

# ĐÁNH GIÁ SỨC CHỊU TẢI CỦA NỀN CÁT HÓA LỎNG DƯỚI MÓNG BÈ

VÕ PHÁN

Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Quốc Gia Thành phố Hồ Chí Minh - vophan@hcmut.edu.vn

NGUYỄN ĐỨC HUY

Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Quốc Gia Thành phố Hồ Chí Minh -  
nguyenduchuyxd08a2@gmail.com

(Ngày nhận: 9/9/2016; Ngày nhận lại: 28/10/16; Ngày duyệt đăng: 14/11/2016)

## TÓM TẮT

Hiện tượng hóa lỏng do động đất là một trong những nguyên nhân chính gây ra các thiệt hại lớn lên kết cấu các công trình dân dụng, giao thông, thủy lợi... Ảnh hưởng của hiện tượng hóa lỏng nền khi có động đất đến sức chịu tải của nền là một vấn đề cần được quan tâm, xem xét trong quá trình thiết kế nền móng công trình. Bài báo trình bày một số phương pháp hiện có dự đoán sức chịu tải của nền cát hóa lỏng dưới móng bè và ứng dụng tính toán cho địa chất khu vực Thành phố Hồ Chí Minh.

**Từ khóa:** động đất; hóa lỏng; sức chịu tải.

## Assessment of load bearing capacity of liquefied sandy ground under raft foundation

### ABSTRACT

The phenomenon of liquefaction caused by earthquakes is one of the main reasons causing major damage to civil engineering, transportation, irrigation structures ... The impact of the phenomenon of liquefaction during an earthquake to load bearing capacity of soil is a problem to be concerned, considered in the process of foundation design. This article presents some existing methods for estimating load bearing capacity of liquefied sandy ground under raft foundation and applies to the calculation for regional geology of Ho Chi Minh City.

**Keywords:** earthquake; liquefaction; load bearing capacity.

## 1. Đặt vấn đề

Động đất là một hiện tượng thiên nhiên gây nên những tai họa khủng khiếp đối với xã hội loài người. Đối với công trình, động đất có thể làm: mất ổn định (trượt mái), biến dạng lớn (lún, nứt), xói ngầm, hóa lỏng. Theo bản đồ phân vùng động đất thì hầu hết các vùng ở Việt Nam đều nằm trong phạm vi có động đất cấp VII, đường bờ biển có khoảng 95% chiều dài nằm trong vùng có động đất từ cấp VII trở lên. Như vậy nguy cơ xảy ra động đất ở Việt Nam là không nhỏ.

Dưới tác dụng của tải trọng công trình, trong quá trình động đất, áp lực nước lỗ rỗng thặng dư tăng lên, nền có thể bị hóa lỏng dẫn đến sức chịu tải bị giảm xuống cục bộ làm phát sinh độ lún và lún lệch làm mất ổn định và gây hư hỏng công trình.

Trong bối cảnh tình hình nghiên cứu về hóa lỏng nền do động đất ở Việt Nam còn hạn chế thì việc nghiên cứu đánh giá sức chịu tải của nền cát hóa lỏng mang tính cấp thiết và là vấn đề có ý nghĩa trong thiết kế xây dựng công trình.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu về lý thuyết: Nghiên cứu các tài liệu đã có ở trong và ngoài nước về vấn đề sức chịu tải của nền cát hóa lỏng.

Tính toán bằng lời giải giải tích và mô phỏng bằng phần mềm Plaxis cho một công trình thực tế ở Thành phố Hồ Chí Minh.

## 3. Cơ sở lý thuyết

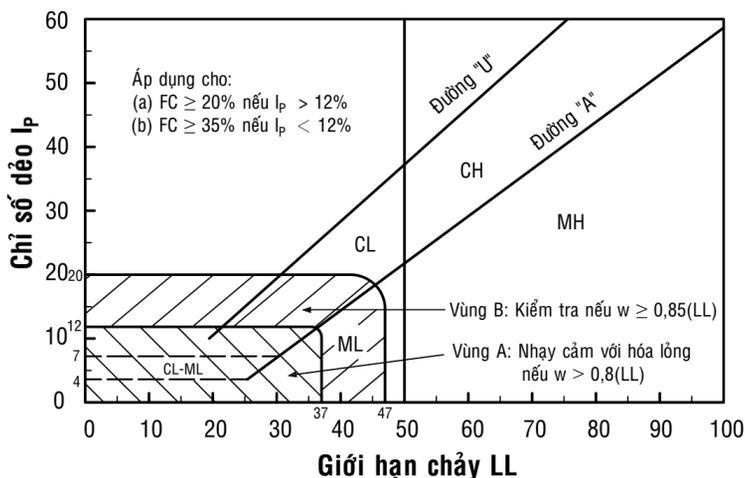
### 3.1. Đánh giá tính nhạy cảm với hóa lỏng của đất

Hóa lỏng đất là hiện tượng đất rời bão hòa nước chứa hạt vừa đến mịn bị mất cường độ do áp lực nước lỗ rỗng tăng đột ngột khi có

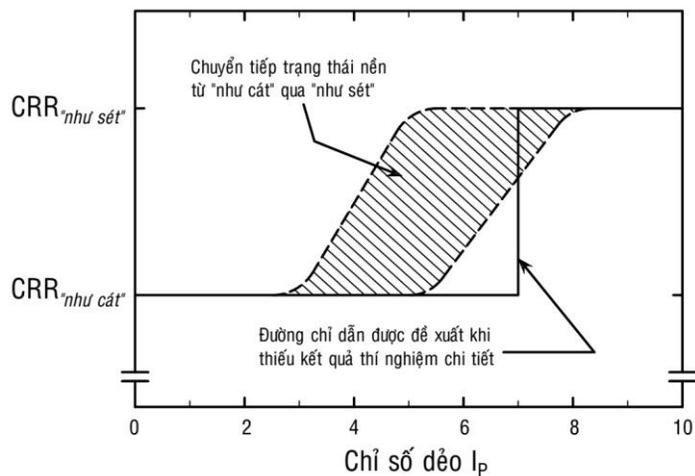
tải trọng động tác dụng.

Các loại đất được phân loại là cát sạch được coi là nhạy cảm với hóa lỏng. Đất cát có chứa thành phần hạt mịn được đánh giá tính

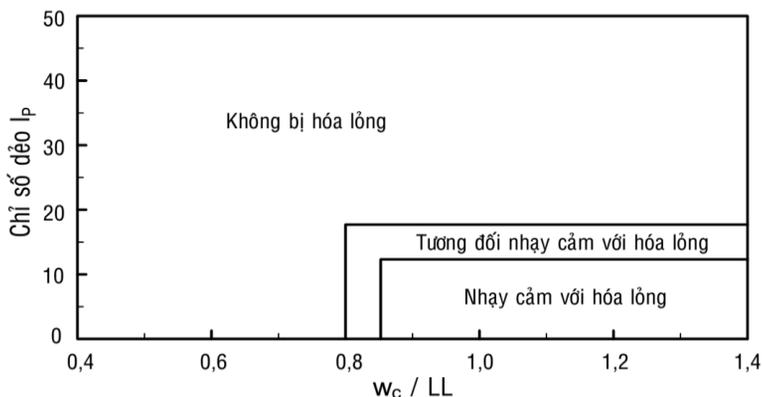
nhạy cảm với hóa lỏng dựa vào các chỉ tiêu như: chỉ số dẻo  $I_p$ , giới hạn chảy LL, độ ẩm  $w_c$ , hàm lượng hạt mịn FC theo các tiêu chuẩn sau đây từ Hình 1 đến Hình 3.



**Hình 1.** Tính nhạy cảm với hóa lỏng của đất theo Seed và cộng sự (2003)



**Hình 2.** Tính nhạy cảm với hóa lỏng của đất theo Boulanger và Idriss (Kramer, 2008)



**Hình 3.** Tính nhạy cảm với hóa lỏng của đất theo Bray và Sancio (Kramer, 2008)

### 3.2. Đánh giá nguy cơ hóa lỏng của nền

Loại đất được đánh giá là nhạy cảm với hóa lỏng (Mục 3.1) có thể không bị hóa lỏng nếu mức độ rung lắc nền không đủ mạnh để vượt qua khả năng kháng hóa lỏng vốn có của đất. Đánh giá nguy cơ hóa lỏng của nền thông qua hệ số an toàn chống hóa lỏng là tỉ số giữa khả năng kháng hóa lỏng của nền tại một khu vực cụ thể và ứng suất cắt trong nền do tải trọng động đất tại khu vực đó. Khi hệ số an toàn chống hóa lỏng nhỏ hơn 1, nền tại khu vực đó được coi là bị hóa lỏng (Kramer, 2008; Tiêu chuẩn Nhật bản 2002;...)

### 3.3. Sức chịu tải của móng nông trong nền cát hóa lỏng

Theo TCVN 9362:2012, sức chịu tải của nền dưới đáy móng được tính theo công thức:

$$R_u = \frac{m_1 m_2}{k_{ic}} (A b \gamma_u + B h \gamma'_u + D c_u - \gamma_u h_o) \quad (1)$$

Ở đây:  $h_o$  là chiều sâu đến nền tầng hầm;

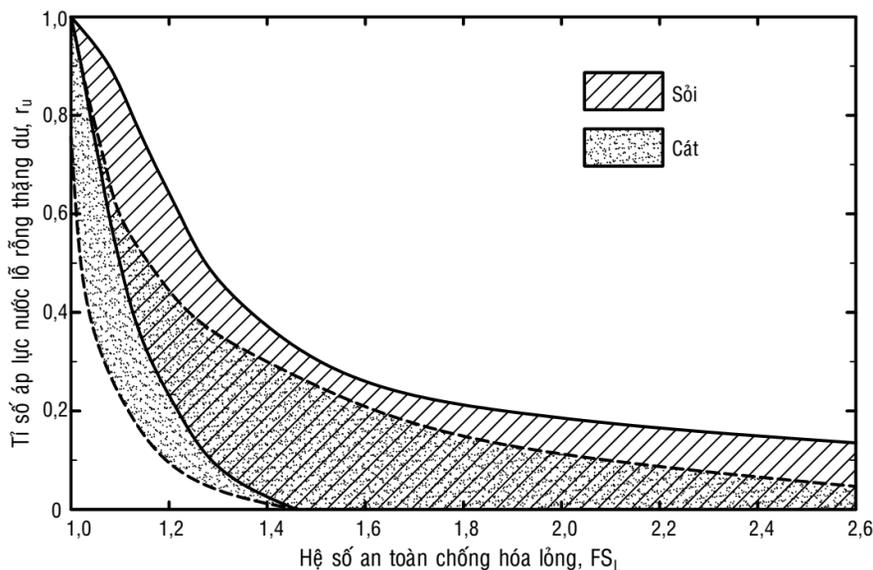
khi không có tầng hầm thì lấy  $h_o = 0$ .  $b$  là bề rộng móng.  $\gamma_u$  là dung trọng của đất dưới đáy móng.  $\gamma'_u$  là dung trọng của đất trên đáy móng.  $c_u$  là lực dính của đất dưới đáy móng.  $A, B, D$  là các hệ số sức chịu tải phụ thuộc vào góc ma sát trong của đất dưới đáy móng.  $m_1, m_2$  là các hệ số điều kiện làm việc.  $k_{ic}$  là hệ số độ tin cậy.

Dưới tác động của ứng suất cắt do động đất, sự gia tăng áp lực nước lỗ rỗng thặng dư sẽ làm giảm ứng suất hữu hiệu trong nền, làm trạng thái của đất trở nên rời rạc hơn và lúc này các thông số sức chống cắt sẽ thay đổi. Do đó cần xác định lại các thông số sức chống cắt trong công thức (1) cho nền cát hóa lỏng.

#### 3.3.1. Dự đoán tỉ số áp lực nước lỗ rỗng thặng dư $r_u$

**Bước 1:** Xác định hệ số an toàn chống hóa lỏng  $FS_L$  theo Kramer (2008)

**Bước 2:** Xác định  $r_u$  theo  $FS_L$ . (Hình 4)



**Hình 4.** Mối quan hệ giữa  $r_u$  và  $FS_L$  theo Marcuson và Hynes (Dickenson, 2002)

#### 3.3.2. Phương pháp xác định thông số sức chống cắt khi xét đến hiện tượng hóa lỏng

a. Theo Dickenson (2002)

Trường hợp các lớp đất khó bị hóa lỏng, hay có hệ số an toàn chống hóa lỏng cao,  $FS_L \geq 1,4$ : các thông số trong công thức (1) tính toán như bình thường.

Trường hợp các lớp đất bị hóa lỏng hoàn

toàn,  $FS_L \leq 1$ , lúc này ứng suất hữu hiệu trong lớp đất giảm về không và lớp đất mất hoàn toàn sức chịu tải.

Trường hợp lớp đất hóa lỏng một phần,  $1 < FS_L < 1,4$ , sự gia tăng áp lực nước lỗ rỗng thặng dư sẽ ảnh hưởng đáng kể đến ứng suất hữu hiệu và sức chống cắt của đất. Lúc này các thông số của đất cần được tính toán lại theo tỉ số áp lực nước lỗ rỗng  $r_u$ . Phương pháp

thông dụng để tính toán lại cường độ tĩnh của đất có xét đến sự gia tăng áp lực nước lỗ rỗng là dùng phương trình sức chống cắt Mohr-Coulomb.

Theo Awad Ali Al-Karni (2001), giả định trị số lực dính đã chiết giảm  $c_{red} = 0,8c$ , trị số góc ma sát đã chiết giảm:

$$\varphi_{red} = \arctan \left[ (I - 0,8) \frac{c}{\sigma'_n} + I \cdot \tan \varphi \right] \quad (2)$$

$$I = 1 - \frac{1}{1 + \frac{c}{\sigma'_n \cdot \tan \varphi}} r_u \quad (3)$$

b. Theo tiêu chuẩn Nhật Bản JRA 2002

Tiêu chuẩn JRA phân ra hai cấp động đất về mặt thiết kế

Cấp 1: Xét trường hợp động đất thường xảy ra với cường độ động đất trung bình.

Cấp 2: Xét trường hợp động đất ít xảy ra với cường độ động đất lớn. Cấp 2 lại được phân thành 2 loại động đất: loại I và loại II. Động đất loại II là những trận động đất xảy ra trong một mảng kiến tạo. Động đất loại I là những trận động đất xảy ra tại ranh giới các mảng kiến tạo với cường độ lớn hơn.

Theo JRA, các thông số sức chống cắt của đất ở trạng thái tĩnh sẽ được nhân với hệ số chiết giảm  $D_E$  để xét đến ảnh hưởng của hóa lỏng ( $D_E$  phụ thuộc vào hệ số an toàn chống hóa lỏng  $F_L$ , độ sâu  $z$  và tỉ số sức kháng cắt động  $R$  theo bảng 1) (Tiêu chuẩn Nhật bản 2002).

Hệ số an toàn chống hóa lỏng  $F_L$  được đánh giá bởi tỉ số:

$$F_L = \frac{R}{L} \quad (4)$$

Tỉ số sức kháng cắt động  $R$ :

$$R = c_w R_L \quad (5)$$

Trong đó:

-  $c_w$ : hệ số hiệu chỉnh

Động đất loại I:  $c_w = 1,0$

Động đất loại II:

$$c_w = \begin{cases} 1,0 & R_L \leq 0,1 \\ 3,3R_L + 0,67 & 0,1 < R_L \leq 0,4 \\ 2,0 & 0,4 < R_L \end{cases}$$

-  $R_L$ : tỉ số ứng suất cắt ba trục tuần hoàn

$$R_L = \begin{cases} 0,0882\sqrt{N_a/1,7} & N_a < 14 \\ 0,0882\sqrt{N_a/1,7} + 1,6 \times 10^{-6}(N_a - 14)^{4,5} & 14 \leq N_a \end{cases}$$

$N_a = c_1 N_1 + c_2$ : chỉ số SPT hiệu chỉnh về cát sạch

$N_1 = 170N / (\sigma'_v + 70)$ : chỉ số SPT hiệu chỉnh về áp lực 1atm

$$c_1 = \begin{cases} 1 & 0\% \leq FC < 10\% \\ (FC + 40) / 50 & 10\% \leq FC < 60\% \\ FC / 20 - 1 & 60\% \leq FC \end{cases}$$

$$c_2 = \begin{cases} 0 & 0\% \leq FC < 10\% \\ (FC - 10) / 18 & 10\% \leq FC \end{cases}$$

$FC$  là hàm lượng hạt mịn ( $<0,075\text{mm}$ , gồm bụi và sét)

Tỉ số ứng suất cắt do động đất  $L$ :

$$L = r_d \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \quad (6)$$

$$r_d = 1 - 0,015z \quad (7)$$

Ở đây  $r_d$  là hệ số chiết giảm ứng suất.  $a_{max}$  là gia tốc nền cực đại ứng với cấp động đất nhất định.  $g$  là gia tốc trọng trường.  $\sigma_v, \sigma'_v$  lần lượt là ứng suất tổng và ứng suất hữu hiệu tại độ sâu  $z$ .

**Bảng 1**Hệ số chiết giảm  $D_E$  theo JRA2002

$F_L$	Độ sâu $z$ (m)	Tỉ số sức kháng cắt động $R$			
		$R \leq 0,3$		$R > 0,3$	
		Cấp thiết kế động đất 1	Cấp thiết kế động đất 2	Cấp thiết kế động đất 1	Cấp thiết kế động đất 2
$F_L \leq 1/3$	$0 \leq z \leq 10$	1/6	0	1/3	1/6
	$10 < z \leq 20$	2/3	1/3	2/3	1/3
$1/3 < F_L \leq 2/3$	$0 \leq z \leq 10$	2/3	1/3	1	2/3
	$10 < z \leq 20$	1	2/3	1	2/3
$2/3 < F_L \leq 1$	$0 \leq z \leq 10$	1	2/3	1	1
	$10 < z \leq 20$	1	1	1	1

**4. Ứng dụng tính toán công trình cụ thể****4.1. Giới thiệu công trình**

Công trình chung cư Hoa Sen là nhà cao tầng gồm 1 tầng hầm, 19 tầng lầu, 1 tầng kỹ thuật và mái, cao độ sàn hầm là -3,55m so với cao độ  $\pm 0,00$ .

Toàn bộ công trình đặt trên hệ móng bè hộp trên nền thiên nhiên. Kích thước móng bè  $B \times L = 27,5\text{m} \times 84,6\text{m}$ . Dầm móng kích thước 1500 x 2500mm, 1000 x 2500mm, 1500 x 1000mm, chiều dày bản đáy 600mm, chiều dày bản nắp 200mm.

Mục này tiến hành đánh giá sức chịu tải của nền cát trong các điều kiện: tĩnh và chịu

tác động của động đất cấp VII, VIII; theo hai phương pháp giải tích và mô phỏng bằng phần mềm Plaxis 2D. Khi tính theo phương pháp của JRA2002, xét cấp thiết kế động đất là cấp 2.

**4.2. Số liệu địa chất**

Công trình được khảo sát với 5 hố khoan có độ sâu đến -62m. Bảng 2 giới thiệu số liệu địa chất của 6 lớp đất tại khu vực quận 1. Cao độ đáy móng là -6,05m so với cao độ  $\pm 0,00$  đặt vào lớp đất số 2 theo số liệu địa chất là lớp cát chặt vừa.

Mực nước ngầm tại thời điểm khảo sát nằm ở độ sâu -1m kể từ mặt đất tự nhiên.

**Bảng 2**

Số liệu địa chất khu vực Quận 1 Thành phố Hồ Chí Minh

Lớp đất	Độ sâu (m)	$\gamma_{\text{sat}}$ ( $\text{kN/m}^3$ )	W %	LL %	$I_p$	$\Phi$ (độ)	C (kPa)	N (SPT)	FC (%)
1 - Bùn sét	0	16,8	47,3	48,95	22,32	7,4	10,8	0	85,8
	2							2	
	4							2	
	5							2	

Lớp đất	Độ sâu (m)	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	W %	LL %	I <sub>p</sub>	$\Phi$ (độ)	C (kPa)	N (SPT)	FC (%)
2 - Cát pha màu vàng nhạt, chặt vừa	6	19,8	20,44	23,2	7,4	20,19	12,8	9	29,29
	8							10	
	10							10	
	12							11	
	14							12	
3 - Cát pha xám vàng, chặt vừa	16	20,13	17,8	19,91	5,1	28	10,7	13	18
	18							11	
	20							13	
	22							13	
	24							14	
	26							19	
	28							24	
4 - Cát pha cuội sỏi, chặt	30	20,15	19,6	26	9,5	19,03	15	15	27,33
	32							16	
	34							20	
	35							20	
5 - Sét cứng, màu nâu	36	19,95	17,52	47,39	24,37	18,71	53	19	81,3
	38							34	
	40							39	
	42							56	
	44							80	
	46							53	
	48							51	
	50							49	
6 - Cát pha xám xanh, chặt đến rất chặt	52	20,26	24,67	-	-	33	10	49	16,14
	54							38	
	56							27	
	58							28	
	60							30	
	62							33	

### 4.3. Kết quả tính toán

Bảng 3 trình bày sức chịu tải của nền tương ứng với các điều kiện chịu tải tính bằng phương pháp giải tích.

**Bảng 3**

Sức chịu tải của nền quận 1 theo phương pháp giải tích

Phương pháp tính	Điều kiện	$R_{II}$ (kPa)	Giảm %
	Tĩnh	346,56	
Theo Dickenson	Động đất cấp VII	346,56	0%
	Động đất cấp VIII	178,42	49%
Theo JRA2002	Động đất cấp VII	346,56	0%
	Động đất cấp VIII	198,87	42,62%

Để mô phỏng bằng phần mềm Plaxis 2D, các thông số đầu vào về cường độ của đất nền được nhân với hệ số  $D_E$  khi xét đến ảnh hưởng của hóa lỏng đến sức chịu tải của nền.

**Bảng 4**

Thông số đầu vào phần mềm Plaxis cho từng lớp đất ở điều kiện tĩnh

Lớp đất	Độ sâu (m)	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	E (kPa)	$\nu$	$\Phi$ (độ)	C (kPa)
1	0-5	16,8	16,3	5600	0,25	7,4	10,8
2	5-14	19,8	18,9	11500	0,3	20,19	12,8
3	14-28	20,13	20,1	14500	0,3	28	10,7
4	28-35	20,15	19,3	18000	0,35	19,03	15
5	35-51	19,95	18,6	40000	0,3	18,71	53
6	51-62	20,26	20,2	23250	0,3	33	10

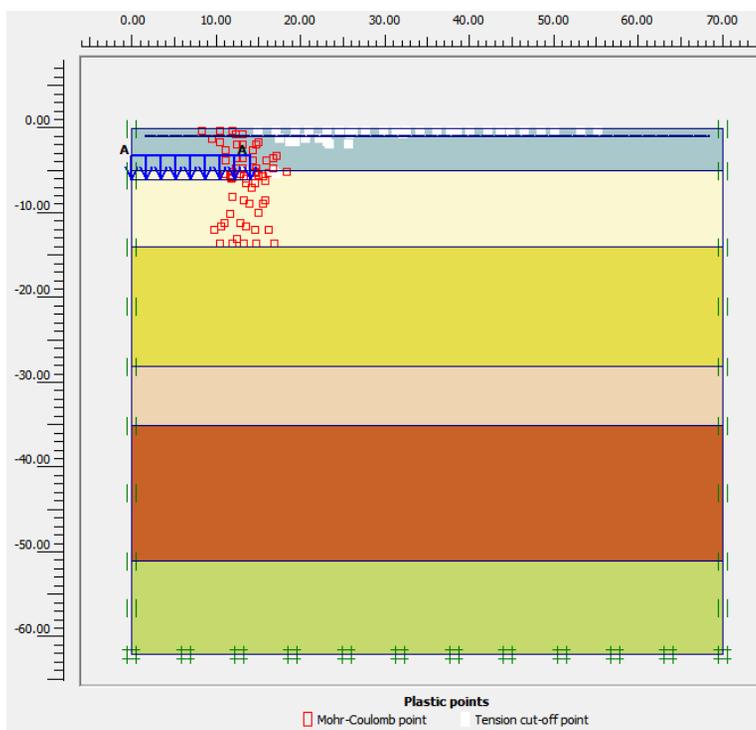
**Bảng 5**

Thông số đầu vào phần mềm Plaxis cho từng lớp đất hiệu chỉnh theo JRA2002 khi xảy ra động đất cấp VIII

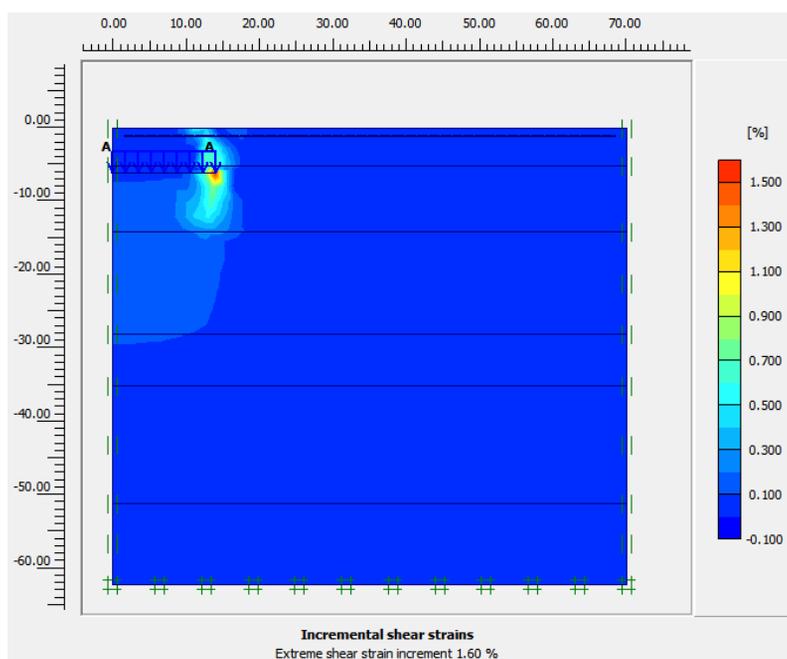
Lớp đất	Độ sâu (m)	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	E (kPa)	$\nu$	$\Phi$ (độ)	C (kPa)
1	0-5	16,8	16,3	5600	0,25	7,4	10,8
2	5-10	19,8	18,9	7671	0,3	13,47	8,54
	10-14	19,8	18,9	11500	0,3	20,19	12,8
3	14-20	20,13	20,1	9672	0,3	18,68	7,14
	20-28	20,13	20,1	14500	0,3	28	10,7
4	28-35	20,15	19,3	18000	0,35	19,03	15
5	35-51	19,95	18,6	40000	0,3	18,71	53
6	51-62	20,26	20,2	23250	0,3	33	10

Hình 5 đến Hình 7 trình bày kết quả mô phỏng khi đất nền chịu tải tĩnh. Khi đặt tải là 350kPa, vùng dẻo trong nền phát triển đến độ sâu B/4 dưới đáy móng, tức khoảng 7m xuống đến độ sâu 14m (Hình 5). Điều này tương đồng với giá trị sức chịu tải tĩnh tính bằng phương pháp giải tích (Bảng 3) và phù

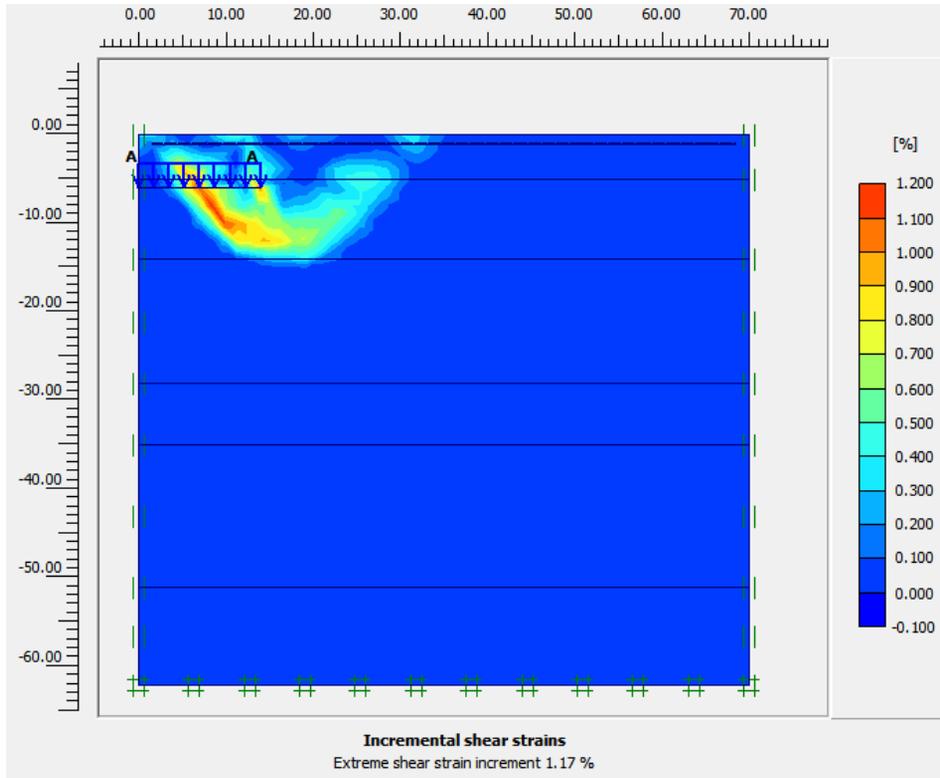
hợp với lý thuyết mức độ phát triển vùng biến dạng dẻo của công thức sức chịu tải  $R_{II}$  theo TCVN 9362:2012. Khi đặt tải là 870kPa, mặt trượt hình thành dưới đáy móng (Hình 7). Nền bị phá hoại và sức chịu tải tại giá trị áp lực 870kPa là sức chịu tải tĩnh cực hạn của nền.



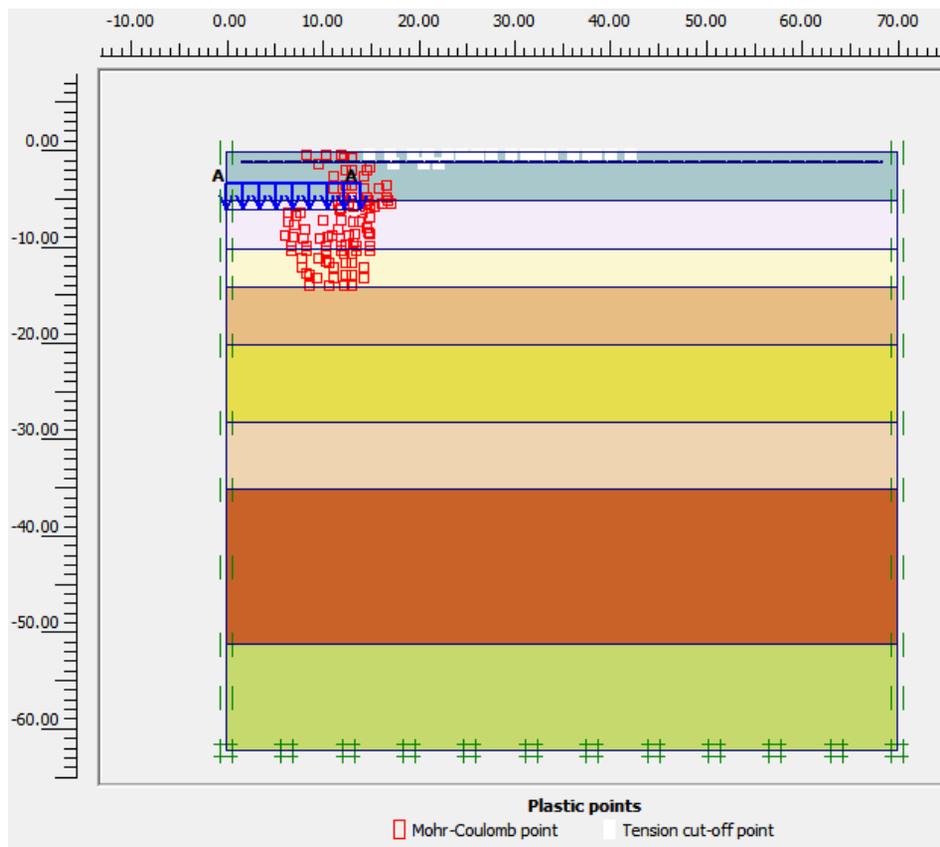
**Hình 5.** Các điểm dẻo trong mô hình tải tĩnh khi tải trọng áp dụng là 350kPa



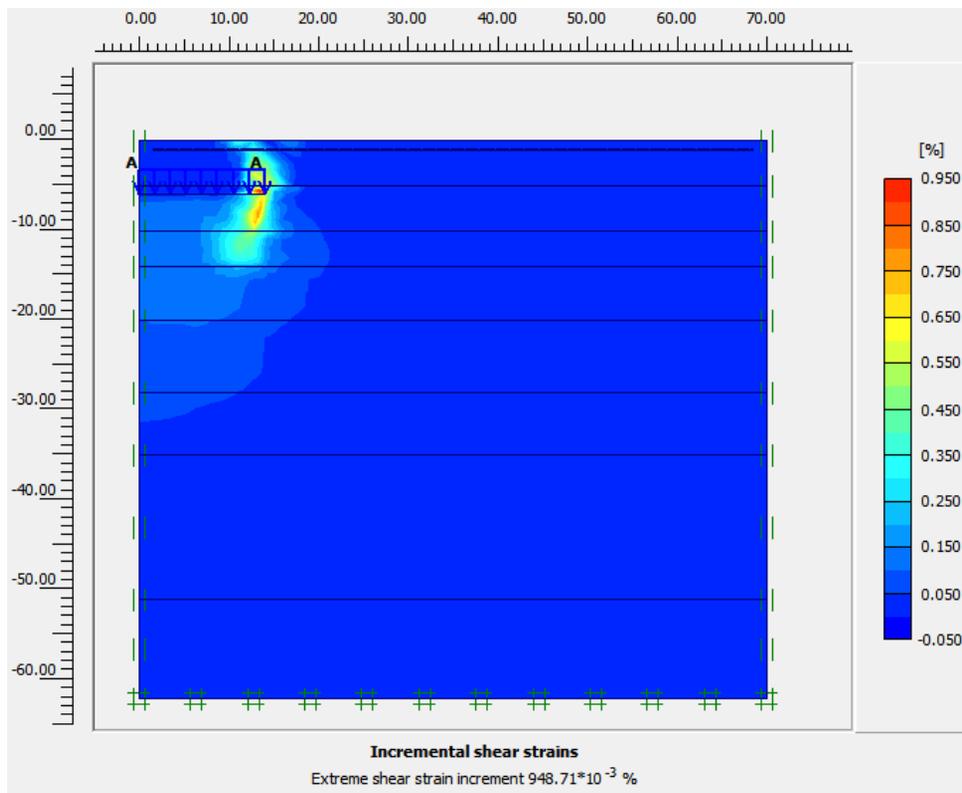
**Hình 6.** Biến dạng cắt trong mô hình tải tĩnh khi tải trọng áp dụng là 350kPa



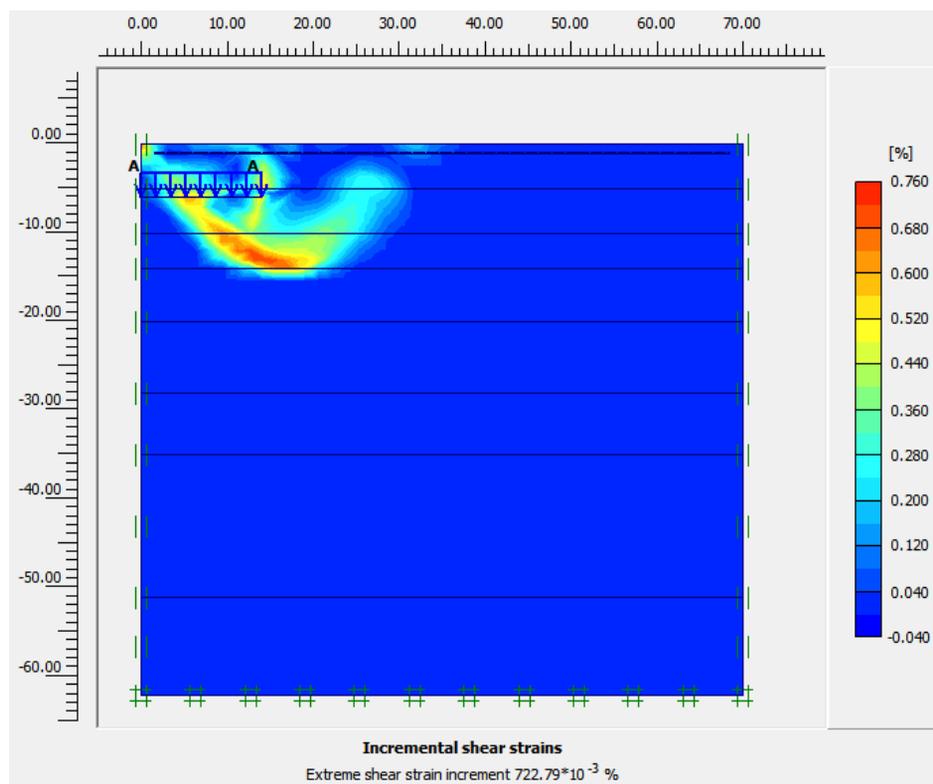
**Hình 7.** Biến dạng cắt trong mô hình tải tĩnh khi tải trọng áp dụng là 870kPa



**Hình 8.** Các điểm dẻo trong mô hình động đất khi tải trọng áp dụng là 180kPa



**Hình 9.** Biến dạng cắt trong mô hình động đất khi tải trọng áp dụng là 180kPa



**Hình 10.** Biến dạng cắt trong mô hình động đất khi tải trọng áp dụng là 410kPa

Hình 8 đến Hình 10 trình bày kết quả mô phỏng khi đất nền chịu tải động đất cấp VIII. Khi đặt tải là 180kPa, vùng dẻo trong nền phát triển đến độ sâu B/4 dưới đáy móng, tức khoảng 7m xuống đến độ sâu 14m (Hình 8). Điều này tương đồng với giá trị sức chịu tải tĩnh tính bằng phương pháp giải tích (Bảng 3)

và phù hợp với lý thuyết mức độ phát triển vùng biến dạng dẻo của công thức sức chịu tải  $R_{II}$  theo TCVN 9362:2012. Khi đặt tải là 410kPa, mặt trượt hình thành dưới đáy móng (Hình 10). Nền bị phá hoại và sức chịu tải tại giá trị áp lực 410kPa là sức chịu tải cực hạn của nền khi xảy ra động đất cấp VIII.

## Bảng 6

Sức chịu tải của nền quận 1 theo phương pháp giải tích và mô phỏng

Phương pháp tính		Điều kiện	Sức chịu tải (kPa)	Giảm %
Phương pháp giải tích		Tĩnh	346,56	
	Theo Dickenson	Động đất cấp VII	346,56	0%
		Động đất cấp VIII	178,42	49%
	Theo JRA 2002	Động đất cấp VII	346,56	0%
		Động đất cấp VIII	198,87	42,62%
Phương pháp mô phỏng		Tĩnh	350	
		Động đất cấp VII	350	0%
		Động đất cấp VIII	180	48,57%

## 5. Kết luận và kiến nghị

### 5.1. Kết luận

1. Sức chịu tải của nền cát dưới móng bè cho địa chất quận 1 giảm khi tăng cấp động đất tác dụng:

Khi xảy ra động đất cấp VII: sức chịu tải của nền là không đổi so với sức chịu tải tĩnh.

Khi xảy ra động đất cấp VIII: sức chịu tải của nền tính theo Dickenson giảm 49% so với điều kiện tĩnh, tính theo JRA giảm 42,62% so với điều kiện tĩnh. Sức chịu tải của nền khi phân tích bằng phần mềm Plaxis giảm 48,57% so với điều kiện tĩnh.

2. Công trình chung cư Hoa Sen được thiết kế 19 tầng nổi và 1 tầng hầm đặt trên móng bè. Đáy móng đặt trên lớp cát trạng thái chặt vừa. Với trường hợp tải tĩnh hoặc khi xảy ra động đất đến cấp VII, nền cát dưới móng bè đủ sức chịu tải cho công trình.

Với trường hợp khi xảy ra động đất đến cấp VIII, sức chịu tải của nền cát dưới móng

bè giảm 49% theo phương pháp giải tích và giảm 48,57% theo phương pháp mô phỏng. Lúc này nếu vẫn sử dụng móng bè thì công trình chỉ có thể được thiết kế từ 8-9 tầng nổi để đảm bảo sức chịu tải của nền.

### 5.2. Kiến nghị

Nghiên cứu tiếp theo cần

1. Mở rộng việc đánh giá sức chịu tải của nền cát hóa lỏng cho các khu vực địa chất khác ở Tp. Hồ Chí Minh.

2. Tính toán độ lún của nền sau hóa lỏng.

3. Việc mô hình lớp hóa lỏng trong phần mềm Plaxis sử dụng hệ số chiết giảm  $D_E$  để quy đổi các thông số vật liệu từ mô hình bình thường sang mô hình hóa lỏng. Cần có nghiên cứu cụ thể về mô hình đất hóa lỏng trong phần mềm Plaxis.

4. Bài báo giới hạn việc đánh giá sức chịu tải của nền do hóa lỏng khi động đất vừa kết thúc, cần mở rộng việc đánh giá sức chịu tải của nền do hóa lỏng khi còn động đất ■

**Tài liệu tham khảo**

- Seed, R. B., Cetin, K. O., Moss, R. E., Kammerer, A. M., Wu, J., Pestana, J. M., ... & Faris, A. (2003). Recent advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework. In *Proceedings of the 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar: Long Beach, CA*, 2-5.
- Kramer, S. L. (2008). *Evaluation of liquefaction hazards in Washington State* (No. WA-RD 668.1). Washington State Department of Transportation, Office of Research and Library Services, 44-48, 55-71.
- Japan Road Association (2002). Specifications for highway bridges. *Maruzen, Tokyo*.
- Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (2012). TCVN 9386:2012, Thiết kế công trình chịu động đất. *Việt Nam*.
- Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (2012). TCVN 9362:2012, Tiêu chuẩn thiết kế nền nhà và công trình. *Việt Nam*.
- Dickenson, S. E., McCullough, N. J., Barkau, M. G., & Wavra, B. J. (2002). *Assessment and mitigation of liquefaction hazards to bridge approach embankments in Oregon*. Washington, DC, Federal Highway Administration, 75-76.
- Al-Karni, A. A. (2001). Shear strength reduction due to excess pore water pressure. In *Proceedings of the 4th International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics: San Diego, CA*, 1-2, 4-5.
- Châu Ngọc Ân. (2015). *Động học đất*. Bài giảng Cao học, Trường Đại học Bách Khoa TP HCM.
- Châu Ngọc Ân. (2010). *Cơ học đất*. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TP HCM.