

*Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học toàn quốc
Cơ học Vật rắn biến dạng lần thứ 8
Thái Nguyên, 25-26/8/2006*

Tính toán cơ học các kết cấu tấm Composite lớp dùng làm cửa chắn nước bằng phương pháp phần tử hữu hạn

Hoàng Thắng Lợi, Dương Phạm Tường Minh

Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên

Ngô Như Khoa

Đại học Thái Nguyên

Tóm tắt. Dựa trên lý thuyết tấm Mindlin, báo cáo tập trung vào xây dựng giải thuật và chương trình tính toán trên máy tính nhằm giải quyết một lớp các bài toán tấm Composite chịu uốn, bằng phương pháp phần tử hữu hạn, với các phần tử tứ giác bậc 2. Chương trình được áp dụng để phân tích cơ học cho một số kết cấu cửa chắn nước bằng vật liệu Composite lớp, với các trạng thái chịu tải phức tạp khác nhau: Cửa đóng hoàn toàn không có dòng chảy và có dòng chảy tràn; Cửa mở và có dòng chảy dưới.

1. Giới thiệu

Vật liệu Composite hiện được xếp trong nhóm các vật liệu mới, có nhiều ưu thế so với các vật liệu kinh điển nói riêng và vật liệu một pha nói chung. Đặc biệt là khả năng điều khiển cơ tính của vật liệu bằng con đường thiết kế và sử dụng các biện pháp công nghệ. Nhờ có được các đặc tính ưu việt mà phạm vi ứng dụng của vật liệu này ngày càng được mở rộng. Bên cạnh đó, lĩnh vực tính toán số các kết cấu tấm Composite lớp hiện nay được rất nhiều nhà nghiên cứu quan tâm, trong đó lý thuyết tấm bậc nhất của Mindlin được sử dụng rất phổ biến, như: Timoshenko S [6] đã phát triển lý thuyết tấm kinh điển cho bài toán tấm nhiều lớp, Jeddy [7]; Panda and Natarajan [10] đã sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để tính toán cơ học cho tấm composite dựa trên lý thuyết tấm bậc nhất, Reissner [8] đã nghiên cứu cơ học tấm composite lớp chịu uốn khi kể đến ảnh hưởng của biến dạng cắt ngang theo lý thuyết tấm bậc nhất, vv... Tuy nhiên, một điều cần lưu ý là, trong những kết quả nghiên cứu trên, việc tính toán cơ học kết cấu tấm chịu uốn mới chỉ dừng lại ở các trường hợp tấm chịu tải trọng đơn giản như là phân bố đều và phân bố theo hàm *sin*, mà chưa có nghiên cứu nào đưa ra mô hình phần tử tấm chịu uốn chịu tải trọng phức tạp.

Do vậy mục đích của báo cáo này là xây dựng mô hình PTHH cho tấm Composite chữ nhật chịu uốn bởi các loại tải trọng thực có hàm phân bố phức tạp (bậc 3, bậc 4) dựa trên lý thuyết tấm bậc nhất của Mindlin. Từ đó áp dụng giải

quyết bài toán “Tính toán cơ học cho các kết cấu tấm Composite dạng cửa chắn nước”. Một số kết quả trong báo cáo này cũng đã đề cập đến mức độ ảnh hưởng của các đặc trưng dòng chảy đến mức độ chịu tải của kết cấu cửa chắn.

2. Xây dựng hệ phương trình phân tử hữu hạn

2.1. Trường chuyển vị và biến dạng

+ Theo lý thuyết tấm bậc nhất của Mindlin, trường chuyển vị được xác định bởi:

$$[u(x, y, z, t); v(x, y, z, t); w(x, y, z, t)] = [u^0; v^0; w^0] + z[\theta_x; \theta_y] \quad (1)$$

trong đó, u , v và w là các thành phần chuyển vị theo các phương x , y và z tương ứng của hệ toạ độ chung; chỉ số $(...^0)$ chỉ chuyển vị tại mặt trung bình của tấm; θ_x và θ_y là các chuyển vị góc.

+ Trường biến dạng được xác định từ trường chuyển vị (1) như sau:

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \gamma_{xy} \ \gamma_{xz} \ \gamma_{yz}\}^T = \{\varepsilon_x^0 \ \varepsilon_y^0 \ \gamma_{xy}^0 \ \gamma_{xz}^0 \ \gamma_{yz}^0\}^T + z\{k_x \ k_y \ k_{xy} \ k_{xz} \ k_{yz}\}^T \quad (2)$$

trong đó

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \\ \gamma_{xz}^0 \\ \gamma_{yz}^0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_{,x}^0 \\ v_{,y}^0 \\ u_{,y}^0 + v_{,x}^0 \\ \theta_x + w_{,x} \\ \theta_y + w_{,y} \end{Bmatrix} \quad ; \quad \begin{Bmatrix} k_x \\ k_y \\ k_{xy} \\ k_{xz} \\ k_{yz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \theta_{x',x} \\ \theta_{y',y} \\ \theta_{x',y} + \theta_{y',x} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3)$$

là các thành phần biến dạng màng, biến dạng trượt, độ cong uốn, xoắn theo các phương tương ứng.

2.2. Trường nội lực

Theo lý thuyết tấm Mindlin, khi bỏ qua ứng suất pháp σ_z , trường ứng suất trong lớp thứ k được biểu diễn qua trường biến dạng bởi:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_{xy} \\ \sigma_{xz} \\ \sigma_{yz} \end{Bmatrix}_k = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{16} & 0 & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & Q_{26} & 0 & 0 \\ Q_{16} & Q_{26} & Q_{66} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & C_{45} \\ 0 & 0 & 0 & C_{45} & C_{55} \end{bmatrix}_k \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{xz}^0 \\ \gamma_{yz}^0 \end{Bmatrix}_k \quad (4)$$

trong đó: Q_{ij} là các hằng số của ma trận độ cứng của lớp k trong hệ trục chung (Oxyz), được xác định như sau:

$$Q' = T_{\sigma}^{-1} Q T_{\varepsilon} \quad (5)$$

Với T_{σ}^{-1} là ma trận nghịch đảo của ma trận biến đổi hệ cơ sở ứng suất T_{σ} và T_{ε} là ma trận biến đổi hệ cơ sở biến dạng và Q_{ij} là các hằng số của ma trận độ cứng của lớp vật liệu, được xác định theo các mô đun kỹ thuật [5].

Tích phân các thành phần ứng suất theo chiều dày tấm, ta được biểu thức của lực màng, mô men và lực cắt:

$$\{N\} = \begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix} = \sum_{k=1}^n \int_{h_{k-1}}^{h_k} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_{xy} \end{Bmatrix} dz; \{M\} = \begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \sum_{k=1}^n \int_{h_{k-1}}^{h_k} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_{xy} \end{Bmatrix} z dz; \{Q\} = \begin{Bmatrix} Q_x \\ Q_y \end{Bmatrix} = \sum_{k=1}^n \int_{h_{k-1}}^{h_k} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_{xy} \end{Bmatrix} dz \quad (6)$$

2.3. Ma trận độ cứng phần tử

Phần tử sử dụng trong nghiên cứu là phần tử tứ giác Lagrange bậc hai, 9 nút. Các hàm dạng N_i ($i = 1, 2, 3, \dots, 9$) được xác định trong hệ tọa độ quy chiếu (ξ, η) .

2.3.1. Véc tơ biến dạng

Giả sử chia tấm thành ME phần tử, theo (1), tại mỗi nút của phần tử có 5 thành phần chuyển vị. Ký hiệu véc tơ chuyển vị nút của phần tử là d_i :

$$d_i = \{u_i^0 \quad v_i^0 \quad w_i^0 \quad \theta_{xi} \quad \theta_{yi}\}^T \quad (7)$$

Theo phương pháp PTHH, 5 thành phần chuyển vị này tương ứng với 5 bậc tự do của mỗi nút:

$$d_i = \{q_i, q_{i+1}, q_{i+2}, q_{i+3}, q_{i+4}\} \quad (8)$$

Véc tơ chuyển vị tại một điểm bất kỳ của phần tử:

$$d = \{u^0, v^0, w^0, \theta_x, \theta_y\}^T \quad (9)$$

được xác định từ các hàm dạng N_i và các thành phần chuyển vị nút như sau:

$$d = \sum_{i=1}^9 N_i d_i \quad (10)$$

Theo cách mô tả của phương pháp PTHH, các thành phần biến dạng được biểu diễn qua véc tơ chuyển vị nút dưới dạng:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon^0 \\ \kappa \\ \gamma^0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_1' \end{Bmatrix} \{d\} \quad (11)$$

trong đó các ma trận toán tử L_i, L_i' được xác định bởi:

$$L_1 = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad L_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix}; \quad L'_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Có thể biểu diễn các thành phần biến dạng dưới dạng:

$$\begin{aligned} \{\varepsilon^0\} &= L_1 d = L_1 \sum_{i=1}^{NE} N_i d_i = B_1 a, \quad \{\kappa\} = L_2 d = L_2 \sum_{i=1}^{NE} N_i d_i = B_2 a, \\ \{\gamma^0\} &= L'_1 d = L'_1 \sum_{i=1}^{NE} N_i d_i = B'_1 a \end{aligned} \quad (13)$$

trong đó:

$$\begin{aligned} [B_1] &= [[L_1]N_1, \dots, [L_1]N_n], \quad [B_2] = [[L_2]N_1, \dots, [L_2]N_n], \\ [B'_1] &= [[L'_1]N_1, \dots, [L'_1]N_n] \end{aligned} \quad (14)$$

$$\text{và} \quad \{a\} = \{u_1^0, v_1^0, w_1^0, \theta_{x1}, \theta_{y1}, \dots, u_n^0, v_n^0, w_n^0, \theta_{xn}, \theta_{yn}\}^T \quad (15)$$

là ma trận cột (45×1), biểu diễn véc tơ chuyển vị nút của một phần tử.

2.3.2. Ma trận độ cứng phần tử

Từ biểu thức năng lượng biến dạng đàn hồi

$$U_e = \frac{1}{2} \int_{V_e} (\varepsilon_x \sigma_x + \varepsilon_y \sigma_y + \gamma_{xy} \sigma_{xy} + \gamma_{xz} \sigma_{xz} + \gamma_{yz} \sigma_{yz}) dV \quad (16)$$

sau khi khai triển, ta được

$$U_e = \frac{1}{2} \int_{S_e} \left(\{\varepsilon^0\}^T [A] \{\varepsilon^0\} + \{\varepsilon^0\}^T [B] \{k\} + \{k\}^T [B] \{\varepsilon^0\} + \{k\}^T [D] \{k\} + [\gamma^0]^T [A] [\gamma^0] \right) dS \quad (17)$$

Từ biểu thức (11) và (17) ma trận độ cứng phần tử được viết dưới dạng:

$$[K_e] = \int_{S_e} [B_1^T A B_1 + (B_1^T B B_2 + B_2^T B B_1) + B_2^T D B_2 + B_1^T A B] dS = \int_{S_e} [B]^T [H] [B] dS \quad (18)$$

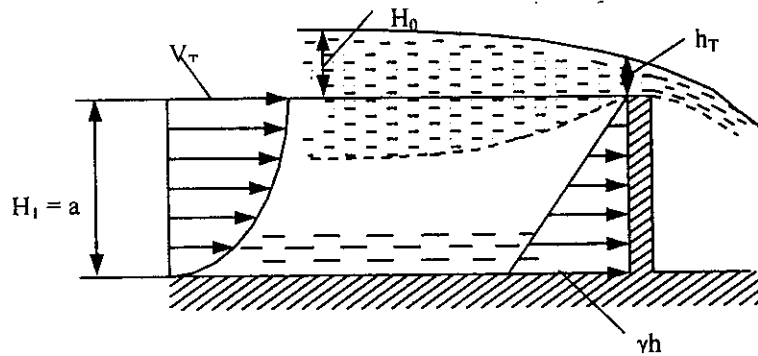
trong đó, [B] là ma trận biến dạng-chuyển vị, [H] là ma trận đàn hồi, được xác định theo biểu thức:

$$[B] = [[B_1] \quad [B_2] \quad [B'_1]]^T \quad \text{và} \quad [H] = \begin{bmatrix} A & B & 0 \\ B & D & 0 \\ 0 & 0 & A' \end{bmatrix} \quad (19)$$

2.4. Mô hình hoá bài toán tấm chịu tác dụng của tải trọng cơ học.

Khảo sát cửa chắn nước dạng tấm chữ nhật kích thước $(a \times b \times c)$, tương ứng theo các phương (x, y, z) , chịu tải trọng phân bố chính là áp lực của nước tác dụng lên tấm. Như vậy bài toán sẽ được giải quyết dưới 2 dạng mô hình, đó là khi cửa chắn nước đóng hoàn toàn và khi nó được mở một khoảng để cho dòng nước chảy qua.

2.4.1. Bài toán 1: Khi cửa chắn được đóng hoàn toàn, dòng nước chảy tràn qua đỉnh của cửa chắn, khi đó tấm sẽ chịu liên kết ngàm trên ba cạnh và tải trọng phân bố theo chiều cao a của tấm sẽ được mô hình như hình vẽ (Hình 1)



Hình 1. Mô hình bài toán thứ nhất

Gọi vận tốc lớn nhất của dòng chất lỏng ở tại mặt cắt trên đỉnh của tấm là V_T và vận tốc của dòng chất lỏng ở dưới đáy là vô cùng bé và có thể bỏ qua. Giả sử vận tốc của khối chất lỏng phân bố theo chiều cao h của tấm theo quy luật bậc 2. Ta có phương trình bậc 2 đầy đủ như sau:

$$V = a_1 h^2 + a_2 h + a_3 \quad (20)$$

Dựa vào các điều kiện biên ta có thể xác định được các hệ số a_1, a_2 và a_3 của phương trình trên, do vậy có thể viết lại như sau:

$$V = \left(-\frac{V_T}{a^2}\right)h^2 + V_T \quad (21)$$

Dựa vào định lý động lượng có thể xác định được lực tác dụng của một phân tử chất lỏng lên tường chắn là:

$$q = \rho.V^2 = \rho.\frac{V_T^2}{a^4}h^4 - 2\rho.\frac{V_T^2}{a^2}h^2 + \rho.V_T^2 \quad (22)$$

Ngoài ra còn có áp suất thủy tĩnh của khối chất lỏng tác dụng lên tường chắn có chiều cao h , do vậy tổng hợp lực tác dụng lên tấm là:

$$q = \rho.\frac{V_T^2}{a^4}h^4 - 2\rho.\frac{V_T^2}{a^2}h^2 + \rho.g.h + \rho.V_T^2 \quad (23)$$

Đối với mô hình bài toán trên thì V_T được tính dựa theo công thức tính vận tốc của dòng chảy trong trường hợp dòng nước chảy tràn qua đập tràn [4]. Ta có:

$$V_T = \varphi \sqrt{2g(H_0 - h_T)} \quad (24)$$

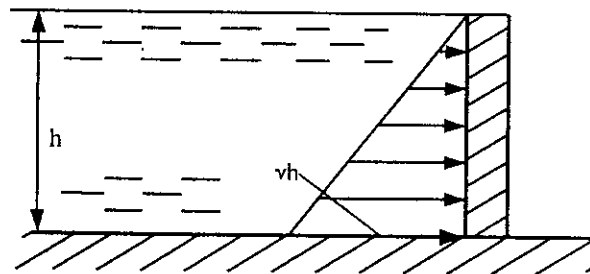
Với: + φ là hệ số phụ thuộc vận tốc, được xác định bằng thực nghiệm. Đối với trường hợp bài toán đang xét thì lấy $\varphi = 0.95 \div 1.00$.

+ h_T là độ cao của dòng nước tại mặt cắt trên đỉnh tấm:

$$h_T = \frac{2\varphi^2}{1 + 2\varphi^2} H_0 \quad (25)$$

+ H_0 là chiều cao của mặt nước thượng lưu so với đỉnh đập.

2.4.2. Bài toán 2: Cửa chắn được đóng hoàn toàn và khối chất lỏng coi như đứng yên, lúc này lực tác dụng lên tấm chỉ do áp suất thủy tĩnh gây ra, khi đó tấm sẽ chịu liên kết ngàm trên ba cạnh và tải trọng phân bố bậc nhất theo chiều cao a của tấm như hình vẽ (Hình 2)



Hình 2. Mô hình bài toán thứ hai

Cường độ lực phân bố bậc nhất được xác định theo biểu thức:

$$q = \gamma \cdot h = \rho \cdot g \cdot h \quad (26)$$

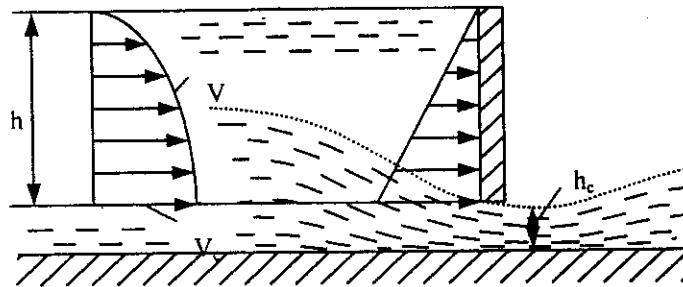
2.4.3. Bài toán 3: Cửa chắn được mở ra một khoảng để cho dòng nước chảy qua, khi đó bài toán sẽ được mô hình về dạng tấm chịu liên kết ngàm trên 2 cạnh còn 2 cạnh tự do và chịu tác dụng bởi tải trọng phân bố được xác định theo mô hình sau (Hình 3).

Gọi vận tốc của khối chất lỏng chuyển động ở tại cửa cống là V_c và nó sẽ có giá trị là lớn nhất. Vận tốc của khối chất lỏng ở trên mặt thoáng là vô cùng bé và ta có thể bỏ qua. Giả sử vận tốc của khối chất lỏng chuyển động phân bố theo chiều cao a của tấm chắn theo quy luật bậc 2. Phương trình đầy đủ của vận tốc dòng chất lỏng là:

$$V = a_1 h^2 + a_2 h + a_3 \quad (27)$$

Dựa vào các điều kiện biên có thể xác định được các hệ số a_1 , a_2 và a_3 của phương trình trên, do vậy có thể viết lại như sau:

$$V = \left(-\frac{V_c}{a^2}\right)h^2 + \frac{2V_c}{a} \cdot h \quad (28)$$



Hình 3. Mô hình bài toán thứ ba

Tương tự dựa vào định lí động lượng có thể xác định được lực tác dụng của một phân tử chất lỏng lên tấm là:

$$q = \rho \cdot V^2 = \rho \cdot \frac{V_c^2}{a^4} h^4 - 4\rho \cdot \frac{V_c^2}{a^3} h^3 + 4\rho \frac{V_c^2}{a^2} h^2 \quad (29)$$

Ngoài ra còn có áp suất thủy tĩnh của khối chất lỏng tác dụng lên tấm, do vậy tổng hợp lực tác dụng lên tấm là:

$$q = \rho \cdot \frac{V_c^2}{a^4} h^4 - 4\rho \cdot \frac{V_c^2}{a^3} h^3 + 4\rho \frac{V_c^2}{a^2} h^2 + \rho \cdot g \cdot h \quad (30)$$

Đối với bài toán trên thì V_c được tính dựa theo công thức tính vận tốc của dòng chảy trong trường hợp chảy qua cống ngầm [4]:

$$V_c = \varphi \sqrt{2g(H - h_c)} \quad (31)$$

Với:

+ φ là hệ số vận tốc, được xác định bằng thực nghiệm chủ yếu phụ thuộc vào hình dạng và mức độ thu hẹp dòng chảy, mức độ nhám ở cửa vào. Đối với trường hợp bài toán đang xét cống có đáy ở ngang đáy kênh thì lấy $\varphi = 0.95 \div 1.00$.

+ h_c là độ sâu co hẹp được tính theo công thức: $h_c = \varepsilon \cdot x$ (32)

trong đó ε được gọi là hệ số co hẹp thẳng đứng và nó phụ thuộc vào tỷ số $\frac{x}{H}$ và được tra trong bảng.

3. Kết quả số

Dựa vào thuật toán đã trình bày ở trên, một chương trình tính bằng ngôn ngữ Visual C++ đã được xây dựng nhằm tính toán cơ học cho các kết cấu tấm Composite có cấu hình khác nhau, chịu tải trọng và liên kết khác nhau. Để kiểm tra tính đúng đắn của chương trình lập được, kết quả được so sánh với các lý thuyết khác nhau khi tính toán đối với tấm có cấu hình (0/90)_s chịu liên kết bản lề trên bốn cạnh và chịu uốn bởi tải trọng hình sin. Cơ tính của các lớp là như nhau có:

$$\frac{E_1}{E_2} = 25; \frac{G_{12}}{E_2} = 0.5; \frac{G_{23}}{E_2} = 0.2; E_2 = E_3 = 7GPa; G_{12}=G_{13}; \nu_{12}=\nu_{13}=\nu_{23} = 0.25.$$

Các kết quả được biểu diễn theo bảng sau:

Bảng 1. Độ võng và ứng suất trong tấm Composite vuông (0/90)_s, bốn cạnh tựa bản lề chịu tải trọng phân bố hình sin.

a/h	Nguồn	$w^0 \times m_0$	$\sigma_x \times m_1$	$\sigma_y \times m_1$	$\sigma_{yz} \times m_2$	$\sigma_{xz} \times m_2$	$\sigma_{xy} \times m_1$
	Báo cáo	0,7050	0,5636	0,3925	0,2070	0,0156	0,0286
10	LT đàn hồi [2]	0,7430	0,5590	0,4010	0,1960	0,3010	0,0275
	LT bậc cao [2]	0,7147	0,5456	0,3888	0,1531	0,2640	0,0268
	LT bậc nhất [2]	0,6628	0,4989	0,3615	0,1292	0,1667	0,0241
	Báo cáo	0,4977	0,5565	0,2863	0,1781	0,0227	0,0262
20	LT đàn hồi [2]	0,5170	0,5430	0,3080	0,1560	0,3280	0,0230
	LT bậc cao [2]	0,5060	0,5393	0,3043	0,1234	0,2825	0,0228
	LT bậc nhất [2]	0,4912	0,5273	0,2957	0,1087	0,1794	0,0221

Bảng 2 mô tả sự thay đổi của độ võng và ứng suất tại điểm có độ võng và ứng suất lớn nhất trong các trường hợp khi có dòng nước chảy tràn ở phía trên, khi không có dòng chảy và khi có dòng nước chảy ở phía dưới của tấm. Trong các trường hợp này tính toán cho tấm composite vuông kích thước (1000x1000) có cấu hình là (45/-45/45/-45). Cơ tính của các lớp vật liệu là như nhau và có: $E_1=280GPa$; $E_2=E_3=7GPa$; $G_{12}=G_{13}=4.2GPa$; $G_{23} = 3.5GPa$; $\nu_{12}=\nu_{13} = \nu_{23} = 0.25$; $a/h=10$. Các thông số của bài toán là: $H_0=200mm$, $H_c=200mm$.

Bảng 2. Độ võng và các ứng suất lớn nhất trong tấm Composite vuông, cấu hình (45/-45/45/-45) khi chịu tải trọng và liên kết khác nhau.

Các trường hợp	w (mm)	σ_x (MPa)	σ_y (MPa)	σ_{xy} (MPa)	σ_{yz} (MPa)	σ_{xz} (MPa)
Chảy trên	9,9208	356,105	354,626	-326,751	-1,186	13,052
	(a/2,a/2)	(a/2,a/2,k/2)	(a/2,a/2,k/2)	(a/2,a/2,k/2)	(a/2,a/2,k/2)	(a/2,a/2,k/2)
Không chảy	9,4385	336,764	335,075	-308,937	-1,1873	12,993
	(a/2,a/2)	(a/2,a/2,k/2)	(a/2,a/2,k/2)	(a/2,a/2,k/2)	(a/2,a/2,k/2)	(a/2,a/2,k/2)
Chảy dưới	26,017	-567,14	-497,660	499,150	0,362	-3,98
	(a/2,0)	(0,0,k/2)	(0,0,k/2)	(0,0,k/2)	(0,0,k/2)	(0,0,k/2)

Nhận xét: Kết quả số trong bảng 1 có độ tin cậy cao khi so sánh với kết quả của lý thuyết bậc nhất và bậc ba không đầy đủ. Kết quả trong bảng 2 cho thấy sự khác nhau trong các trường hợp chịu lực của tấm Composite, khi tấm được nâng lên để cho dòng nước chảy qua thì nó có độ võng và ứng suất lớn hơn hẳn các trường hợp còn lại.

4. Kết luận

Bằng phần tử hữu hạn tứ giác đẳng tham số (9 nút, 5 bậc tự do tại mỗi nút), dựa trên lý thuyết tấm bậc nhất của Mindlin, báo cáo đã xây dựng được thuật toán và chương trình tính toán cơ học cho tấm Composite lớp chịu tác dụng của các loại tải trọng khác nhau. Kết quả số trong báo cáo có độ tin cậy cao khi so sánh với một số kết quả đã công bố của các tác giả khác.

Kết quả cho thấy trong trường hợp khi có dòng chảy thì tấm chịu tải trọng lớn hơn nhiều so với trường hợp có dòng chảy. Khi tăng vận tốc của dòng chảy thì độ võng và ứng suất trong tấm Composite cũng tăng lên.

Kết quả nghiên cứu cho thấy: Cần thiết phải tính đến ảnh hưởng của vận tốc dòng chảy đến khả năng chịu lực của tấm Composite dạng cửa chắn nước và đặc biệt là cần phải tính chính xác được các trường hợp chịu lực khác nhau của tấm khi cửa được đóng và nâng lên 1 khoảng cho dòng nước chảy qua.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Hyer M.W. (1998). Stress analysis of fiber reinforced composite materials. Mc Graw-Hill.
- [2]. Ngô Như Khoa. (2002). "Mô hình hoá và tính toán số vật liệu-kết cấu composite". Luận án Tiến sỹ kỹ thuật.
- [3]. Dương Phạm Tường Minh (2005) "Tính toán cơ học các kết cấu tấm Composite dạng cửa chắn nước chịu tác dụng của tải trọng cơ học và độ ẩm bằng phương pháp phần tử hữu hạn". Luận văn Thạc sỹ kỹ thuật.
- [4]. Nguyễn Tài, Lê Bá Sơn (1999). Thủy lực. NXB Xây dựng.
- [5]. Trần Ích Thịnh (1994). Vật liệu composite. Nxb. GD. Hà Nội
- [6]. Timoshenko S (1959), Woinowsky-Krieger S. Theory of plates and shells. 2nd ed. Singapore: Mc Graw-Hill.
- [7]. Jedy JN (1997). Mechanics of laminated composite plates. Theory and analysis. Boca Raton: CRC Press.
- [8]. Reissner E (1845). The effect of transverse shear deformation on the bending of elastic plates. ASME J Appl Mech.
- [9]. Ochoa O. O., (1992). Finite Element Analysis of Composite Laminates. Kluwer Academic Publishers.
- [10]. S.C. Panda, R. Natarajan, Finite element analysis of laminated composite plates, Int. J. Numer. Methods Eng. 14 (1979) 69-79.