

PHÂN TÍCH ỨNG XỬ CỦA TƯỜNG VÂY HỒ ĐÀO SÂU BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

TÔ LÊ HƯƠNG^{*,**}, NGUYỄN NHỰT NHÚT^{*,**},
LÊ BÁ VINH^{*,**}, CHÂU QUANG TỬ^{***}

Study on the behavior of the diaphragm wall by FEM

Abstract: In fact, most of the deep excavation works are analyzed by the finite element method with 2D models. The results of geotechnical observations on many deep excavations show that the predictions about the displacement of the diaphragm wall is often wrong and is often much larger than the observed results. In addition, during the diaphragm wall construction, the individual diaphragm wall panels are linked together by joints. Therefore, it is necessary to study the approach of different material models in the process of simulating the diaphragm wall by finite element method (FEM) to appropriately evaluate behavior of the diaphragm wall. Research results in this paper show that the stiffness of diaphragm wall in the horizontal direction is equal to 20% of the stiffness in the longitudinal direction when simulated under anisotropic conditions. At isotropic conditions, the plate models have a significantly higher bending moment M_{11} in the middle of the wall than the solid model by about 54%. Under the anisotropic condition, this difference is 50% in the couple analysis. This shows that the difference in bending moment in the middle of the wall of the plate models compared to the volume model depends more on the degree of consolidation (couple analysis) than on the anisotropic behavior of the wall material.

Keywords: diaphragm wall, deep excavation, finite element method, Plaxis 3D, anisotropy, isotropy, volume element, plate element.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hồ đào sâu là một dạng công trình trung gian phục vụ thi công xây dựng công trình ngầm như tầng hầm nhà cao tầng, tuyến đường sắt ngầm, nhà ga ngầm. Về phương diện cơ học đất, nó được xem là bài toán đỡ tải đối với nền đất. Việc đỡ tải này làm thay đổi trạng thái ứng suất

biến dạng trong nền. Khi sự cân bằng ban đầu bị phá vỡ sẽ làm xuất hiện các nguy cơ mất ổn định, đầu tiên là thành hồ đào, sau đó là đáy hồ đào và đất nền xung quanh.

Cho đến nay, trong thực tế thiết kế, người ta vẫn ưu tiên áp dụng phân tích 2D trong bài toán hồ đào sâu [5;6;7], phân tích 3D hiếm khi được thực hiện vì những hạn chế về thời gian và sự phức tạp khi mô hình. Ngoài ra, việc giả định về độ cứng tường vây đẳng hướng giống nhau theo tất cả các phương dẫn đến hạn chế đáng kể trong phương pháp mô phỏng tường vây hồ đào sâu bởi vì nó có các phần tử thẳng đứng liên tục (ví dụ: tấm panel tường vây, cọc vây,...) nhưng

* Bộ môn Địa cơ – Nền móng, Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng, Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM

** Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

*** Học viên Cao học, Bộ môn Địa cơ – Nền móng, Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng, Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM

Tác giả liên hệ: tolehuong@hcmut.edu.vn

không liên tục theo phương ngang dẫn đến độ cứng theo phương ngang của tường nhỏ hơn so với độ cứng theo phương đứng của tường do mối nối giữa các panel (hay còn gọi là “tính bất đẳng hướng” của vật liệu tường vữa).

Hiện nay có rất ít nghiên cứu trong nước và quốc tế về phương pháp mô phỏng tường vữa bất đẳng hướng này cho các công trình thực tế trong đất yếu tại TPHCM. Mặt khác, các nghiên cứu hiện nay vẫn còn xem hệ tường vữa làm việc như một tấm tường liên tục toàn khối, tức là độ cứng, khả năng chịu uốn theo phương đứng và phương ngang của tường vữa là giống nhau [1;2;3;4].

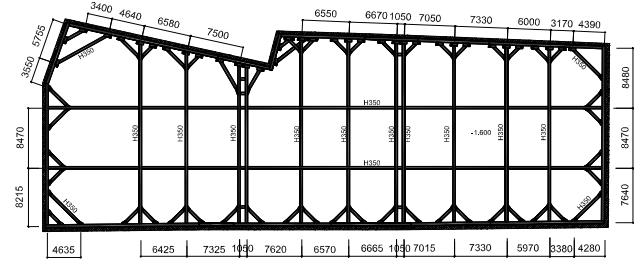
Do đó trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn Plaxis 3D để mô phỏng tường vữa hố đào sâu cho một dự án cụ thể ở khu vực quận 4 TPHCM. Trọng tâm chính là mô phỏng đặc tính bất đẳng hướng của vật liệu tường vữa và sự khác biệt giữa các mô phỏng 3D volume (mô phỏng 3D phần tử khối) so với 3D Plate (mô phỏng 3D phần tử tấm). Ảnh hưởng của phương pháp phân tích kép (couple analysis) cũng được xét đến trong nghiên cứu này để phân tích, đánh giá và đưa ra những đề xuất hoặc giải pháp thiết kế cho những dự án tương tự.

2. CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU

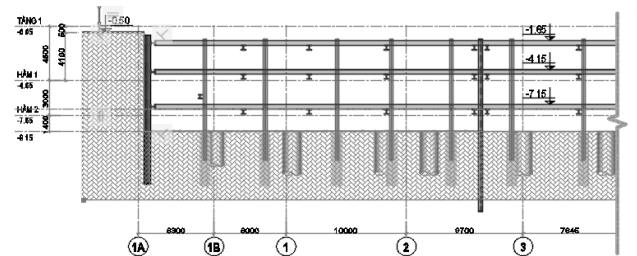
Công trình dùng để phân tích trong bài báo này là “Chung cư kết hợp thương mại Bến Vân Đồn” tọa lạc tại địa chỉ số 278, 279, 280, 281, 282, 283 Đường Bến Vân Đồn, Phường 2, Quận 4, TPHCM. Công trình có kích thước dài 78,1 m, rộng 25,2 m, gồm 02 tầng hầm với cao độ đáy hố đào sâu nhất là 9,1 m.

Giải pháp kết cấu được chọn là sử dụng tường vữa có chiều dày D=500 mm, chiều dài 19 m cắm vào lớp đất số 4 là lớp đất cát hạt mịn, chặt vừa có chỉ số N-SPT =12÷25. Công trình được thi công theo phương pháp Bottom-up, sử dụng 3 tầng thanh chống H350×350×12×19 mm để chống đỡ hố đào trong suốt quá trình đào đất. Thông số kích

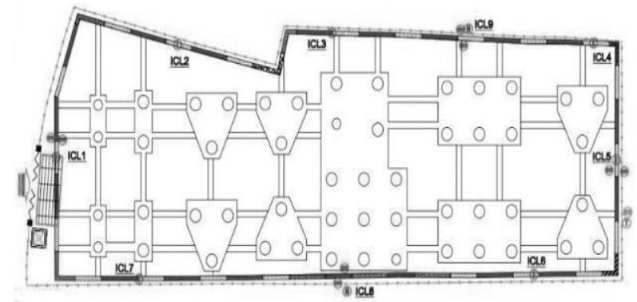
thước hố đào, bố trí hệ thanh chống được thể hiện ở Hình 1 và Hình 2.



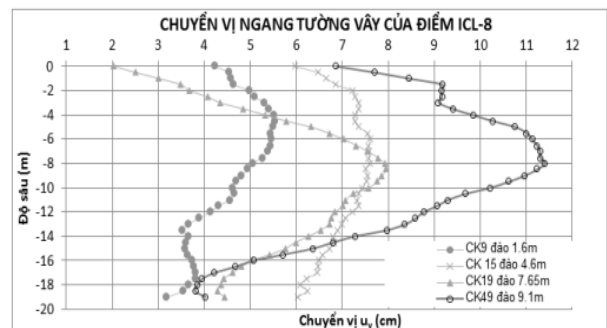
Hình 1: Mặt bằng bố trí hệ giằng thực tế



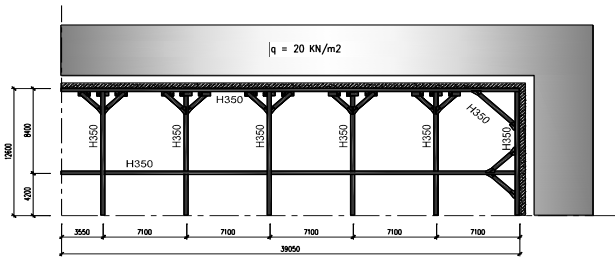
Hình 2: Mặt cắt thể hiện cao độ đào đất



Hình 3: Mặt bằng bố trí quan trắc chuyển vị ngang của tường vữa



Hình 4: Kết quả quan trắc chuyển vị ngang điển hình của điểm ICL-8



Hình 5: Mặt bằng kết cấu 1/4 hố đào

Ngoài ra, công trình có sử dụng kết quả quan trắc từ hệ thống quan trắc bố trí như Hình 3, để tính toán biện pháp tiếp theo trong trường hợp có vấn đề xảy ra hay đổi biện pháp thi công khác. Kết quả quan trắc nhằm kiểm tra đánh giá kết quả tính toán và là nguồn dữ liệu quan trọng để sử dụng ước lượng sơ bộ chuyển vị tường vây cho những dự án có biện pháp thi công tương tự.

Sau khi tổng hợp các kết quả quan trắc chuyển vị ngang tường vây, ta có chuyển vị lớn nhất tường vây ở các phase đào được thể hiện ở Hình 4 của điểm ICL-8. Do nghiên cứu chỉ phân tích chuyển vị tường vây ở giai đoạn cuối cùng vì vây giá trị lớn nhất của chuyển vị ngang ở chu kỳ cuối cùng được sử dụng để phân tích và đánh giá trong nghiên cứu này.

2. MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU

Dựa trên báo cáo khảo sát địa chất, mặt cắt địa chất kết hợp với các công thức tương quan, thông số địa chất được lựa chọn cho mô hình Hardening Soil, là mô hình thích hợp cho việc mô phỏng hố đào như trong Bảng 1.

Để đơn giản hóa cho mô hình phân tích, nghiên

cứ này bỏ qua các góc cạnh bất đối xứng của hố đào nhằm tập trung khảo sát các phương pháp mô phỏng khác nhau của tường vây cũng như giảm thời gian phân tích bằng cách lập mô hình cho 1/4 hố đào do tận dụng tính đối xứng theo cả hai phương. Như thể hiện trong Hình 5, hố đào được bao quanh bởi các phụ tải do tải trọng nhà lân cận. Theo khảo sát hiện trạng dự án, phụ tải được lấy là $q = 20 \text{ KN/m}^2$.

Trong đề tài này, sự khác biệt chính là mô hình tường vây dạng phần tử khối (volume elements) hoặc dạng phần tử tấm (Plate elements) trong Plaxis 3D. Trong khi các phần tử khối chiếm chiều dày thực của tường vây, các phần tử tấm chỉ có chiều dày ảo. Để tính đến ảnh hưởng của các mối nối xây dựng, việc chọn vật liệu ứng xử đẳng hướng là không phù hợp, đặc biệt là độ cứng kháng uốn của tường theo phương ngang chịu tác động của các mối nối. Do đó, cách tiếp cận thực tế hơn là mô hình tường vây như vật liệu bất đẳng hướng. Đặc tính bất đẳng hướng được tạo ra bằng cách giảm độ cứng kháng nén EA cũng như độ cứng kháng uốn EI theo phương ngang. Giả thiết về việc giảm độ cứng dựa trên ý tưởng rằng tường vây trên thực tế bao gồm các phần bê tông riêng biệt, có vẻ hợp lý là tường có khả năng chống uốn theo phương ngang thấp. Để xác định tỷ lệ độ cứng tường vây theo phương ngang so với phương dọc, tác giả thực hiện bài toán phân tích ngược (back analysis) trong phần mềm Plaxis 3D như Hình 6 và Hình 7.

Bảng 1: Thông số đất đưa vào mô hình Plaxis 3D

| Lớp đất | Lớp A Cát san lấp | Lớp 1. Bùn sét | Lớp 2. Sét pha, dẻo cứng | Lớp 3. Cát pha trạng thái dẻo | Lớp 4. Cát hạt mịn, chặt vừa | Lớp 5. Sét, dẻo cứng | Lớp 6. Cát hạt mịn, chặt vừa | Lớp 7. Sét trạng thái nửa cứng đến cứng |
|---------|----------------------|-------------------|--------------------------------|--|--|----------------------------|--|---|
| h (m) | 1,60 | 5,90 | 3,90 | 6,40 | 3,50 | 2,30 | 23,60 | 10,30 |
| Type | HS Drained | HS Undrained | HS Undrained | HS Undrained | HS Drained | HS Undrained | HS Drained | HS Undrained |

| Lớp đất | Lớp A Cát san lấp | Lớp 1. Bùn sét | Lớp 2. Sét pha, dẻo cứng | Lớp 3. Cát pha trạng thái dẻo | Lớp 4. Cát hạt mịn, chặt vừa | Lớp 5. Sét, dẻo cứng | Lớp 6. Cát hạt mịn, chặt vừa | Lớp 7. Sét trạng thái nửa cứng đến cứng |
|---|----------------------|-------------------|--------------------------------|--|--|----------------------------|--|---|
| | | B | A | A | | A | | A |
| γ_{unsat} (KN/m ³) | 17,80 | 15,54 | 18,58 | 19,41 | 19,97 | 18,47 | 20,04 | 19,81 |
| γ_{sat} (KN/m ³) | 18,57 | 15,91 | 19,21 | 19,95 | 20,38 | 18,75 | 20,48 | 20,03 |
| $k_x=k_y$ (m/ngày) | - | 8,64E-06 | 8,64E-05 | 8,64E-03 | - | 8,64E-08 | - | 8,64E-05 |
| k_z (m/ngày) | - | 1,73E-05 | 1,73E-04 | 1,73E-02 | - | 1,728E-07 | - | 1,73E-04 |
| E_{50}^{ref} (KN/m ²) | 10,000 | 5,730 | 13,049 | 16,500 | 13,100 | 42,966 | 12,750 | 47,142 |
| $E_{\text{oad}}^{\text{ref}}$ (KN/m ²) | 10,000 | 5,730 | 13,049 | 16,500 | 13,100 | 42,966 | 12,750 | 47,142 |
| $E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ (KN/m ²) | 30,000 | 17,190 | 39,146 | 49,500 | 39,300 | 128,898 | 38,250 | 141,426 |
| m | 0,7 | 1,0 | 0,75 | 0,75 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| C_{ref} (KN/m ²) | 1 | 22,92 | 16,3 | 9,5 | 5,3 | 25,4 | 4,8 | 3,85 |
| φ | 25 | 0 | 24,08 | 22,27 | 25,33 | 24,2 | 26,07 | 17,78 |

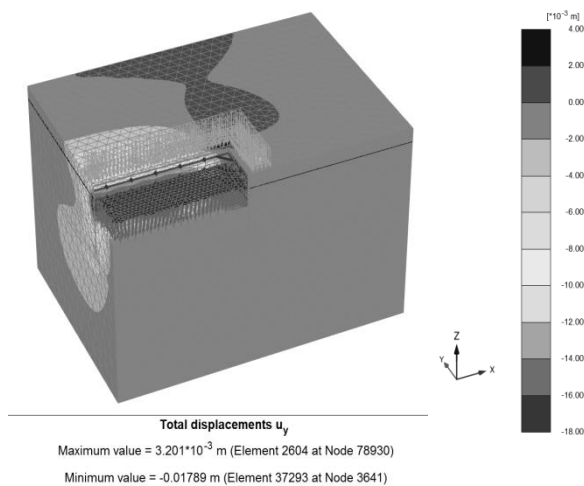
Bảng 2: Thông số tương vảy vật liệu bất đẳng hướng trong mô hình 3D

| | BẤT ĐẲNG HƯỚNG | | | ĐƠN VỊ | |
|-----------------------------|----------------|-------|-----------------|--------------------|-------------------|
| | Phần tử plate | | Phần tử volume | | |
| Model | Linear elastic | | Model | Jointed Rock Model | |
| Type | Non-porous | | Type | Non-porous | |
| d | 0,5 | | d | 0,5 | m |
| γ | 7,7 | | γ | 25 | kN/m ³ |
| E_1 | 28,75E+06 | | E_1 | 28,75E+06 | kN/m ² |
| E_2 | 5,75E+06 | | E_2 | 5,75E+06 | kN/m ² |
| ν_{\square} | 0,2 | | ν_{\square} | 0,2 | |
| | - | | ν_2 | 0,2 | |
| G_{12} | 2,4E+06 | | G_1 | 11,98E+06 | kN/m ² |
| G_{13} | 11,98E+06 | | G_2 | 2,4E+06 | kN/m ² |
| G_{23} | 2,4E+06 | | - | - | kN/m ² |
| Tiêu chí phá hoại MC | | | | | |
| | φ' | 45 | | 0 | |
| | c' | 6000 | | kN/m ² | |
| | σ_t | 12000 | | kN/m ² | |

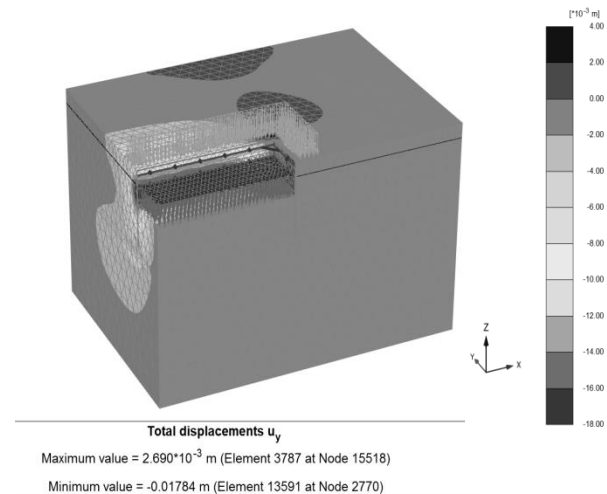
| | | |
|------------|-------|---|
| α_1 | 90/90 | 0 |
| α_2 | 0/90 | 0 |

Quá trình phân tích ngược (back analysis) được thực hiện bằng cách lấy kết quả chuyển vị u_y của tường vây trong mô hình tường vây dạng panel liên kết khớp so sánh với chuyển vị u_y của tường vây trong mô hình tường vây dạng panel liên tục, thay đổi tỉ số E_2/E_1 để có chuyển vị u_y tương đồng giữa 02 mô hình, chênh lệch tương đối không được vượt quá 1% như kết quả trên Hình 8. Như vậy, chênh lệch chuyển vị ngang u_y tại mặt cắt giữa tường trong phân tích ngược rất nhỏ chỉ 0,3% < 1%. Do đó, ta có kết quả thông số $E_2 = 0,2E_1$, và xác định tham số tường vây vật liệu bất đẳng hướng ở Bảng 2.

Hố đào được chống đỡ bằng 03 hệ giằng có cấu tạo mặt cắt như trong Hình 9. Do tính đối xứng, tác giả chỉ mô hình $1/4$ hố đào nên các thanh chống (struts) được mô phỏng bằng phần tử fixed-end anchor, riêng các thanh chống xiên ở góc được mô phỏng bằng phần tử note-to-note anchor, dầm biên (walings) được mô phỏng bằng phần tử beam. Thông số hệ giằng chống trong hố đào được trình bày ở Bảng 3. Mô hình còn bao gồm các trường hợp thay đổi giữa tường dạng panel tấm (plate elements) và phần tử khối (volume elements), giữa ứng xử vật liệu đẳng hướng và bất đẳng hướng được trình bày ở Bảng 4.

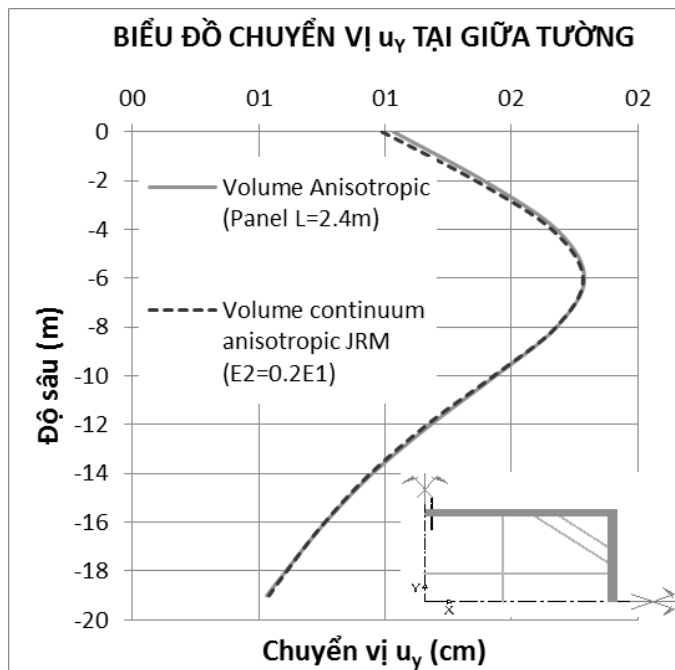


Hình 6: Chuyển vị u_y tường vây dạng panel liên kết khớp



Hình 7: Chuyển vị u_y tường vây dạng panel liên tục ($E_2=0,2E_1$)

| Volume Anisotropic (Panel L=2,4m) | | Volume continuum anisotropic JRM ($E_2=0,2E_1$) | |
|-----------------------------------|-----------------|---|-----------------|
| Depth (m) | Deflection (cm) | Depth (m) | Deflection (cm) |
| 0,00 | 1,033 | 0,000 | 0,988 |
| -2,10 | 1,406 | -2,100 | 1,374 |
| -4,07 | 1,685 | -4,067 | 1,667 |
| -6,03 | 1,789 | -6,033 | 1,784 |
| -8,00 | 1,678 | -8,000 | 1,677 |
| -9,95 | 1,443 | -9,950 | 1,436 |
| -11,90 | 1,193 | -11,900 | 1,178 |
| -14,03 | 0,946 | -14,033 | 0,938 |
| -16,17 | 0,749 | -16,167 | 0,747 |
| -18,30 | 0,584 | -18,300 | 0,589 |
| -19,00 | 0,532 | -19,000 | 0,541 |
| Max : | 1,789 | | 1,784 |
| | | | -0,3% |



Hình 8: Biểu đồ và bảng giá trị chuyển vị u_y của tường vây tại mặt cắt giữa tường trong phân tích ngược xác định E_2

3. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH MÔ HÌNH

Tất cả kết quả trình bày trong phần này tương ứng với phase đào cuối cùng (-9,1m). Ứng xử của tường vây chủ yếu được phân tích ở mặt cắt như thể hiện trong Hình 10.

Hình 11 cho thấy chuyển vị tường vây của hai trường hợp phân tích single analysis (đường iso) và couple analysis (đường iso consolidation). Cả 2 trường hợp này đều cho chuyển vị lớn hơn kết quả quan trắc, tuy nhiên điểm nổi bật là sự khác biệt giữa phân tích single analysis và couple analysis. Sự khác biệt khá lớn (24%) là do các lộ trình ứng suất khác nhau trong hai phương pháp phân tích và lực trong các thanh chống khác nhau.

Do ảnh hưởng của hiệu ứng góc, góc tường có độ cứng rất lớn, nên chuyển vị ngang của tường ở góc rất nhỏ như thể hiện trong Hình 12. Ở góc tường, các phương pháp phân tích single analysis hay couple analysis trên thực

tế không có ảnh hưởng, dẫn đến chuyển vị ngang của tường chênh lệch không đáng kể. Mô men uốn khi áp dụng phân tích couple analysis rất khác với phân tích single analysis, đặc biệt giá trị cực đại tại cao độ các lớp thanh chống như thể hiện trên biểu đồ ở hình 13. Có vẻ như mômen uốn đối với phân tích couple analysis chịu ảnh hưởng lớn của phản lực thanh chống. Điều này có thể giải thích là tại cao độ các lớp thanh chống, độ cứng chống uốn của hệ (tường + thanh chống) lớn hơn rất nhiều các vị trí khác, do đó tại các vị trí này được phân phối mô men lớn hơn.

Liên quan đến sự khác biệt về mức độ cố kết, tương tự như đã phân tích ở trên áp dụng cho mômen uốn M_{11} ở góc tường. Kết quả trên hình 14 cho thấy giá trị M_{11} lớn nhất ở góc tường của phân tích couple analysis cao hơn khoảng 120% so với giá trị M_{11} lớn nhất ở góc tường của phân tích single analysis.

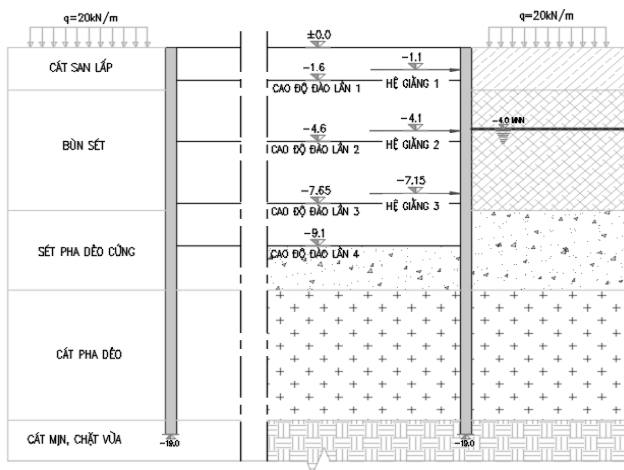
Ngoài ra, giá trị M_{11} lớn nhất ở góc tường cao hơn khoảng 90% so với giá trị M_{11} lớn nhất ở giữa tường. Sự chênh lệch mô men ở mặt cắt giữa tường và góc tường là do độ cứng lớn ở góc tường của mô hình tường phần tử khối đẳng hướng.

Ở điều kiện đẳng hướng, các mô hình tấm (plate elements) có chuyển vị ngang và mômen uốn M_{11} của tường cao hơn rõ rệt (chuyển vị: 40%, mô men: 52,9%) so với các mô hình khối (volume elements), có thể thấy rõ điều này như trong Hình 15 và Hình 16. Khi mức độ cố kết ngày càng tăng (phân tích couple analysis), chênh lệch chuyển vị ngang giữa các mô hình tấm và mô hình khối không lớn như phân tích single analysis (17%), trong khi sự khác biệt phù hợp hơn đối với mô men uốn M_{11} (54%). Điều này thể hiện trong Bảng 5.

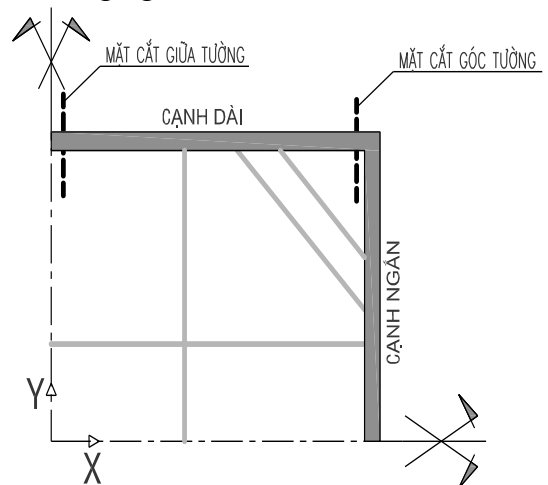
Ngoài ra, sự khác biệt còn phụ thuộc vào mô hình vật liệu được xem xét (đẳng hướng,

bất đẳng hướng). Khi so sánh Bảng 5 và Bảng 6, có thể thấy rằng sự khác biệt tương đối giữa các mô hình tường đẳng hướng và bất đẳng hướng khác nhau ở mức khoảng 27-30% về chuyển vị đối với cả phân tích single analysis và couple analysis. Sự khác biệt tương đối về mô men uốn M_{11} cao hơn khá nhiều khoảng 50% khi phân tích couple analysis do chịu ảnh hưởng mạnh của tính bất đẳng hướng.

Về cơ bản, sự khác biệt chủ yếu do lực cắt huy động tác động giữa tường và đất liền kề trong quá trình đào. Liên quan đến mô hình phần tử khối, các lực cắt này, nhân với khoảng cách nằm ngang giữa trục trung hòa và bề mặt tường, tạo ra mô men ngược. Do đó, mô men gây ra bởi áp lực đất sau lưng tường giảm, dẫn đến chuyển vị tường thấp hơn khi so sánh với mô hình phần tử tấm. Vì các phần tử tấm không có độ dày thực tế, không thể tạo ra mô men tác động ngược lại.



Hình 9: Mặt cắt hồ đào trong mô phỏng Plaxis cho hồ đào 02 tầng hầm sâu 9,1 m, tường vây D500

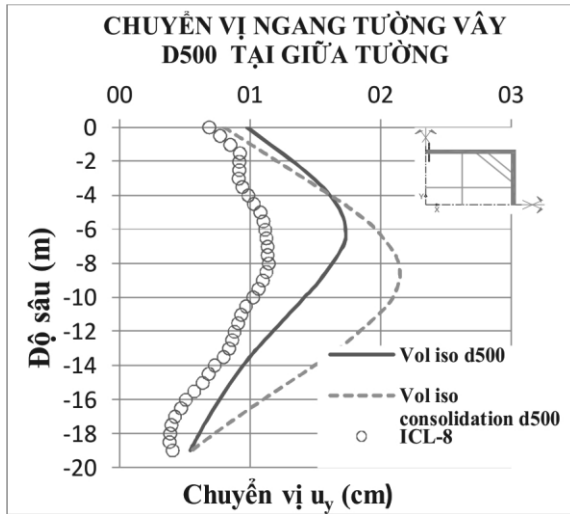


Hình 10: Sơ đồ mặt cắt xuất kết quả

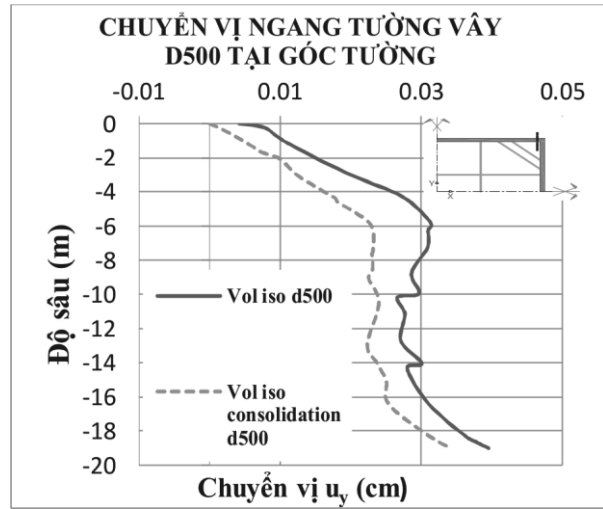
Bảng 4: Các trường hợp mô hình trong phân tích đẳng hướng, bất đẳng hướng của vật liệu tường vây

| TƯỜNG VÂY | |
|------------------------|------------------------------|
| Đẳng hướng (Isotropic) | Bất đẳng hướng (Anisotropic) |

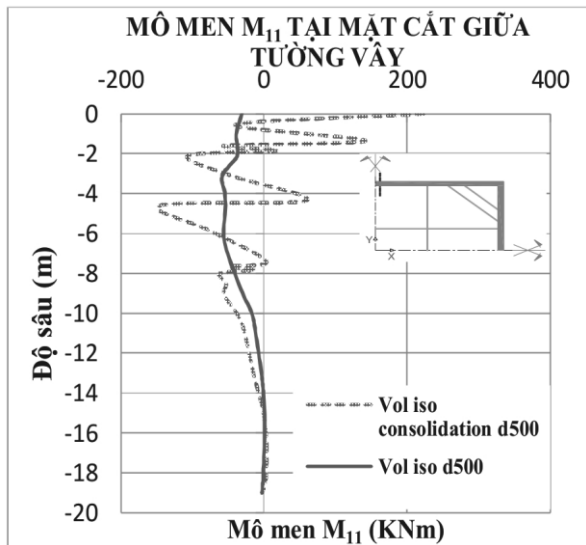
| | |
|----------------------------|----------------------------|
| + Phần tử tấm 3D (Plate) | + Phần tử tấm 3D (Plate) |
| + Phần tử khối 3D (Volume) | + Phần tử khối 3D (Volume) |



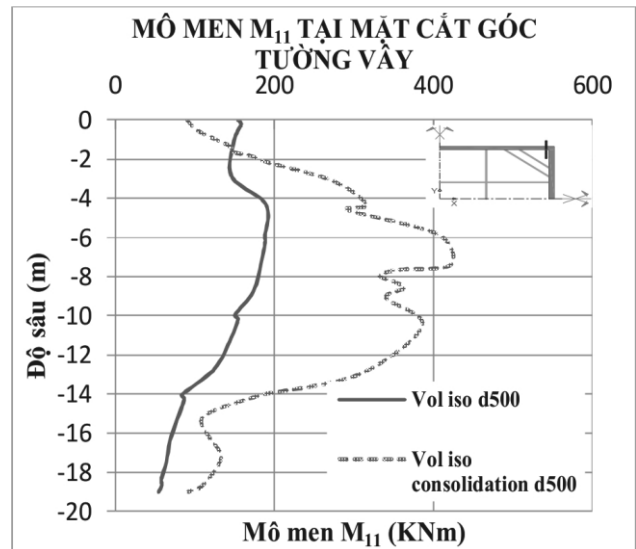
Hình 11: Biểu đồ chuyển vị theo phương ngang của tường vây D500 ở mặt cắt giữa tường



Hình 12: Biểu đồ chuyển vị theo phương ngang của tường vây D500 ở mặt cắt góc tường



Hình 13: Biểu đồ mô men M_{11} của tường vây D500 ở mặt cắt giữa tường



Hình 14: Biểu đồ mô men M_{11} của tường vây D500 ở mặt cắt góc tường

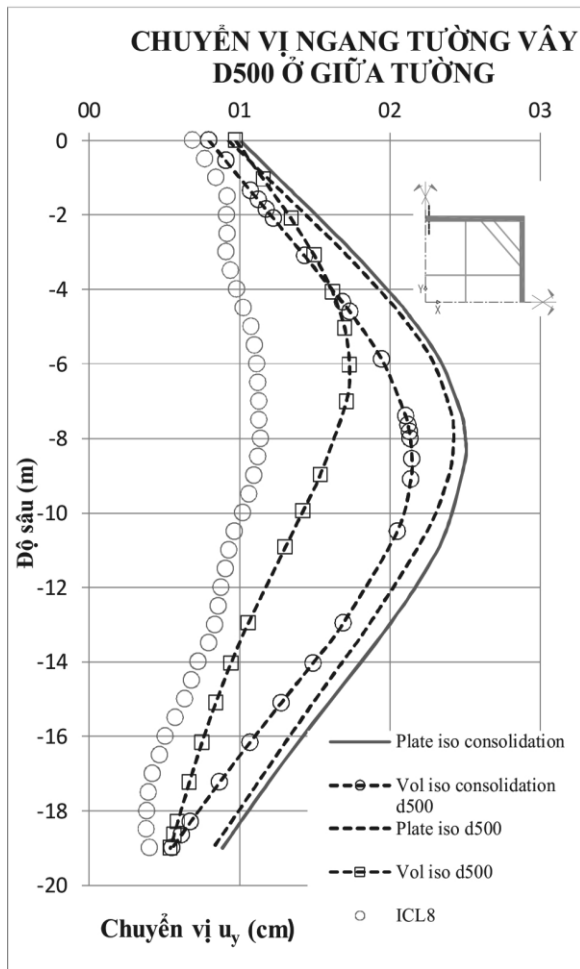
Bảng 5: Chênh lệch chuyển vị và Mô men M_{11} giữa mô hình phần tử khối và phần tử tấm đẳng hướng tại mặt cắt giữa tường vây

| | | | | |
|--|---------------|------------|---------------------|------------|
| | Chuyển vị lớn | Chênh lệch | Mô men M_{11} lớn | Chênh lệch |
|--|---------------|------------|---------------------|------------|

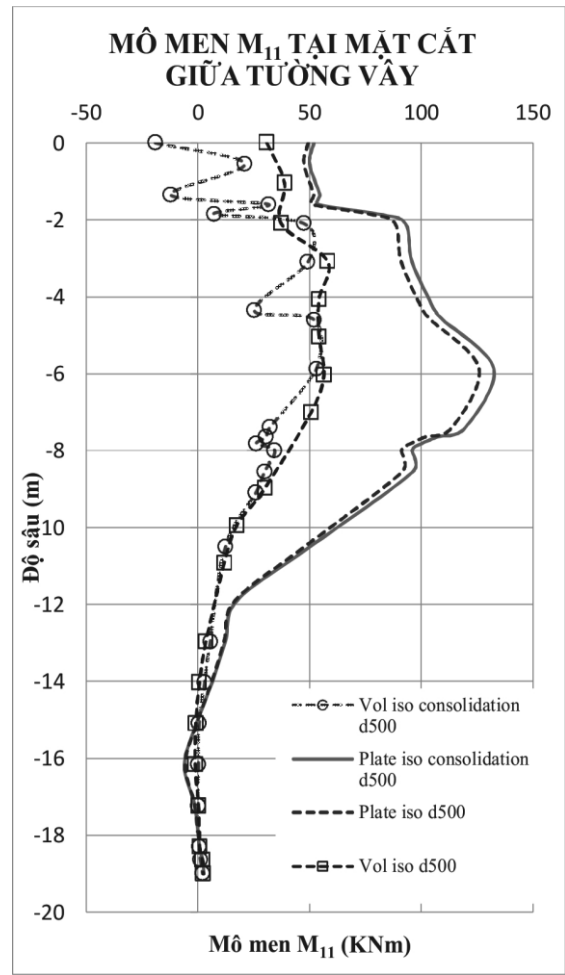
| | nhất (cm) | | tương đối (%) | nhất (KN,m) | | tương đối (%) |
|-------------------------|-----------|-------|---------------|-------------|--------|---------------|
| | Volume | Plate | | Volume | Plate | |
| Isotropic | 1,731 | 2,425 | 40,1% | 58,01 | 125,83 | 53,9% |
| Isotropic consolidation | 2,147 | 2,502 | 16,5% | 52,88 | 132,45 | 60,1% |

Bảng 6: Chênh lệch chuyển vị và Mô men M_{11} giữa mô hình phần tử khối và phần tử tấm bất đẳng hướng tại mặt cắt giữa tường vây

| | Chuyển vị lớn nhất (cm) | | Chênh lệch tương đối (%) | Mô men M_{11} lớn nhất (KN,m) | | Chênh lệch tương đối (%) |
|---------------------------|-------------------------|-------|--------------------------|---------------------------------|-------|--------------------------|
| | Volume | Plate | | Volume | Plate | |
| Anisotropic | 2,366 | 3,042 | 30,4% | 83,8 | 107,1 | 27,9% |
| Anisotropic consolidation | 2,565 | 3,244 | 26,5% | 97,7 | 145,9 | 49,3% |



Hình 15: Biểu đồ chuyển vị theo phương ngang của tường vây D500 ở mặt cắt giữa tường (xét 2 mô hình volume và plate)



Hình 16: Biểu đồ momen M_{11} của tường vây D500 ở mặt cắt giữa tường (xét 2 mô hình volume và plate)

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Thông qua các kết quả phân tích, mô phỏng hệ tường vây trong bài báo này nhóm tác giả có các kết luận và kiến nghị sau:

- Xu hướng gia tăng chuyển vị ngang của tường trong các mô hình phần tử tấm so với phần tử khối là do sự khác biệt về hình học, vì mô hình phần tử tấm không có độ dày thực của tường vây. Do đó, mô hình phần tử tấm không ứng xử thực tế bằng mô hình phần tử khối. Về nguyên tắc, sự khác biệt giữa mô hình tấm và mô hình khối do các yếu tố: mô men cản và khoảng cách giữa các bề mặt tường.

- Mô hình tường đẳng hướng cho thấy sự khác biệt khoảng 16% đối với các phương

pháp phân tích khác nhau. So với vật liệu đẳng hướng, sự khác biệt cao hơn đáng kể khoảng hơn 26% đối với mô hình tường vật liệu bất đẳng hướng. Do đó, ứng xử của tường vây bị ảnh hưởng nhiều hơn do ứng xử bất đẳng hướng của vật liệu tường vây.

- Ở điều kiện đẳng hướng, các mô hình tấm có mômen uốn M_{11} ở giữa tường cao hơn rõ rệt so với mô hình khối là khoảng 54%. Khi mức độ cố kết ngày càng tăng (phân tích couple analysis), chênh lệch mômen uốn M_{11} ở giữa tường của các mô hình tấm và mô hình khối là 60%.

- Ở điều kiện bất đẳng hướng, sự chênh lệch này là 50% khi phân tích couple analysis. Điều này cho thấy, sự khác biệt về mô men

uốn ở giữa tường của các mô hình tấm so với mô hình khối phụ thuộc nhiều vào mức độ cố kết (phân tích couple analysis) hơn là ứng xử bất đẳng hướng của vật liệu tường vây.

- Trong thực tế thi công tầng hầm, thời gian thi công không đủ dài để có thể phân tích công trình lâu dài và cũng không quá ngắn để phân tích tức thời. Mặt khác đất nền thông thường cũng không có hệ số thấm quá cao hay quá thấp, do đó, cần thiết xem xét lựa chọn phân tích couple analysis.

- Trong tương lai, cần tiến hành nghiên cứu phân tích các cách tiếp cận mô hình khác nhau (đẳng hướng/bất đẳng hướng, mô hình tấm/khối) trên các công trình có các điều kiện địa chất khác nhau trong và ngoài phạm vi TPHCM để kết luận đầy đủ hơn về ảnh hưởng đối với ứng xử tường vây.

- Độ cứng tường vây theo phương ngang bằng 20% độ cứng theo phương dọc (bất đẳng hướng), Tỷ lệ độ cứng này là kết quả của quá trình phân tích ngược (back analysis) tương ứng với mô hình tường vây dày 500 mm và mô đun panel tường vây $L = 2,4$ m. Tỷ lệ này thay đổi phụ thuộc vào chiều dày tường vây và chiều dài panel.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM trong khuôn khổ đề tài mã số T-KTXD-2020-79. Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Chang-Yu Ou, Fu-Chen Teng, I-Wen Wang, "Analysis and design of partial ground improvement in deep excavations", *Computers and Geotechnics* vol. 35, no. 4, pp. 576–584, July 2008.

[2] Wengang Zhang, Yongqin Li, A.T.C, Goh, Runhong Zhang, "Numerical study of the performance of jet grout piles for braced excavations in soft clay", *Computers and Geotechnics* vol. 124, 103631, DOI: 10.1016/j.compgeo.2020.103631.

[3] Bin-Chen Benson Hsiung, Kuo-Hsin Yang, Wahyuning Aila, Louis Ge, "Evaluation of the wall deflections of a deep excavation in Central Jakarta using three-dimensional modeling", *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol.72, pp. 84-96, Feb,2018.

[4] Suched Likitlersuang, Chhunla Chheng, and Suraparb Keawsawasvong, "Structural modelling in finite element analysis of deep excavation", *Journal of GeoEngineering*, Vol.14, No.3, pp.121-128, September 2019.

[5] Châu Ngọc Ân, Lê Văn Pha, "Tính toán hệ kết cấu bảo vệ hố móng sâu bằng phương pháp xét sự làm việc đồng thời giữa đất nền và kết cấu", *Tạp chí phát triển KH&CN*, tập 10, số 10 – 2007, trang 52-61.

[6] Nguyễn Minh Tâm, Hoàng Bá Linh, "Nghiên cứu sử dụng giải pháp jet grouting giảm chuyển vị ngang hố đào", *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng* số 3+4/2013.

[7] Lê Trọng Nghĩa, Nguyễn Ái Hữu, "Phân tích chuyển vị ngang của tường chắn hố đào sâu trên vùng đất yếu dày được gia cố đáy hố đào bằng cọc xi măng", *Tạp chí Địa kỹ thuật*, vol.2, trang 25-33, năm 2014.

Người phản biện: PGS, TS. NGUYỄN VĂN DŨNG