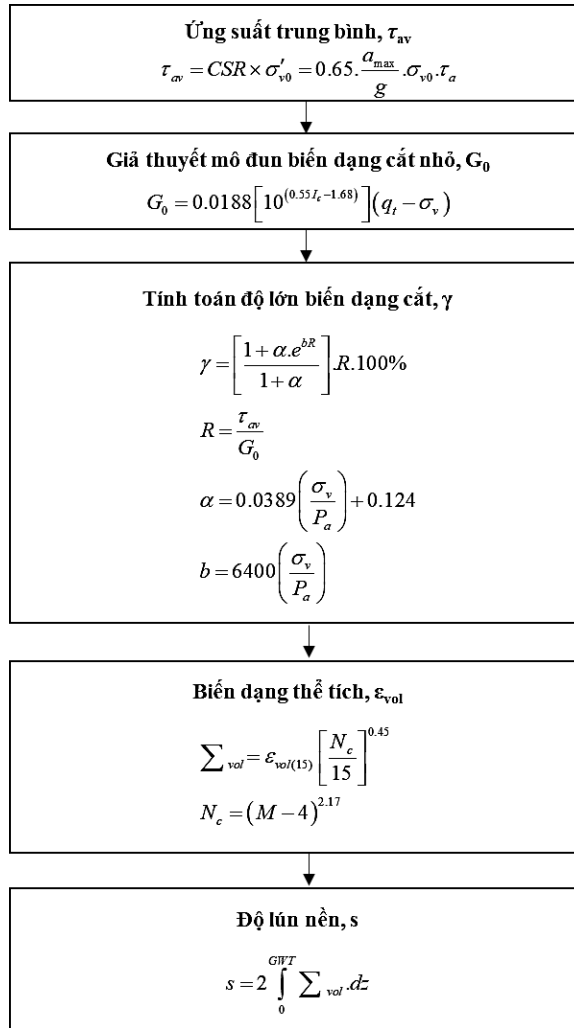
2.4 Chỉ số phá hoại do hóa lỏng (*LSN*)

Chỉ số phá hoại do hóa lỏng (*LSN*) được đề xuất và phát triển bởi công ty Tonkin & Taylor [7] dùng để đánh giá mức độ phá hoại do hóa lỏng đến công trình và nền móng. Chỉ số *LSN* được tính toán theo phương trình (6). Chỉ số *LSN* có xét đến biên dạng thể tích theo chiều sâu trong các lớp đất và là tổng đại lượng mang mức độ phá hoại do hóa lỏng xảy ra tại bề mặt nền đất. Chỉ số *LSN* được tính khi hệ số an toàn $FS < 2$ và có thể thấy là *LSN* tăng khi hệ số an toàn giảm.

$$LSN = 1000 \cdot \int \frac{\varepsilon_v}{z} dz \quad (6)$$

Trong đó ε_v là biến dạng thể tích được tính theo Zhang et al. [8] nếu dùng phương pháp phân tích đơn giản. z là độ sâu của lớp đất đang xét.

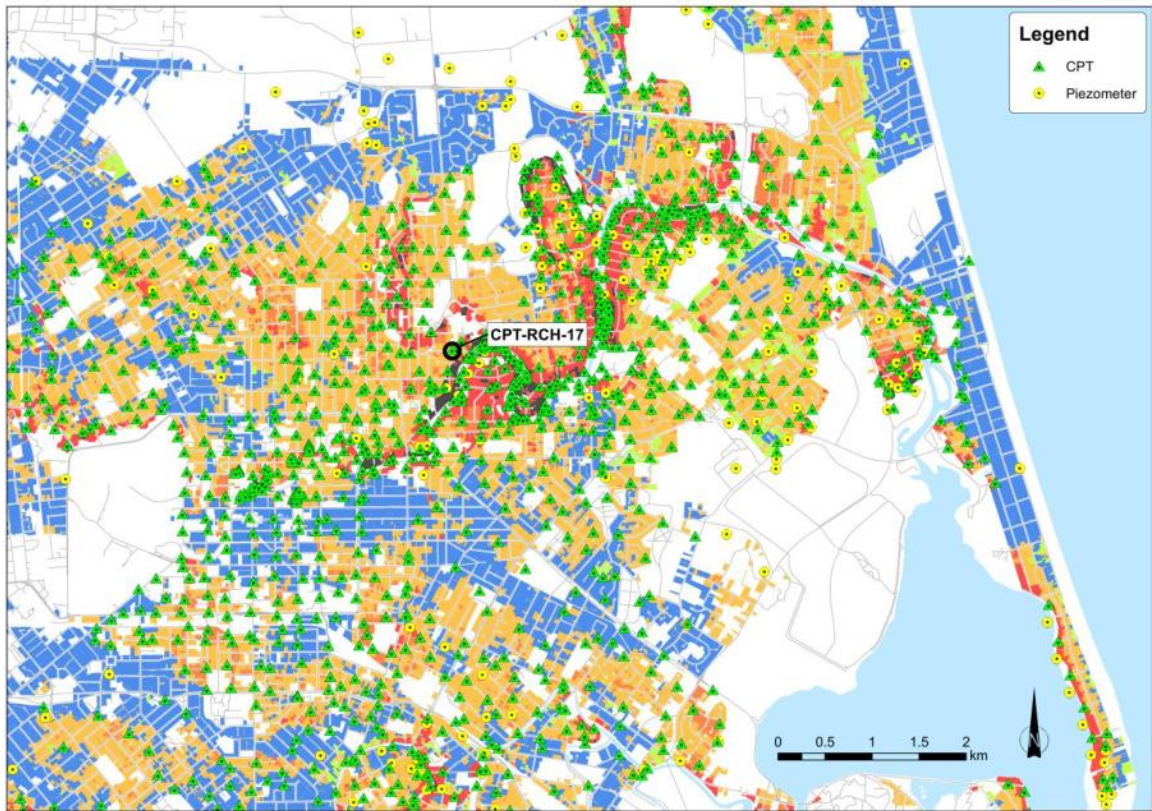
CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH ĐÁNH GIÁ...



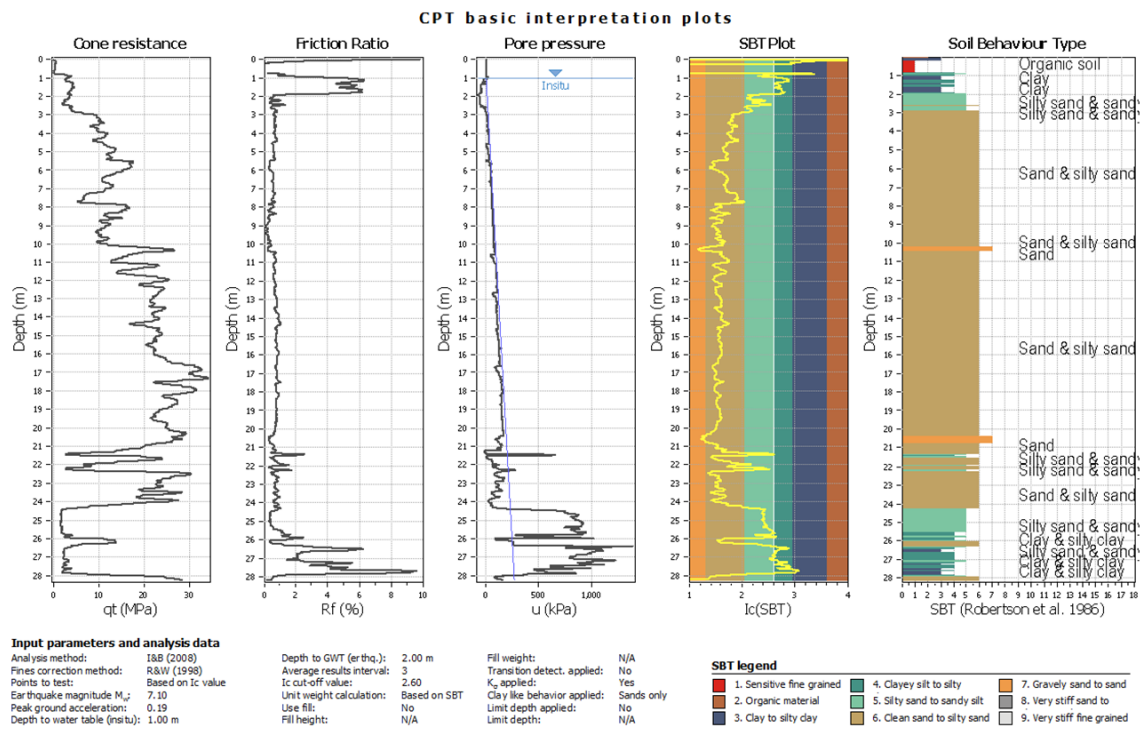
Hình 3. Lưu đồ tính toán độ lún nền đất do hóa lỏng theo phương pháp phân tích đơn giản

Hình 3 thể hiện quy trình tính toán độ lún nền đất do hóa lỏng. Quy trình này được sử dụng cho phương pháp phân tích đơn giản, đối với phương pháp phân tích bằng ứng suất hữu hiệu, biến dạng thể tích và độ lún có thể dự đoán trực tiếp từ phân tích này. Đối với phương pháp phân tích tuyến tính tương đương, biến dạng thể tích và độ lún nền đất không tính được từ phân tích mặc dù sự giảm dần của mô đun đàn hồi cắt và độ giảm xóc đã được xét đến trong mô hình tính toán. Vì vậy, trong bài báo này, kết quả dự đoán chỉ số *LSN* chỉ được trình bày cho phương pháp phân tích đơn giản và phân tích bằng ứng suất hữu hiệu.

3 DỮ LIỆU ĐỊA CHẤT



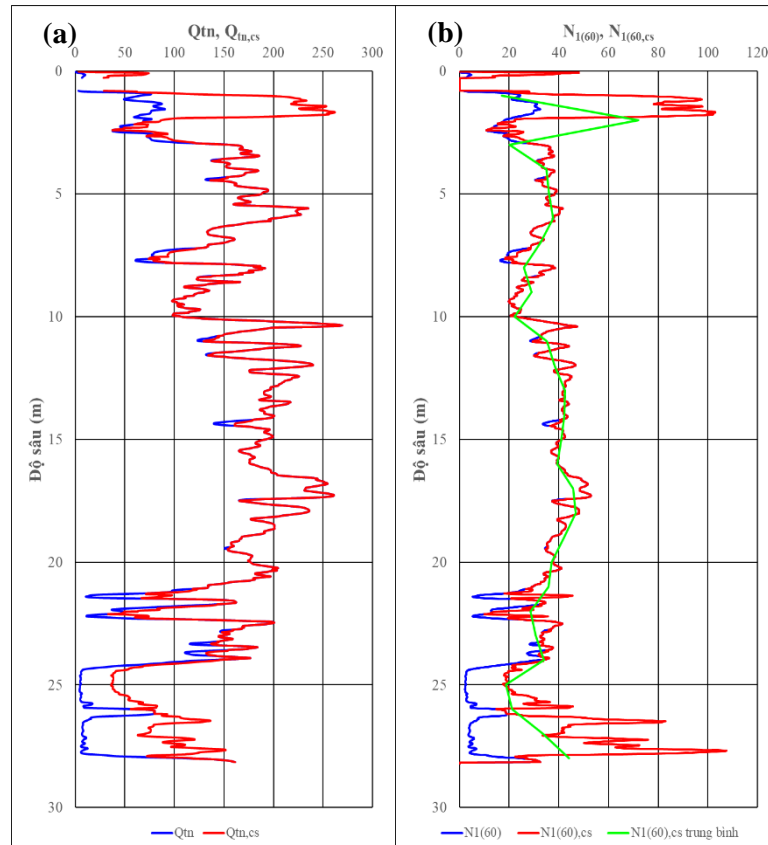
Hình 4. Địa điểm khảo sát địa chất tại phía Đông Christchurch, New Zealand, sau ngày 13 tháng 6 2011 (Tonkin & Taylor [7])



Hình 5: Dữ liệu địa chất của hố khoan CPT-RCH-17

CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH ĐÁNH GIÁ...

Vị trí khảo sát trong bài báo này nằm ở phía đông Christchurch, Newzealand như thể hiện trong Hình 4, là vùng chịu ảnh hưởng nặng nề nhất do hóa lỏng sau chuỗi động đất, được thực địa vào ngày 13 tháng 6 năm 2011 [5]. Hồ khoan mang số hiệu CPT-RCH-17 nằm ở Richmon, Christchurch (vị trí như trong Hình 4) được chọn như dữ liệu địa chất đại diện cho khu vực để phân tích đánh giá hóa lỏng sau trận động đất Christchurch tháng 2 năm 2011. Hình 5 thể hiện dữ liệu chi tiết từ thí nghiệm CPT của hồ khoan CPT-RCH-17. Các thông số đầu vào bao gồm: sức kháng mũi cone (q_c), sức kháng bên (f_s), áp lực nước lỗ rỗng (u), dung trọng riêng tự nhiên (γ), có thể lấy trực tiếp từ thí nghiệm CPT. Từ những thông số đầu vào này, các thông số như loại đất (SBT), độ mịn hạt (FC%), chuẩn hóa sức kháng ma sát (Q_{tn}), chuẩn hóa sức kháng ma sát hiệu chỉnh ($Q_{tn,cs}$).



Hình 6: Tương quan giữa: (a) (Q_{tn} and $Q_{tn,cs}$) từ thí nghiệm CPTu và (b) ($N_{1(60)}$, $N_{1(60),cs}$, and $N_{1(60),cs}$ trung bình) từ thí nghiệm SPT

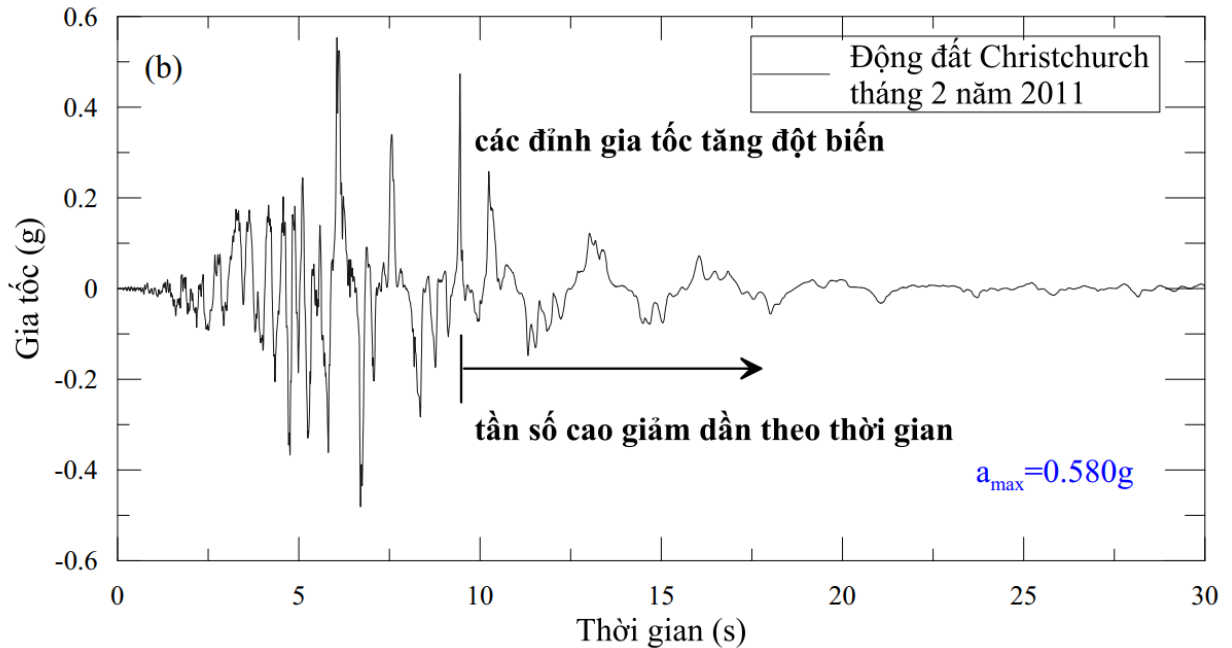
Robertson [9] đề xuất mối tương quan giữa sức kháng (Q_t) từ thí nghiệm CPT và số búa $N_{1(60)}$ từ thí nghiệm SPT theo công thức như sau

$$\frac{Q_t}{P_a N_{1(60)}} = 10^{(1.1268 - 0.2817 \times I_c)} \quad (7)$$

Trong đó, Q_t = sức kháng từ thí nghiệm CPT, P_a = áp lực không khí, $N_{1(60)}$ = số búa đo được từ thí nghiệm SPT, I_c = chỉ số phân loại đất tính từ thí nghiệm CPT.

Hình 6 thể hiện mối tương quan giữa sức kháng (Q_{tn} and $Q_{tn,cs}$) từ thí nghiệm CPT và số búa ($N_{1(60)}$ and $N_{1(60),cs}$) từ thí nghiệm SPT của hồ khoan CPT-RCH-17. Giá trị trung bình $N_{1(60),cs}$ ($N_{1(60),cs}$ trung bình) được hiệu chỉnh cho bề dày lớp đất 1m cho các phân tích tuyến tính tương đương và phân tích hữu hiệu. Có thể thấy mối tương quan phù hợp giữa sức kháng cắt (Q_{tn} and $Q_{tn,cs}$) và ($N_{1(60)}$, $N_{1(60),cs}$, and $N_{1(60),cs}$ trung bình). Sức kháng cắt (Q_{tn} and $Q_{tn,cs}$) theo độ sâu dao động trong khoảng 0-300 và ($N_{1(60)}$, $N_{1(60),cs}$, and $N_{1(60),cs}$ trung bình) nằm trong khoảng 0-100 búa.

4 DỮ LIỆU ĐỘNG ĐẤT



Hình 6: Biểu đồ gia tốc theo thời gian của động đất Christchurch tháng 2 năm 2011. (Dữ liệu được lấy từ Trung tâm đo lường chấn động Hoa Kỳ <https://strongmotioncenter.org>)

Động đất Christchurch năm 2011 là một chuỗi động đất (4 tháng 9 năm 2010, 22 tháng 2 năm 2011, và 13 tháng 6 năm 2011), trong đó trận động đất xảy ra vào tháng 2 được xem như là nghiêm trọng nhất với gia tốc đỉnh lên đến 0.58g (xem Hình 6). Vì vậy, nó được chọn như là dữ liệu động đất cho các phân tích trong bài báo này. Biểu đồ gia tốc của trận động đất trong Hình 6 thể hiện các đỉnh gia tốc tăng đột biến, tần số cao giảm dần theo thời gian. Gia tốc đỉnh của dao động là 0.58g ở thời điểm 6s. Dao động này khả năng cao gây hóa lỏng cho các lớp đất bên trên. Lưu ý rằng trong phương pháp phân tích hóa lỏng đơn giản, chỉ gia tốc đỉnh được sử dụng, trong khi đó dao động gia tốc theo thời gian được sử dụng cho phân tích tuyến tính tương đương và phân tích bằng ứng suất hữu hiệu. Tại đây, dao động đầu vào được gán tại đáy của mô hình cột đất 1D.

5 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

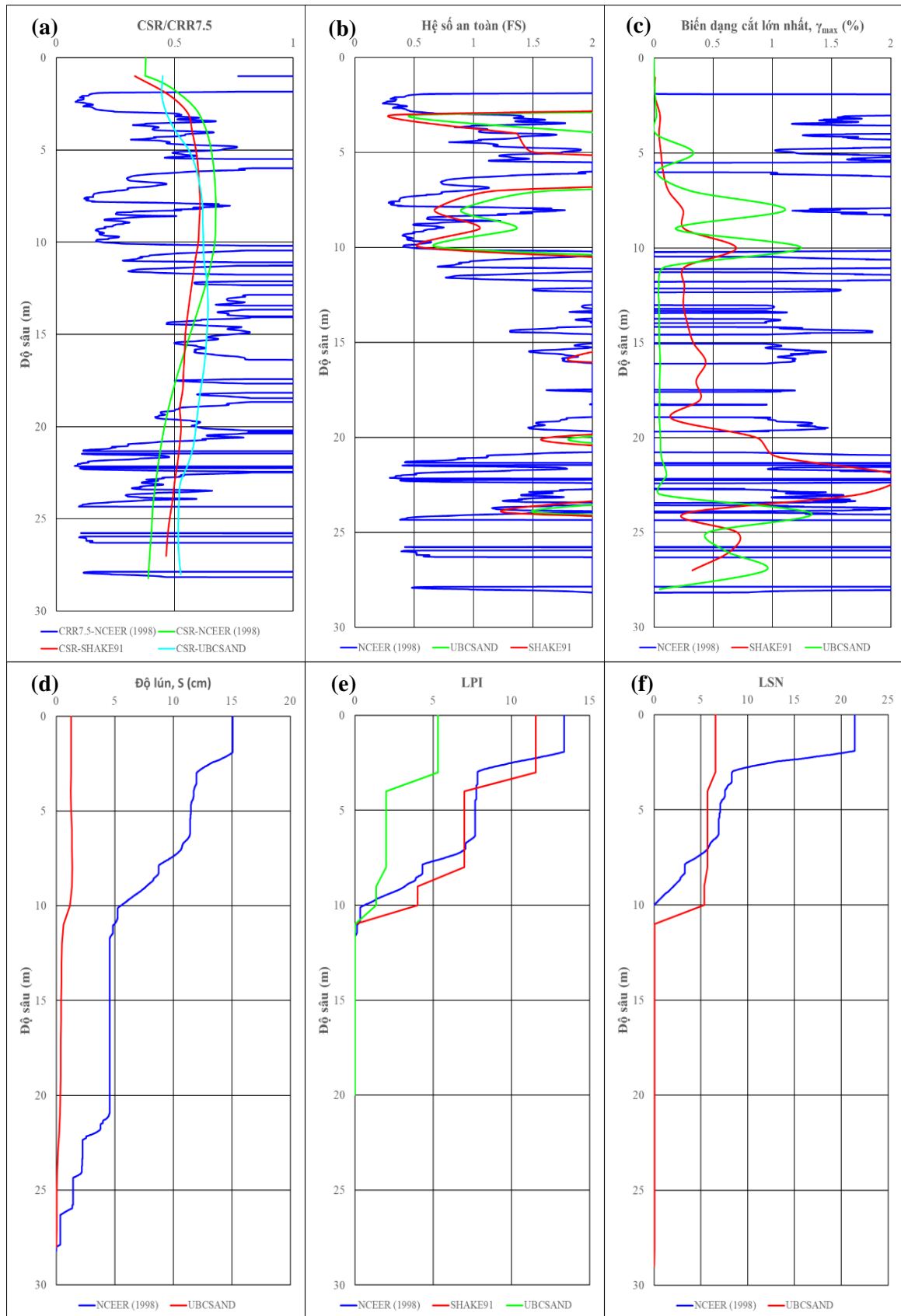
Hình 7 thể hiện kết quả chi tiết của các phương pháp phân tích đánh giá hóa lỏng cho hố khoan CPT-RCH-17: phân tích đơn giản, phân tích tuyến tính tương đương và phân tích bằng ứng suất hữu hiệu.

Từ dữ liệu đầu vào là sức kháng cắt ($Q_{m,cs}$) hiệu chỉnh từ thí nghiệm CPT, tỷ số kháng hóa lỏng tương đương cho nền đất chịu một trận động đất có độ lớn $M_w = 7.5$ ($CRR_{7.5}$) được tính toán theo NCCER (1998) được thể hiện như trong lưu đồ Hình 1. Như thể hiện ở hình 7(a), $CRR_{7.5}$ tính toán phần lớn nhỏ hơn 0.5 ở độ sâu 0-10 m và 20-30 m, trong khi $CRR_{7.5}$ nhỏ hơn 0.5 ở độ sâu 10-20 m. Theo phương pháp phân tích đơn giản, tỷ số CSR được tính theo phương trình (2) theo đề xuất của Seed and Idriss [1]. Theo phương pháp phân tích tuyến tính tương đương, tỷ số CSR được tính toán trực tiếp từ chương trình SHAKE91. Thông số đầu vào quan trọng cho phân tích tuyến tính tương đương là mô đun cắt lớn nhất (G_{max}) hoặc vận tốc sóng cắt (V_s) được tính theo công thức được đề xuất bởi Seed et al. [10]:

$$G_{max} = 21,7.K_{2max}.P_a \cdot \left(\frac{\sigma'_m}{P_a} \right)^{0,5} \quad (8)$$

$$K_{2max} = 20.N_{1(60),cs}^{0,333} \quad (9)$$

CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH ĐÁNH GIÁ...



Hình 7: So sánh kết quả của 3 phương pháp phân tích hóa lỏng theo độ sâu: a) $CSR/CRR_{7.5}$, (b) hệ số an toàn FS , (c) biến dạng cắt lớn nhất γ_{max} , (d) độ lún nền đất, (e) chỉ số LPI, và (f) chỉ số LSN.

Trong đó G_{max} là mô đun cắt lớn nhất, K_{2max} là hằng số mô đun cắt, P_a là áp lực không khí (≈ 100 kPa), σ'_m là ứng suất hữu hiệu, $N_{1(60),cs}$ là số búa hiệu chỉnh từ thí nghiệm SPT.

Đối với phân tích bằng ứng suất hữu hiệu, tỷ số CSR có thể lấy trực tiếp từ kết quả phân tích bằng mô hình UBCSAND. Bằng việc cung cấp thông số đầu vào là số búa hiệu chỉnh ($N_{1(60),cs}$), những thông số nội bộ khác cần cho mô hình được tính theo những công thức có trong Bảng 1. Hệ số thấm (k), dung trọng riêng tự nhiên (γ) được sử dụng trong phân tích bằng ứng suất hữu hiệu được lấy trực tiếp từ thí nghiệm CPT cho hố khoan CPT-RCH-17. Dữ liệu động đất Christchurch tháng 2 năm 2011 được gán vào đáy của mô hình cột đất 1D cho cả 2 phân tích tuyến tính tương đương và phân tích bằng ứng suất hữu hiệu, trong khi đó chỉ gia tốc đỉnh của trận động đất được sử dụng cho phân tích hóa lỏng đơn giản. Như trong hình 7(a), có sự nhất quán giữa tỷ số CSR tính toán được từ các phân tích, và nằm trong khoảng 0.4-0.6. Trong độ sâu 0-10 m, tỷ số CSR tính được từ phân tích tuyến tính tương đương (NCEER 1998) có giá trị lớn nhất, trong khi đó tỷ số CSR tính từ phân tích bằng ứng suất hữu hiệu có giá trị nhỏ nhất trong 3 phương pháp phân tích hóa lỏng. Ngược lại, ở dưới độ sâu 10 m, tỷ số CSR nhỏ nhất tính từ phân tích đơn giản và lớn nhất tính từ phân tích bằng ứng suất hữu hiệu.

Hình 7(b) thể hiện hệ số an toàn do hóa lỏng (FS) sử dụng 3 phương pháp phân tích. Nhìn chung, khả năng hóa lỏng dễ xảy ra ở trên độ sâu 10 m, và khó xảy ra hóa lỏng với các lớp đất dưới độ sâu 10 m. Dễ thấy rằng có sự sai khác nhỏ giữa FS tính từ 3 phân tích trên. Phương pháp phân tích hóa lỏng đơn giản cho thấy FS tính được thấp hơn FS tính được từ phương pháp phân tích tuyến tính tương đương và phương pháp phân tích bằng ứng suất hữu hiệu. Do có xét đến sự làm việc của khung hạt đất và sự phát triển của áp lực nước lỗ rỗng, các kết quả ước tính từ phân tích bằng ứng suất hữu hiệu sẽ đúng nhất khi mô tả sự làm việc của hạt đất, dẫn đến FS tính được từ phương pháp này là nguy hiểm nhất (lớn nhất). Đối với phân tích hóa lỏng đơn giản, chỉ sử dụng gia tốc đỉnh của động đất cho toàn bộ tính toán nên sẽ cho kết quả FS nhỏ nhất (an toàn nhất). Mặc dù phân tích tuyến tính tương đương sử dụng dữ liệu gia tốc theo thời gian thực, tuy nhiên phân tích này vẫn là phân tích theo ứng suất tổng, trong đó sự làm việc chung giữa khung hạt đất và áp lực nước lỗ rỗng không được xét đến, cũng như chỉ xét đến giai đoạn đàn hồi tuyến tính của vật liệu. Chính vì vậy các kết quả tính toán từ phương pháp tuyến tính tương đương sẽ nằm giữa so với các kết quả tính toán từ 2 phương pháp còn lại.

Hình 7(c) so sánh biến dạng cắt lớn nhất tính toán từ ba phương pháp phân tích. Phương pháp phân tích hóa lỏng đơn giản (NCEER 1998) cho kết quả biến dạng cắt lớn nhất lớn hơn rất nhiều so với kết quả tính toán từ phương pháp phân tích tuyến tính tương đương (SHAKE91). Trong khi đó, kết quả tính toán từ phương pháp phân tích bằng ứng suất hữu hiệu (UBCSAND) cho kết quả nhỏ hơn một ít so với biến dạng cắt lớn nhất tính từ phương pháp phân tích tuyến tính tương đương (SHAKE91). Nhìn chung, ở độ sâu từ 0-10 m và các lớp đất dưới độ sâu 20 m, biến dạng cắt lớn nhất lớn hơn đáng kể so với các kết quả ở độ sâu 10-20 m.

Hình 7(d) và 7(f) thể hiện các kết quả độ lún nền đất (S) và chỉ số LSN theo độ sâu tính được từ ba phương pháp phân tích đánh giá hóa lỏng. Do biến dạng thể tích không tính được bằng phương pháp phân tích tuyến tính tương đương, nên các dự đoán về độ lún các lớp đất và chỉ số LSN bằng phương pháp này được bỏ qua trong biểu đồ. Theo đánh giá chung, độ lún ở bề mặt nền đất ($S = 15$ cm) và chỉ số LSN ở bề mặt nền đất ($LSN = 23$) tính từ phương pháp phân tích đơn giản cao hơn rất nhiều so với các kết quả tính từ phương pháp phân tích bằng ứng suất hữu hiệu ($S = 1.28$ cm và $LSN = 7$).

Hình 7(e) so sánh chỉ số LPI theo độ sâu tính được từ ba phương pháp phân tích hóa lỏng. Nhìn chung, khả năng hóa lỏng khả năng cao xảy ra ở các lớp đất trên độ sâu 10 m. Theo phân loại nguy cơ xảy ra hóa lỏng đề xuất bởi Iwasaki et al. (1984), ở gần mặt đất, nguy cơ hóa lỏng cao khi $5 \leq LPI \leq 15$. Chỉ số LPI ở bề mặt đất là tổng các chỉ số LPI của từng lớp đất từ bề mặt đất đến độ sâu 20 m, lớn hơn 0 khi hệ số an toàn do hóa lỏng FS nhỏ hơn 1. Lưu ý rằng LPI tính toán từ phương pháp phân tích bằng ứng suất hữu hiệu nhỏ hơn đáng kể so với 2 phương pháp phân tích còn lại. LPI tính từ phương pháp phân tích hóa lỏng đơn giản lớn hơn không nhiều so với LPI tính từ phương pháp phân tích tuyến tính tương đương.

6 KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Lún nền đất do hóa lỏng là yếu tố chính ảnh hưởng nghiêm trọng đến kết cấu công trình, cầu đường, cảng biển khi có tải trọng động đất. Trong bài báo này, ba phương pháp phân tích được sử dụng để đánh giá khả năng hóa lỏng của nền đất: phân tích hóa lỏng đơn giản, phân tích tuyến tính tương đương, phân tích bằng ứng suất hữu hiệu. Dữ liệu địa chất được sử dụng là một hố khoan của thí nghiệm CPT ở khu vực chịu ảnh

hường nghiêm trọng do trận động đất Christchurch 2011 gây ra. Các kết quả tính toán được từ ba phân tích trên được so sánh với nhau cho thấy ưu điểm và tính đúng đắn của mỗi phương pháp. Các kết quả được tóm tắt lại như sau:

1. Từ dữ liệu địa chất của thí nghiệm CPT ở hố khoan CPT-RCH-17, có mối tương quan phù hợp giữa sức kháng (Q_{tn} and $Q_{tn,cs}$) và số búa hiệu chỉnh trong thí nghiệm SPT ($N_{1(60)}$, $N_{1(60),cs}$, and $N_{1(60),cs}$ trung bình). Dựa theo các kết quả hệ số an toàn do hóa lỏng (FS), chỉ số nguy cơ gây hóa lỏng (LPI) và chỉ số phá hoại do hóa lỏng (LSN), các lớp đất ở độ sâu 0-10 m có nguy cơ xảy ra hóa lỏng cao với mức độ phá hoại lớn và kém an toàn hơn với các lớp đất dưới độ sâu 10 m. Độ lún ở bề mặt nền đất ở khu vực khảo sát trong khoảng từ 1.28 cm đến 15 cm.
2. Phương pháp phân tích đơn giản có ưu điểm là tính toán nhanh, lý thuyết đơn giản, chỉ sử dụng gia tốc đỉnh a_{max} trong suốt quá trình phân tích, Các kết quả từ phương pháp phân tích đơn giản cho hệ số an toàn (FS) thấp nhất, chỉ số LPI và LSN cao nhất. Phương pháp này dùng để sơ bộ khả năng hóa lỏng tại vị trí khảo sát, tuy nhiên không nên sử dụng phương pháp này cho tính toán lún nền hoặc chỉ số LSN vì kết quả quá an toàn so với thực tế.
3. Phương pháp phân tích tuyến tính tương đương sử dụng các phân tích lặp bằng cách giảm dần mô đun cắt và độ giảm xóc của đất để mô phỏng ứng xử phi tuyến của đất. Bài báo này sử dụng chương trình SHAKE91 cho phân tích tuyến tính tương đương. Mặc dù phương pháp này sử dụng dao động gia tốc của động đất theo thời gian cho phân tích, tuy nhiên đây vẫn là phân tích dùng ứng suất tổng, không xét đến gia tăng áp lực nước lỗ rỗng. Chính vì vậy các kết quả từ phân tích hóa lỏng bằng tuyến tính tương đương an toàn hơn phân tích bằng ứng suất hữu hiệu nhưng nguy hiểm hơn phân tích đơn giản. Ngoài ra điểm yếu của phương pháp này là không tính toán được biến dạng thể tích trong quá trình dao động, từ đó không dự đoán được độ lún nền và chỉ số phá hoại nền đất do hóa lỏng LSN .
4. Phương pháp phân tích bằng ứng suất hữu hiệu là phương pháp đáng tin cậy nhất để đánh giá hóa lỏng nền đất. Có thể nói như vậy vì phân tích này có xét đến sự làm việc chung của khung hạt đất và nước lỗ rỗng, ngoài ra mô hình đàn hồi-dẻo của vật liệu đất được xét đến trong phân tích. Phân tích này tính toán trực tiếp được biến dạng thể tích do tải động gây ra trong suốt quá trình dao động, từ đó tính được độ lún nền và chỉ số LSN mà không cần vay mượn các kết quả của thực nghiệm. Bài báo này sử dụng mô hình UBCSAND cho phân tích bằng ứng suất hữu hiệu. Dao động gia tốc của động đất thực theo thời gian được sử dụng cho suốt phân tích. Tuy nhiên các thông số cho mô hình tương đối phức tạp, đòi hỏi người sử dụng phải có kinh nghiệm trong quá trình chọn lọc dữ liệu đầu vào, và thời gian cho một phân tích khá lâu. Các kết quả hệ số an toàn (FS) cao nhất, chỉ số LPI và LSN thấp nhất trong ba phân tích. Phương pháp này nên được sử dụng khi tính toán độ lún nền do hóa lỏng và chỉ số phá hoại nền đất do hóa lỏng gây ra LSN .

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường đại học Công Nghiệp Tp. HCM trong Đề tài có mã số 21.2XD02.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Seed, H.B. and Idriss, I.M. Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *J. Soil Mech. Found. Div*, vol. 97, no. 9, pp. 1249-1273, 1971. <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001662>
- [2] Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B., and Stokoe, K.H. Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *J. Geotech. Geoenvironmental Eng*, vol. 127, no. 10, 817-833, 2001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2001\)127:10\(817\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:10(817))
- [3] Idriss, I. M., Sun, J. I. User's Manual for SHAKE91. *Center for Geotechnical Modeling, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Univ. of California, Davis, California*, 1992.
- [4] Itasca Consulting Group, Inc. UBCSAND constitutive model version 904aR. *Documentation Report: UBCSAND Constitutive Model on Itasca UDM Web Site*, 2011. <https://www.itascacg.com/software/udm-library/ubcsand>

- [5] Cubrinovski, M. Liquefaction-Induced Damage in The 2010-2011 Christchurch (New Zealand) Earthquakes. In *Proceedings of International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, Chicago, IL, USA*, 2013. <https://scholarsmine.mst.edu/icchge/7icchge/session12/1/v>
- [6] Iwasaki, T., Arakawa T. and Tokida, K. I. Simplified procedures for assessing soil liquefaction during earthquakes. *International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 49–58, 1984.
- [7] Tonkin & Taylor Ltd. Liquefaction Vulnerability Study. *Report Number: 52020.0200/v1.0*, 2013. [https://doi.org/10.1016/0261-7277\(84\)90027-5](https://doi.org/10.1016/0261-7277(84)90027-5)
- [8] Zhang, Y., Wang, C. Y., Fu, L. Y., Yan, R., and Chen, X. Mechanism of the coseismic change of volumetric strain in the far field of earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 107, no. 1, pp. 475-481, 2017. <https://doi.org/10.1785/0120160253>
- [9] Robertson, P. K. Interpretation of in-situ tests—some insights. *Mitchell Lecture-ISC*, vol. 4, pp. 1-22, 2012. <https://www.g-i.co.nz/wp-content/uploads/interpretation-of-in-situ-tests-robertson-2012.pdf>
- [10] Seed, H. B., Wong, R. T., Idriss, I. M., and Tokimatsu, K. Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesionless soils. *J. Geotech. Eng.*, vol. 112, no. 11, pp. 1016–1032, 1986. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1986\)112:11\(1016\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1986)112:11(1016))

ALTERNATIVE ANALYSIS FOR LIQUEFACTION EVALUATION: SIMPLIFIED METHOD, EQUIVALENT LINEAR ANALYSIS AND EFFECTIVE STRESS ANALYSIS

NHAT-PHI DOAN

*Department of Civil Engineering, Industrial University of Ho Chi Minh City
doannhatphi@iuh.edu.vn*

Abstract. Under strong ground shaking, saturated soil can lose their strength and stiffnesses while pore water pressure can be generated. This phenomenon is called liquefaction, which can cause major damages for buildings, slopes, dams and other geotechnical structures. In this study, three conventional analyses: simplified method, equivalent linear analysis and effective stress analysis, were performed to evaluate liquefaction potential, ground settlement and damage severity. Cone Penetration Test (CPT) data at a borehole near the epicenter of the 2011 February Christchurch earthquake was employed for these analyses. The recording of strong ground motion was used as the input for both the equivalent linear analysis and effective stress analysis, while the maximum acceleration was extracted for the simplified method. Predictions of Cyclic Stress Ratio (*CSR*), Factor of Safety (*FS*), Settlement (*S*), Liquefaction Potential Index (*LPI*), and Liquefaction Severity Number (*LSN*) obtained from three methods were performed for a comparison.

Keywords. liquefaction, simplified method, equivalent linear analysis, effective stress analysis, CPT, 2011 February Christchurch earthquake.

Ngày gửi bài: 17/09/2022

Ngày chấp nhận đăng: 08/12/2022