

Giải pháp cho điểm kết nối nhà ga hồ Hoàn Kiếm và tuyến tàu điện ngầm số 2

Solution for the connection point of Hoan Kiem lake station and metro line No.02

Nguyễn Công Giang⁽¹⁾, Nguyễn Xuân Phúc⁽²⁾

Tóm tắt

Nghiên cứu giải pháp cho điểm kết nối giữa nhà ga và tuyến tàu điện ngầm, nhằm đảm bảo an toàn và giảm thiểu thiệt hại cũng như thời gian và chi phí xây dựng. Thông thường, tường vây thường làm bằng bê tông cốt thép, khi sử dụng công nghệ thi công bằng máy khoan đào (TBM) cắt trực tiếp qua sẽ tiềm ẩn nguy cơ làm hư hỏng TBM. Nếu tạo lỗ mở trên tường vây trước khi TBM đi qua sẽ gây ra nhiều rủi ro khác, do công trình nằm trong lớp đất dính, có hệ số thấm nhỏ nhưng mực nước ngầm cao, đất bão hòa nước, nên có thể gây ngập cục bộ trong nhà ga. Bài báo này giới thiệu về phương án bê tông cốt sợi thủy tinh cho tấm tường vây nhà ga, TBM xuyên qua tường vây bằng cách cắt cốt thép GFRP (một dạng của vật liệu composite) và nghiền bê tông. Đây là giải pháp nhằm đẩy nhanh tiến độ, đơn giản và an toàn nhất để tạo lối mở giữa đường hầm và nhà ga.

Từ khóa: mắt mềm, cốt sợi thủy tinh GFRP, máy đào hầm TBM, ứng suất

Abstract

The paper investigates solutions for the connection point between the station and the subway line to ensure safety and minimize damage and construction costs. Typically, the diaphragm wall is usually made of reinforced concrete, when using construction technology by Tunnel Boring Machine (TBM) cutting directly through, poses potential risks of damage to TBM. Creating an opening in the diaphragm wall before the TBM passes through will cause many other threats. It deals with that the structure is usually located in the cohesive soil layer and has a small permeability coefficient, but the groundwater level is high, and the soil is saturated with water so it can cause local flooding in the station. This paper introduces the option of glass fiber reinforced concrete for the station diaphragm, TBM penetrates the diaphragm wall by cutting GFRP reinforcement (a form of composite material) and crushing the concrete. This is the solution to speed up construction, the simplest and safest way to create an opening between the tunnel and the station.

Key words: soft-eye, glass fiber reinforced polyme bar, tunnel boring machine, stress

(1)TS, Giảng viên, khoa Xây Dựng,
Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội,
Email: gianglientca@gmail.com

(2)Kỹ sư, Công ty cổ phần đầu tư Blue Crystal,
Email: phucnguyen@bcinvest.vn

Ngày nhận bài: 23/04/2022
Ngày sửa bài: 14/05/2022
Ngày duyệt đăng: 5/7/2022

1. Đặt vấn đề

Thực tế xây dựng nhà ga Hồ Hoàn Kiếm tại trung tâm thành phố Hà Nội, nơi có mực nước ngầm cao và công trình nằm cạnh rất nhiều di tích lịch sử của Thủ đô cũng như các công trình quan trọng khác. Nên đòi hỏi ngoài đảm bảo an toàn cho nhà ga Hồ Hoàn Kiếm, thì chúng ta cũng cần đảm bảo cho các công trình lân cận. Điểm kết nối giữa nhà ga và tuyến tàu điện ngầm có ý nghĩa vô cùng quan trọng, vì nó trực tiếp ảnh hưởng tới kết cấu nhà ga, cũng như chuyển vị tường vây.

Bài báo giới thiệu phương pháp sử dụng bê tông cốt sợi thủy tinh cho khu vực “mắt mềm” - điểm kết nối nhà ga và tuyến để giải quyết những khó khăn trên.

2. Đặc điểm và vị trí của công trình

Ngày 23/03/2022, theo chỉ đạo của Thủ tướng chính phủ về vị trí nhà ga ngầm C9 Hồ Hoàn Kiếm, Ủy ban nhân dân thành phố Hà Nội đã quyết định đề xuất phương án 1 để làm cơ sở hoàn chỉnh hồ sơ điều chỉnh chủ trương đầu tư dự án tuyến đường sắt metro Hà Nội (tuyến số 2). Vị trí nhà ga nằm bên dưới đường Đinh Tiên Hoàng, phía trước Tổng công ty Điện lực Hà Nội và trụ sở Hội đồng nhân dân - Ủy ban nhân dân thành phố Hà Nội.

Nhà ga gồm 4 tầng ngầm. Chiều dài 202.4m, rộng 15m. Tường vây dày 1.2m, chiều dài 37m được cấu tạo bằng bê tông B25 và cốt thép CB400-V. Nhà ga gồm 2 đường hầm nằm ngang song song với nhau đi xuyên qua, đỉnh đường hầm ở cao độ -12.7m, đường hầm có đường kính ngoài 5.9m, nằm hoàn toàn trong lớp đất dính (lớp 4: Sét - Sét pha).

3. Sự khác biệt giữa cốt sợi thủy tinh và cốt thép

GFRP có độ bền kéo gấp đôi thép; tuy nhiên cường độ uốn lại thấp hơn, giới hạn chảy thấp hơn và mô đun đàn hồi thấp hơn. Có nghĩa là GFRP có thể chịu được mức tải trọng tác động lớn hơn trong các trường hợp chịu kéo như làm cốt chịu lực phía dưới của dầm chịu uốn đơn giản hoặc là cốt chịu lực phía trên của dầm console. Tuy nhiên, thép vẫn thông thường sẽ chịu được mức độ võng đàn hồi lớn hơn GFRP trước khi xuất hiện biến dạng đàn hồi hoặc biến dạng vĩnh cửu.

Bảng 1. Thông số vật liệu thép thông thường và thép polymer

	GFRP	Thanh thép vẫn
Độ bền kéo (MPa)	>1000	450
Mô đun đàn hồi (Suất đàn hồi) (GPa)	>60	190 to 200
Độ bền cắt ngang (MPa)	220	300
Cường độ liên kết với bê tông (MPa)	>20	>12
Biến dạng tới hạn %	1.5-2%	15%
Khối lượng riêng (Kg/m ³)	2100	7800

Thép được đặc trưng bởi độ dẻo cao, có nghĩa là nó sẽ biến dạng dẻo trước khi đứt. So với thép, GFRP có đặc tính đàn hồi

và không dễ uốn, có nghĩa là nó sẽ có giới hạn đứt gãy trước giới hạn chảy. Khi này TBM có thể dễ dàng cắt qua GFRP

4. Mô hình hoá máy khiên đào đi qua tường vây

Để nghiên cứu độ ổn định và an toàn của tường vây khi máy khiên đào đi qua nhà ga, mô phỏng là cách tiếp cận đơn giản và hiệu quả.

4.1. Mô hình số

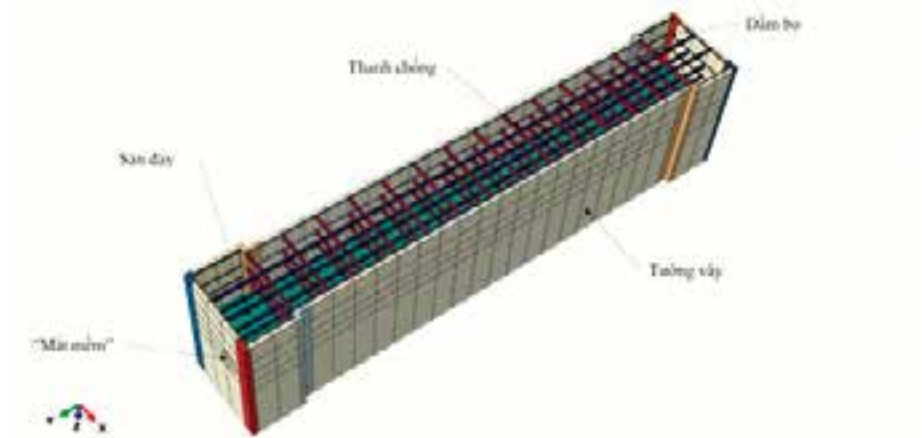
4.1.1. Mô hình tường vây nhà ga

Khi thiết lập mô hình phân tích cho tường vây, mô hình cấu trúc địa chất thường được sử dụng để phân tích sự biến dạng của đất nền và sự tương tác của đất nền đến kết cấu chống đỡ. Hơn nữa, nếu tập trung vào kết cấu tường vây, thì mô hình kết cấu chịu tải thường được sử dụng để phân tích lực/ ứng suất và biến dạng trong tường vây. Trong nghiên cứu này, trọng tâm là xem xét việc khiên đào xuyên qua tường vây. Nền đất bên ngoài tường vây có thể được bỏ qua và tương tác với đất nền và kết cấu có thể được đơn giản hoá bằng cách sử dụng phần tử lò xo để liên kết đất nền với kết cấu. Bằng cách này, mô phỏng số tốn ít thời gian hơn. Mô hình số được phát triển bằng phần mềm ABAQUS.

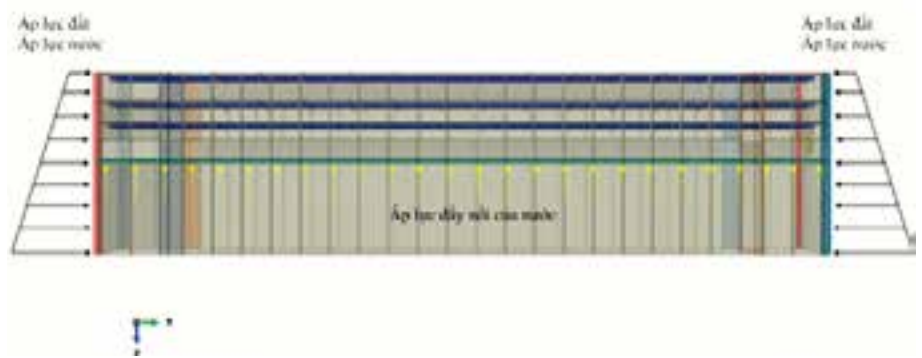
Trong mô hình này, tường vây có 60 tấm, và các khớp nối giữa các tấm, và bản đáy, được mô phỏng bằng cách sử dụng phần tử tấm 3D. Các thành phần này của tường vây nhà ga sẽ được thể hiện trong Hình 1. Để mô hình hoá các khớp nối các tấm tường vây, và việc TBM xuyên qua tường vây.

4.1.2. Điều kiện biên

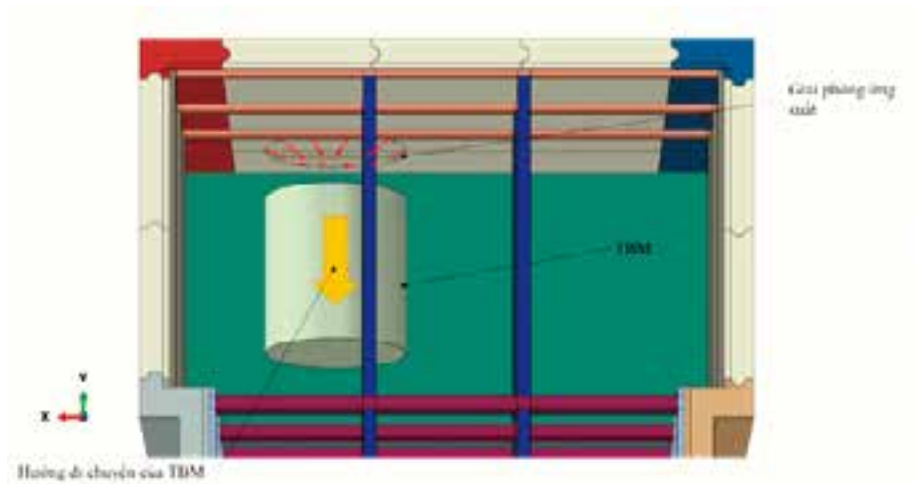
Ngoại trừ các bề mặt bên ngoài của tường vây được hạn chế bởi các lò xo nối đất thông thường, mép dưới của tường vây được cố định theo phương thẳng đứng và áp lực đất tác dụng và áp lực nước bên ngoài tác dụng lên bề mặt của tường vây (Hình 2). Ngoài ra, do sự tồn tại của bản đáy (Nằm ở cao độ -19.45 như thể hiện trong Hình 1), áp lực nước đẩy lên bề mặt bên ngoài của bản đáy, như trong hình 2. Hệ số kháng đàn hồi đơn vị của lò xo đất được gán giá trị 1.5×10^7 N/m. Các lò xo nối đất này được gọi là một loại lò xo kháng, chỉ có thể chịu lực nén, và không phải lực kéo.



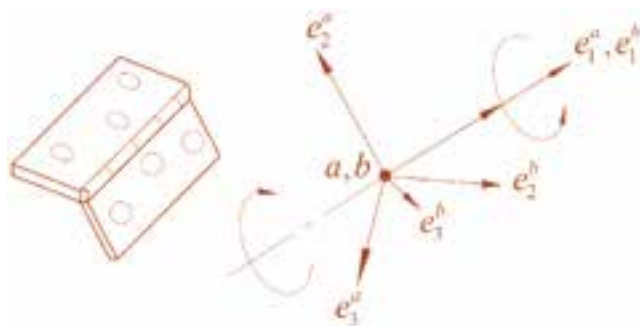
Hình 1. Mô hình của trạm được mô phỏng bằng phần mềm ABAQUS



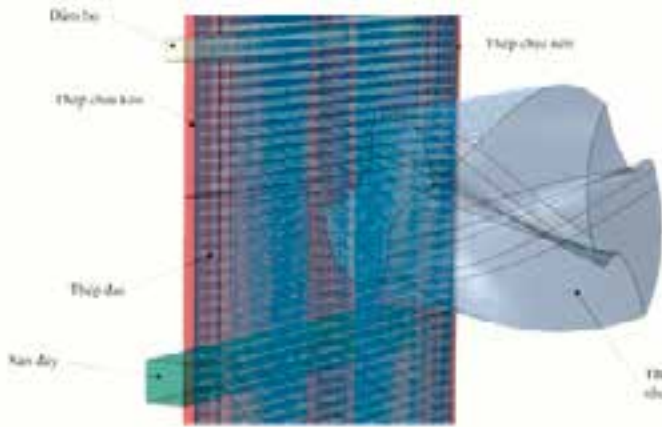
Hình 2. Sơ đồ của Ga C9 với các điều kiện biên



Hình 3. Sự giải phóng ứng suất của tường vây khi TBM đi qua



Hình 4. Kiểu kết nối HINGE và hệ tọa độ trục cục bộ



Hình 5. Mô hình hóa bê tông và thép cây trước khi TBM đi qua

4.1.3. Thông số mô hình

Bảng 2. Các thông số được sử dụng để mô hình hóa bê tông, thép cây và GFRP

Vật liệu	Dung trọng ρ (kN/m ³)	Mô đun đàn hồi E (GPa)	Hệ số Poisson μ
Bê tông	24	30	0.2
Thép cây	78.5	200	0.3
GFRP (Aslan)	21	52.5	0.33
TBM	76	200	0.3

Trong mô hình này, tường vây và bản đáy cũng như các dầm sàn và thanh chống được mô phỏng như 1 loại vật liệu bê tông cốt thép. Các thông số mô hình của bê tông, cốt thép được thể hiện trong Bảng 2.

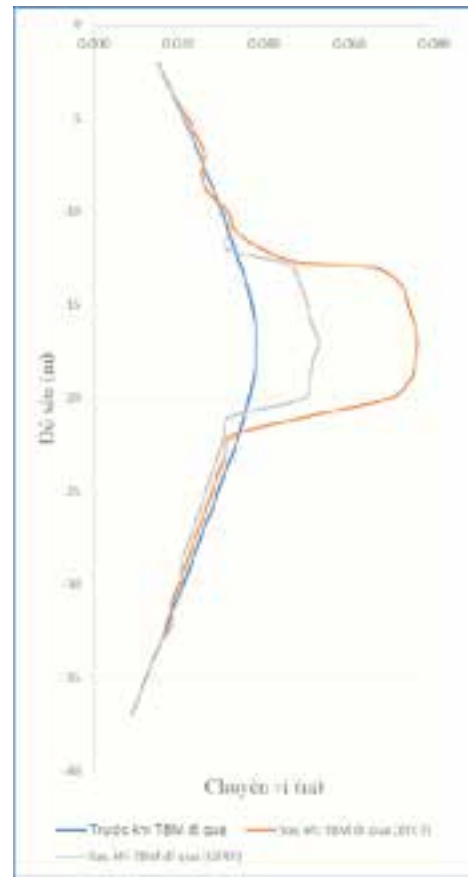
4.2. Phương pháp mô hình hoá máy khoan đào đi qua tường vây

Để mô phỏng khiên đào đi qua tường vây, ta mô phỏng khiên đào như một mũi khoan có đường kính 5.9m, có chuyển động quay tròn và tịnh tiến sẽ nghiền bê tông và cốt thép gia cường tại khu vực “Mắt mềm” và từ đó đi qua tấm tường vây.

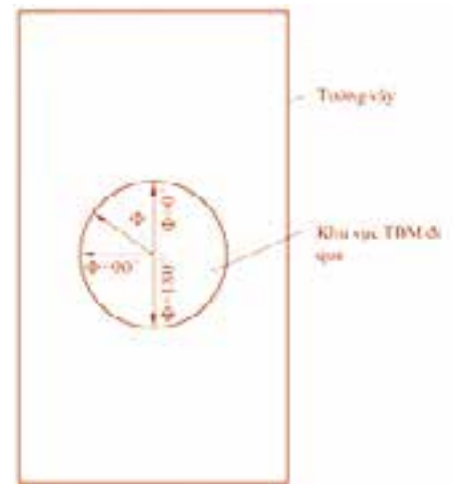
Để mô hình hoá máy khiên đào đi qua tường vây (bao gồm cả khu vực trong và ngoài khiên), ngoài các phần tử bê tông được đào, các lò xo đất ở cả 2 mặt bên của bê tông được đào tương ứng với phần trong và ngoài khiên đào đều được loại bỏ, do đó nhận ra tác động của sự phát triển ứng suất và biến dạng của tường vây như được minh hoạ trong Hình 3. Phương pháp mô hình hoá này không chỉ cung cấp một mô hình tương đương của khiên đào đi qua tường vây, mà còn cung cấp một mô hình ít tốn kém hơn mà không cần mô phỏng đất xung quanh.

4.3. Phương pháp mô hình hoá cho các mối nối tường vây

Tường vây bao gồm các tấm cũng như các mối nối giữa các tấm, như trong Hình 4. Mặc dù người ta biết rằng các mối nối giữa các tấm có thể ảnh hưởng đáng kể đến độ ổn định của tường vây, nhưng có rất ít nghiên cứu về ảnh hưởng của mô hình độ cứng mối nối tường vây đến biến dạng và ứng suất của tường vây. Trong bài báo này, chế độ HINGE của các mối nối trong ABAQUS đã được sử dụng để mô hình hoá các mối nối tường vây. Có như vậy mô hình mới sát với tình hình thực tiễn.



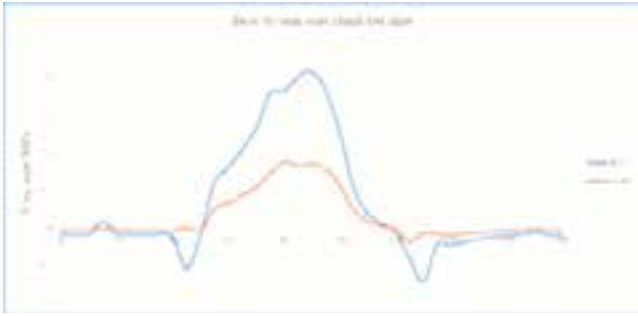
Hình 6. Biểu đồ dịch chuyển của tường D khi TBM đi qua



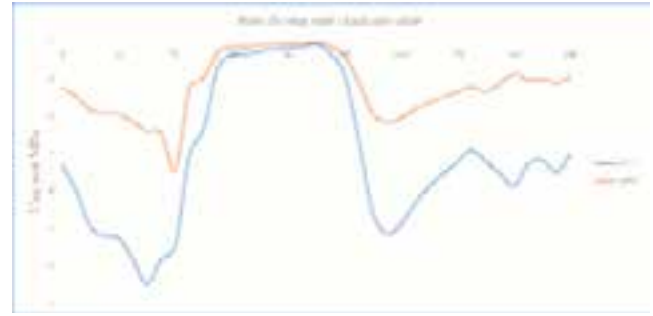
Hình 7. Ø tăng ngược chiều kim đồng hồ theo chu vi của “mắt mềm”

4.3.1. Mô hình hoá mối nối tường vây bên ngoài khu vực khiên đào đi qua

Các mối nối bên ngoài khu vực khiên đào đi qua được mô phỏng với phần tử kết nối HINGE trong ABAQUS. Phần tử HINGE được sử dụng để nối các vị trí của 2 nút (a và b, như trong Hình 4) và để giới hạn vòng quay giữa các bậc tự do quay của chúng. Kiểu kết nối HINGE áp đặt các ràng buộc về động học và sử dụng các định nghĩa về hướng cục bộ, Ma sát dạng Mohr – Coulomb được xác định trước trong kết nối HINGE về mối liên hệ giữa các lực và mômen hạn chế động học trong đầu nối với mômen ma sát trong chuyển động quay quanh trục HINGE.



Hình 8. Sự phân bố ứng suất chính lớn nhất dọc theo chu vi của đường hầm che chắn



Hình 9. Phân bố ứng suất chính nhỏ nhất dọc theo chu vi của đường hầm che chắn

Chuyển động quay về 1 hướng gần như là duy nhất có thể chuyển động trong kết nối, hiệu ứng ma sát là các thời điểm được tạo ra bởi các đường tiếp tuyến và các mômen do các lực tiếp xúc tạo ra.

Trong mô hình này, yêu cầu xác định một hệ tọa độ trụ cục bộ và thiết lập hành vi của đầu nối và trình kết nối cho mỗi phần tử HINGE. Khi độ cứng đàn hồi của đầu nối được đưa ra, sự phân bố biến dạng và ứng suất của các tấm của tường vây có thể được suy ra thông qua mô phỏng số. Đối với nhà ga C9, độ cứng đàn hồi của đầu nối đã được đặt thành 1.7×10^8 N/m.

4.3.2. Mô hình hoá mối nối tường vây bên trong khu vực khiên đào đi qua

Đối với các mối nối trong vùng khiên đào đi qua, các phần tử mô hình HINGE hoạt động trước khi khiên đào đi qua. Khi khiên đào đi qua, các phần tử HINGE ngừng hoạt động bằng cách thiết lập từ khóa “thay đổi mô hình, loại bỏ” trong ABAQUS để loại bỏ và ngăn chúng tham gia vào quá trình tính toán.

5. Phân tích kết quả tính toán

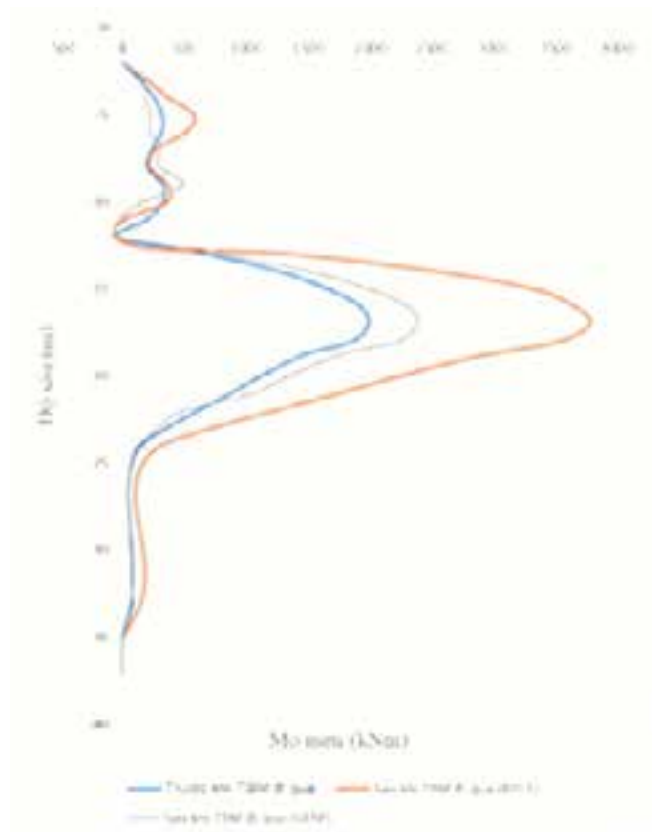
5.1. Chuyển vị của tường vây

Bảng 3. Chuyển vị của tường vây theo từng loại vật liệu

	Chuyển vị (mm)	Chênh lệch (%)
Trước khi TBM đi qua	38.3	0
Sau khi TBM đi qua (RC)	76	98.433
Sau khi TBM đi qua (GFRP)	53	38.381

Chuyển vị lớn nhất xảy ra tại thời điểm khi TBM đi qua tường vây, tại khu vực “mắt mềm” (khu vực cho phép TBM đi qua) cho thấy chuyển vị ở đây là rất lớn. Hình 6 cho thấy các đường cong chuyển vị theo hướng độ sâu từ đỉnh của tường vây trước và sau khi TBM đi qua. Do TBM cắt ngang tường vây nên vùng “mắt mềm” có biến dạng thay đổi lớn, biến dạng lớn nhất là 0.076 (Cốt thép) và 0.053mm (GFRP), nằm ở độ sâu khoảng 15.7 m tính từ đỉnh tường vây. Để so sánh, sự chuyển vị theo độ sâu trước khi TBM đi qua cũng được đưa ra. Chuyển vị giảm dần đến 0 ở chân tường vây. Đây là dấu hiệu cho thấy vật liệu làm “mắt mềm” có ảnh hưởng đáng kể đến chuyển vị của tường vây.

Từ kết quả trên ta thấy với vật liệu cốt sợi thủy tinh polymer tại khu vực “mắt mềm” cho chuyển vị bằng nhỏ hơn 30% so với vật liệu là cốt thép thông thường.



Hình 10. Mômen uốn dọc trong tường vây dọc theo chiều sâu cách mặt bên của hầm chôn 1m

5.2. Ứng suất trong tường vây

Do sự giải phóng ứng suất gây ra bởi khiên đào khi đi qua, có những thay đổi lớn về ứng suất trong tường vây, đặc biệt là ở khu vực mắt mềm. Hình 8 cho thấy sự phân bố ứng suất chính lớn nhất dọc theo chu vi của đường hầm giao với tường vây, sau khi khiên đào xuyên qua. Ứng suất chính cực đại dương là khoảng $60-120^\circ$, và ứng suất lớn nhất là 1,99 MPa, nằm xung quanh 90° . Điều này có nghĩa là ứng suất dương (kéo) tương đối lớn được phân bố ở cả hai mặt bên của đường hầm. Hình 9 cho thấy sự phân bố ứng suất chính nhỏ nhất dọc theo chu vi của đường hầm giao với tường vây sau khi khiên đào xuyên qua. Ứng suất chính tối đa và tối thiểu (theo độ lớn) chủ yếu nằm ở khoảng 30° và 120° . Điều này có nghĩa là chúng được phân bố ở vùng trên và vùng dưới của cả hai mặt bên của đường hầm.

Bảng 4 tóm tắt ứng suất chính lớn nhất và nhỏ nhất trong tường vây sau khi khiên đào đi qua đối với 2 loại vật liệu làm tường vây. So với ứng suất sau khi khiên đào đi qua “mắt

mềm” với vật liệu bê tông cốt sợi thủy tinh polymer, ứng suất sau khi khiên đào đi qua “mắt mềm” làm bằng vật liệu bê tông cốt thép đã tăng lần lượt là 137.46% và 87.53% đối với ứng suất chính lớn nhất và nhỏ nhất. Điều này cho thấy khi khiên đào đi qua tường vây sẽ gây ra những thay đổi lớn đối với ứng suất trong tường vây, đặc biệt đối với ứng suất kéo xung quanh đường hầm, điều này gây bất lợi cho tường vây. Nhưng đối với vật liệu bê tông cốt sợi thủy tinh polymer sẽ cho ứng suất kéo xung quanh đường hầm nhỏ hơn, từ đó an toàn hơn.

Bảng 4. Ứng suất chính lớn nhất và nhỏ nhất trong tường vây

	Ứng suất chính lớn nhất (MPa)	Ứng suất chính nhỏ nhất (MPa)
Sau khi TBM đi qua (RC)	2.092	6.509
Sau khi TBM đi qua (GFRP)	0.881	3.471
Sự gia tăng	137.46%	87.53%

5.3. Mô men trong tường vây

Bảng 5. Mômen uốn dọc lớn nhất trong tường vây

	Mômen uốn dọc (kNm)		Chênh lệch (%)	
	Mô men dương	Mô men âm	Mô men dương	Mô men âm
Trước khi TBM đi qua	1990	-43	0%	0%
Sau khi TBM đi qua (RC)	3648	-67	92%	56%
Sau khi TBM đi qua (GFRP)	2447	-50	23%	17%

Để so sánh, Bảng 5 tóm tắt các mômen uốn lớn nhất trong tường vây trước và sau khi TBM vượt qua tường vây với từng loại vật liệu. Đối với mô men uốn dọc, so với mô men uốn trước khi TBM đi qua, mô men uốn sau khi TBM đi

qua tường vây làm bằng bê tông cốt thép đã tăng lần lượt là 92% và 56% đối với mô men uốn dọc cực đại dương và âm. Đối với tường vây làm bằng bê tông cốt sợi thủy tinh polymer, mô men uốn trước khi TBM đi qua, mô men uốn sau khi TBM đi qua đã tăng lần lượt là 23% và 17% đối với mô men uốn dọc cực đại dương và âm. Kết quả chỉ ra rằng TBM đi qua tường vây gây ra những thay đổi lớn về mômen uốn trong tường vây, gây bất lợi cho tường vây.

6. Kết luận và kiến nghị

6.1. Kết luận

Để xác định được chính xác về chuyển vị, mô men, ứng suất trong tường vây trước và sau khi TBM đi qua, tác giả đưa ra mô hình 3D và phương pháp đặc biệt để đưa ra biểu đồ và bảng biểu so sánh khi sử dụng các loại vật liệu khác nhau ở khu vực “mắt mềm”. Các mối nối tường vây được mô phỏng bằng kết nối HINGE, tường vây tương tác với đất đá xung quanh được mô phỏng với các lò xo đất. TBM được mô phỏng như một mũi khoan, sẽ nghiền bê tông và cắt cốt thép và từ đó đi qua tường vây.

Theo kết quả phân tích, mômen uốn, ứng suất chính và chuyển vị là những thay đổi lớn nhất trên tường vây khi TBM đi qua, nhưng với vật liệu bê tông cốt thép thông thường sẽ cho các giá trị lớn hơn so với vật liệu bê tông cốt sợi thủy tinh, từ đó sẽ gây nguy hiểm và bất lợi cho kết cấu tường vây hơn.

6.2. Kiến nghị

Do đó, tại khu vực “mắt mềm” ta thay thế cốt thép thông thường bằng cốt sợi thủy tinh polymer để TBM có thể dễ dàng đi qua tường vây, đảm bảo an toàn cho tường vây hơn. Thép thông thường sẽ được kết nối với thép polymer bằng phương pháp nối buộc.

Nếu để tích kiệm chi phí, nhà đầu tư vẫn muốn dùng cốt thép thông thường thì trước khi TBM tiến hành khoan vào tường vây, ta sẽ sử dụng máy móc để đục bê tông và cắt cốt thép tại khu vực “mắt mềm” để TBM có thể dễ dàng đi qua. Tuy nhiên cách này sẽ làm tăng tổng thời gian thi công nhà ga và đường hầm./.

Tài liệu tham khảo

- Guojun Wu, Shanpo Jia, Weizhong Chen, Jianping Yang, Jingqiang Yuan., 2018, *Modelling analysis of the influence of shield crossing on deformation and force in a large diaphragm wall*, pp. 154 – 161.
- Bruce, D.A., Chan, P.H.C., Tamaro, G.J., 1992. *Design, construction and performance of a deep circular diaphragm wall*. In: *Symposium on Slurry Walls: Design, Construction, and Quality Control*. ASTM Special Technical Publication. American Society for Testing and Materials Special Technical Publication, Atlantic City, NJ, pp. 391–402.
- Demoor, E.K., 1994. *An analysis of bored pile diaphragm wall installation effects*. *Geotechnique* 44 (2), 341–347.
- Comodromos, E.M., Papadopoulou, M.C., Konstantinidis, G.K., 2013. *Effects from diaphragm wall installation to surrounding soil and adjacent buildings*. *Comput. Geotech.* 53, 106–121.
- Goto, S., et al., 1995. *Ground movement, earth and water pressures due to shaft excavations*. In: *International Symposium on Underground Construction in Soft Ground*, New Delhi, India, pp. 151–154.
- Schafer, R., Triantafyllidis, T., 2004. *Modelling of earth and water pressure development during diaphragm wall construction in soft clay*. *Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech.* 28 (13), 1305–1326.
- Wei, G., 2012. *Numerical simulation of shield tunnel crossing masonry structure building with various degrees*. In: *4th International Conference on Technology of Architecture and Structure*. *Advanced Materials Research*, Xian, pp. 889–893.
- Yamaguchi, I., Yamazaki, I., Kiritani, Y., 1998. *Study of ground-tunnel interactions of four shield tunnels driven in close proximity, in relation to design and construction of parallel shield tunnels*. *Tunn. Undergr. Sp. Tech.* 13 (3), 289–304.
- ACI 440.1R-06, 2006, *Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars* Carvelli, V., Pisani, M.A., Poggi, C., 2010, *Fatigue behaviour of concrete bridge deck slabs reinforced with GFRP bars*, Elsevier Ltd.
- European Standard EN1538, 2000, *Execution of special geotechnical works – Diaphragm walls*.