

TÍNH TOÁN CÔNG TRÌNH BỀN TƯỜNG CỪ CÓ NEO VÀ CÓ KHỚP Ở TƯỜNG MẶT BẰNG BIỆN PHÁP KHỬ ẮN CỦA PHƯƠNG PHÁP MA TRẬN CHUYỂN TIẾP

CALCULATING THE SHEET PILE WALLS WITH AN ANCHOR AND A FRICTIONLESS HINGE ON THE WALL BY THE ELIMINATION TECHNIQUE IN THE TRANSFER MATRIX

Phan Dũng

Portcoast consultant corporation (PORTCOAST), Thành phố Hồ Chí Minh

Tóm tắt: Sau móng cọc, tường cừ là loại kết cấu được sử dụng rộng rãi trong xây dựng công trình bến cảng. Trong điều kiện mực nước thiết kế trước bến dao động lớn, mực nước thấp duy trì đủ dài để nâng cao hiệu suất sử dụng vật liệu tường mặt; một trong những giải pháp hợp lý là dùng kết cấu tường cừ có neo và có khớp ở trên tường mặt. Phân tích chuyển vị - nội lực của kết cấu công trình bến như thế có thể được thực hiện trên sơ đồ dầm liên tục gồm hai phần: Phần dầm trên gối cứng và khớp chịu áp lực ngang của đất đắp và phần dầm nằm trong đất nền Winkler, có hệ số nền không đổi theo chiều sâu. Vận dụng biện pháp khử ắnn trong ma trận chuyển tiếp có thể giúp ta thu được lời giải của bài toán dầm liên tục phức tạp đặt ra. Một ví dụ bằng số đã được trình bày để minh họa cho thuật toán kiến nghị.

Từ khóa: Tường cừ, dầm trên gối tựa cứng và có khớp, biện pháp khử ắnn, ma trận chuyển tiếp.

Mã phân loại: 11.2

Abstract: After the pile foundation, the sheet pile wall is a type of structure widely used in harbor construction. In conditions where the design water level in front of the berth fluctuates greatly, the low water level remains long enough to improve the efficiency of using surface wall materials; one of the most reasonable solutions is to use a structure with an anchor and a hinge on the surface wall. Analysis of displacement - internal force of such a berth structure can be performed on a continuous beam diagram consisting of two parts: the beam on the rigid support and the frictionless hinge under pressure of the embankment and the beam in the ground Winkler with modulus of subgrade reaction is constant with depth. Applying the measure of elimination in transition matrix can help us obtain the solution of the complex continuous beam problem. A numerical example has been presented to illustrate the recommendation algorithm.

Keywords: Sheet pile walls, beam on rigid support and frictional hinge, measure of elimination, transition matrix.

Classification code: 11.2

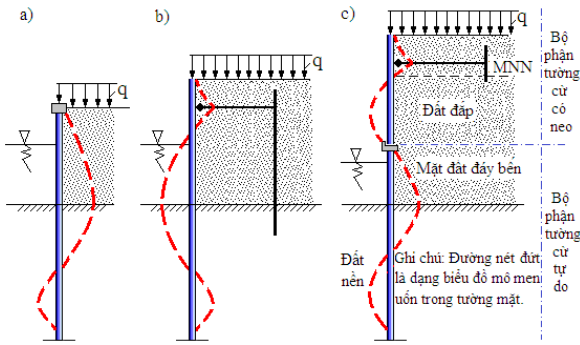
1. Giới thiệu

Tường cừ là một trong những loại công trình bến (CTB) được sử dụng nhiều nhất trong xây dựng, đặc biệt là đối với công trình bến cảng. Về mặt kết cấu, có hai loại cơ bản: Tường cừ tự do (hình 1a) và tường cừ có neo (một hoặc nhiều tầng neo, mô tả tại hình 1b).

Vận dụng vào thực tế thiết kế, ta có thể tổ hợp đơn giản tường cừ có neo với tường cừ tự do để tạo ra một CTB tường cừ có kết cấu liên hợp như biểu diễn ở hình 1c. Trong trường hợp này, dầm mũ của tường cừ tự do có cấu tạo đặc biệt để cho chân phần cừ có neo tựa lên mà không bị chuyển dịch ngang ra phía nước. Kết cấu CTB tường cừ như thế rất thích hợp với nơi xây dựng cảng có độ

chênh lớn và rất lớn giữa mực nước cao và mực nước thấp, thời gian duy trì mực nước thấp đủ dài để thi công phần dầm mũ của tường cừ tự do phía dưới.

Công trình bến ở hình 1c là kết cấu tường cừ có neo và tường mặt có khớp, có thể được tính toán theo sơ đồ dầm liên kết không đàn hồi (gối cứng hoặc khớp) tại các nút trung gian, bằng biện pháp khử ắnn của ma trận chuyển tiếp đã được đề cập trong [1] và được chỉ dẫn thực hành trong [2]. Nội dung chủ yếu của bài báo trình bày cách tính chuyển vị - nội lực tường cừ có neo và tường mặt có khớp áp dụng biện pháp khử ắnn trong ma trận chuyển tiếp.



Hình 1. Sơ đồ kết cấu công trình bển tường cừ.

- a) Tường cừ không neo;
- b) Tường cừ có neo;
- c) Tường cừ có kết cấu liên hợp.

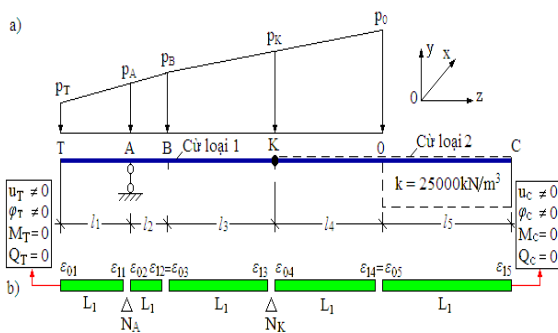
2. Giải thuật ma trận chuyển tiếp - Biện pháp khử ẩn

2.1. Sơ đồ tính toán

Hình 2a là một CTB tường cừ liên hợp có sơ đồ kết cấu như hình 1c được đặt trong hệ tọa độ Oxyz với các điểm đặc trưng:

- T: Đỉnh cừ;
- A: Vị trí gắn neo;
- B: Vị trí mực nước ngầm tính toán;
- K: Vị trí khớp;
- O: Mức mặt đất đáy bển;
- C: Chân cừ.

Khái niệm về các loại ma trận trình bày tại [2], [3].



Hình 2. Các sơ đồ tính toán của tường cừ liên hợp.

- a) Sơ đồ tính toán kết cấu;
- b) Sơ đồ tính toán theo ma trận chuyển tiếp.

Toàn bộ phần chiều cao tự do của cừ T_0 chịu tác động của áp lực chủ động của khối đất đắp. Phần cừ trong đất nền Winkler đặc trưng bởi hệ số nền k (kN/m^3) = const; hoặc biến đổi tuyến tính theo chiều sâu z . Hình 2b là sơ đồ tính toán của phương pháp ma trận chuyển tiếp có 05 nhịp với các ma trận chuyển nhịp: L_1, L_2, L_3, L_4 và L_5 , hai nút dạng liên kết không đàn hồi: N_A và N_K .

Các véc tơ trạng thái tại hai đầu của mỗi nhịp ϵ_{ij} cũng được biểu thị trên sơ đồ này, trong đó ta chú ý đến véc tơ trạng thái tại tiết diện đỉnh cừ $T: \epsilon_{01}$ và véc tơ trạng thái tại tiết diện chân cừ $C: \epsilon_{15}$ phản ảnh điều kiện liên kết tự do cho trước tại các tiết diện này (hình 2b).

Sau đây sẽ giới thiệu cách vận dụng biện pháp khử ẩn trong ma trận chuyển tiếp để phân tích chuyển vị - nội lực trong tường mặt của tường cừ có kết cấu liên hợp.

2.2. Biện pháp khử ẩn

➤ Véc tơ trạng thái ϵ_{01}

$$\epsilon_{01} = \{u_T \ \phi_T \ M_T \ Q_T \ 1\} = \{u_T \ \phi_T \ 0 \ 0 \ 1\} \quad (1)$$

Trong đó chuyển vị ngang u_T và góc xoay ϕ_T là thông ẩn số.

➤ Véc tơ trạng thái ϵ_{11}

- Ma trận chuyển nhịp (MTCN) L_1 có cấu trúc:

$$L_1 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{1p} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{2p} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{3p} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{4p} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

-Ma trận tuyến ẩn (ứng với u_T và ϕ_T):

$$T_{\text{át}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

-Véc tơ trạng thái ϵ_{11} :

$$\epsilon_{11} = L_1 T_{\text{át}} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1p} \\ a_{21} & a_{22} & a_{2p} \\ a_{31} & a_{32} & a_{3p} \\ a_{41} & a_{42} & a_{4p} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_T \\ \phi_T \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

-Khử ẩn u_T từ điều kiện chuyển vị ngang tại gôi neo A: $u_A = 0$

$$\left. \begin{aligned} u_A &= a_{11}u_T + a_{12}\phi_T + a_{1p} = 0 \\ u_T &= -\frac{1}{a_{11}}(a_{12}\phi_T + a_{1p}) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

-Thế (5) vào (4) ta nhận được dạng mới của ϵ_{11} :

$$\varepsilon_{11} = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ a_{21}^* & a_{2p}^* \\ a_{31}^* & a_{3p}^* \\ a_{41}^* & a_{4p}^* \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \left| \begin{matrix} \phi_T \\ 1 \end{matrix} \right| \quad (6)$$

Trong đó:

$$a_{j1}^* = a_{j2} - \frac{a_{12}}{a_{11}} a_{j1}; \quad a_{jp}^* = a_{jp} - \frac{a_{1p}}{a_{11}} a_{jp} \quad (7)$$

Với $j = 2, 3, 4$.

Véc tơ trạng thái ε_{02}

Khi chuyển qua gối cứng A ta thêm ảnh hưởng R_A vào (6):

$$\varepsilon_{02} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ a_{21}^* & 0 & a_{2p}^* \\ a_{31}^* & 0 & a_{3p}^* \\ a_{41}^* & 1 & a_{4p}^* \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \left| \begin{matrix} \phi_T \\ R_A \\ 1 \end{matrix} \right| \quad (8)$$

$$\text{Đặt: } \left. \begin{matrix} A_1^* = \{0 & a_{21}^* & a_{31}^* & a_{41}^* & 0\} \\ A_2^* = \{0 & 0 & 0 & 1 & 0\} \\ A_3^* = \{0 & a_{2p}^* & a_{3p}^* & a_{4p}^* & 1\} \end{matrix} \right\} \quad (9)$$

Ta viết lại ε_{02} :

$$\varepsilon_{02} = A_1^* \{\phi_T\} + A_2^* \{R_A\} + A_3^* \quad (10)$$

➤ Véc tơ trạng thái ε_{12} và ε_{03} :

$$\varepsilon_{12} = \varepsilon_{03} = L_2 \varepsilon_{02} \quad (11)$$

➤ Véc tơ trạng thái ε_{13} :

$$\varepsilon_{13} = L_3 L_2 \varepsilon_{02} \quad (12)$$

Đặt:

$$\left. \begin{matrix} B_1 = L_3 L_2 A_1^* = \{b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & 0\} \\ B_2 = L_3 L_2 A_2^* = \{b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} & 0\} \\ B_3 = L_3 L_2 A_3^* = \{b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} & 1\} \end{matrix} \right\} \quad (13)$$

Ta viết lại ε_{13} :

$$\varepsilon_{13} = B_1 \{\phi_T\} + B_2 \{R_A\} + B_3 \quad (14)$$

• Từ (12), khử ảnh hưởng R_A theo điều kiện mô men trong khớp K : $M_K = 0$

$$R_A = -(1/b_{23})(b_{13} \phi_T + b_{3p}) \quad (15)$$

• Thế (15) vào (14) ta có dạng mới của ε_{13} :

$$\varepsilon_{13} = \begin{vmatrix} b_{11}^* & b_{1p}^* \\ b_{21}^* & b_{2p}^* \\ 0 & 0 \\ b_{41}^* & b_{4p}^* \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \left| \begin{matrix} \phi_T \\ 1 \end{matrix} \right| \quad (16)$$

Trong đó:

$$b_{j1}^* = b_{1j} - \frac{b_{13}}{b_{23}} b_{2j}; \quad b_{jp}^* = b_{jp} - \frac{b_{3p}}{b_{23}} b_{3p} \quad (17)$$

Với $j = 1, 2, 4$.

$$\text{Đặt: } \left. \begin{matrix} B_1^* = \{b_{11}^* & b_{12}^* & 0 & b_{14}^* & 0\} \\ B_3^* = \{b_{1p}^* & b_{2p}^* & 0 & b_{4p}^* & 1\} \end{matrix} \right\} \quad (18)$$

Ta viết lại đẳng thức (16):

$$\varepsilon_{13} = B_1^* \{\phi_T\} + B_3^* \quad (19)$$

➤ Véc tơ trạng thái ε_{04}

Khi chuyển qua khớp K ta bổ sung thêm ảnh hưởng góc xoay ϕ_K bằng cách sử dụng ma trận chuyển nút N_K có cấu trúc:

$$N_K = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \phi_K \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (20)$$

Véc tơ trạng thái ε_{04} sẽ bằng:

$$\varepsilon_{04} = N_K \varepsilon_{13} \quad (21)$$

Triển khai (21) và đặt thêm:

$$B_2^* = \{0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0\} \quad (22)$$

Nếu chú ý đến (19), ta viết lại ε_{04} :

$$\varepsilon_{04} = B_1^* \{\phi_T\} + B_2^* \{\phi_K\} + B_3^* \quad (23)$$

➤ Véc tơ trạng thái ε_{14} và ε_{05} :

$$\varepsilon_{14} = \varepsilon_{05} = L_4 \varepsilon_{04} \quad (24)$$

➤ Véc tơ trạng thái ε_{15} :

$$\varepsilon_{15} = L_5 L_4 \varepsilon_{04} \quad (25)$$

Trong đó L_5 là MTCN của đoạn cừ nằm trong đất nền Winkler đặc trưng bởi hệ số nền $k = const$, kN/m².

Đặt:

$$\left. \begin{matrix} C_1^* = L_5 L_4 B_1^* = \{c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & 0\} \\ C_2^* = L_5 L_4 B_2^* = \{c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & 0\} \\ C_3^* = L_5 L_4 B_3^* = \{c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & 1\} \end{matrix} \right\} \quad (26)$$

Ta viết lại (25):

$$\varepsilon_{15} = C_1^* \{\phi_T\} + C_2^* \{\phi_K\} + C_3 \quad (27)$$

Từ điều kiện liên kết chân cừ tự do:

$$M_c = 0; \quad Q_c = 0 \quad (28)$$

Ta lập hệ phương trình sau:

$$\left. \begin{aligned} C_{13}\phi_T + C_{23}\phi_K + C_{3p} &= 0 \\ C_{14}\phi_T + C_{24}\phi_K + C_{4p} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

Nghiệm (29) là các góc xoay tại đỉnh cừ ϕ_T và tại khớp ϕ_K chính là các đáp số cần tìm.

2.3 Trình tự tính toán

➤ Giai đoạn chuẩn bị

- Tính các MTCN L_1, L_2, L_3, L_4 và L_5 .

Cấu trúc của các ma trận từ L_1 đến L_4 xem công thức (6 - 15), ma trận L_5 theo công thức (6 - 20) trong [2];

- Xác lập các ma trận A_1^*, A_2^*, A_3^* theo (9);

- Xác lập các ma trận B_1, B_2, B_3 theo (13);

- Xác lập các ma trận B_1^*, B_3^* theo (18) và B_2^* theo (22).

➤ Tìm giá trị các góc xoay ϕ_T và ϕ_K :

- Xác lập các ma trận C_1^*, C_2^*, C_2^* theo (26);

- Lập hệ phương trình (29) từ điều kiện liên kết chân cừ;

- Giải hệ (29) thu các góc xoay ϕ_T và ϕ_K .

➤ Tính chuyển vị - nội lực trong tường mặt của tường cừ liên hợp:

Véc tơ trạng thái ϵ_{01} : Từ (5) ta tính được u_T và $\epsilon_{01} = \{u_T \ \phi_T \ 0 \ 0 \ 1\}$ (30)

Véc tơ trạng thái ϵ_{11} :

$$\epsilon_{11} = L_1 \epsilon_{01} \quad (31)$$

Véc tơ trạng thái ϵ_{02} : Từ (15) ta tìm được phản lực gối neo R_A . Lập ma trận chuyển nút tại A:

$$N_A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & R_A \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (32)$$

Do đó: $\epsilon_{02} = N_A L_1 \epsilon_{01}$ (33)

Véc tơ trạng thái ϵ_{12} :

$$\epsilon_{12} = L_2 N_A L_1 \epsilon_{01} \quad (34)$$

Véc tơ trạng thái ϵ_{03} :

$$\epsilon_{03} = \epsilon_{12} \quad (35)$$

Véc tơ trạng thái ϵ_{13} :

$$\epsilon_{13} = L_3 L_2 N_A L_1 \epsilon_{01} \quad (36)$$

Véc tơ trạng thái ϵ_{04} : Điền giá trị ϕ_K đã biết vào (20) ta xác lập được ma trận chuyển nút N_K tại khớp K.

$$\epsilon_{04} = N_K L_3 L_2 N_A L_1 \epsilon_{01} \quad (37)$$

Các véc tơ trạng thái ϵ_{14} và ϵ_{05} :

$$\epsilon_{14} = \epsilon_{05} = L_4 N_K L_3 L_2 N_A L_1 \epsilon_{01} \quad (38)$$

Véc tơ trạng thái ϵ_{15} :

$$\epsilon_{15} = L_5 L_4 N_K L_3 L_2 N_A L_1 \epsilon_{01} \quad (39)$$

Biết được véc tơ trạng thái của tiết diện tại hai đầu nút mỗi nhịp (đoạn) ta dễ dàng tìm được chuyển vị - nội lực tại một tiết diện bất kỳ cho trước trên nhịp đó.

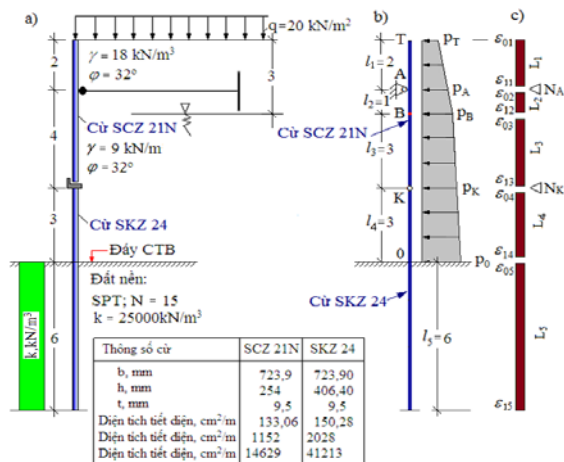
3. Ví dụ

3.1. Đầu bài

Một tường cừ có kết cấu liên hợp với một tầng neo tại A và tường mặt có khớp tại K cùng với các số liệu cho trước (hình 3a). Chú ý rằng phần cừ tự do bên dưới chịu tải khá lớn nên dùng cừ SKZ24 có độ cứng lớn hơn cừ SCZ21N ở phía trên. Vị trí đặt neo và mực nước ngầm cách mặt đất lần lượt là 2 m và 3 m. Đất đắp: Cát trung; đất nền: Đất sét, với chỉ số SPT = 15 và hệ số nền hằng số $k = 25000 \text{ kN/m}^3$. Yêu cầu phân tích chuyển vị - nội lực CTB tường cừ đã cho bằng biện pháp khử ẩn của ma trận chuyển tiếp.

3.2. Giải

➤ Sơ đồ tính toán của kết cấu (hình 3b)



Hình 3. Sơ đồ kết cấu và tính toán của tường cừ liên hợp.

- a) Sơ đồ kết cấu;
- b) Sơ đồ tính toán;
- c) Sơ đồ tính toán của phương pháp MTCT.

Chọn góc ma sát ngoài $\delta = \frac{1}{2}\varphi = 16^\circ$, hệ số áp lực đất chủ động $K_a = 0,267$; ta tính được cường độ áp lực đất chủ động p_a (kN/m²) tại độ sâu của các điểm đặc trưng cho ở bảng 1.

Bảng 1. Phân bố cường độ áp lực đất chủ động.

Điểm	z, m	p_{ai}
T	0	5,35
A	2	14,97
B	3	19,79
K	6	27,0
0	9	34,22

➤ Tính các ma trận chuyển nhip

$$L_1 = \begin{vmatrix} 1 & -2,0 & 6,5 \cdot 10^{-5} & 4,3 \cdot 10^{-5} & -0,000157821 \\ 0 & 1 & -6,5 \cdot 10^{-5} & -6,5 \cdot 10^{-5} & 3,37 \cdot 10^{-4} \\ 0 & 0 & 1 & 2 & -17,112 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -20,321 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix};$$

$$L_2 = \begin{vmatrix} 1 & -1,0 & 1,62756 \cdot 10^{-5} & 5,42519 \cdot 10^{-6} & -2,16134 \cdot 10^{-5} \\ 0 & 1 & -3,25511 \cdot 10^{-5} & -1,62756 \cdot 10^{-5} & 8,7759 \cdot 10^{-5} \\ 0 & 0 & 1 & 1 & -8,238637138 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -17,37940045 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix};$$

$$L_4 = \begin{vmatrix} 1 & -3,0 & 5,49947 \cdot 10^{-5} & 5,19947 \cdot 10^{-6} & -0,001109348 \\ 0 & 1 & -3,466311 \cdot 10^{-5} & -5,19947 \cdot 10^{-5} & 0,001497951 \\ 0 & 0 & 1 & 3 & -132,351 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -91,843 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix};$$

$$L_5 = \begin{vmatrix} 21,1 & 48,3 & -1,5 \cdot 10^{-3} & 1,9 \cdot 10^{-3} & 0,0 \\ -47,8 & 21,1 & 5,6 \cdot 10^{-4} & 1,5 \cdot 10^{-3} & 0,0 \\ -3309815,4 & 4137041,6 & -21,1 & 48,3 & 0,0 \\ -1208382,6 & 3309815,4 & -47,8 & -21,1 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 1 \end{vmatrix};$$

Tính các ma trận phù trợ:

$$A_1^* = \{0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0\};$$

$$A_2^* = \{0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0\};$$

$$A_3^* = \{0 \ 3,365 \cdot 10^{-4} \ -17,112 \ -20,321 \ 1\};$$

$$B_1 = \{-4 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0\};$$

$$B_2 = \{3,724 \cdot 10^{-4} \ 2,604 \cdot 10^{-4} \ 4 \ 1 \ 0\};$$

$$B_3 = \{-1,923 \cdot 10^{-2} \ 1,446 \cdot 10^{-2} \ 258,868 \ -107,886 \ 1\};$$

$$B_1^* = \{-4 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0\};$$

$$B_2^* = \{0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0\};$$

$$B_3^* = \{3,220 \cdot 10^{-3} \ -2,379 \cdot 10^{-3} \ 0 \ -43,215 \ 1\}$$

➤ Tìm góc xoay φ_T và φ_K

- Tính các ma trận C^* :

$$C_1^* = \{-99,019 \ 355,657 \ 27305749,610, \\ 17768493,413 \ 0\}$$

$$C_2^* = \{-14,816 \ 164,453 \ 14066487,916, \\ 6934963,133 \ 0\}$$

$$C_3^* = \{8,724 \cdot 10^{-1} \ -6,588 \cdot 10^{-1} \ -18536,835, \\ 11426,094 \ 1\}$$

- Hệ phương trình dạng (29):

$$27305749,610\varphi_T + 14066487,916\varphi_K - 18536,835 = 0$$

$$27305749,610\varphi_T + 14066487,916\varphi_K - 18536,835 = 0$$

$$17768493,413\varphi_T + 6934963,133\varphi_K + 11426,094 = 0$$

- Nghiệm là các góc xoay (10^{-2} rad.):

$$\varphi_T = 1,214; \varphi_K = -2,225;$$

➤ Xác định các ẩn số còn lại:

Chuyển vị ngang đỉnh cừ: $u_T = 2,444 \cdot 10^{-2}$ m;

Phản lực gối neo: $R_A = -64,671$ kN/m.

➤ Tính chuyển vị - nội lực tường mặt:

- Véc tơ trạng thái đỉnh cừ:

$$\varepsilon_{01} = \{2,444 \cdot 10^{-2} \ 1,214 \cdot 10^{-2} \ 0 \ 0 \ 1\}$$

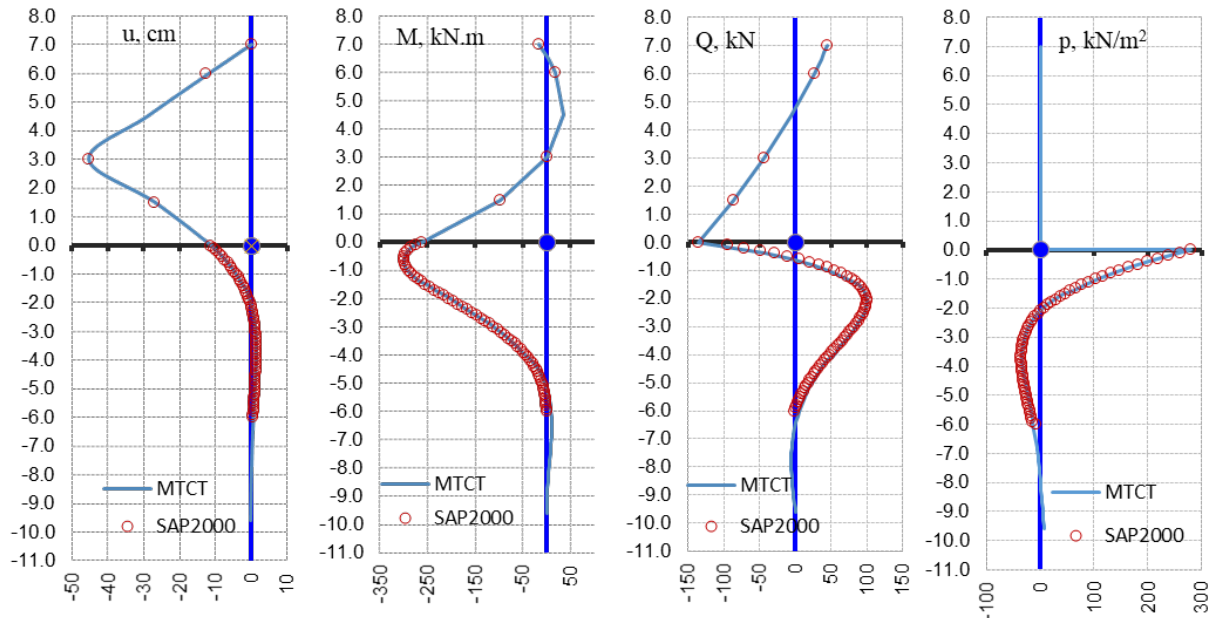
- Các ma trận chuyển nút N_A và N_K :

$$N_A = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 64,671 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix};$$

$$N_K = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -2,225 \cdot 10^{-2} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix};$$

Bảng 2. Chuyển vị - nội lực tại các điểm đặc trưng (hình 3b).

CV-NL	T	A ₊	A ₋	B	K ₊	K	K ₋	0	C
u, cm	2,444	-5,42.10 ⁻¹⁷	-5,42.10 ⁻¹⁷	-1,254	-4,535	-	-4,535	-1,124	-2,394.10 ⁻²
φ, rad.	1,214.10 ⁻²	1,248.10 ⁻²	1,248.10 ⁻²	1,240.10 ⁻²	9,763.10 ⁻³	-0,02225	-0,01249	-8,745.10 ⁻³	1,282.10 ⁻⁴
M, kNm	0	-17,112	-17,112	18,950	0	0	0	-261,994	0
Q, kN	0	-20,321	44,351	26,971	-43,215	-	-43,215	-135,058	0



Hình 4. Biểu đồ chuyển vị - nội lực tường mặt của tường cừ liên hợp.

Véc tơ trạng thái tại các điểm đặc trưng trên tường mặt được trình bày tại bảng 2. Khi đã biết giá trị véc tơ trạng thái tại các điểm đặc trưng ta dễ dàng tính được chuyển vị - nội lực tại một tiết diện bất kỳ trong nhịp. Hình 4 minh họa các biểu đồ chuyển vị ngang, mô men, lực cắt và phản lực nền trong tường mặt của tường cừ có kết cấu liên hợp đã cho theo phương pháp kiến nghị và SAP-2000.

4. Kết luận

Tường mặt của tường cừ có neo và có khớp theo ma trận chuyển tiếp được chuyển về sơ đồ dầm có các liên kết không đàn hồi:

Điểm gắn neo A trên tường mặt được đặt một gối cứng, do đó trong liên kết này sẽ có phản lực neo R_A .

Khớp K trên tường mặt là liên kết cho phép nút có chuyển vị tự do, tại đó không phát sinh phản lực nhưng xuất hiện biến dạng ngang chưa biết gồm chuyển vị ngang u_K và góc xoay φ_K .

Giải thuật ma trận chuyển tiếp ứng dụng biện pháp khử ẩn và chèn ẩn đã được thiết lập để phân tích chuyển vị - nội lực đối với kết cấu CTB tường cừ liên hợp theo sơ đồ dầm có các liên kết không đàn hồi.

Tác giả đưa ra một ví dụ bằng số được trình bày tóm tắt đủ để minh họa trình tự tính toán và cách áp dụng các công thức ma trận chuyển tiếp đã được xây dựng.

Chuyển vị - nội lực trong kết cấu thu được bằng biện pháp khử ẩn - chèn ẩn khá phù hợp với kết quả tính theo SAP2000.

Trên cơ sở đó, cho phép hoàn thiện lời giải theo hướng chọn sơ đồ tính toán hợp lý, áp dụng biện pháp khử ẩn để phân tích tường cừ có nhiều tầng neo □

Tài liệu tham khảo.

- [1] E.C. Pestel, F.A. Leckie (1962), *Matrix methods in elastomechanics*, Mc Graw-Hill book company, inc. New York;
- [2] Lêu Thọ Trình, Lêu Mộc Lan (2007), *Cách sử dụng ngôn ngữ Ma trận trong lý thuyết tính hệ thanh*, NXB Xây dựng, Hà Nội;

[3] Phan Dũng (1987), *Tính toán cọc và móng cọc trong Xây dựng giao thông*. NXB Giao thông vận tải, Hà Nội.

Lời cảm ơn: Xin gửi lời cảm ơn đến kỹ sư Nguyễn Văn Duyệt đã hỗ trợ tính toán ví dụ và đóng góp ý kiến cho bài báo.

Ngày nhận bài: 06/04/2021

Ngày chuyển phản biện: 09/04/2021

Ngày hoàn thành sửa bài: 01/05/2021

Ngày chấp nhận đăng: 07/05/2021