NGHIÊN CỨU SỰ LÀM VIỆC CỦA KẾT CẤU VỎ HẦM CHỊU TÁC DỤNG CỦA ĐỘNG ĐẤT VỚI GIẢN ĐỒ GIA TỐC PHÁT SINH NGẪU NHIÊN

Vũ Ngọc Anh[1], Cao Chu Quang[1], Nguyễn Quốc Bảo[2], Nguyễn Hữu Hà[1*]

[1] Học viện Kỹ thuật quân sự

[2] Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

[*] Tác giả liên hệ

Nhận ngày 13/11/2020, chỉnh sửa ngày 15/03/2020, chấp nhận đăng 21/03/2021

Tóm tắt

Bài báo trình bày kết quả xác định giá trị nội lực xuất hiện trong kết cấu vỏ hầm khi chịu tác dụng của động đất theo phương pháp phân tích lịch sử thời gian với giản đồ gia tốc có đáp ứng các yêu cầu của TCVN 9386-2012 [1] và được phát sinh một cách ngẫu nhiên.

Từ khóa: *Công trình ngầm, giản đồ gia tốc nhân tạo, tuyến đường sắt đô thị Hà Nội số 03, tính toán công trình ngầm chịu động đất...*

Abstract

The paper presents the results of determining the value of internal force appearing in the tunnel structure when subjected to the impact of an earthquake according to time history analysis with random artificial acceleration with response spectrum matching the requirements of national standard TCVN 9386-2012.

Keywords: *Tunnel structure, artificial acceleration, Ha Noi metro line No.03, seismic analysis of tunnel structure...*

1. Đặt vấn đề

Trong giai đoạn gần đây, mạng lưới giao thông công cộng đang ngày càng trở nên quan trọng trong tổng thể quy hoạch các đô thị trung tâm ở nước ta, đặc biệt là thành phố với mật độ dân cư lớn như Hà Nội. Theo Quy hoạch chung xây dựng thủ đô đến năm 2030 và tầm nhìn đến năm 2050 mạng lưới đường sắt đô thị ở Hà Nội sẽ gồm 8 tuyến với tổng chiều dài khoảng 300km trong đó sẽ có nhiều đoạn hầm đặt trong đất. Việc tính toán, thiết kế công trình ngầm chịu các dạng tải trọng khác nhau, đặc biệt là tác dụng của động đất có ý nghĩa quan trọng trong việc lựa chọn giải pháp thiết kế kết cấu vỏ hầm cũng như an toàn của con người và phương tiện.

Phân tích động lực học kết cấu công trình ngầm chịu động đất cần số liệu đầu vào là giản đồ gia tốc phù hợp với điều kiện địa chấn tại khu vực đặt công trình. Khu vực thành phố Hà Nội chưa ghi nhận các trận động đất lớn nên số liệu cung cấp cho các bài toán còn hạn chế, do đó cần thiết phải sử dụng các giản đồ gia tốc nhân tạo. Các giản đồ này có thể được mô phỏng ngẫu nhiên dựa trên kết quả phân tích hồi quy các dữ liệu địa chấn. Việc tính toán kết cấu công trình ngầm với giản đồ phát sinh ngẫu nhiên giúp ích cho việc tính toán thiết kế công trình theo độ tin cậy.

2. Xây dựng sơ đồ tính toán kết cấu công trình ngầm chịu tác dụng của động đất

Đối tượng luận án tập trung khảo sát là đoạn ngầm trong dự án "Đường sắt đô thị (Metro) số 3, Nhổn- Ga Hà Nội" nằm tại địa phận quận Ba Đình.

- Các giả thiết xây dựng mô hình tính toán:

Do chiều dài công trình lớn hơn nhiều các kích thước còn lại nên giả thiết hệ kết cấu - môi trường làm việc theo sơ đồ biến dạng phẳng. Khi tính toán thừa nhận các giả thiết sau:

+Hệ kết cấu và môi trường làm việc trong điều kiện của bài toán biến dạng phẳng;

+Điều kiện biên của chu vi của miền khảo sát, hai bên trái và phải được mô tả là biên hấp thụ không phản xạ sóng;

+Việc tính toán tác dụng của động đất được thực hiện theo hướng dẫn của ITA và Hashash [4] thể hiện trên mô hình tính bằng việc áp đặt dịch chuyển cưỡng bức của nền đất đá cứng (bedrock). Dịch chuyển này tạo bởi gia tốc theo phương ngang, vuông góc với trục hầm;

+Vật liệu của kết cấu làm việc trong giai đoạn đàn hồi.

- Thiết lập mô hình bài toán:

Mô hình bài toán phẳng chịu tác động của tải trọng động đất của hệ kết cấu hầm – nền đất. Chiều cao của miền tính toán được định là khoảng cách từ mặt đất đến nền đất đá gốc (bedrock). Theo hồ sơ khảo sát độ sâu lớp đất đá gốc đưa vào tính toán là 60m [8]. Bề rộng của miền khảo sát được xác định để đảm bảo khoảng cách từ đường hầm đến hai phía trong khoảng 8D đến 10D, trong ví dụ chiều rộng miền khảo sát là 130m.

Sử dụng điều kiện biên chuẩn của Plaxis. Miền tính toán cần thỏa mãn điều kiện "biên hấp thụ" và được thiết lập tự động trong phần mềm Plaxis với hai chế độ "Load/Standard absorbent boundaries" cho "biên hấp thụ" và "Load/Standard earthquake boundaries" để cho phép gán gia tốc lên đáy của mô hình.

- Thông số vật liệu vỏ hầm: Vỏ hầm làm bằng BTCT, các thông số cơ bản được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Bảng các tham số của kết cấu vỏ hầm.

TT	Tham số	Ký hiệu	Tròn	Đơn vị
1	Kích thước trong	D_{tr}	5,7	m
2	Kích thước ngoài	D_{ng}	6,3	m
3	Chiều dày vỏ hầm	t	0,3	m
4	Mô-đun đàn hồi của bê tông vỏ hầm	E_c	2,5E+7	kPa
5	Hệ số Poisson của bê tông	ν	0,15	
6	Bề rộng dải kết cấu khảo sát	b	1,0	m

- **Tham số mô hình đất:** Đất đá từ tầng đá gốc đến mặt đất gồm 6 lớp được ký hiệu lần lượt từ L1 đến L6 theo thứ tự từ trên xuống [8]. Sử dụng phần tử tam giác 15 nút, mô hình HS, các thông số cơ bản được thể hiện trong bảng 2 và bảng 3.

Bảng 2. Các tham số của đất lớp L1 đến lớp L3.

TT	Thông số	Ký hiệu	L1	L2	L3
1	Bề dày lớp địa chất (m)		2,5	15	3,5
2	Loại đất		L1	L2	L3
3	Mô hình vật liệu		HS	HS	HS
4	Dung trọng bão hòa nước (kN/m^3)	γ_{sat}	18	17,8	19,4
5	Dung trọng tự nhiên (kN/m^3)	γ_{unsat}	17	16,8	19,4
6	Mô đun đàn hồi đơn trục (kN/m^2)	E_{oed}^{ref}	5.100	3.600	16.200
7	Mô đun đàn hồi cát tuyến (kN/m^2)	E_{50}^{ref}	5.100	3.600	16.200
8	Mô đun đàn hồi chất-dỡ tải (kN/m^2)	E_{ur}^{ref}	15.300	10.800	48.600
9	Hệ số Poisson	ν	0,3	0,35	0,3
10	Lực dính c (kN/m^2)	c	55	30	0,1
11	Góc ma sát trong φ (độ)	φ	20	12	31
12	Hệ số R_{inter}	R_{inter}	0,8	0,8	0,7

Bảng 3. Các tham số của môi trường đất lớp L4 đến lớp L6.

TT	Thông số	Ký hiệu	L4	L5	L6
1	Bề dày lớp địa chất (m)		15,0	11,0	13,0
2	Loại đất		L4	L5	L6
3	Mô hình vật liệu		HS	HS	HS
4	Dung trọng bão hòa nước (kN/m^3)	γ_{sat}	20,0	21,0	23,0
5	Dung trọng tự nhiên (kN/m^3)	γ_{unsat}	20,0	21,0	23,0
6	Mô đun đàn hồi đơn trục (kN/m^2)	E_{oed}^{ref}	25.200	48.800	131.000
7	Mô đun đàn hồi cát tuyến (kN/m^2)	E_{50}^{ref}	25.200	48.800	131.000
8	Mô đun đàn hồi chất-dỡ tải (kN/m^2)	E_{ur}^{ref}	75.600	146.400	393.000
9	Hệ số Poisson	ν	0,3	0,3	0,28
10	Lực dính c (kN/m^2)	c	0,1	0,1	0,1
11	Góc ma sát trong φ (độ)	φ	37	39	45
12	Hệ số R_{inter}	R_{inter}	0,7	0,7	0,7

Các tham số cản Rayleigh α_R và β_R của mô hình vật liệu đất đá được xác định theo Brinkgreve [5] theo công thức (1) với giả thiết tỷ số cản các lớp ξ=0,05.

$$\begin{cases} \alpha_R = \dfrac{2.\omega_1.\omega_2.\xi.(\omega_1-\omega_2)}{\omega_1^2-\omega_2^2} \\ \beta_R = \dfrac{2.\xi.(\omega_1-\omega_2)}{\omega_1^2-\omega_2^2} \end{cases} \quad (1)$$

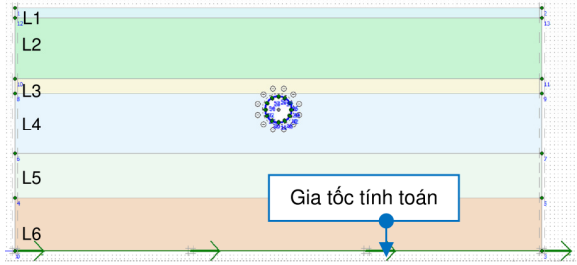
trong đó công thức (1), ω_1 và ω_2 lần lượt là tần số ứng với hai dạng dao động đầu tiên của nền đất, xác định theo công thức (2) [6]:

$$\begin{cases} \omega_1 = \dfrac{\pi}{2}\dfrac{V_s}{H} \\ \omega_2 = \dfrac{3\pi}{2}\dfrac{V_s}{H} \end{cases} \quad (2)$$

Kết quả xác định cặp tham số cản được thể hiện trong bảng 4.

Bảng 4. Hệ số cản tính toán cho các lớp đất.

Lớp đất	H (m)	Vs (m/s)	ξ	ω_1	ω_2	α_R	β_R x10^3
L1	2,5	204,17	0,05	128,28	384,85	9,62	0,19
L2	15	175,32	0,05	18,36	55,08	1,38	1,36
L3	3,5	253,88	0,05	113,94	341,82	8,55	0,22
L4	15,0	318,09	0,05	33,31	99,93	2,50	0,75
L5	11,0	340,09	0,05	48,56	145,69	3,64	0,51
L6	13,0	429,58	0,05	51,91	155,72	3,89	0,48



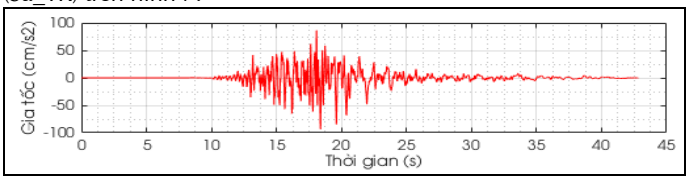
Hình 1. Mô hình tính toán công trình ngầm chịu động đất được xây dựng trong Plaxis 2D.

- **Xây dựng mô hình trên Plaxis 2D**: Với các thông số mô hình vật liệu vỏ hầm, đất đá, mô hình tính toán được xây dựng như trên hình 1, tâm đường hầm đặt ở độ sâu 25m tính từ mặt đất.

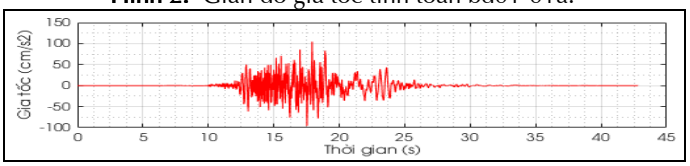
- **Giản đồ gia tốc tính toán**:

Giản đồ gia tốc tính toán là 5 giản đồ gia tốc nhân tạo được phát sinh ngẫu nhiên theo hệ phương trình hồi quy của Yamamoto [2] bằng chương trình PG02 [3] được ký hiệu lần lượt từ bd01-01a đến bd01-05a. Các thông số về nguồn phát được xác định với vị trí trung tâm quận Ba Đình, đới động đất Sông Hồng - Sông Chảy [7] bao gồm: chấn cấp M_w=6,2; độ sâu chấn tiêu R_{hyp}=17km; khoảng cách từ điểm khảo sát đến chấn tâm R_{rup} = 11km.

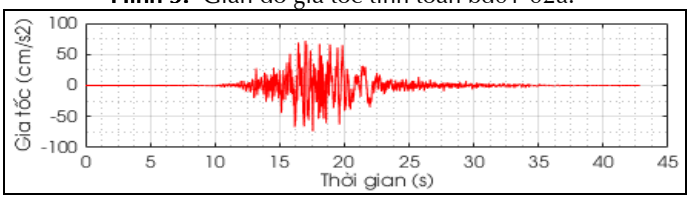
Gia tốc nền phát sinh trên nền đá cứng tương ứng với nền loại A theo TCVN 9386-2012, vận tốc truyền sóng cắt trung bình v_s=800m/s. Giản đồ gia tốc có phổ phản ứng khớp với phổ phản ứng mục tiêu xác định theo TCVN 9386-2012 với nền loại A, giá trị gia tốc nền tham chiếu theo quận Ba Đình, a_{gR}=0,0976g, hệ số tầm quan trọng γ_I=1 (tra cứu theo phụ lục E, TCVN 9386-2012 với dạng công trình là đường hầm tuyến đường sắt đô thị). Gia tốc nền a_g=a_{gR} .γ_I=0,0976(g). Các giản đồ gia tốc được thể hiện từ hình 2 đến hình 6, phổ phản ứng đàn hồi tương ứng của các gia tốc này (Sa) được biểu diễn cùng với phổ phản ứng mục tiêu (Sa_TK) trên hình 7.



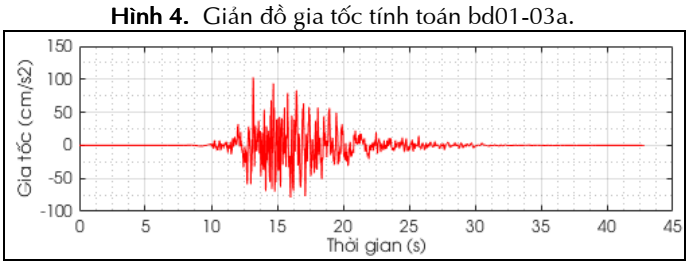
Hình 2. Giản đồ gia tốc tính toán bd01-01a.



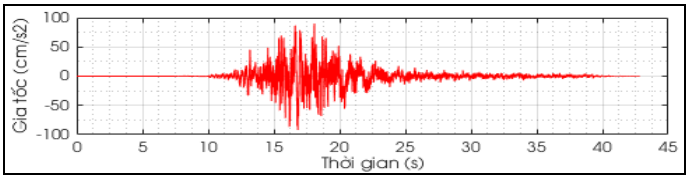
Hình 3. Giản đồ gia tốc tính toán bd01-02a.



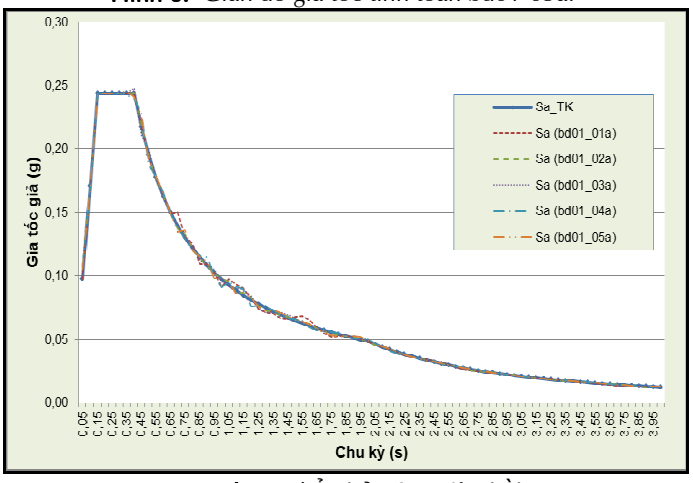
Hình 4. Giản đồ gia tốc tính toán bd01-03a.



Hình 5. Giản đồ gia tốc tính toán bd01-04a.



Hình 6. Giản đồ gia tốc tính toán bd01-05a.



Hình 7. Phổ phản ứng đàn hồi.

Các tham số đặc trưng như gia tốc đỉnh (PGA), vận tốc đỉnh (PGV) của các giản đồ gia tốc nhân tạo được thể hiện như trong bảng 5 dưới đây.

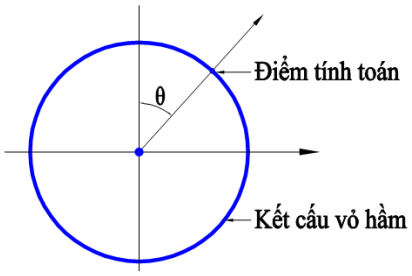
Bảng 5. Các tham số đặc trưng của giản đồ gia tốc.

TT	Gia tốc nhân tạo	PGA (cm/s^2)	PGV (cm/s)
1	bd01-01a	93,72	6,21
2	bd01-02a	104,57	6,62
3	bd01-03a	73,69	6,88
4	bd01-04a	102,85	6,41
5	bd01-05a	92,14	8,05

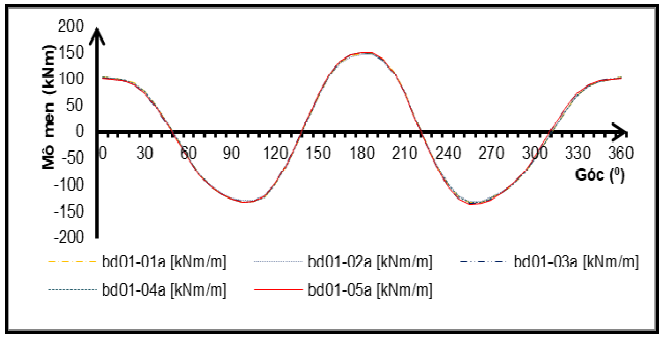
3. Kết quả tính toán và nhận xét

3.1. Kết quả tính toán

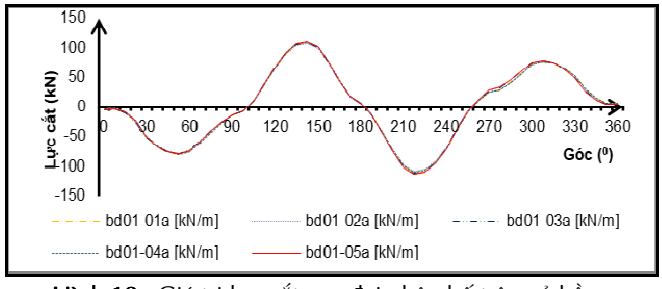
Thực hiện tính toán bằng chương trình Plaxis 2D thu được giá trị nội lực cực đại xuất hiện trong kết cấu vỏ hầm thể hiện như trong các bảng 6, 7 và 8. Phân bố nội lực trong kết cấu vỏ hầm tại thời điểm nội lực đạt cực đại được thể hiện trên các hình vẽ 9, 10, 11.



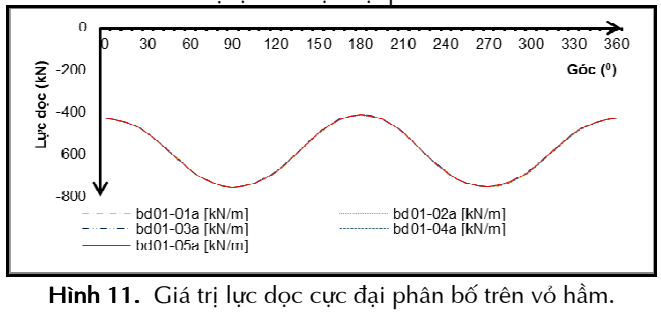
Hình 8. Quy ước tọa độ góc kết cấu vỏ hầm.



Hình 9. Giá trị mô men cực đại phân bố trên vỏ hầm.



Hình 10. Giá trị lực cắt cực đại phân bố trên vỏ hầm.



Hình 11. Giá trị lực dọc cực đại phân bố trên vỏ hầm.

Bảng 6. Giá trị mô men cực đại xuất hiện trong kết cấu.

TT	Gia tốc	Mô men cực đại (kN.m)	Độ lệch so với giá trị trung bình (%)
1	bd01-01a	149,83	0,26
2	bd01-02a	146,68	-1,85
3	bd01-03a	149,93	0,32
4	bd01-04a	149,74	0,20
5	bd01-05a	151,05	1,07
	T.bình	149,45	

Bảng 7. Giá trị lực cắt cực đại xuất hiện trong kết cấu.

TT	Gia tốc	Lực cắt cực đại (kN)	Độ lệch so với giá trị trung bình (%)
1	bd01-01a	111,94	0,30
2	bd01-02a	109,15	-2,20
3	bd01-03a	112,60	0,89
4	bd01-04a	110,85	-0,68
5	bd01-05a	113,51	1,70
	T.bình	111,61	

Bảng 8. Giá trị lực dọc cực đại xuất hiện trong kết cấu.

TT	Gia tốc	Lực dọc cực đại (kN)	Độ lệch so với giá trị trung bình (%)
1	bd01-01a	767,37	-0,06
2	bd01-02a	766,79	-0,14
3	bd01-03a	767,74	-0,02
4	bd01-04a	768,75	0,12
5	bd01-05a	768,64	0,10
	T.bình	767,85	

3.2. Nhận xét kết quả tính toán

Từ kết quả nội lực xuất hiện trong kết cấu vỏ hầm ta có thể thấy:

- Các gia tốc nhân tạo có cùng phổ phản ứng mục tiêu cho kết quả nội lực cực đại xuất hiện trong vỏ hầm chênh lệch ít (sai lệch so với giá trị trung bình lớn nhất là 1,85% với mô men; 2,2% với lực cắt và 0,14% với lực dọc).

- Giản đồ gia tốc bd01-03a và bd01-05a là hai giản đồ gia tốc có giá trị gia tốc đỉnh (PGA) nhỏ nhưng cho kết quả nội lực lớn hơn kết quả nội lực tính với giản đồ gia tốc còn lại. Điều này có thể thấy, trong tính toán công trình ngầm chịu động đất, giá trị gia tốc đỉnh không phải yếu tố quyết định. Mặt khác, có thể nhận thấy, cả hai gia tốc bd01-03a và bd01-05a đều có giá trị vận tốc đỉnh (PGV) lớn hơn hẳn PGV của các giản đồ gia tốc còn lại, do đó, có thể nói PGV ảnh hưởng đáng kể đến nội lực xuất hiện trong kết cấu công trình ngầm.

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày việc tính toán công trình ngầm đô thị chịu tác dụng của động đất với các giản đồ gia tốc nhân tạo được phát sinh ngẫu nhiên. Kết quả tính toán với 05 giản đồ gia tốc tại nền đá gốc cùng phổ phản ứng mục tiêu xác định theo TCVN 9386-2012 cho kết quả nội lực có sai lệch ít (chênh lệch giữa các kết quả nhỏ hơn 5%), do đó đề xuất việc tính toán công trình ngầm với các giản đồ gia tốc. Bên cạnh đó, kết quả phân tích cũng cho thấy vận tốc đỉnh ảnh hưởng đáng kể đến kết quả nội lực vỏ hầm.

Tài liệu tham khảo

[1] Tiêu chuẩn TCVN 9386: 2012 – Thiết kế công trình chịu động đất.

[2] Yamamoto (2011), Stochannstic model for earthquake ground motion using Wavelet packets, PhD thesis, Stanford University.

[3] Vũ Ngọc Anh, Cao Chu Quang, Nguyễn Quốc Bảo (2019), Tạo giản đồ gia tốc nền từ hệ phương trình hồi quy sử dụng phép biến đổi gói Wavelet, Số 7/2019 - Tạp chí KHKT- ISSN 1859-0209.

[4] Hashash, Y.M., Hook, J.J., Schimidt, B., &Yao, J.I. (2001), Seismic design and analysis of underground structures, Tunneling and Underground Space Technology, 247-293.

[5] Brinkgreve R.B.J. and Broere W. (2006), Plaxis manual version 8, Delft University of technology & Plaxis, The Netherlands.

[6] Kramer S.L. (1996), Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.

[7] Nguyễn Ngọc Thủy, Nguyễn Minh Sinh (2004), Nghiên cứu bổ sung và hoàn chỉnh bản đồ phân vùng nhỏ động đất thành phố Hà Nội mở rộng, tỷ lệ 1:25.000, lập cơ sở dữ liệu về đặc trưng dao động nền đất ở Hà Nội ứng với bản đồ trên, Sở Xây dựng Hà Nội.

[8] Hồ sơ Thiết kế sơ bộ tuyến Metro số 03, Ban quản lý Đường sắt đô thị Hà Nội, https://mrb.hanoi.gov.vn/.