XÁC ĐỊNH HỆ SỐ KHÍ ĐỘNG MẶT DƯỚI CỦA TẤM CHE NẮNG CÓ LÕ BẰNG PHƯƠNG PHÁP SỐ

TS. **VŨ THÀNH TRUNG** Viện KHCN Xây dựng GS. **YUKIO TAMURA**, PGS. **AKIHITO YOSHIDA** Trường Đại học Bách Khoa Tôkyô, Nhật Bản

Tóm tắt: Bài báo trình bày phương pháp tính toán bằng số dựa trên phương trình Bernoulli mở rộng để xác định hệ số khí động mặt dưới của tấm che nắng có lỗ với hai độ rỗng ϕ (tỉ lệ giữa diện tích của các lỗ rỗng và diện tích của tấm) và các hướng gió khác nhau từ các áp lực mặt trên và áp lực xung quanh. Các kết quả của thí nghiệm trong ống thổi khí động với hai mô hình có tỉ lệ 1:50 của nhà thấp tầng với các tấm che nắng có lỗ phù hợp tốt với các kết quả tính toán từ phương pháp này.

Từ khóa: Tính toán số, phương trình Bernoulli mở rộng, tấm che nắng, nhà thấp tầng, ống thổi khí động.

1. Đặt vấn đề

Các tấm che nắng được lắp đặt trên các mái là loại kết cấu mới cho việc giảm sự hấp thụ nhiệt cho mái. Tải trọng gió tác động lên các tấm này được xác định từ sự khác nhau giữa áp lực gió mặt trên được tạo ra do dòng gió tác dụng lên công trình và áp lực mặt dưới, phụ thuộc vào độ rỗng của tấm chắn nắng, cấu tạo giữa tấm chắn nắng và mái. Nhưng đối với hệ số khí động mặt dưới không dễ xác định được trong các thí nghiệm trong ống thổi khí động do khó khăn trong việc chế tạo mô hình thí nghiệm. Do đó, một phương pháp tính toán bằng số được dùng để tính toán hệ số khí động mặt dưới của tấm che nắng.

Một số nghiên cứu trước đây về áp lực gió trong như: Holmes [1] đã tiến hành nghiên cứu áp lực gió trong cho nhà thấp tầng với lỗ hở ở mặt đón gió và khuất gió bằng ống thổi khí động và phương pháp tính toán số. Saathoff và Liu [2] đã giới thiệu phương pháp dùng phương trình Bernoulli mở rộng để xác định áp lực trong do gió gây ra trong nhà có một phòng với một lỗ hở và được mở rộng dùng cho nhà có nhiều phòng với nhiều lỗ hở. Lý thuyết này có thể được dùng để tính toán sự thay đổi áp lực trong theo thời gian cho từng phòng của công trình có nhiều phòng dưới các điều kiện khác nhau.

Trong bài báo này, phương pháp dùng phương trình Bernoulli mở rộng (Saathoff và Liu [2]) được áp dụng cho tính toán. Kết quả tính toán này được so sánh với kết quả thí nghiệm.

2. Thí nghiệm ống thổi khí động

Một mô hình nhà thấp tầng (200 mm cao (*H*) × 470 mm rộng (*B*) × 710 mm dài (*D*)) với mái có các tấm che nắng rỗng được thí nghiệm tại ống thổi khí động (có kích thước mặt cắt ngang 2,2 m rộng x 1,8 m cao) của Trường Đại học Bách khoa Tôkyô, Nhật Bản (xem chi tiết trong bài báo [3]). Tỉ lệ mô hình và vận tốc gió tương ứng là 1/50 và 1/4. Địa hình dạng III (với chỉ số mũ của đường profile vận tốc trung bình là 0,2 - tương đương với dạng địa hình B của TCVN 2737-1995) của AIJ-RFLB (2004) [4] được dùng cho các thí nghiệm này. Độ rối tại độ cao 200 mm (tương đương 10 m trong thực tế) là 0,26 và vận tốc gió trung bình là 7 m/s. Thí nghiệm được tiến hành với 17 hướng gió khác nhau (từ 0° đến 360° với 30° cho từng bước và 4 hướng gió: 45° , 135° , 225° và 315°).

Mô hình thí nghiệm có 16 tấm che nắng ở trên mái với mỗi tấm có 128 lỗ, trong đó có 4 tấm (A, B, C và D) được bố trí các đầu đo áp lực (hình 1a). Các tấm che nắng của mô hình 1 (độ rỗng 5%) và mô hình 2 (độ rỗng 10%) với các lỗ có đường kính tương ứng là 2,8 mm và 4 mm. Khoảng cách giữa

các tấm che nắng và đỉnh của mái tôn là 1 mm (hình 1b). Mô hình tấm che nắng A có 39 đầu đo áp lực ở mặt trên và 39 đầu đo áp lực ở mặt dưới. Ngoài ra, xung quanh tấm A có bố trí 32 đầu đo áp lực (hình 1c). Các hiệu ứng của hệ số Reynolds lên dòng gió qua các lỗ trên tấm cũng được bỏ qua. Tần số lấy mẫu của thí nghiệm là 781 Hz và tần số lọc thông thấp là 300 Hz. Hình 2 thể hiện một số hình ảnh của mô hình thí nghiệm trong ống thổi khí động.



(b) Chi tiết mặt cắt mái của mô hình thí nghiệm

(c) Mặt bằng bố trí đầu đo áp lực và lỗ cho tấm che nắng A

Hình 1. Mô hình thí nghiệm (tất cả các đơn vị bằng mm)



(a) Mô hình thí nghiệm



(b) Cận cảnh của mô hình tấm che nắng

Hình 2. Một vài hình ảnh của mô hình thí nghiệm trong ống thổi khí động

3. Mô hình tính toán

Mô hình tính toán được thể hiện tại hình 3. Khối tích giữa tấm A và mái được chia thành 256 khối tích nhỏ (khối ảo), mô hình tương tự như nhà có nhiều phòng (hình 3) mà trong đó áp lực gió mặt dưới tấm A như áp lực bên trong và áp lực gió mặt trên tấm A như áp lực bên ngoài.

Khi giả thiết dòng khí qua các lỗ hở như là dòng khí phụt thì phương trình liên hệ giữa áp lực mặt trên và mặt dưới của khối tích nhỏ *i* là:

$$\rho_{a}I_{e,i}\dot{U}_{e,i} = P_{e,i} - P_i - \frac{1}{2}\rho_a U_{e,i}|U_{e,i}| - \frac{32\mu t}{d^2} U_{e,i} \quad (1)$$

Ở đây ρ_a - khối lượng riêng của không khí; $I_{e,i}$ - chiều dài dao động quy đổi của dòng khí (air slug) tại lỗ hở i ($I_{e,i} \cong t + 0.8 \sqrt{\pi d^2 / 4}$); $P_{e,i}$ - áp lực ngoài của khối tích nhỏ i; P_i - áp lực trong của khối tích nhỏ i; $U_{e,i}$ - áp vận tốc của dòng khí qua lỗ hở i; μ - độ nhớt của khí; d- đường kính của lỗ hở; và t- chiều dày của tấm. Ký hiệu • trên các biến thể hiện phép vi phân theo thời gian.



(a) Mô hình tính toán cho tấm che nắng



(b) Mô hình tính toán cho khối tích nhỏ thứ *i*

Hình 3. Mô hình tính toán (tất cả các đơn vị bằng mm)

Số hạng cuối vế phải của phương trình 1 thể hiện sự giảm áp lực do ma sát (phương trình ma sát trong ống $\Delta P = f \frac{t}{d} \frac{\rho_a U_{e,i}^2}{2}$. Hệ số ma sát f = 64/Re là hệ số ma sát Darcy cho dòng đều (*Re* là số Reynolds = $\frac{U_{e,i} d\rho_a}{\mu}$). Thay vào phương trình ma sát trong ống, rút ra $\Delta P = \frac{32\mu t}{d^2} U_{e,i}$.

Phương trình liên hệ giữa áp lực bề mặt dưới của khối tích nhỏ *i* và khối tích nhỏ (*i*+1) là:

$$\rho_{a}I_{i,i+1}\dot{U}_{i,i+1} = P_{i} - P_{i+1} - \frac{1}{2}\rho_{a}U_{i,i+1}|U_{i,i+1}| - \frac{1}{2}K\rho_{a}U_{i,i+1}|U_{i,i+1}| - \frac{12\mu}{a}\frac{s}{w}U_{i,i+1}$$
(2)

Ở đây $I_{i,i+1}$ - chiều dài dao động quy đổi của dòng khí (air slug) tại lỗ hở giữa khối tích nhỏ *i* và (*i*+1); P_i , P_{i+1} - áp lực trong của khối tích nhỏ *i* và (*i*+1); K - hệ số hao hụt do lỗ hở (= $2,78 \left(\frac{aw}{aw} - 0,6\right)^2 \approx 46$); *a* - khoảng cách giữa tấm che nắng và mái; *g* - khoảng cách giữa tấm che

nắng và đỉnh của mái; s - chiều dài của khối tích nhỏ; w - chiều rộng của khối tích nhỏ và $U_{i,i+1}$ - vận tốc dòng khí giữa các khối tích nhỏ *i* và (*i*+1).

Số hạng thứ tư ở vế phải của phương trình 2 thể hiện sự mất áp lực do lỗ hở giữa các khối tích nhỏ *i* và (*i*+1).

Số hạng cuối ở vế phải của phương trình 2 thể hiện sự mất áp lực do ma sát của bề mặt dọc theo chiều dài của tấm. Đây là phương trình của sự mất áp lực cho dòng đều giữa các tấm song song $\Delta P = f \frac{s}{2a} \frac{\rho_a U_{i,j+1}^2}{2}$.

Hệ số ma sát f = 48/Re là hệ số ma sát cho dòng đều (Re là số Reynolds = $\frac{U_{i,i+1}w\rho_a}{\mu}$). Thay vào

phương trình ma sát trong ống, rút ra $\Delta P = \frac{12 \mu}{a} \frac{s}{w} U_{i,i+1}$.

Phương trình liên hệ giữa áp lực bề mặt dưới của khối tích nhỏ *i* và khối tích nhỏ (*i*+3) là:

$$\rho_{a}I_{i,i+3}\dot{U}_{i,i+3} = P_{i} - P_{i+3} - \frac{1}{2}\rho_{a}U_{i,i+3}|U_{i,i+3}| - \frac{12\mu}{a}\frac{w}{s}U_{i,i+3} (3)$$

Ở đây số hạng cuối ở vế phải của phương trình 3 thể hiện sự mất áp lực do ma sát của bề mặt dọc theo chiều rộng của tấm.

Ngoài ra, với giả thiết dòng khí có thể nén được trong khối tích nhỏ *i* dưới các điều kiện đoạn nhiệt, mối liên hệ giữa áp lực bề mặt dưới và vận tốc của dòng khí được thể hiện qua phương trình liên tục sau:

$$\dot{P}_{i} = (nP_{a}/V_{i})(A_{e,i}U_{e,i} + A_{i:1,i}U_{i:1,i} + A_{i:3,i}U_{i:3,i} - A_{i,i+1}U_{i,i+1} - A_{i,i+3}U_{i,i+3})$$
(4)

Ở đây n - –1.4 cho dòng khí đoạn nhiệt; P_a - áp lực không khí; V_i - thể tích của khối tích nhỏ i; và $A_{2,2}$ - tiết diện của lỗ hở giữa của khối tích nhỏ (^{*}) và của khối tích nhỏ (^{**}).

Các phương trình vi phân thường bậc nhất cho áp lực bên trên tại các lỗ hở và áp lực bên dưới trong các khối tích nhỏ được xác định từ các phương trình 1, 2, 3 và 4. Do đó, một tấm che nắng có một hệ 1056 phương trình vi phân thường. Hệ phương trình này được giải dựa trên phương pháp Runge-Kutta bậc 4 và ngôn ngữ lập trình Delphi. Các kết quả tính toán ở đây được so sánh với các kết quả thí nghiệm.

4. So sánh các kết quả bằng tính toán và bằng ống thổi khí động

Trong bài báo này, các tác giả đã tính toán cho áp lực dưới của tấm A (ở vùng góc) cho hai độ rỗng $\phi = 5\%$ và 10% với 17 hướng gió khác nhau (từ 0° đến 360° với 30° cho từng bước và 4 hướng gió: 45°, 135°, 225° và 315°). Hai mô hình tính toán được sử dụng:

- Mô hình tính toán 1 sử dụng các phương trình 1, 2, 3 và 4;

 Mô hình tính toán 2 sử dụng các phương trình 1, 2, 3 và 4 nhưng bỏ qua sự giảm áp suất (thành phần thứ 4 trong phương trình 2 và các thành phần cuối trong các phương trình 1, 2 và 3).

Các giá trị từ thí nghiệm và tính toán thay đổi theo thời gian của các hệ số khí động mặt trên và mặt dưới $(C_{pu}$ và $C_{pl})$ của các đầu đo áp lực số 14, 30 và 34 (hình 4) cho thấy các kết quả tính toán từ mô hình tính toán



1 có kết quả tốt hơn mô hình tính toán 2. Từ đó cho thấy rằng các thành phần làm giảm áp lực trong các phương trình có vai trò quan trọng trong việc tính toán cá $^{0.3}$

Hình 4. Sự thay đổi theo thời gian của các hệ số khí động mặt trên và mặt dưới $(C_{pu} và C_{pl})$ của tấm A với độ rỗng $\phi = 5\%$ và hướng gió $\theta = 45^{\circ}$

Biểu đồ phân bố các hệ số khí động mặt dưới trung bình và lệch chuẩn (\overline{C}_{pl} và C_{pl}) của tấm A cho độ rỗng $\phi = 5\%$ và hướng gió $\theta = 0^{\circ}$ được thể hiện ở hình 5; chỉ cho sự khác nhau nhỏ giữa hai kết quả và điều này cho thấy hiệu quả của lý thuyết để tính toán các hệ số khí động mặt dưới. Tương tự đối với tấm A có độ rỗng $\phi = 10\%$, kết quả tính toán cũng phù hợp với kết quả thí nghiệm tại hướng gió $\theta = 0^{\circ}$ (kết quả không thể hiện ở đây).



Hình 5. Biểu đồ phân bố các hệ số khí động mặt dưới trung bình và lệch chuẩn (\overline{C}_{pl} và C_{pl})

của tấm A cho độ rỗng $\phi = 5\%$ và hướng gió $\theta = 0^{\circ}$

Sự thay đổi theo thời gian của các hệ số khí động tấm của mặt trên và mặt dưới ($C_{UP}(t)$ và $C_{LP}(t)$) được tính toán theo các phương trình sau:

Tạp chí KHCN Xây dựng – số 2/2011

$$C_{UP}(t) = \sum_{j=1}^{N} \left(C_{pu}(j,t).F_{j} \right) / F$$
(5)
$$C_{LP}(t) = \sum_{j=1}^{N} \left(C_{pl}(j,t).F_{j} \right) / F$$
(6)

Ở đây $C_{pu}(j,t)$ và $C_{pl}(j,t)$ - các hệ số khí động tại điểm *j* và tại thời gian *t* ở mặt trên và mặt dưới; F_j - các diện tích hiệu dụng của điểm *j*; *N* - số các điểm đo áp lực và *F* - diện tích mặt của tấm.

Hình 6 thể hiện sự thay đổi theo thời gian của các hệ số khí động tấm mặt trên và mặt dưới (C_{UP} và C_{LP}) của tấm A với độ rỗng $\phi = 5\%$ và hướng gió $\theta = 45^{\circ}$. Từ hình vẽ cho thấy các kết quả tính toán từ mô hình tính toán 1 phù hợp với các kết quả thí nghiệm.



mặt dưới (C_{UP} và C_{LP}) với độ rỗng $\phi = 5\%$ và hướng gió $\theta = 45^{\circ}$

Hình 7 thể hiện sự so sánh các kết quả từ thí nghiệm và từ tính toán cho các hệ số khí động tấm của mặt dưới C_{LP} với các hướng gió khác nhau. Từ hình này cho thấy:

- Đối với độ rỗng $\phi = 5\%$, có sự phù hợp giữa kết quả tính toán và kết quả thí nghiệm. Tại các hướng gió θ từ 30° đến 90° có sự khác nhau nhỏ giữa 2 kết quả (khoảng 0,08 và 0,02 tương ứng cho $\overline{C}_{_{LP}}$ và $C_{_{LP}}$), đặc biệt tại hướng gió $\theta = 60^\circ$. Tại các hướng gió khác thì sự khác nhau là rất nhỏ;

- Đối với độ rỗng $\phi = 10\%$, các kết quả từ tính toán phù hợp với các kết quả từ thí nghiệm ngoại trừ tại các hướng gió θ từ 30° đến 90° (sự khác nhau tương ứng là 0,12 và 0,02 cho \overline{C}_{LP} và C_{LP}).



(a) Hệ số khí động tấm trung bình \overline{C}_{1P} (độ rỗng $\phi = 5\%$) (b) Độ lệch chuẩn của hệ số khí động tấm C'_{1P} (độ rỗng $\phi = 5\%$)





Hình 8 thể hiện các phổ năng lượng của các hệ số khí động tấm mặt dưới C_{LP} của tấm A cho các độ rỗng $\phi = 5\%$ và các hướng gió $\theta = 0^{\circ}$ và 45°. Kết quả tính toán trùng với kết quả thí nghiệm, thậm trí với các tần số cao.



Hình 8. Phổ năng lượng của các hệ số khí động tấm mặt dưới C_{LP} của tấm A cho độ rỗng $\phi = 5\%$ và các hướng gió $\theta = 0^{\circ}$ và 45°

5. Kết luận

Bài báo trình bày phương pháp tính toán bằng số dựa trên phương trình Bernoulli mở rộng để xác định hệ số khí động mặt dưới của tấm che nắng có lỗ với hai độ rỗng và các hướng gió khác nhau. Các kết quả tính toán cho thấy sự hiệu quả của phương pháp này.

Lời cẩm ơn: Các tác giả cảm ơn Bộ Giáo dục, Văn hóa, Thể thao, Khoa học và Công nghệ Nhật Bản thông qua chương trình Global Center of Excellence 2008-2013, đã cấp kinh phí cho nghiên cứu này. Xin chân thành cảm ơn Viện KHCN Xây dựng - Bộ Xây dựng - Việt Nam đã tạo điều kiện cho tác giả Vũ Thành Trung được tham gia nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1. HOLMES, J.D., "Mean and fluctuating internal pressures induced by wind", Proceeding of 5th Internastional Conference on Wind Engineering, Fort Collins, CO, 435-450, 1979.
- 2. SAATHOFF, P.J. AND LIU, H., "Internal pressure of multi-room buildings", Journal of the Engineering Mechanics Division, June, 908-919, 1983.
- VŨ THÀNH TRUNG, YUKIO TAMURA, AKIHITO YOSHIDA. "Nghiên cứu ống thổi khí động học để xác định lên tải trọng gió lên các tấm che nắng với các độ rỗng khác nhau", *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây* dựng, số 4/2009.
- 4. AIJ-RLB, AIJ Recommendations for Loads on Buildings. Architectural Institute of Japan, 2004.
- 5. CHINO, N., IWASA, Y., MATAKI, Y., HAGIWARA, T., SATO, H, "Internal pressure of double composite exteriors", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 38, 381-391, 1991.*