

Khảo sát sự làm việc của đường hầm lắp ghép xét đến ảnh hưởng của liên kết nửa cứng

Survey on the behaviors of segmental tunnel considering the influence of semi-rigid connections

> TS CAO CHU QUANG, TS VŨ NGỌC ANH*

Học viện Kỹ thuật quân sự

*Email: ngocanh.vu@lqdtu.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp tính toán và kết quả khảo sát nội lực của kết cấu vỏ hầm dạng lắp ghép được thi công theo công nghệ Tunneling Boring Machine (TBM). Bài toán được giải theo mô hình tương tác đầy đủ giữa kết cấu và đất đá xung quanh, thừa nhận giả thiết Jassen trong việc mô tả liên kết giữa các miếng ghép cấu tạo nên vỏ hầm. Phương pháp tính lựa chọn là phương pháp phần tử hữu hạn với phần mềm Plaxis 2D. Kết quả khảo sát với đường hầm tuyến Metro số 3, đoạn Nhón- Ga Hà Nội cho thấy ảnh hưởng đáng kể của việc mô hình hóa liên kết nửa cứng đến nội lực xuất hiện trong kết cấu.

Từ khóa: Kết cấu vỏ hầm lắp ghép; liên kết nửa cứng; tuyến metro số 3 Hà Nội; liên kết Janssen; ...

ABSTRACT

This article presents the calculation method and results of internal force survey of segmental tunnel lining structures constructed using Tunneling Boring Machine (TBM) technology. The problem is solved according to the full interaction model between the structure and surrounding soil, accepting the Jassen model in describing the connection between the segments. The selected calculation method is the finite element method with Plaxis 2D software. Survey results with Metro Line 3 tunnel, section Nhón - Hanoi Station show a significant influence of modeling semi-rigid connections on the internal forces appearing in the structure.

Keywords: Segmental tunnel; semirigid connection; Hanoi green line No.03; Jassen connection...

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

TBM là cụm từ viết tắt của thuật ngữ quốc tế Tunnel Boring Machine dùng để chỉ một tổ hợp thi công hầm với mức độ cơ giới hoá cao. Theo những khảo sát gần đây, khi thi công hầm theo

công nghệ TBM, 14÷15% chi phí xây dựng dành cho việc thi công vỏ hầm. Việc nghiên cứu sự làm việc của vỏ hầm thi công theo công nghệ TBM nhằm đưa ra các khuyến nghị trong quá trình thiết kế và thi công đường hầm theo công nghệ này thực sự là một vấn đề hết sức hữu ích, vừa bảo đảm an toàn cho kết cấu, vừa giảm tối đa chi phí xây dựng.

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 được thi công bằng công nghệ TBM [1]. Do đó, việc tính toán, thiết kế công trình ngầm có ý nghĩa quan trọng.

Việc tính toán kết cấu công trình ngầm lắp ghép thi công công nghệ TBM đã được thể hiện trong nhiều công trình [4][5][6][8]

Trong bài báo này, tác giả sẽ trình bày mô hình và phương pháp tính toán kết cấu vỏ của đường hầm được thi công theo công nghệ TBM với quan điểm kết cấu cùng làm việc với môi trường và liên kết giữa các miếng ghép trong vỏ hầm tuân theo quy luật về liên kết nửa cứng Jassen.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT XÂY DỰNG SƠ ĐỒ TÍNH TOÁN KẾT CẤU VỎ HẦM THI CÔNG THEO CÔNG NGHỆ TBM VỚI PHẦN MỀM PLAXIS

Việc khảo sát sự làm việc của kết cấu vỏ hầm dạng lắp ghép thi công theo công nghệ TBM được thực hiện với phần mềm Plaxis V20. Khi tính toán thừa nhận các giả thiết sau:

+ Sự làm việc của kết cấu được đưa về bài toán biến dạng phẳng do chiều dài công trình lớn hơn nhiều lần kích thước các chiều còn lại;

+ Vật liệu kết cấu là vật liệu đồng nhất;

+ Liên kết giữa các miếng ghép vỏ hầm tuân theo giả thiết của Jassen

Việc mô hình hóa được tiến hành đối với từng nhóm: mô hình hóa kết cấu, mô hình môi trường và mô hình hóa tải trọng.

Mô hình kết cấu:

Các phân tử của vỏ hầm được liên kết tại các nút và được giả thiết làm việc theo mô hình dạng liên kết nửa cứng (LKN) của Jassen [3] thể hiện như trong hình 1. Jassen đã mô hình hóa liên kết giữa các phân tử bằng ba liên kết đàn hồi:

- Liên kết đàn hồi kháng uốn với độ cứng C_r , liên kết này đặc trưng cho khả năng truyền mô men từ miếng ghép này sang miếng ghép kia. Giá trị C_r cũng là thông số cơ bản trong mô hình Jassen.

- Liên kết đàn hồi theo phương pháp tuyến với độ cứng k_r .

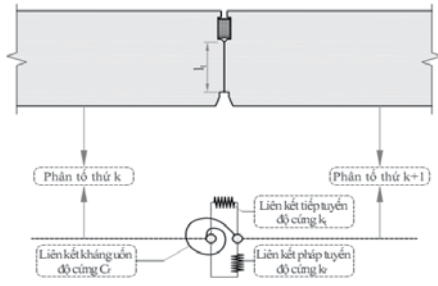
- Liên kết đàn hồi theo phương pháp tiếp tuyến với độ cứng k_t .

Trong thực tiễn tính toán, giá trị liên kết đàn hồi theo phương

pháp tuyến (k_r) và tiếp tuyến (k_t) thường được giả thiết là rất lớn. Khi tính toán theo phần mềm Plaxis, liên kết Janssen được mô tả tương đương với khớp lý tưởng có liên kết kháng uốn với độ cứng C_r , giá trị được xác định theo công thức (1):

$$C_r = \frac{b \cdot l_t^2 \cdot E_c}{12} \quad (1)$$

trong đó: l_t là chiều cao làm việc của liên kết; E_c là mô đun đàn hồi của bê tông; b là chiều dài đoạn hầm, $b=1\text{m}$.



Hình 1. Mô hình hóa liên kết giữa các miếng ghép

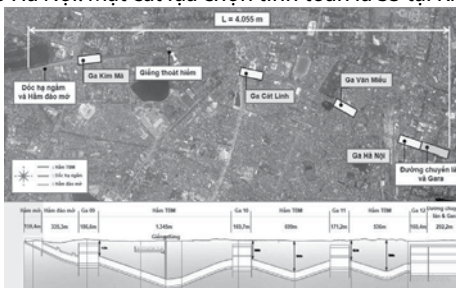
Mô hình hóa môi trường: Trong bài báo, sử dụng mô hình Hardening Soil (HS) để mô hình hóa sự làm việc của đất đá bao quanh đường hầm. Trên cơ sở tham khảo nghiên cứu của Ahmad (2010) tác giả lựa chọn mô hình Hardening Soil (HS) để mô hình hóa các lớp đất để tính toán bằng phần mềm Plaxis. Mô hình HS do Shanz và các cộng sự (1999) cải tiến và phát triển dựa trên cơ sở lý thuyết đàn hồi- dẻo cổ điển để mô phỏng tính ứng xử đàn hồi và dẻo của đất nền. Theo Brinkgreve và Broere (2006) [2] các tham số cần khai báo mô hình này trong Plaxis được bao gồm:

- Dung trọng tự nhiên của đất γ_{unsat} (kN/m^3);
- Dung trọng bão hòa nước của đất γ_{sat} (kN/m^3);
- Góc ma sát trong φ (độ);
- Cường độ lực dính c (kN/m^2);
- Góc trương nở ψ (với đất cổ kết nặng, đất sét có thể lấy $\psi \approx 0$; với đất cát có $\varphi > 30^\circ$ có $\psi \approx \varphi - 30^\circ$; với các loại đất có $\varphi < 30^\circ$ lấy $\psi = 0$ [2]).
- Tham số E_{50}^{ref} là mô-đun cắt tuyến ứng với 50%;
- Tham số $E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$ là mô-đun tiếp tuyến xác định từ thí nghiệm nén đơn trục không thoát nước;
- Tham số $E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ là mô-đun biến dạng của đất khi dỡ và gia tải lại.

Tải trọng tính toán: Thực hiện tính toán kể tới tải trọng tòa nhà lân cận và áp lực vỉa hè.

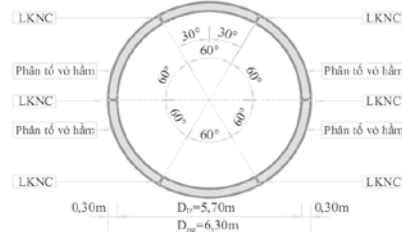
3. THỬ NGHIỆM SỐ TÍNH TOÁN KẾT CẤU VỎ HẦM THI CÔNG THEO CÔNG NGHỆ TBM VỚI PHẦN MỀM PLAXIS

Đặt bài toán: Xác định nội lực cực đại xuất hiện trong vỏ hầm trong 2 trường hợp có kể đến LKNC và không kể đến liên kết nửa cứng. Đoạn hầm tính toán thuộc Tuyến đường sắt đô thị thí điểm TP Hà Nội, đoạn Nhổn - Ga Hà Nội là một dự án quan trọng của Thành phố Hà Nội. Mặt cắt lựa chọn tính toán là S3 tại Km19+974.



Hình 2. Đoạn tuyến ngầm khảo sát

- Thông số kết cấu vỏ hầm và các lớp địa chất: Các thông số cơ bản của vỏ hầm và địa chất tại mặt cắt tính toán (gồm 4 lớp theo thứ tự từ trên xuống L1-L4) được tham khảo từ Tài liệu thiết kế đoạn hầm Nhổn-Ga Hà Nội, tuyến số 3 [1] và thể hiện trong bảng 1.



Hình 3. Mặt cắt ngang vỏ hầm tính toán (khi kể đến LKNC)

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

Tham số	Ký hiệu	Tròn	Đơn vị
Kích thước trong của vỏ hầm	D_{tr}	5,70	m
Kích thước ngoài của vỏ hầm	D_{ng}	6,30	m
Mô-đun đàn hồi của bê tông vỏ hầm	E_c	$3,5 \cdot 10^7$	kN/m^2
Hệ số Poisson của bê tông	ν	0,2	
Bề dày của kết cấu vỏ hầm	t	0,30	m
Bề rộng dải kết cấu khảo sát	b	1,00	m
Độ cứng dọc trục	EA	$10,50 \cdot 10^6$	kN/m
Độ cứng kháng uốn	EI	$7,875 \cdot 10^4$	kNm^2/m
Trọng lượng đơn vị theo chiều dài	w	7,50	kN/m/m
Chiều cao làm việc của liên kết	l_t	0,185	m

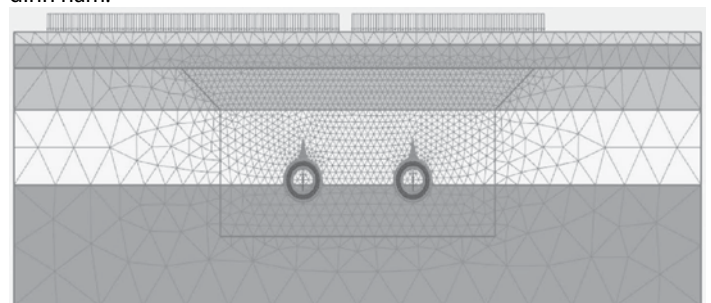
Bảng 2. Bảng các tham số của kết cấu vỏ hầm

Đặc tính của đất	Đơn vị	L1	L2	L3	L4
Dung trọng tự nhiên	kN/m^3	19	18	20	21
Dung trọng khô	kN/m^3	16	11	16	19
Lực dính khi cắt không thoát nước	kPa	50	40	NA	-
Góc ma sát	°	25	20	32	40
Lực dính có hiệu	kPa	15	10	0	0
Hệ số Poisson (thoát nước)	-	0.4	0.4	0.35	0.3
Mô-đun đàn hồi gia tải tham chiếu	MPa	10	7	10	45
Mô-đun đàn hồi lún tham chiếu	MPa	10	7	10	45
Mô-đun đàn hồi dỡ tải/gia tải tham chiếu	MPa	30	20	50	135
Áp suất tham chiếu	kPa	100	100	100	400
Hệ số Poisson (dỡ tải-gia tải)	-	0.3	0.3	0.3	0.2

- Tải trọng tính toán:

+ Tải trọng tòa nhà lân cận: kể tới tải trọng 02 tòa nhà 7 tầng trên tuyến (ứng với mặt cắt số 3 trong Hồ sơ thiết kế [1]), tải trọng phân bố đều với giá trị $p=141,75\text{kN/m}$.

+ Tải trọng do bơm vỉa thứ cấp: Phân bố tải trọng thiết kế của bơm vỉa xem xét một hệ thống các lực tác động lên từng vòng cung 60° tại vòm đỉnh hầm [4], giá trị áp lực vỉa cực đại: 50 kPa tại đỉnh hầm.



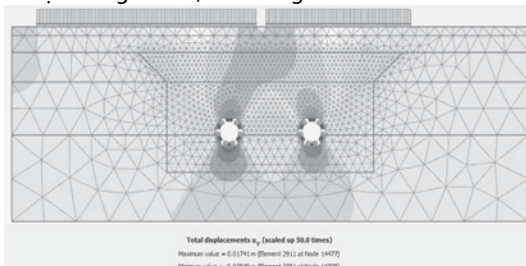
Hình 4. Mô hình lưới phần tử hữu hạn trong phần mềm Plaxis 2D

Tính toán các thành phần nội lực thông qua các giai đoạn (phase) sau:

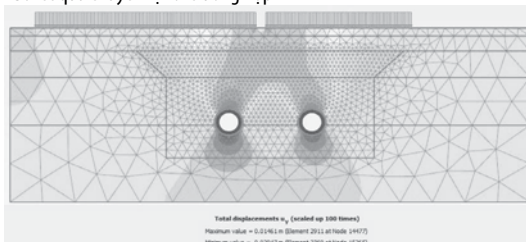
- Giai đoạn 0: Khởi tạo ứng suất ban đầu.
- Giai đoạn 1: Kích hoạt các tải trọng tòa nhà
- Giai đoạn 2: Đào hầm trái.
- Giai đoạn 3: Đào hầm phải, lắp đặt vỏ hầm phân đoạn bên phải.
- Giai đoạn 4: Kích hoạt áp lực vữa 50kPa.
- Giai đoạn 5: Giai đoạn khai thác, loại bỏ áp lực vữa.

4. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN VÀ NHẬN XÉT

Thực hiện kết quả tính toán cho 2 trường hợp, kết quả tính toán thể hiện trong hình 5, 6 và Bảng 3.



Hình 5. Kết quả chuyển vị với trường hợp 1

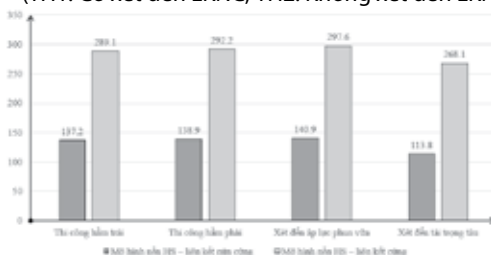


Hình 6. Kết quả chuyển vị với trường hợp 2

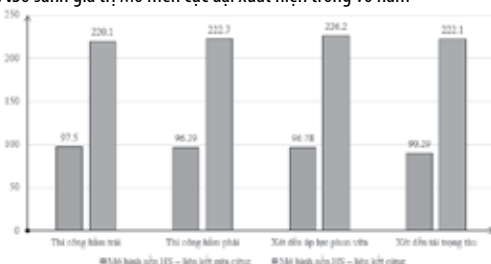
Bảng 3. Giá trị nội lực cực đại xuất hiện trong vỏ hầm

Giai đoạn tính toán	Mô men M – kNm/m		Lực cắt N – KN/m		Lực dọc N – KN/m	
	TH1	TH2	TH1	TH2	TH1	TH2
Thi công hầm trái	137,2	289,1	97,5	220,1	731,7	661,1
Thi công hầm phải	138,9	292,2	96,29	222,7	761,1	689,5
Xét đến áp lực phun vữa	140,9	297,6	96,78	226,2	770,6	697,3
Xét đến tải trọng tàu	113,8	268,1	90,29	222,1	762,9	690,4

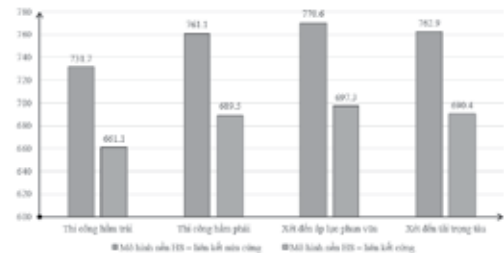
(TH1: Có xét đến LKNC, TH2: Không xét đến LKNC)



Hình 7. So sánh giá trị Mô men cực đại xuất hiện trong vỏ hầm



Hình 8. So sánh giá trị Lực cắt cực đại xuất hiện trong vỏ hầm



Hình 9. So sánh giá trị Lực dọc cực đại xuất hiện trong vỏ hầm

Từ kết quả tính toán, có thể nhận thấy, với tất cả các trường hợp, nội lực tính toán với mô hình TH2 (không kể đến LKNC) đều cho giá trị lớn hơn đáng kể so với nội lực tính toán khi sử dụng mô hình TH1 (có kể đến LKNC). Sự chênh lệch về kết quả này đặc biệt được thể hiện rõ khi xét đến giá trị mô men và lực cắt và ít hơn khi khảo sát lực dọc.

Bên cạnh đó, có thể thấy giá trị nội lực lớn nhất trong các trường hợp đều thu được tại phase khi thi công lớp vữa chèn khe (khi chất tải áp lực phun vữa) và nhỏ hơn khi vào giai đoạn khai thác. Do đó, trong quá trình tính toán cần quan tâm khảo sát giá trị này hơn nữa để đảm bảo an toàn cho kết cấu.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày tính toán một số thí dụ số tính toán kết cấu công trình ngầm dạng lắp ghép thi công theo công nghệ TBM trên đoạn tuyến Nhổn- Ga Hà Nội. Kết quả tính toán đã cho thấy ảnh hưởng của việc lựa chọn mô hình tính toán đến nội lực cực đại nhận được. Kết quả khảo sát cho thấy ảnh hưởng đáng kể của việc lựa chọn giải pháp mô hình hóa kết cấu dạng lắp ghép đến nội lực xuất hiện trong kết cấu vỏ hầm. Đây cũng là vấn đề cần có nhiều nghiên cứu chuyên sâu để đảm bảo kết quả tính mang lại giá trị hữu ích cho quá trình thiết kế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hồ sơ Thiết kế sơ bộ tuyến Metro số 03, Ban quản lý Đường sắt đô thị Hà Nội, <https://mrb.hanoi.gov.vn/>
- [2] Brinkgreve R.B.J. and Broere W. (2006), *Plaxis manual version 8*, Delft University of technology & Plaxis b.v., The Netherlands.
- [3] Janssen, P., 1983. Tragverhalten von Tunnelausbauten mit Gelenktübbings, *Load carrying behavior of segmented tunnel linings, (Ph.D. thesis)*. Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Braunschweig, (in German).
- [4] ITA-Working Group 2 (2019), *Guidelines for the Design of segmental tunnel linings*.
- [5] Teodor Iftimie (1996), *Contributions to the concept and structural analysis of precast circular linings for shield driven tunnels*, Technical university of civil engineering Bucharest, Rumania.
- [6] Sotirios Vardakos (2003), *Distinct element modeling of Shimizu tunnel No.3 in Japan*, Virginia Polytechnic Institute, the USA.
- [7] U.S.Department of Transportation - FHWA Road Tunnel (2009), *Technical manual for design and construction of road tunnels – civil elements*.
- [8] H.Mashimo (2003), *Evaluation of the load on shield tunnel lining in gravel*, Railway technical research Institute, Tokyo, Japan.
- [9] Xiaomin You (2007), *An analytical solution of shield tunnel based*