

TÍNH TOÁN ĐỘ BỀN ĐÀI CỌC BÊ TÔNG CỐT THÉP TOÀN KHỐI

TS. LÊ MINH LONG, KS. NGUYỄN TRUNG KIÊN, KS. NGUYỄN HẢI DIỆN
Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: Việc tính toán đài cọc bê tông cốt thép toàn khối đã được đề cập trong TCVN 5574:2012 và tưởng như là đơn giản, nhưng trong thực tế thiết kế, do TCVN 5574:2012 không hướng dẫn chi tiết cho các trường hợp tính toán dẫn đến việc xác định tháp chọc thủng, nhất là do các cọc biên thường được thực hiện không chính xác. Ngoài ra, các bài toán tính toán đài cọc cũng thường chưa được thực hiện đầy đủ và chính xác theo quan điểm của TCVN 5574:2012 nên dẫn đến tranh luận không cần thiết. Bài báo này trình bày phương pháp tính toán chi tiết tháp chọc thủng đài cọc theo quan điểm của tài liệu cơ sở biên soạn ra TCVN 5574:2012.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay trong thực tế thiết kế thường bỏ qua tính toán chọc thủng của đài cọc với lý do chiều cao đài thường được chọn sao cho tháp chọc thủng nằm phía trong cọc biên. Tuy nhiên, với các đài có số lượng cọc lớn, phản lực đầu cọc cũng lớn, nên việc lựa chọn theo hướng này thường làm cho chiều cao đài cọc lớn, không đảm bảo tính kinh tế.

Trong TCVN 5574:2012 [1], việc tính toán chọc thủng (nén thủng) được giới thiệu rất tổng quát trong mục 6.2.5.4. Trong khi đó, khi áp dụng các công thức tính toán theo mục này gây rất nhiều khó khăn cho kỹ sư thiết kế, dẫn đến có sự sai lệch trong quá trình thẩm tra hồ sơ thiết kế các công trình cao tầng hiện nay. Khi tính toán độ bền của đài cọc bê tông cốt thép cần phải thực hiện 05 bài toán: (1) tính toán chọc thủng đài cọc do cột gây ra; (2) tính toán chọc thủng đài cọc do cọc biên gây ra; (3) tính toán độ bền tiết diện nghiêng chịu lực cắt; (4) tính toán uốn theo tiết diện thẳng góc và tiết diện nghiêng; (5) tính toán nén cục bộ đài cọc. Trong đó, các bài toán (4) và (5) đã được trình bày chi tiết trong [1] và [3]. Tài liệu “Hướng dẫn tính toán độ bền đài cọc theo tiêu chuẩn SNIP 2.03.01-84” [5] là tài liệu phát triển thêm nhằm chi tiết hóa tính toán cho SNIP 2.03.01-84 [3] (là tài liệu gốc làm cơ sở biên soạn ra TCXDVN 356:2005 [2] trước đây và TCVN 5574:2012 [1] hiện hành). Trong [5] đã cụ thể hóa các trường hợp tính toán. Rất tiếc là tài liệu này chưa được biên soạn cho Việt Nam để thuận

tiện cho việc áp dụng và tránh được các tranh luận không cần thiết.

Các bài toán (4) và (5) đã được hướng dẫn cụ thể trong [1] và [3]. Bài báo này chỉ đề cập đến việc tính toán chọc thủng đài cọc bê tông cốt thép toàn khối (có mặt bằng hình vuông (hoặc hình chữ nhật) dưới cột với số lượng cọc trong đài từ 2 trở lên theo các bài toán (1), (2) và (3).

2. Tính toán độ bền đài cọc dưới cột bê tông cốt thép toàn khối

2.1 Tính toán chọc thủng đài cọc do cột gây ra

a. Tính toán chọc thủng đài cọc chịu lực đứng tâm

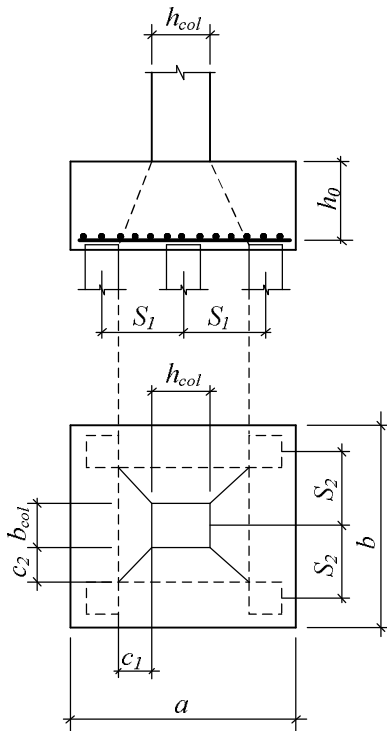
Với đài cọc có 4 cọc trở lên, việc tính toán chọc thủng đài cọc được thực hiện theo biểu thức (1), xuất phát từ điều kiện: sự chọc thủng xảy ra theo các mặt bên của tháp chọc thủng với chiều cao tính bằng khoảng cách theo phương thẳng đứng từ cốt thép chịu lực của đài cọc đến chân cột, còn các mặt bên đi qua các mép ngoài của cột đến các mép trong của các cọc và nghiêng một góc không nhỏ 45° so với phương nằm ngang và không lớn hơn góc ứng với tháp chọc thủng có $c = 0,4h_0$.

Biểu thức tổng quát để tính chọc thủng:

$$F_{per} \leq \frac{R_{bt} h_0}{\alpha} \sum_{i=1}^{i=m} u_i \frac{h_0}{c_i} \quad (1)$$

trong đó F_{per} là lực chọc thủng tính toán, bằng tổng phản lực các cọc nằm ngoài phạm vi đáy dưới tháp chọc thủng, $F_{per} = N(n_1/n)$. Khi đó phản lực các cọc chỉ được tính do lực dọc trục N tác dụng tại tiết diện cột ở cạnh nằm ngang bên trên của đài cọc; ở đây n là số cọc trong đài, n_1 là số cọc nằm ngoài phạm vi đáy dưới tháp chọc thủng; R_{bt} là cường độ chịu kéo tính toán của bê tông có kể đến các hệ số điều kiện làm việc của bê tông γ_{bt} ; h_0 là chiều cao làm việc của tiết diện đài cọc trên đoạn đang xét, tính bằng khoảng cách từ cốt thép chịu lực của đài cọc tới mặt trên của đài cọc; u_i là giá trị trung bình của cạnh đáy trên và đáy dưới của mặt bên thứ i của tháp chọc thủng (tức là tháp chọc thủng có thể có nhiều mặt, không phải lúc nào cũng là 4); c_i là khoảng cách từ mép cột tới mặt bên của cọc nằm ngoài phạm vi tháp

chọc thủng; α là hệ số lấy bằng 1 với đài cọc toàn khối (đối với móng lắp ghép $\alpha = (1 - 0,4R_{bt}A_f/N) \geq 0,85$ với $A_f = 2(b_{col} + h_{col})h_{anc}$, trong đó h_{anc} là chiều dài cột ngàm vào cốt móng).



Hình 1. Sơ đồ hình thành tháp chọc thủng dưới cột bê tông cốt thép toàn khối

Khi tính toán chọc thủng cho đài cọc chịu lực đúng tâm do cột tiết diện chữ nhật gây ra, biểu thức (1) được viết lại dưới dạng:

$$F_{per} \leq \frac{2h_0 R_{bt}}{\alpha} \left[\frac{h_0}{c_1} (b_{col} + c_2) + \frac{h_0}{c_2} (h_{col} + c_1) \right] \quad (2)$$

trong đó F_{per} ; R_{bt} ; h_0 như trong biểu thức (1); b_{col} ; h_{col} lần lượt là chiều rộng và chiều cao của tiết diện cột; c_1 là khoảng cách từ mép cột có kích thước b_{col} tới mặt phẳng song song với nó, đi qua mép trong của hàng

cột gần nhất, nằm ngoài phạm vi đáy dưới của tháp chọc thủng; c_2 là khoảng cách từ mép cột có kích thước h_{col} tới mặt phẳng song song với nó, đi qua mép trong của hàng cột gần nhất, nằm ngoài phạm vi đáy dưới của tháp chọc thủng;

Ở đây, tỉ số h_0/c_i lấy không nhỏ hơn 1 và không lớn hơn 2,5. Khi $c_i > h_0$ thì c_i lấy bằng h_0 , khi $c_i < 0,4h_0$ thì c_i lấy bằng $0,4h_0$.

Khi tính toán chọc thủng của đài cọc chịu lực đúng tâm do cột tiết diện vuông gây ra, với $c_1 = c_2 = c$ thì công thức (2) sẽ có dạng:

$$F_{per} \leq \frac{4h_0 R_{bt} (h_{col} + c)}{\alpha} \times \frac{h_0}{c} \quad (3)$$

Khi bố trí cốt thép ngang đặt vuông góc với mặt bản của đài cọc trong phạm vi tháp chọc thủng thì việc tính toán phải được thực hiện theo điều kiện:

$$F_{per} \leq F_b + 0,8F_{sw} \quad (4)$$

nhưng không lớn hơn $2F_b$.

Giá trị lực F_b lấy bằng vế phải của biểu thức (1), còn lực F_{sw} bằng tổng toàn bộ lực cắt do cốt thép đai (cắt qua các mặt bên của tháp chọc thủng) chịu, được xác định theo công thức:

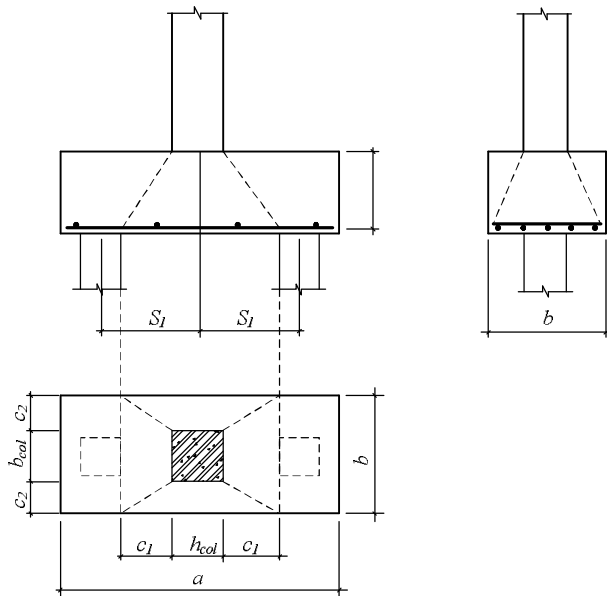
$$F_{sw} = \sum R_{sw} A_{sw} \quad (5)$$

trong đó: R_{sw} là cường độ chịu kéo tính toán của cốt thép đai khi tính toán tiết diện nghiêng chịu tác dụng của lực cắt; A_{sw} là tổng diện tích tiết diện ngang của cốt thép đai, cắt qua các mặt bên của tháp chọc thủng.

- Với đài cọc gồm 2 cọc (hình 2) thì việc tính toán chọc thủng đài cọc do cột gây ra được tiến hành theo điều kiện:

$$F_{per} \leq \frac{2R_{bt} \left[\frac{h_0}{c_1} (b_{col} + c_2) h_0 + (h_{col} + c_1) (b - b_{col}) \right]}{\alpha} \quad (6)$$

trong đó F_{per} là lực chọc thủng tính toán, bằng tổng phản lực của hai cọc do lực dọc N tác dụng lên cột R_{bt} , h_0 ; c_1 ; b_{col} , h_{col} , α : như trong biểu thức (1); c_2 là khoảng cách từ mặt phẳng mép cột kích thước h_{col} đến mép ngoài của đài cọc.



Hình 2. Sơ đồ tháp chọc thủng trong đài 2 cọc dưới cột bê tông cốt thép

b. Tính toán chọc thủng đài cọc chịu lực lệch tâm

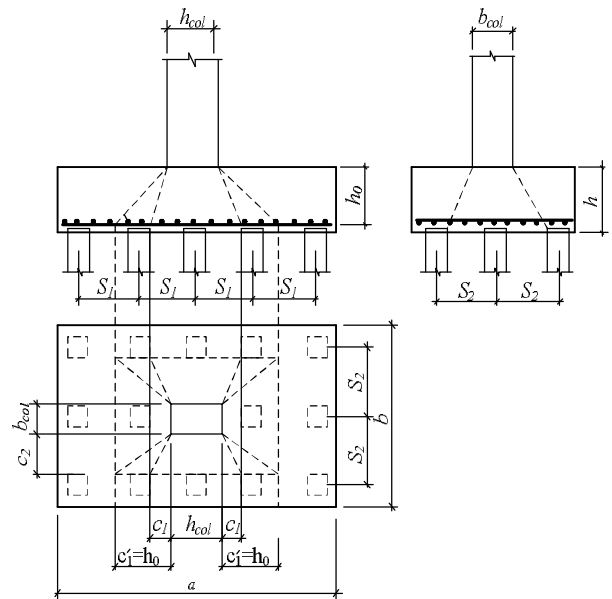
Việc tính toán được tiến hành theo các công thức tính toán chọc thủng của các đài chịu lực đúng tâm, nhưng khi đó lực chọc thủng tính toán lấy bằng $F_{per} = 2\Sigma F_i$, trong đó ΣF_i là tổng phản lực của tất cả các cọc nằm ở một phía của trục cột ở phần chịu lực nhiều hơn trừ đi phản lực của các cọc nằm trong phạm vi tháp chọc thủng ở cùng phía với trục cột. Trong trường hợp này, các phản lực của các cọc được tính toán do lực dọc và mô men tác dụng tại tiết diện cột ở mặt đài (tức là phản lực cọc sinh ra do lực dọc và mô men tác dụng tại mặt đài).

Khi các mô men tác dụng theo phương ngang và phương dọc thì ΣF_i được xác định theo từng phương riêng biệt; trong tính toán lấy giá trị lớn hơn (tức là lấy giá trị lớn hơn trong hai phương đang xét, phương nào có lực lớn hơn thì lấy giá trị đó).

- Với đài 2 cọc chịu lực lệch tâm thì việc tính toán chọc thủng do cột gây ra được tiến hành theo biểu thức (6), nhưng khi đó lực chọc thủng tính toán lấy bằng $F_{per}=2F_i$, trong đó F_i – phản lực của cọc chịu lực lớn nhất do lực dọc N và mô men M tác dụng vào cột;

- Trường hợp đài có nhiều hàng cọc (hình 3) thì ngoài việc tính toán chọc thủng đài do cột gây ra theo tháp chọc thủng, các mặt bên của tháp đi từ mép ngoài của cột đến các mép gần nhất của các cọc, cần phải kiểm tra chọc thủng của đài cọc do cột gây ra với giả thiết là sự chọc thủng xảy ra theo mặt tháp, hai hoặc tất cả 4 mặt của tháp nghiêng góc 45°; khi đó,

phản lực của các cọc nằm trong phạm vi diện tích của đáy dưới tháp chọc thủng không được kể tới.



Hình 3. Sơ đồ tháp chọc thủng khi bố trí cọc thành nhiều hàng

2.2 Tính toán chọc thủng đài cọc do cọc biên gây ra

Việc tính toán chọc thủng đài do cọc biên gây ra được thực hiện theo biểu thức sau:

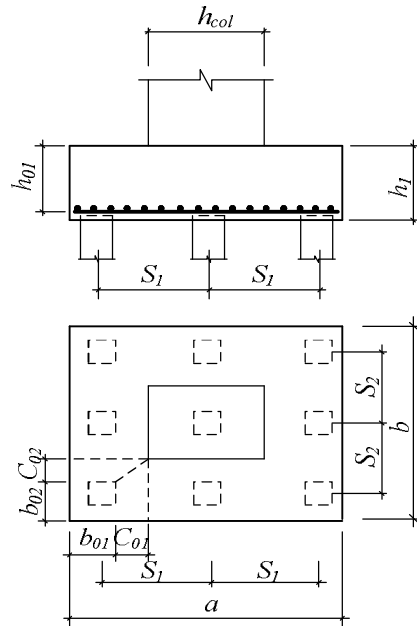
$$F_{ai} \leq R_{bt} h_{01} \sum_{i=1}^m u_i \beta_i \quad (7)$$

trong đó: F_{ai} là tải trọng tính toán lên một cọc biên có kể đến momen theo 2 phương, bao gồm cả ảnh hưởng của tải trọng cục bộ (ví dụ: do tường chèn); h_{01} là chiều cao tính toán của tiết diện trên đoạn đang kiểm tra, bằng khoảng cách từ đỉnh cọc đến mặt trên đài cọc; u_i là giá trị trung bình của đáy trên và đáy dưới của mặt bên thứ i của tháp chọc thủng có chiều cao h_{01} , hình thành khi một cọc biên chọc thủng đài; β_i là hệ số, được xác định theo biểu thức: $\beta_i = k(h_{01}/c_{0i})$ với k là hệ số, kể đến sự giảm khả năng chịu lực đài cọc ở vùng góc.

Biểu thức (7) có thể được viết lại dưới dạng:

$$F_{ai} \leq R_{bt} h_{01} \left[\beta_1 \left(b_{02} + \frac{c_{02}}{2} \right) + \beta_2 \left(b_{01} + \frac{c_{01}}{2} \right) \right] \quad (8)$$

trong đó: $\beta_1 = k_1(h_{01}/c_{01})$ và $\beta_2 = k_2(h_{01}/c_{02})$; b_{01} và b_{02} là khoảng cách từ các cạnh trong của các cọc biên đến các cạnh ngoài của đài cọc (hình 4); c_{01} và c_{02} là khoảng cách từ mép trong của cọc biên đến mép cột gần nhất theo 2 phương; β_1 và β_2 là giá trị các hệ số được lấy theo bảng 1.



Hình 4. Sơ đồ chọc thủng đài do các cọc biên

Bảng 1. Giá trị các hệ số β_1 và β_2

h_{01}/c_{0i}	β_i	h_{01}/c_{0i}	β_i	h_{01}/c_{0i}	β_i	h_{01}/c_{0i}	β_i
≤ 1	0,6	1,4	0,765	1,8	0,887	2,2	0,968
1,05	0,622	1,45	0,782	1,85	0,9	2,25	0,974
1,1	0,645	1,5	0,8	1,9	0,912	2,3	0,98
1,15	0,666	1,55	0,815	1,95	0,92	2,35	0,986
1,2	0,688	1,60	0,832	2	0,932	2,40	0,991
1,25	0,709	1,65	0,845	2,05	0,941	2,45	0,996
1,3	0,728	1,7	0,86	2,1	0,951	$\geq 2,5$	1
1,35	0,746	1,75	0,875	2,15	0,96		

2.3 Tính toán độ bền trên tiết diện nghiêng của đài cọc chịu tác dụng của lực cắt

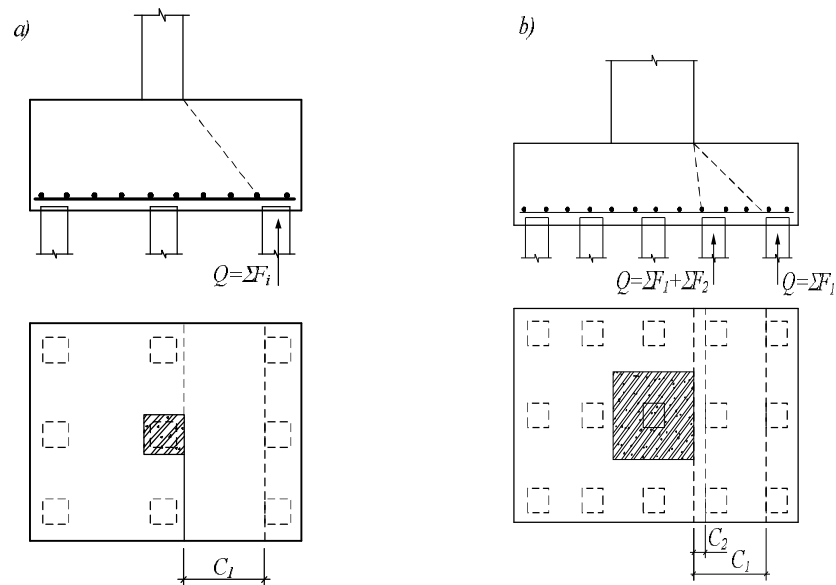
Việc tính toán này thường bị bỏ qua trong thực tế thiết kế. Việc tính toán độ bền trên tiết diện nghiêng của đài cọc chịu tác dụng của lực cắt được tiến hành theo biểu thức:

$$Q \leq 1,5bh_0R_{bt} \frac{h_0}{c} \quad (9)$$

trong đó: $Q = \sum F_i$ là tổng phản lực của các cọc nằm ngoài phạm vi của phần đài cọc chịu lực lớn hơn có kể đến giá trị momen uốn lớn hơn; b là chiều rộng đáy đài cọc; R_{bt} như trong biểu thức (1); h_0 là chiều cao

làm việc trong tiết diện đang xét của đài cọc; c là chiều dài hình chiếu của tiết diện nghiêng lấy bằng khoảng cách từ mặt phẳng của các cạnh trong của các cọc đến mép trong gần nhất của cột, xem hình 5a; Giá trị h_0/c lấy không nhỏ hơn 0,4 tương ứng với $Q_{min} = 0,6bh_0R_{bt}$ và không lớn hơn 1,67 tương ứng với $Q_{max} = 2,5bh_0R_{bt}$.

Khi bố trí cọc nhiều hàng trong đài, việc tính toán độ bền tiết diện nghiêng chịu tác dụng của lực cắt được tiến hành theo các tiết diện đi qua các mép trong của cọc tương ứng với mỗi hàng cọc (hình 5b).

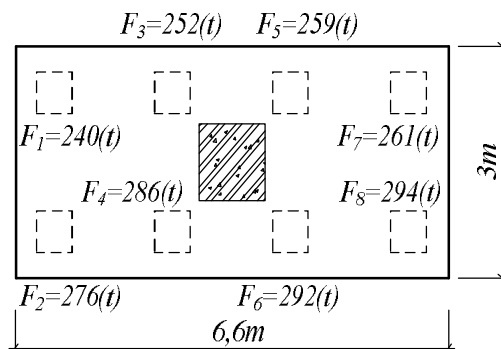


Hình 5. Các sơ đồ tính toán độ bền trên tiết diện nghiêng của đài theo lực cắt

2.4 Ví dụ tính toán

Bài toán thiết kế đài gồm 8 cọc; kích thước đài 3×6,6 m, tiết diện cột 1×1 m; chiều cao đài 2 m; bê tông đài cọc sử dụng: B30 (M400) có $R_{bt} = 1,2$ (MPa);

cọc khoan nhồi đường kính $D = 0,6$ m (theo [5] có thể quy đổi tương đương thành cọc vuông có cạnh $= 0,89 D \cong 0,9 D$ (tức là có tiết diện tương đương $0,54 \times 0,54$ m); phản lực các cọc như trên hình 6.



Hình 6. Sơ đồ phản lực đầu cọc

Đơn vị thiết kế tính toán với đài cọc này là đủ khả năng chịu chọc thủng, trong khi đơn vị thẩm tra tính toán và cho kết quả (với kích thước và cách bố trí như trên hình 6) đài cọc không đủ chịu cắt trên tiết diện nghiêng và đài bị chọc thủng.

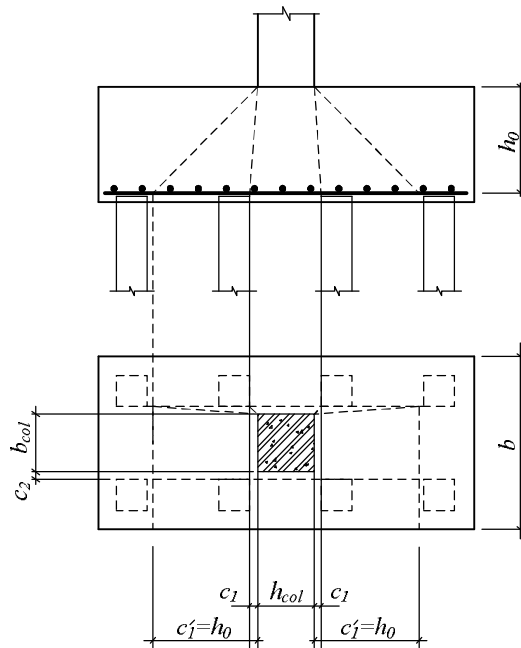
Đơn vị thẩm tra tính toán theo các công thức chưa phù hợp với yêu cầu của [1] như sau:

- Khả năng chịu cắt của đài trên tiết diện nghiêng xác định theo công thức: $Q \leq [Q] = \beta \times R_{bt} \times b_{tb} \times h_0$, trong đó $\beta = 0,7 \times [1 + (h_0/C)^2]^{(1/2)}$, b_{tb} là chiều rộng của tiết diện chịu cắt, C là khoảng cách theo phương ngang từ mặt

cắt đang xét tới đáy tháp đâm thủng, $[Q]$ là lực cắt giới hạn mà đài chịu được.

- Điều kiện cột chọc thủng đài cọc xác định theo công thức: $P \leq [P] = [\alpha_1 \times (b_c + C_2) + \alpha_2 \times (h_c + C_1)] \times h_0 \times R_{bt}$ trong đó $\alpha_1 = 1,5 \times [1 + (h_0/C_1)^2]^{(1/2)}$, $\alpha_2 = 1,5 \times [1 + (h_0/C_2)^2]^{(1/2)}$, P là lực chọc thủng bằng tổng phản lực của cọc nằm ngoài phạm vi của đáy tháp chọc thủng, $[P]$ là lực cắt giới hạn mà đài cọc có thể chịu được.

Bài toán của đơn vị thiết kế được tính toán dựa trên các công thức (6), (8) và (9) và sơ đồ như trên hình 7 như sau:



Hình 7. Sơ đồ chọc thủng đài do cột gây ra

Cọc khoan nhồi đường kính $D = 0,6$ m tương đương với cọc vuông có tiết diện $0,54 \times 0,54$ m theo chỉ dẫn trong [5]; $c_1 = 0,16$ m; $c_2 = 0,16$ m; $h_{col} = 1$ m; $b_{col} = 1$ m; $b = 3$ m; $a = 6,6$ m; $h = 2$ m; $h_0 = 1,85$ m; $\alpha = 1$.

a. Tính toán chọc thủng đài cọc do cột gây ra

Tổng lực chọc thủng F_{per} tính toán bằng tổng phản lực của các cọc ngoài phạm vi dưới đáy tháp chọc thủng:

$$F_{per} = 276 + 286 + 292 + 294 + 240 + 252 + 259 + 261 \times 10 = 21600 \text{ (kN)}$$

$$= \frac{2R_{bt} \left[\frac{h_0}{c_1} (b_{col} + c_2) h_0 + (h_{col} + c_1) (b - b_{col}) \right]}{\alpha}$$

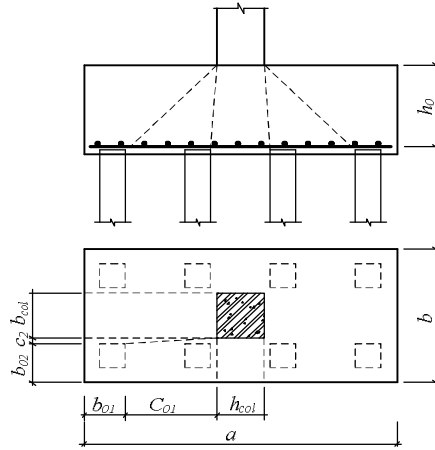
$$= \frac{2 \times 1,2 \times 10^3 \left[1,85 / 0,16 \times (1 + 0,16) \times 1,85 + (1 + 0,16) (3 - 1) \right]}{1} = 65120 \text{ (kN)}$$

Như vậy $F_{per} = 21600 \text{ (kN)} < 65120 \text{ (kN)} \rightarrow$ đài cọc không bị cột chọc thủng.

b. Tính toán chọc thủng đài do cọc biên

Sơ đồ tính như trên hình 8. Các thông số tính toán: $c_{01} = 1,93$ m; $c_{02} = 0,16$ m; $h_{01} = h_0 = 1,85$ m; $\beta_1 = 0,6$ (do $h_{01}/c_{01} = 0,958 < 1$); $\beta_2 = 1$ (do $h_{02}/c_{02} = 11,56 > 2,5$); $b_{01} = 0,87$ m; $b_{02} = 0,87$ m.

Khả năng chống chọc thủng của đài cọc do cọc biên được xác định như sau:



Hình 8. Sơ đồ chọc thủng đài do cọc biên gây ra

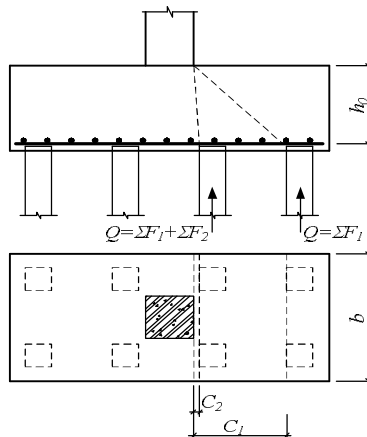
Về phải của công thức (8):

$$= R_{bt} h_{01} \left[\beta_1 \left(b_{02} + \frac{C_{02}}{2} \right) + \beta_2 \left(b_{01} + \frac{C_{01}}{2} \right) \right] = 1,2 \times 10^3 \times \left[0,6 \times (0,87 + 0,16 / 2) + 1 \times (0,87 + 1,93 / 2) \right] \\ = 5339 \text{ kN}$$

$F_{ai} = F_8 = 2940 \text{ (kN)} < 5339 \text{ (kN)}$. Vậy đài cọc đảm bảo khả năng chịu chọc thủng do cọc biên.

c. Tính toán độ bền trên tiết diện nghiêng của đài cọc chịu tác dụng của lực cắt

Sơ đồ tính toán như trên hình 9.



Hình 9. Sơ đồ tính toán độ bền trên tiết diện nghiêng của đài cọc chịu tác dụng của lực cắt

Với sơ đồ bố trí cọc như trên hình 9 sẽ có 2 tiết diện nghiêng xuất phát từ mép cột đến mép hai hàng cọc.

- Xét tiết diện nghiêng thứ nhất:

Tổng các phản lực các cọc nằm ngoài phạm vi của phần đài cọc chịu lực lớn hơn có kể đến giá trị

mô men uốn lớn hơn: $Q_1 = \sum F_1 = 2940 + 2610 = 5550 \text{ (kN)}$.

Các thông số: $C_1 = 1,93 \text{ m}$; $h_{01} = 1,85$; $b = 3 \text{ m}$.

Tỷ số $h_{01}/C_1 = 0,958$ nằm trong khoảng 0,4 đến 1,67, do đó khả năng chịu cắt tính toán tại tiết diện nghiêng thứ nhất tính theo về phải công thức (9):

$$1,5 b h_0 R_{bt} \frac{h_{01}}{C_1} = 1,5 \times 3 \times 1,85 \times 1,2 \times 10^3 \times \frac{1,85}{1,93} = 9576 \text{ kN}$$

Vì $Q_1 = \Sigma F_1 = 5550 \text{ (kN)} < 1,5bh_0R_{bt} \frac{h_{01}}{C_1} = 9576 \text{ (kN)}$ nên đài cọc đảm bảo độ bền trên tiết diện nghiêng thứ nhất;

- Xét tiết diện nghiêng thứ hai:

Tổng các phản lực các cọc nằm ngoài phạm vi của phần đài cọc chịu lực lớn hơn có kể đến giá trị mô men uốn lớn hơn: $Q_2 = \Sigma F_1 + \Sigma F_2 = 2940 + 2610 + 2920 + 2590 = 11060 \text{ (kN)}$;

Các thông số: $C_2 = 0,16 \text{ m}$; $h_{02} = h_0 = 1,85 \text{ m}$; tỉ số $h_{02}/C_2 = 11,5 > 1,67$.

Khả năng chịu cắt tính toán tại tiết diện nghiêng thứ hai bằng:

$$2,5bh_0R_{bt} = 2,5 \times 3 \times 1,85 \times 1,2 \times 10^3 = 16650 \text{ (kN)}$$

Vì $Q_2 = 11060 \text{ (kN)} < 2,5bh_0R_{bt} = 16650 \text{ (kN)}$ nên đài cọc đảm bảo độ bền trên tiết diện nghiêng thứ hai.

Qua ví dụ có thể nhận thấy, việc tính toán theo các công thức chuẩn của [5] cho kết quả đạt yêu cầu về chọc thủng do cột, do cọc biên gây ra và độ bền trên tiết diện nghiêng của đài cọc chịu tác dụng của lực cắt vẫn đảm bảo, trong khi kết quả của quan điểm tính toán không theo [5], tức là không tuân thủ [1], không đạt yêu cầu.

3. Kết luận

Việc tính toán độ bền của đài cọc bê tông cốt thép toàn khối tường như đơn giản và không có vấn đề gì

cần bàn luận nhưng trên thực tế vẫn có những điểm cần lưu ý để tránh các tranh luận không cần thiết: cần thực hiện đủ các bài toán, trong đó đặc biệt lưu ý bài toán tính chọc thủng do cột và do cọc biên.

Bài viết đã giới thiệu phương pháp tính toán đài cọc một cách chuẩn xác phù hợp với quan điểm của [1] trên cơ sở tài liệu [5].

Bài viết có thể làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư thiết kế và những người quan tâm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. TCVN 5574:2012, *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép. Tiêu chuẩn thiết kế.*
2. TCXDVN 356:2005, *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép. Tiêu chuẩn thiết kế.*
3. Hướng dẫn tính toán kết cấu bê tông và bê tông cốt thép theo TCXDVN 356:2005.
4. SNIP2.03.01-84, *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế.*
5. Пособие по проектированию железобетонных ростверков свайных фундаментов под колонн зданий и сооружений (к СНиПу 2.03.01-84) (Hướng dẫn thiết kế đài cọc bê tông cốt thép của móng cọc dưới cột nhà và công trình), 1985.

Ngày nhận bài: 04/6/2015.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 25/8/2015.

XÁC ĐỊNH TUỔI THỌ CÒN LẠI CỦA NHÀ VÀ CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG

PGS.TS. **NGUYỄN XUÂN CHÍNH**

Viện KHCN Xây dựng

ThS. **CAO XUÂN HIỂN**

Trường Đại học Huế

Tóm tắt: Bài báo này giới thiệu tóm tắt một số phương pháp xác định tuổi thọ còn lại của nhà và công trình xây dựng, theo đó có thể áp dụng để xác định tuổi thọ còn lại của cấu kiện, bộ phận kết cấu hoặc của công trình nói chung.

1. Mở đầu

Xác định tuổi thọ còn lại của nhà và công trình xây dựng là nhiệm vụ rất cần thiết nhằm bảo đảm được độ an toàn sử dụng của chúng.

Theo một số tài liệu thống kê khoảng 80% các trường hợp xảy ra sự cố của các công trình xây dựng là do con người gây ra kể từ giai đoạn thiết kế, thi công và khai thác sử dụng công trình.

Bảo đảm được độ tin cậy của công trình là bảo đảm an toàn và tuổi thọ của chúng theo yêu cầu của tiêu chuẩn thiết kế. Độ tin cậy của công trình xây dựng là khả năng đáp ứng của công trình theo các yêu cầu của tiêu chuẩn trong thời gian quy định về khả năng chịu lực, độ bền, độ ổn định và biến dạng.

Đánh giá độ tin cậy của kết cấu xây dựng đang sử dụng thông qua kết quả khảo sát kỹ thuật, từ kết quả khảo sát tiến hành tính toán đánh giá tình trạng kỹ thuật hiện tại của công trình để xác định tuổi thọ còn lại, trên cơ sở đó đưa ra quyết định tiếp tục sử dụng, sửa chữa hay phá bỏ.

Khái niệm tuổi thọ còn lại của nhà và công trình xây dựng được hiểu là thời gian (thường được tính bằng năm) từ thời điểm đánh giá đến khi công trình đạt tới trạng thái giới hạn mà ở trạng thái giới hạn đó công trình không thể tiếp tục sử dụng nếu không được tiến hành gia cường hoặc sửa chữa lớn.

2. Một số phương pháp tính tuổi thọ còn lại

Tính toán xác định tuổi thọ còn lại của công trình xây dựng có thể thực hiện ở các mức độ chính xác khác nhau:

- Mức I (mức thấp) là tính theo các phương pháp tiền định;

- Mức II (mức trung bình) tính toán có sử dụng phương pháp bán xác suất;

- Mức III (mức cao) tính toán có áp dụng lý thuyết xác suất với các biến ngẫu nhiên có phân bố bất kỳ.

Xác định tuổi thọ còn lại của công trình theo phương pháp tiền định không theo một công thức chính xác mà thường phải chọn một đa thức có nhiều bậc khác nhau. Đa thức có bậc thấp cho kết quả kém chính xác, đa thức bậc cao cho kết quả tốt hơn nhưng cũng không phản ánh được sự biến động của các tham số theo thời gian.

Sử dụng phương pháp xác suất yêu cầu phải có lượng số liệu đủ lớn về tải trọng và tác động, vật liệu của kết cấu. Với số lượng thông tin lớn sẽ bảo đảm được độ tin cậy của việc đánh giá và kết luận về tuổi thọ còn lại của công trình.

Một số vấn đề cơ bản khi tiếp cận theo phương pháp xác suất là:

- Xem các điều kiện bên ngoài tác động lên kết cấu là các quá trình ngẫu nhiên;

- Kết cấu bị phá hủy là hậu quả của quá trình tích lũy hư hỏng;

- Đánh giá trạng thái kỹ thuật của kết cấu trên cơ sở số liệu khảo sát thực tế có xét đến biến động ngẫu nhiên của các thông số tải trọng, tác động và vật liệu.

Cách tiếp cận này được thực hiện trên cơ sở các yêu cầu và quy định của tiêu chuẩn hoặc hồ sơ thiết kế.

Tuổi thọ còn lại của kết cấu được xác định thông qua một số thông số chủ yếu của kết cấu mà các thông số này cho thấy kết cấu tiến đến trạng thái giới hạn hoặc mất khả năng chịu lực.

Trên cơ sở phân tích kết quả khảo sát hay đánh giá chuyên gia, cũng như kinh nghiệm thực tế trong quá trình sử dụng để đi đến quyết định kéo dài việc sử dụng công trình hoặc thực hiện việc gia cường, sửa chữa cần phải tiến hành xác định tuổi thọ còn lại của công trình.

Để xác định được tuổi thọ còn lại của công trình cần có các điều kiện sau:

- Có các thông số trạng thái kỹ thuật của công trình;

- Có các thông số biểu thị các hư hỏng hiện tại của công trình;

- Xác định tiêu chí trạng thái giới hạn mà công trình đạt tới khi hư hỏng tiếp diễn. Ví dụ: Tiêu chí để tính toán tuổi thọ còn lại của nhà khung thép là:

- + Hao mòn hữu hình;
- + Ăn mòn thép;
- + Cường độ của thép có xét đến hư hỏng và tác động của nhiệt độ;
- + Tác động môi.

Tính toán tuổi thọ còn lại có thể thực hiện theo một hoặc một số tiêu chí. Nói chung tuổi thọ còn lại của công trình theo một hay một số tiêu chí cần dựa vào yêu cầu về độ chính xác của việc dự báo độ dư trữ hay rủi ro của công trình trong thời gian sử dụng tiếp theo.

2.1 Tính toán tuổi thọ còn lại theo tiêu chí của trạng thái giới hạn [2]; [4]

a. *Tính tuổi thọ còn lại căn cứ vào hao mòn hữu hình – đánh giá tổng hợp hư hỏng của công trình theo công thức:*

$$\varepsilon = \frac{\alpha_1 \varepsilon_1 + \alpha_2 \varepsilon_2 + \dots + \alpha_i \varepsilon_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i} \quad (1)$$

trong đó: $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_i$ - giá trị hư hỏng lớn nhất theo loại kết cấu;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i$ - hệ số tầm quan trọng theo loại kết cấu.

Đánh giá tương đối về hư hỏng của công trình theo công thức:

$$\gamma = 1 - \varepsilon \quad (2)$$

Hao mòn thường xuyên xác định theo số liệu quan trắc căn cứ vào sự thay đổi khả năng chịu lực vào thời điểm khảo sát.

$$\lambda = \frac{-\ln \gamma}{t_\varphi} \quad (3)$$

trong đó: t_φ - thời gian khai thác sử dụng (năm) ở thời điểm khảo sát.

Thời gian sử dụng của công trình từ đầu đến khi tiến hành sửa chữa lớn tính bằng năm:

$$T = \frac{0,16}{\lambda} \quad (4)$$

b. *Tính tuổi thọ còn lại của công trình theo cường độ [2]*

Tuổi thọ còn lại theo tiêu chí trạng thái giới hạn được xác định theo:

$$T_k = \frac{\sigma_b(t) - [\sigma]}{\alpha_\sigma} \quad (5)$$

trong đó:

$\sigma_b(t)$ - giới hạn cường độ ở thời điểm khảo sát;

$[\sigma]$ - giới hạn cường độ theo tính toán;

α_σ - tốc độ suy giảm tính chất cơ lý;

$$\alpha_\sigma = \frac{\sigma_b - \sigma_b(t)}{t} \quad (6)$$

trong đó:

σ_b - cường độ giới hạn tiêu chuẩn

t - Thời gian sử dụng công trình từ đầu đến thời điểm khảo sát, đơn vị: năm

c. *Tính tuổi thọ còn lại của kết cấu thép do bị ăn mòn [2]*

Tuổi thọ còn lại của kết cấu nhà do ăn mòn được tính theo công thức:

$$T_k = \frac{S_u - S_\Phi}{t} \quad (7)$$

trong đó:

S_u - chiều dày thực tế nhỏ nhất của cấu kiện chịu lực, mm;

S_Φ - chiều dày ăn mòn, mm;

t - thời gian sử dụng công trình từ đầu đến thời điểm khảo sát, đơn vị: năm

d. *Tính tuổi thọ còn lại do mỏi [2]*

$$T_c = T_s \times [N] / N_s \quad (8)$$

trong đó:

T_s - thời gian sử dụng công trình từ đầu, đơn vị: năm;

$[N]$ - số chu kỳ tải cho phép;

N_s - số chu kỳ tải trong thời gian sử dụng.

Theo kết quả tính toán tuổi thọ còn lại cho phép đánh giá tuổi thọ của cấu kiện, bộ phận kết cấu hoặc toàn bộ công trình. Khi tính theo một số tiêu chí thì kết quả được kết luận theo giá trị thấp nhất.

2.2 Tính tuổi thọ còn lại của nhà và công trình xây dựng theo các hệ số tin cậy [5]; [4]

- Xác định hệ số tin cậy tiêu chuẩn:

$$K_0 = \gamma_m \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n \quad (9)$$

trong đó:

γ_m – hệ số tin cậy của vật liệu;

γ_c – hệ số điều kiện làm việc của kết cấu;

γ_f – hệ số tin cậy của tải trọng;

γ_n – hệ số tầm quan trọng.

Các hệ số này được lấy theo tiêu chuẩn.

- Ảnh hưởng của khuyết tật và hư hỏng đến độ tin cậy của kết cấu được đánh giá thông qua hệ số độ tin cậy tiêu chuẩn K_0 .

Hệ số độ tin cậy của kết cấu đang sử dụng xác định theo công thức:

$$K = K_0 \cdot y \quad (10)$$

trong đó: y – hệ số giảm độ tin cậy của kết cấu ở thời điểm khảo sát (độ tin cậy tương đối) cho trong bảng 1.

Bảng 1. Phân loại tình trạng kỹ thuật của công trình xây dựng [4]

Phân loại tình trạng kỹ thuật	Mô tả tình trạng kỹ thuật	Độ tin cậy tương đối: y	Mức độ hư hỏng: ε
1	Không có hư hỏng, tình trạng kỹ thuật bình thường. Đáp ứng các yêu cầu của tiêu chuẩn thiết kế.	1	0
2	Đáp ứng yêu cầu sử dụng, khả năng chịu lực theo trạng thái giới hạn thứ hai (độ võng, bề rộng vết nứt...) có thể bị vi phạm nhưng vẫn đảm bảo sử dụng bình thường song cần có biện pháp chống ăn mòn và sửa chữa các hư hỏng nhỏ.	0,95	0,05
3	Chưa đáp ứng hoàn toàn yêu cầu sử dụng. Khả năng làm việc có hạn chế. Tồn tại hư hỏng làm giảm khả năng chịu lực. Để tiếp tục sử dụng cần tiến hành sửa chữa nhỏ.	0,85	0,15
4	Không đáp ứng yêu cầu sử dụng. Tồn tại hư hỏng ảnh hưởng đến khai thác sử dụng. Yêu cầu sửa chữa lớn mới đưa vào sử dụng.	0,75	0,25
5	Tình trạng nguy hiểm. Tồn tại hư hỏng có thể dẫn đến phá hủy kết cấu. Yêu cầu giảm tải khẩn cấp và có biện pháp chống đỡ kịp thời. Khoanh vùng nguy hiểm.	0,65	0,35

- Chấp nhận quy luật thay đổi hệ số dự trữ theo đường parabol bậc hai, độ an toàn hay độ dự trữ của kết cấu, nhà, công trình được tính theo công thức:

$$T_u = T \frac{\sqrt{(K_0 - 1)}}{(K_0 - K)} \quad (11)$$

trong đó:

T_u – độ dự trữ của kết cấu, nhà hay công trình ở thời điểm đưa vào sử dụng;

T – thời gian sử dụng kết cấu ở thời điểm khảo sát;

K – hệ số độ tin cậy của kết cấu khi sử dụng;

K_0 – hệ số độ tin cậy tiêu chuẩn.

- Tuổi thọ còn lại của kết cấu, nhà và công trình (T_{rs}) đến khi xảy ra trạng thái giới hạn mà ở trạng thái đó công trình không thể tiếp tục sử dụng nếu không được gia cường hay tiến hành sửa chữa lớn, được tính theo công thức:

$$T_{rs} = T_u - T \quad (11)$$

3. Một số lưu ý khi tiến hành xác định tuổi thọ còn lại của công trình xây dựng

- Xem xét công trình theo nguyên tắc “an toàn sử dụng theo trạng thái kỹ thuật”, có nghĩa là việc đánh giá trạng thái kỹ thuật của công trình được thực hiện theo các thông số kỹ thuật, bảo đảm độ tin cậy và an toàn sử dụng của các tiêu chuẩn và hồ sơ thiết kế.

- Phụ thuộc vào tiêu chí của trạng thái giới hạn và điều kiện sử dụng công trình, các thông số kỹ thuật cần thiết là:

+ Các đặc trưng của vật liệu như giới hạn chảy, giới hạn bền, độ cứng, độ bền chống nứt, giới hạn bền mỏi, độ bền lâu, từ biến, thành phần hóa học, vi cấu trúc,...

+ Các hệ số an toàn về độ bền (theo giới hạn chảy, giới hạn bền, độ bền lâu, từ biến, bền chống nứt, ổn định);

+ Các thông số công nghệ (nhiệt độ, áp lực, các thông số rung động, chế độ làm việc, v.v...).

- Đánh giá các thông số trạng thái kỹ thuật và lựa chọn thông số cần thực hiện theo kết quả phân tích hồ sơ kỹ thuật, khảo sát, các số liệu sử dụng dự báo trong việc đánh giá;

- Xem xét, so sánh với hồ sơ kỹ thuật có thể đưa ra các tiêu chí bổ sung để xác định tuổi thọ còn lại của công trình;

- Mục đích của việc phân tích hồ sơ kỹ thuật là xác định các thông số kỹ thuật, trạng thái giới hạn, làm rõ các hư hỏng có thể xảy ra với kết cấu cũng như các cấu kiện, bộ phận kết cấu mà hư hỏng sẽ dẫn tới trạng thái nguy hiểm;

- Các tài liệu sử dụng để phân tích, đánh giá bao gồm: các tiêu chuẩn kỹ thuật, hồ sơ thiết kế, hồ sơ thi công nghiệm thu cũng như hồ sơ thi công sửa chữa.

4. Kết luận

Bài viết chỉ mới giới thiệu tóm lược một số phương pháp tính tuổi thọ còn lại của nhà và công trình xây dựng, để xác định được tuổi thọ còn lại của công trình đòi hỏi việc khảo sát, đánh giá công trình phải được tiến hành có cơ sở khoa học với các trang

thiết bị bảo đảm độ chính xác cùng với kinh nghiệm của các chuyên gia trong lĩnh vực này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. G.K. SAMIGULLIN, M.M. SULTANOV Determination residual resource of industrial buildings and facilities at refineries.
2. Голубев К.В, Шестакова Е.А. Особенности определения остаточного ресурса зданий и сооружений исторической застройки. No 1/2015 Технические науки.
3. РД 09-102-95 Методические указания по определению остаточного ресурса потенциально опасных объектов, поднадзорных Госгортехнадзору России.
4. ЦНИИПромзданий № 2001 Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам.
5. Н.П. Соснин К вопросу об оценке остаточного ресурса зданий и сооружений.

Ngày nhận bài: 22/7/2015.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 13/8/2015.

TÍNH TOÁN, KIỂM TRA, SỬ DỤNG VÁCH KÍNH TRONG CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG Ở VIỆT NAM

ThS. **ĐỖ THIỀU QUANG**

Ban QLDA ĐTXD Nhà Quốc hội và Hội trường Ba Đình (mới)

PGS. TS. **TRẦN CHỦNG**, TS. **VŨ THÀNH TRUNG**

Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: Việc sử dụng vật liệu kính trong các công trình xây dựng, đặc biệt là vách kính ngày càng phổ biến ở Việt Nam, đem lại nhiều lợi ích về thẩm mỹ, sử dụng. Mặc dù là bộ phận bao che, ngăn chia không gian cho công trình xây dựng, bên cạnh việc đảm bảo thẩm mỹ, kiến trúc, vách kính còn phải thiết kế đảm bảo khả năng chịu tải trọng và tác động giống như các kết cấu khác. Tính năng của các loại kính đang ngày càng được cải thiện/nâng cao. Tuy nhiên, hệ thống quy chuẩn, tiêu chuẩn kính xây dựng hiện hành của Việt Nam chưa đầy đủ. Vì vậy bài báo này đề cập đến thực trạng việc tính toán, kiểm tra và sử dụng vách kính trong công trình xây dựng ở Việt Nam trong thời gian gần đây.

Từ khóa: Vách kính, kính, khung kính, mặt đứng, quy chuẩn, tiêu chuẩn kính xây dựng.

1. Mở đầu

Vách kính được sử dụng ngày càng nhiều trong các công trình xây dựng trên thế giới cũng như tại Việt Nam. Với các công trình hiện đại, nhiều tầng, quy mô lớn, bên cạnh vẻ đẹp thẩm mỹ, việc sử dụng vách kính có diện tích lớn là một trong những xu hướng nổi bật ở Việt Nam, nhưng phải xem xét đến việc đảm bảo môi trường bên trong nhà, vấn đề tiết kiệm năng lượng tích hợp với nhiều tính năng mới khác sao cho việc sử dụng an toàn và hiệu quả.

Tuy nhiên, hiện nay chưa có một hệ thống hoàn chỉnh các tiêu chuẩn tính toán, lựa chọn, thí nghiệm, bảo trì, đánh giá về vách kính phù hợp với điều kiện tự nhiên, vật liệu và điều kiện sử dụng của nước ta. Phần lớn vách kính tại các công trình xây dựng ở Việt Nam được thiết kế sử dụng như một cấu kiện kiến trúc hay trang trí, chưa có tính toán đầy đủ trên yêu cầu sử dụng về khả năng chịu lực, hiệu quả truyền sáng, cách âm, cách nhiệt, chịu lửa,... Việc tính toán, kiểm tra, sử dụng vách kính trong công trình xây dựng ở Việt Nam cũng còn tùy thuộc chủ đầu tư (*nguồn vốn*) và đơn vị thiết kế (*quen thuộc với hệ thống tiêu chuẩn nào*), trong khi phần lớn nhà thầu chưa có đầy đủ năng lực, kinh nghiệm để đề xuất các giải pháp an toàn, hiệu quả cho vách kính.

Tình trạng sử dụng theo nhu cầu thẩm mỹ, trào lưu, thiếu các tính toán chịu lực, môi trường, điều kiện sử dụng đã dẫn đến các tác hại không nhỏ như: kính vỡ (*một số trường hợp không rõ nguyên nhân*) làm mất an toàn cho công trình cũng như xung quanh, ô nhiễm ánh sáng, môi trường không tiện nghi, năng lượng sử dụng không hiệu quả,... Trong các hậu quả kể trên, phổ biến là kính vỡ, điều kiện sử dụng/môi trường bên trong công trình không đảm bảo (hình 1,2,3).



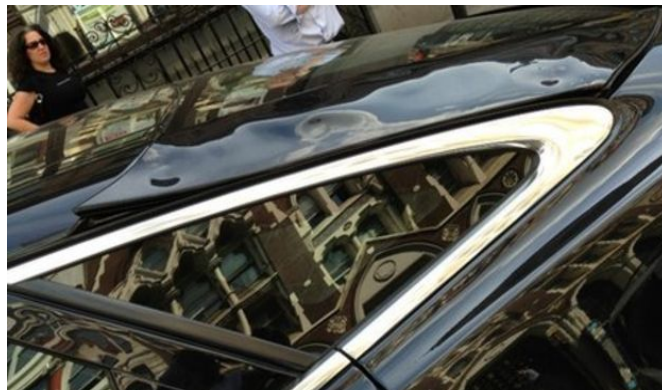
Hình 1. Kính vỡ là hiện tượng thường thấy ở các công trình có vách kính

Trên thế giới có công trình chưa xây dựng xong đã phải điều chỉnh lại vách kính do ô nhiễm ánh sáng, là nguyên nhân gây ra việc nung chảy các vật thể đối diện với vách kính [10]. Mới đây nhất, cơn giông chiều ngày 13/6/2015 tại Hà Nội làm vỡ nhiều cửa kính nhà nhiều tầng, có công trình (125D Minh Khai) toàn bộ

vách kính mặt đứng bị gió giật tung. Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn Trung ương cho biết số liệu quan trắc tại 2 trạm Láng và Hà Đông cho thấy cơn giông chiều 13/6 tại Hà Nội có sức gió giật lên tới cấp 8, cấp 9, tương đương bão [5,6].



a. Ngõ nhà "The Walkie Talkie Building"



b. Ôtô bị nung chảy

Hình 2. Ngõ nhà "The Walkie Talkie Building" (20 Fenchurch St, London) nung chảy các vật thể đối diện (xe ô tô trong hình bên phải) (theo www.cityam.com)



Hình 3. Toàn bộ phần kính mặt đứng tòa nhà tại 125D Minh Khai, Hà Nội bị rơi xuống đất (ảnh chụp sau cơn giông ngày 13/6/2015)

Vì vậy, bài báo này trình bày tổng quan về việc tính toán, kiểm tra, sử dụng vách kính trong công trình xây dựng ở Việt Nam hiện nay; tham khảo tiêu chuẩn của một số nước/khu vực trên thế giới và đề xuất các kiến nghị nhằm đảm bảo chất lượng, an toàn và hiệu quả khi sử dụng vách kính cho các công trình xây dựng tại Việt Nam.

2. Hệ thống quy chuẩn, tiêu chuẩn về kính xây dựng

Trong hệ thống tiêu chuẩn của Việt Nam hiện nay có gần 30 tiêu chuẩn và quy phạm về kính xây dựng hiện hành, nội dung chủ yếu quy định về vật liệu kính, gia công, lắp đặt, một số thử nghiệm lý tính. Nội dung

liên quan đến lựa chọn kích thước kính chủ yếu dùng cho kính đơn, một số tiêu chuẩn có đề cập đến kính tổ hợp song không đầy đủ, và hình thành dưới dạng biểu đồ tra khó áp dụng và chỉ xét với tải trọng gió (áp lực gió tối đa 5 kPa). Chưa có tiêu chuẩn, hướng dẫn về vách kính, mà chỉ đề cập chung chung đến việc lắp đặt trong Tiêu chuẩn TCVN 7505:2005.

Các tiêu chuẩn về kính xây dựng hiện hành ở Việt Nam phần lớn được xây dựng trên cơ sở chuyển dịch, tham khảo từ các tiêu chuẩn nước ngoài, trong đó có ISO (Quốc tế), ASTM (Hoa Kỳ), EN (Châu Âu), AS (Úc), BS (Anh), JIS (Nhật Bản) (xem bảng 1).

Bảng 1. Danh mục tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành về kính xây dựng

	Số hiệu tiêu chuẩn	Tên tiêu chuẩn	Tiêu chuẩn viện dẫn/tham chiếu
1	TCVN 7218:2002	Kính tấm xây dựng. Kính nổi. Yêu cầu kỹ thuật Sheet glass for construction. Clear float glass. Specifications	
2	TCVN 7219:2002	Kính tấm xây dựng. Phương pháp thử Sheet glass for construction. Method of test	ISO 9050 Glass in building-Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total energy transmittance and ultraviolet transmittance, and related glazing factors
3	TCVN 7364-1:2004	Kính xây dựng. Kính dán nhiều lớp và kính dán an toàn nhiều lớp. Phần 1: Định nghĩa và mô tả các vật liệu thành phần Glass in building. Laminated glass and laminated safety glass. part 1: Definitions and description of component parts	ISO 12543-1:1998 Glass in building-Laminated glass and laminated safety glass
4	TCVN 7364-2:2004	Kính xây dựng. Kính dán nhiều lớp và kính dán an toàn nhiều lớp. Phần 2: Kính dán an toàn nhiều lớp Glass in building. Laminated glass and laminated safety glass. Part 2: Laminated safety glass	
5	TCVN 7364-3:2004	Kính xây dựng. Kính dán nhiều lớp và kính dán an toàn nhiều lớp. Phần 3: Kính dán nhiều lớp Glass in building. Laminated glass and laminated safety glass. part 3: Laminated glass	
6	TCVN 7364-4:2004	Kính xây dựng. Kính dán nhiều lớp và kính dán an toàn nhiều lớp. Phương pháp thử độ bền Glass in building. Laminated glass and laminated safety glass. Part 4: Test methods for durability	
7	TCVN 7364-5:2004	Kính xây dựng. Kính dán nhiều lớp và kính dán an toàn nhiều lớp. Phần 5: Kích thước và hoàn thiện cạnh sản phẩm Glass in building. Laminated glass and laminated safety glass. Part 5: Dimensions and adge finishing	
8	TCVN 7364-6:2004	Kính xây dựng. Kính dán nhiều lớp và kính dán an toàn nhiều lớp. Phần 6: Ngoại quan Glass in building. Laminated glass and laminated safety glass. Part 6: Appearance	
9	TCVN 7368:2013	Kính xây dựng - Kính dán an toàn nhiều lớp - Phương pháp thử độ bền va đập Glass in building - Laminated safety glass - Test methods for impact resistance	JIS R 3205:2005 Laminated glass AS/NZS 2208:1996 Safety glazing materials in buildings
10	TCVN 7455:2013	Kính xây dựng - Kính phẳng tôi nhiệt Glass in building - Heat treated glass	
11	TCVN 7456:2013	Kính xây dựng. Kính cốt lưới thép Glass in building. Wired glass	
12	TCVN 7505:2005	Quy phạm sử dụng kính trong xây dựng. Lựa chọn và lắp đặt Code of practice for application of glass in building. Selection and installation	

	Số hiệu tiêu chuẩn	Tên tiêu chuẩn	Tiêu chuẩn viện dẫn/tham chiếu
13	TCVN 7526:2005	Kính xây dựng. Định nghĩa và phân loại Sheet glass in building. Definitions and classification	
14	TCVN 7527:2005	Kính xây dựng. Kính cán vân hoa Glass in building. Rolling patterned glass	
15	TCVN 7528:2005	Kính xây dựng. Kính phủ phản quang Glass in building. Solar reflective coated glass	ISO 9050:2003 Glass in building- Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total energy transmittance and ultraviolet transmittance, and related glazing factors
16	TCVN 7529:2005	Kính xây dựng. Kính màu hấp thụ nhiệt Glass in building. Heat absorbing tint glass	ISO 9050:2003 Glass in building- Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total energy transmittance and ultraviolet transmittance, and related glazing factors
17	TCVN 7624:2007	Kính gương - Kính gương tráng bạc bằng phương pháp hóa học ướt - Yêu cầu kỹ thuật Mirrors - Mirrors from silver-coated float glass by wet-chemical technology - Specifications	
18	TCVN 7625:2007	Kính gương - Phương pháp thử Mirrors - Method of test	
19	TCVN 7736:2007	Kính xây dựng - Kính kéo Glass in building - Drawn sheet glass	
20	TCVN 7737:2007	Kính xây dựng - Phương pháp xác định độ xuyên quang, độ phản quang, tổng năng lượng bức xạ mặt trời truyền qua và độ xuyên bức xạ tử ngoại Glass in building - Method for determination of light transmittance, light reflectance, total solar energy transmittance and ultraviolet transmittance	ISO 9050:2003 Glass in building- Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total energy transmittance and ultraviolet transmittance, and related glazing factors
21	TCVN 8260:2009	Kính xây dựng - Kính hộp gắn kín cách nhiệt Glass in building - Sealed in insulating glass	JIS R 3209:1998 Sealed insulating glass
22	TCVN 8261:2009	Kính xây dựng - Phương pháp thử - Xác định ứng suất bề mặt và ứng suất cạnh của kính bằng phương pháp quang đàn hồi không phá hủy sản phẩm Glass in building - Test method for non-destructive photoelastic measurement of surface and edge stresses in flat glass	ASTM C1279-05 Standard test method for non-destructive photoelastic measurement of edge and surface stresses in annealed, heat-strengthened and fully tempered flat glass
23	TCVN 8647:2011	Kính xây dựng - Hướng dẫn lắp đặt kính đảm bảo an toàn	AS 1288-1989 Glass in buildings - Selection and installation
24	TCVN 8648:2011	Kính xây dựng - Các kết cấu kiến trúc có lắp kính - Phân loại theo khả năng chịu lửa	BS EN 357:2004 Glass in building - Fire resistant glazed elements with transparent or translucent glass products - classification of fire resistance

	Số hiệu tiêu chuẩn	Tên tiêu chuẩn	Tiêu chuẩn viện dẫn/tham chiếu
25	TCVN 9502:2013	Kính xây dựng - Xác định hệ số truyền nhiệt (U) - phương pháp tính	BS EN 673:1998
26	TCVN 9808:2013	Kính xây dựng - Kính phủ bức xạ thấp	GOST 30733:2000 Hard coating low emissivity glass - Specification GOST 31364:2007 Soft coating low emissivity glass - Specification

Do thiếu hệ thống tiêu chuẩn nghiên cứu tính toán hệ vách kính, nên trong một số trường hợp việc sử dụng các tiêu chuẩn trên thế giới áp dụng tại Việt Nam dẫn đến sự không phù hợp, thiếu đồng bộ; và có thể không tương thích với mô hình vật lý... như việc tính toán tải trọng [1].

Thông tin tại các trang web chính thức cho thấy hệ thống tiêu chuẩn về vách kính cũng như vật liệu kính xây dựng của Việt Nam hiện nay còn sơ sài so với một số nước/khu vực trên thế giới (số liệu đến tháng 7/2015) có áp dụng trên lãnh thổ Việt Nam (xem bảng 2) [7-9,11-14].

Bảng 2. Số lượng tiêu chuẩn về vách kính/vật liệu kính xây dựng của một số nước/khu vực trên thế giới

Quốc gia / Khu vực	Số lượng tiêu chuẩn hiện hành		
	Kính trong xây dựng (glass in buildings)	Gia công, lắp đặt kính (glazing)	Vách kính (curtain wall)
Anh	127	160	13
Canada	119	3	10
Cộng đồng Châu Âu	148	8	44
Đức	193	272	132
Hoa Kỳ (ASTM)	30	51	20
ISO	27	28	
Úc	12	12	

Các hệ tiêu chuẩn kể trên đều có riêng tiêu chuẩn áp dụng cho việc tính toán, lựa chọn và lắp đặt hệ vách kính (bảng 3).

Bảng 3. Một số tiêu chuẩn hiện hành về tính toán kính/vách kính của một số nước trên thế giới

Quốc gia	Tiêu đề	Số hiệu	Năm ban hành
Anh	Glass in building. Determination of the load resistance of glass panes by calculation and testing	BS EN 16612	6/2013
Canada	Structural Design of Glass for Buildings	CAN/CGSB-12.20-M89	12/1989
Hoa Kỳ	Standard Practice for Determining Load Resistance of Glass in Building	ASTM E 1300-12ae1	10/2012
Úc	Glass in buildings - Selection and installation	AS 1288-2006	1/2006

Bên cạnh các hệ thống tiêu chuẩn trên đây, một số hiệp hội nhà nghề của các quốc gia nói trên còn có các hệ thống quy định chung, hướng dẫn liên quan đến việc tính toán, lựa chọn, thí nghiệm vách kính cũng như kính xây dựng, ví dụ tại Hoa Kỳ: NFRC (National Fenestration Rating Council), AAMA (American Architectural Manufacturers Association), NAFS (North American Fenestration Standard), FEMA

(Federal Emergency Management Agency),... được thừa nhận khi áp dụng trong thực tế.

Trong điều kiện tính năng kỹ thuật của vật liệu, công nghệ gia công, biện pháp thi công, ... được cải thiện liên tục, ngay hệ thống tiêu chuẩn của các nước/khu vực kể trên cũng đang tiếp tục được hoàn thiện, cập nhật phương pháp tính toán hệ vách kính nói chung và kính xây dựng nói riêng,... (bảng 4).

Bảng 4. Một số tiêu chuẩn tính toán vách kính đang được nghiên cứu, rà soát, hoàn thiện và cập nhật

Quốc gia	Tiêu đề	Số hiệu
Anh	The load resistance of glass panes by calculation and testing	BS EN 16612
Cộng đồng Châu Âu	Design of glass panes	prEN 13474

Quốc gia	Tiêu đề	Số hiệu
Hoa Kỳ	Revision of E 1300-12ae1 (Standard Practice for Determining Load Resistance of Glass in Building)	ASTM WK46776
	New guide for Structural use of Glass in Buildings	ASTM WK37764
Úc	Glass in buildings - Selection and installation	AS 1288-2006

3. Tính toán, thiết kế vách kính tại Việt Nam

Trước thực trạng hệ thống tiêu chuẩn thiết kế của Việt Nam còn sơ sài, năng lực của các đơn vị Tư vấn thiết kế trong nước còn hạn chế, phần lớn các công trình có sử dụng vách kính lớn là do Tư vấn thiết kế nước ngoài thực hiện. Chủ đầu tư, Tư vấn thiết kế là các chủ thể quyết định hệ tiêu chuẩn thiết kế được áp dụng cho công trình, thông thường Tư vấn thiết kế chọn các tiêu chuẩn quen thuộc với họ để thiết kế (việc thi công và nghiệm thu được trình bày trong phần 4, 5 của bài báo này). Với các công trình có Tư vấn thiết kế nước ngoài, phần mặt đứng công trình (façade) thường được các công ty thiết kế chuyên nghiệp thực hiện. Trong khi hầu hết các công trình, có sử dụng vách kính và do Tư vấn thiết kế trong nước thực hiện, hệ vách kính thông thường được lựa chọn trên cơ sở yêu cầu của kiến trúc, thẩm mỹ mà không được tính toán đầy đủ, đồng bộ ngay cả với yêu cầu: chịu lực, thẩm mỹ, tiện nghi môi trường (chiếu sáng, cách âm, cách nhiệt).

Các tính toán kết cấu về vách kính hiện nay hầu hết dựa trên các giả thiết về sự làm việc độc lập của các thành phần cấu kiện tham gia vào hệ vách kính bao gồm: kết cấu chính của công trình, kết cấu phụ đỡ/liên kết vách kính, kết cấu lõi, hệ khung xương, kính và các phụ kiện [2]. Trình tự tính toán, kiểm tra cũng được thực hiện tương ứng.

Xuất phát từ cách đặt vấn đề, tiếp cận và giải quyết bài toán kết cấu hệ vách kính nói chung và kính nói riêng, các tiêu chuẩn hiện hành trên thế giới đưa ra các phương pháp tính toán khác nhau; trong đó có cả phương pháp thực nghiệm (prEN 13474-3), phương pháp lý thuyết (ASTM E1300-12ae1), cả tính toán theo mô hình phi tuyến hay tuyến tính, cả theo trạng thái giới hạn (ULS) (AS1288-2006) hoặc ứng suất cho phép (prEN 13474-3). Hệ thống biểu đồ/bảng tra trong một số tiêu chuẩn hiện nay đang được áp dụng cho việc lựa chọn, xác định khả năng chịu tải của kính trong các điều kiện giới hạn nhất định, ví dụ như (ASTM E1300-12ae1): kính đặt đứng hoặc nghiêng (không áp dụng cho kính làm sàn, lan can, dưới nước ...), tải trọng (lực) phân bố đều trên bề

mặt tấm kính (bao gồm cả tải trọng bản thân ≤ 15 kPa), thời gian chịu tải ngắn hạn 3s (có hệ số chuyển đổi sang các thời gian khác), kính phẳng hình chữ nhật được kê liên tục (tự do trượt) trên các cạnh (4 cạnh đối với kính hộp), xác suất vỡ kính 0,8%.

Vật liệu kính nói riêng và hệ vách kính nói chung nhạy cảm với chuyển vị, biến dạng,... trong khi ứng suất cho phép của vật liệu kính xây dựng có thể lên tới 50 MPa (FT – fully tempered). Điều đó dẫn tới các yêu cầu đặc biệt khi tính toán, thiết kế hệ vách kính cho công trình nhiều tầng chịu tải trọng ngang, trong đó tải trọng gió cục bộ là thường gặp và dễ gây hư hỏng hệ vách kính.

Vật liệu kính xây dựng có nhiều loại tùy theo mục đích sử dụng, do đó tính năng kỹ thuật và khả năng chịu lực hoàn toàn khác nhau (ví dụ kính tôi cường lực (tempered) có cường độ chịu uốn gấp 4 lần kính thường (annealed) tương ứng là 165,5 MPa và 41,4 MPa. Các công trình thiết kế mới, hiện đại và có yêu cầu chất lượng cao thường sử dụng kính tổ hợp (kính dán, kính hộp) để cải thiện tính năng, song các quy định tính toán, thiết kế vẫn chưa theo kịp. Các nhà sản xuất vật liệu kính có uy tín trên thế giới thường công bố các thông số kỹ thuật về quang học, truyền nhiệt cho các sản phẩm của mình và cung cấp một số công cụ tính toán, lựa chọn sản phẩm kèm theo. Thông số kỹ thuật khác về cách âm, cách nhiệt, chịu va đập, đạn bắn... chưa có tính toán chính thức, có thể phải thông qua thí nghiệm, đo đạc thực tế để xác định.

Thực tế tải trọng tác động là tổ hợp của nhiều tải trọng, các tải trọng tác động lên vách kính, ngoài tải trọng bản thân, còn là gió, nhiệt, ứng suất trong kính hộp, sử dụng/bảo trì, va chạm, dịch chuyển, chuyển vị lệch tầng, cháy, nổ, đạn bắn, động đất. Tổ hợp tải trọng (combination) có thể không tuyến tính do tính năng kỹ thuật của vật liệu khác nhau trong những điều kiện nhất định, ví dụ với tấm kính dán cách nhiệt thì sự phân bố tải trọng (giữa các tấm kính) bị ảnh hưởng lớn bởi chênh lệch nhiệt độ trong điều kiện áp lực thấp [4]. Mặt khác, theo thời gian sử dụng vật liệu kính cũng có sự thay đổi về khả năng chịu lực [3].

Trong điều kiện thời tiết ngày càng khắc nghiệt, có diễn biến bất ngờ thì việc nâng cao chất lượng công trình thông qua giai đoạn thiết kế là một trong những yêu cầu của quá trình phát triển bền vững và đáp ứng sự phát triển chung của xã hội. Việc xem xét, tính toán các tải trọng tác động đến vách kính cần được nghiên cứu, chuẩn hóa cho phù hợp với thực tế. Bên cạnh các tải trọng tác động lên hệ vách kính, việc tính toán cấu tạo các bộ phận liên kết như hệ khung đỡ (*frame/profile*), gioăng, vật liệu chèn, liên kết,... để đảm bảo tính năng của cả hệ vách kính như kín khí, kín nước, cách nhiệt, cách âm, đảm bảo tuổi thọ cũng cần được nghiên cứu, chuẩn hóa.

4. Công tác kiểm tra, thí nghiệm vách kính

Tại Việt Nam các thí nghiệm hệ vách kính được dựa trên các tiêu chuẩn nước ngoài, song còn khác biệt giữa các hệ (*tiêu chuẩn*) khác nhau, việc sử dụng tiêu chuẩn đánh giá nào tùy thuộc vào khách hàng và người thí nghiệm. Các thí nghiệm hệ vách kính thông thường gồm các thí nghiệm kiểm tra tính năng kết cấu (*khung, kính*), kiểm tra độ lọt khí, độ lọt nước trong các điều kiện áp lực tĩnh/động trong một số trường hợp có thực hiện các thí nghiệm về chịu lửa, cách âm. Bảng 5 dưới đây trình bày việc so sánh chỉ tiêu chuyển vị tối đa cho phép của hệ vách kính khi thí nghiệm kiểm tra theo các tiêu chuẩn khác nhau.

Bảng 5. So sánh chỉ tiêu đánh giá kết cấu hệ vách kính theo một số tiêu chuẩn

	Điều kiện làm việc	Chuyển vị tối đa cho phép (Maximum Allowable Deflection)	Quy định cho
ASTM E 1300-12ae1		a / 175	Khung kính
AS 1288-2006	Bản kê 2, 3, 4 cạnh	a / 60	Kính
	Congson	h / 30	
BS 6262:1982	Kính đơn, kê 4 cạnh	a / 125	Kính
	Kính hộp, kê 4 cạnh	a / 175	
prEN 13474-3:2009	Trừ khi có chỉ định khác	a / 65 hoặc 50 mm	Kính
UBC 1994 (section 2404.2)		a / 175 hoặc 19 mm	Khung kính
SBC 2012 (section 2403.3)		a / 175 hoặc 19,1 mm	Khung kính
SS 212:2007	Kính đơn	L / 125	Khung kính
	Kính hộp	L / 175	
TCVN 7505:2005	Cửa cho nhà thấp hơn 10 m	L / 150	Khung kính
	Cửa cho nhà cao hơn 10 m	L / 240	

trong đó:

a - chiều dài nhịp kê hoặc kích thước cạnh kính;

L - khoảng cách thông thủy giữa 2 gối đỡ;

h - chiều cao lan can kính (hoặc chiều dài congson);

prEN - bản dự thảo của European Standard (Châu Âu);

UBC - Uniform Building Code (Hoa Kỳ);

SBC - Seattle Building Code (Hoa Kỳ);

SS - Singapore Standard (Singapore).

Bên cạnh các chỉ tiêu kể trên, thông thường hệ vách kính và vật liệu kính xây dựng tại Việt Nam còn được yêu cầu thí nghiệm các chỉ tiêu: quang học (đo tại nước ngoài), khả năng chịu lửa, đo ứng suất bề mặt/cạnh, đo cách âm, độ bền va đập (tại Việt Nam).

Bảng 5 cho thấy sự khác biệt giữa các hệ tiêu chuẩn khi áp dụng, trường hợp vận dụng vào công trình tại Việt Nam sẽ có mâu thuẫn trong việc đánh giá; đồng thời sẽ không đảm bảo sự vận dụng đồng

bộ của hệ thống tiêu chuẩn cho quá trình triển khai dự án (*thiết kế, thi công, thí nghiệm, nghiệm thu*).

5. Công tác thi công, lắp đặt vách kính

Phần lớn các nhà thầu Việt Nam thi công, lắp đặt theo kinh nghiệm (*thường không theo kịp sự phát triển của công nghệ, vật liệu*) mà không có sự nghiên cứu, đề xuất cho phù hợp điều kiện thực tế; hoặc gia công, lắp đặt không đúng ý tưởng thiết kế (*đặc biệt các chi tiết liên kết*), giảm hiệu quả của sản phẩm, hệ vách kính, hao phí vật liệu cao.

Độ chính xác, chất lượng hệ vách kính không chỉ phụ thuộc vào bản thân nó mà còn bị ảnh hưởng bởi sai số phần thô/kết cấu chính, trong khi đó hệ vách kính (*đặc biệt là vật liệu kính*) có yêu cầu khắt khe về kích thước khi gia công, lắp đặt, các sai số thường phải nhỏ và không thể điều chỉnh/gia công lại. Do đó việc khảo sát, đề xuất giải pháp triển khai chi tiết là hết sức quan trọng; bên cạnh đó vật liệu kính rất nhạy cảm

với các tác động bên ngoài và dẫn đến rủi ro, hao hụt vật liệu lớn. Vật liệu kính chất lượng cao phải nhập từ nước ngoài, trong khi các dây chuyền gia công trong nước chưa được đầu tư hiện đại/đồng bộ, thời gian nhập khẩu dài do đó việc chuyển đổi/điều chỉnh trong quá trình thi công thường rất phức tạp, tốn kém.

Hệ vách kính là tổ hợp của nhiều loại vật liệu có tính năng kỹ thuật, điều kiện sử dụng và lắp đặt khác nhau; việc kiểm soát chất lượng/sai số trong từng bước thi công là rất quan trọng. Trong khi đó tiêu chuẩn, quy định riêng cho hệ vách kính không đầy đủ, trên thực tế chỉ kiểm tra, nghiệm thu theo tiêu chuẩn hoàn thiện chung.

6. Công tác bảo trì vách kính

Các hệ vách kính lớn hiện nay mới đưa vào sử dụng ở Việt Nam, thời gian sử dụng chưa nhiều, các khuyết tật/xuống cấp bộc lộ chưa hết. Hiện nay việc bảo trì mới dừng lại ở các thao tác đơn giản như vệ sinh bề mặt, thay thế kính vỡ,... Hệ vách kính bao gồm nhiều loại vật liệu có tuổi thọ khác nhau (*thép, nhôm, silicon, kính, EPDM,...*), ngay bản thân vật liệu kính nói riêng và vật liệu chịu lực khác nói chung cũng sẽ bị xuống cấp, giảm khả năng làm việc/chịu lực theo thời gian. Chưa có hệ thống đánh giá khả năng làm việc sau thời gian sử dụng để có phương án thay thế các chi tiết cấu kiện hư hỏng, hết tuổi thọ sử dụng. Việc duy trì khả năng làm việc trong thời gian dài của vách kính, đối với các công trình sử dụng nhiều vách kính như hiện nay, là hết sức quan trọng và đòi hỏi có nghiên cứu sâu hơn nữa.

Tài liệu bảo trì, theo quy định của pháp luật hiện hành, chưa được chuẩn hóa và cung cấp đầy đủ, chi tiết từ phía nhà thầu thi công cũng như Tư vấn thiết kế.

7. Các nhận xét và kiến nghị

Trong thời gian chưa có hệ tiêu chuẩn Việt Nam cập nhật, thống nhất thì việc tính toán hệ vách kính nói chung và kính nói riêng khi sử dụng tiêu chuẩn nước ngoài cần được vận dụng phù hợp với điều kiện Việt Nam với lưu ý về các điều kiện áp dụng (*kể cả các số liệu điều kiện tự nhiên đầu vào bắt buộc*), trạng thái giới hạn, tải trọng (*tần suất lặp lại, thời gian tác động...*).

Cần cập nhật thường xuyên các thông tin, tính năng của vật liệu tham gia trong hệ vách kính để cung cấp cho việc tính toán, đảm bảo sử dụng vật liệu chính xác, hiệu quả. Đồng thời thiết lập, hoàn thiện các tiêu chuẩn, quy định tính toán hệ vách kính trong điều kiện Việt Nam (*cả về tự nhiên, công nghệ, vật liệu, trình độ*).

Việc kiểm tra, thí nghiệm hệ vách kính cần gắn với thực tế điều kiện tự nhiên, sử dụng của Việt Nam; các tiêu chuẩn áp dụng cần đồng bộ, thống nhất từ thiết kế, thí nghiệm đến đánh giá. Lưu ý đến các tổ hợp tải trọng bất lợi do tính chất vật liệu khác nhau. Qua đó tổng hợp thành các quy trình, tiêu chuẩn áp dụng thống nhất trong cả nước.

Công tác gia công, lắp đặt và bảo trì cần được nghiên cứu, chuẩn hóa để đảm bảo chất lượng hệ vách kính, đồng thời có khả năng áp dụng các công nghệ mới, hiện đại vào lĩnh vực xây dựng nói chung và kết cấu/vật liệu xây dựng nói riêng. Thiết kế cần có chỉ dẫn kỹ thuật thi công và quy trình bảo trì sửa chữa; việc thi công, nghiệm thu và vận hành sau này cần tuân thủ các chỉ dẫn kỹ thuật này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Mạnh Cường, Đỗ Hoàng Lâm, Nguyễn Hồng Hải, Đặng Sỹ Lân. (2014), Tính toán tải trọng gió tác dụng lên hệ mặt dựng kính theo tiêu chuẩn Việt Nam, Hoa Kỳ và Châu Âu; Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng; Việt Nam.
2. Đỗ Thiệu Quang, Trần Chùng, Nguyễn Hoàng Dương. (2013), Tính toán vách kính trong công trình xây dựng tại Việt Nam; Hội nghị khoa học kỷ niệm 50 năm ngày thành lập Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng.
3. Beason, W. L., and Morgan, J. R. (1985), "Glass Failure Prediction Model," *Journal of Structural Engineering*, Vol 111, No.9, pp.2058-2059.
4. Vallabhan, C.V.G., and Chou, G.D. (1986), "Interactive Nonlinear Analysis of Insulating Glass Units," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol 112, No.6, June, pp. 1313-1326.
5. <http://vtv.vn/video/tai-chinh-kinh-doanh-trua-16-6-2015-80483.htm>
6. <http://vov.vn/xa-hoi/dong-loc-chet-nguoi-o-hn-giam-doc-trung-tam-du-bao-kttv-tw-noi-gi-407488.vov>
7. <http://www.astm.org/Standard/>
8. <http://www.bsigroup.com/>
9. <https://www.cen.eu/Pages/default.aspx>
10. <http://www.cityam.com/article/1378091289/exclusive-walkie-scorchie-melted-my-jag>
11. <http://www.din.de/cmd?level=tpl-home&contextid=din>
12. <http://www.iso.org/iso/home/standards.htm>
13. <http://www.scc.ca/>
14. <http://www.standards.org.au/Pages/default.aspx>

Ngày nhận bài: 19/8/2015.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 29/9/2015.

PHÂN TÍCH VÀ ĐÁNH GIÁ ỨNG XỬ ĐỘNG CỦA KẾT CẤU VỚI HỆ GIẢM CHẤN CHẤT LỒNG ĐA TẦN SỐ MTLD SỬ DỤNG THÍ NGHIỆM BÀN RUNG

TS. NGUYỄN ĐỨC THỊ THU ĐỊNH, TS. NGUYỄN HỮU HƯNG, GS.TS. NGUYỄN VIỆT TRUNG
Trường Đại học Giao thông Vận tải

Tóm tắt: Hiệu quả giảm dao động của hệ giảm chấn dùng chất lỏng (TLD) đã được đề cập trong một số nghiên cứu tại Việt Nam. Nghiên cứu về sự tương tác giữa kết cấu với hệ có nhiều giảm chấn lần đầu tiên được đề cập tại Việt Nam trong bài báo này. Hiệu quả giảm dao động của hệ giảm chấn chất lỏng đa tần số (MTLD) – hệ có nhiều thùng chứa chất lỏng với các thùng được đổ chiều sâu chất lỏng khác nhau và do vậy có tần số dao động khác nhau – được khảo sát trong nghiên cứu thông qua thí nghiệm mô hình trên thiết bị bàn rung. Các kết quả đo đạc trên mô hình thí nghiệm trên bàn rung được so sánh đối chiếu với kết quả phân tích số khi thiết lập hàm ứng xử tần số của hệ tương tác kết cấu và hệ MTLD.

Từ khóa: Động lực học kết cấu, ứng xử động, giảm chấn chất lỏng, hệ giảm chấn chất lỏng đa tần số, bàn rung

1. Giới thiệu

Nghiên cứu về hệ giảm chấn chất lỏng đa tần số (MTLD) được thực hiện trên cơ sở các nghiên cứu đầu tiên đối với giảm chấn khối lượng đa tần số (MTMD) mà điển hình là Igusa và Xu (1990) với đề xuất hệ gồm một số lượng hữu hạn các giảm chấn khối lượng (TMD) có tần số tự nhiên phân bố theo một dải nào đó xung quanh tần số tự nhiên cơ sở của kết cấu. Hiệu quả của MTMD đã được khảo sát số bởi Yamaguchi và Harpornchar (1992), và các công thức thiết kế cho MTMD đề xuất bởi Abe và Fujino (1993). Các nghiên cứu này đã khẳng định hệ nhiều TMD đặt song song là có hiệu quả hơn một TMD thông thường khi sử dụng trong điều khiển dao động

cho kết cấu. Những nghiên cứu này đã đặt nền tảng cho ý tưởng nghiên cứu tiên phong cho hệ giảm chấn chất lỏng đa tần số (MTLD) đặt song song vào kết cấu mà khởi đầu là Fujino và Sun (1993).

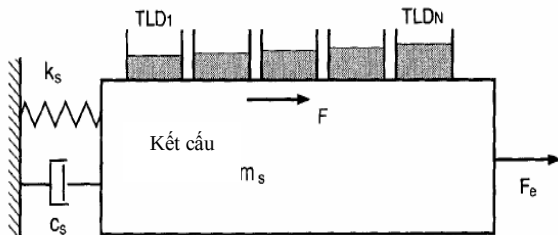
Hiệu quả của việc giảm dao động cho kết cấu khi sử dụng hệ MTLD được khẳng định thông qua việc phân tích số khi sử dụng hàm ứng xử tần số cho hệ tương tác kết cấu – MTLD. Các kết quả phân tích số này được so sánh đối chiếu với kết quả phân tích số dữ liệu đo đạc trên mô hình thí nghiệm trên bàn rung. Kết quả so sánh, phân tích chỉ ra được hiệu quả của MTLD so với hệ TLD và giá trị hợp lý của một số tham số của hệ MTLD trong điều khiển dao động.

2. Giảm chấn chất lỏng đa tần số (MTLD) và hệ tương tác giữa kết cấu - MTLD

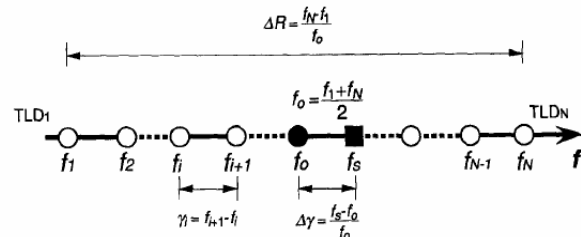
2.1 Bộ giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD

Giảm chấn chất lỏng đa tần số (MTLD) là thiết bị giảm chấn chất lỏng (TLD) có sự tham gia của nhiều thùng chứa chất lỏng mà mỗi thùng chứa chất lỏng (TLD đơn) có tần số dao động riêng khác nhau.

Việc tạo ra tần số dao động riêng cho mỗi TLD đơn bằng cách điều chỉnh chiều sâu chất lỏng đựng trong các thùng chứa có kích thước như nhau [1]. Có thể mô tả như sau: mỗi TLD đơn có 1 tần số dao động riêng f_i là tần số vắng té tự nhiên của thùng chất lỏng thứ i trong bộ giảm chấn chất lỏng đa tần số. Với f_1 là tần số dao động của thùng chất lỏng thứ 1 – tần số dao động riêng nhỏ nhất trong bộ giảm chấn, f_N là tần số dao động của thùng chất lỏng thứ N – tần số dao động riêng lớn nhất trong bộ giảm chấn.



Hình 1. Mô hình kết cấu và giảm chấn chất lỏng đa tần số (MTLD)



Hình 2. Dải tần số của mỗi thùng chứa chất lỏng trong bộ giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD

Tần số tự nhiên của mỗi TLD đơn được thể hiện bởi lý thuyết tuyến tính theo Wakahara (1993) [4].

$$f_D = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi g}{2a} \tanh\left(\frac{\pi h_0}{2a}\right)} \quad (1)$$

Như vậy tần số của các TLD đơn trong bộ giảm chấn tạo thành một dải tần số mà khi thiết kế một tần số trung tâm của hệ f_0 , - tần số trung bình của các tần số tạo ra từ các TLD đơn trong bộ lấy là tần số đặc trưng cho thiết kế. Tần số trung tâm của bộ giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD được xác định theo công thức 2 (theo Fujino 1993 [5]):

$$f_o = \frac{f_N + f_1}{2} \quad (2)$$

Độ chênh tần số dao động giữa các TLD đơn trong MTLD được thiết kế để tạo hệ có khoảng tần số cân bằng với:

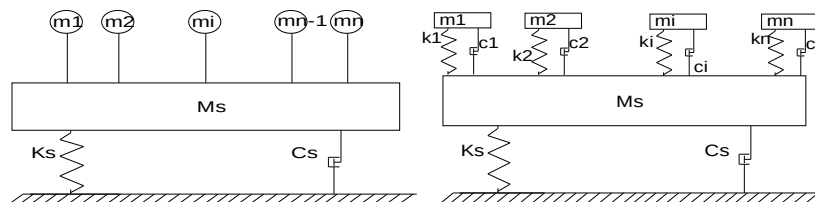
$$\beta_i = f_{i+1} - f_i = (f_N - f_1) / (N - 1) = \beta \quad (3)$$

Bề rộng dải tần số là khoảng tần số hay hiệu của tỷ số tần số giữa tỷ số của TLD đơn có tần số dao động lớn nhất trên tần số trung tâm và tỷ số của TLD đơn có tần số nhỏ nhất trên tần số trung tâm của hệ trong bộ giảm chấn MTLD.

$$\Delta R = \frac{f_N - f_1}{f_0} \quad (4)$$

Trong một số trường hợp tần số dao động của bộ giảm chấn đa tần số (MTLD) - tần số trung tâm của hệ được tạo ra không như thiết kế ban đầu và cần thiết có một tham số điều chỉnh để xét đến hiệu quả của hệ trong các trường hợp này. Hệ số điều chỉnh này là:

$$\Delta \gamma = \frac{f_s - f_o}{f_o} \quad (5)$$



Hình 3. Mô hình tương tác giữa kết cấu và MTLD

w_s/w (hoặc f_s/f) là véc tơ tỷ số chỉ ra tỷ số giữa tần số của kết cấu và tần số kích động.

w_i/w (hoặc f_i/f) là véc tơ chỉ ra tỷ số giữa tần số của các thùng TLD đơn lẻ của hệ MTLD và tần số kích động. Tần số trung tâm của các TLD trong hệ MTLD là $w_0 = (w_{\max} + w_{\min}) / 2$.

Bề rộng dải tần số $\Delta R = (w_{\max} - w_{\min}) / w_0 = 0.2$ và

Tham số cản của TLD được xác định theo công thức của Fujino (1993) [3]:

$$\xi_D = \frac{1}{h_0} \frac{1}{2} \sqrt{\frac{v}{\pi f_D}} \left(1 + \frac{h_0}{b}\right) \quad (6)$$

Trong đó: f_D là tần số tự nhiên của TLD; h và b là chiều sâu chất lỏng và độ nhớt động của chất lỏng. Chiều dài thùng chứa chất lỏng $L = 2a$, chiều rộng thùng chứa là b , g là gia tốc trọng trường, và các ký hiệu khác m_D , ξ_D , k_D , f_D lần lượt là khối lượng, tham số cản, độ cứng và tần số dao động riêng của TLD.

2.2 Hàm ứng xử tần số cho mô hình tương tác giữa kết cấu và MTLD

Phương trình hàm ứng xử tần số của hệ tương tác giữa kết cấu và giảm chấn chất lỏng đa tần số (MTLD) được thiết lập khi sử dụng phương trình Euler – Lagrange trên cơ sở các giả thiết cơ bản:

- Kết cấu là một bậc tự do và mỗi TLD đơn là một bậc tự do, do vậy hệ làm việc chung giữa kết cấu và TLD là hệ tuyến tính với các bậc tự do giảm chấn đặt song song trên bậc tự do kết cấu. Tính chất phi tuyến của hoạt động chất lỏng trong các thùng TLD được chứng minh trong nhiều nghiên cứu là được thay thế bằng độ cứng và tính cản mang tính chất phi tuyến của hệ TMD tương đương của mỗi TLD đơn [3].

- Tỷ số khối lượng giữa tổng khối lượng chất lỏng trong các TLD so với khối lượng hình thái của kết cấu là $\mu = \sum \mu_i = 1\%$ (Wakahara, 1993) [4].

Tùy thuộc vào số lượng của các thùng TLD đơn lẻ khác nhau trong hệ MTLD có:

$$w_1 \dots w_i \dots w_n, \text{ hoặc } w_{\min} \dots w_i \dots w_{\max}$$

$$\beta_i = w_{i+1} - w_i = \text{const}$$

Theo các phân tích thực nghiệm trong nghiên cứu của Fujino [3,5] về hệ MTLD, nhằm đánh giá kỹ hơn về sự tương tác giữa kết cấu và MTLD, tác giả đã tập trung xây dựng phương trình động học cho hệ làm việc chung kết cấu – MTLD khi sử dụng phương trình Lagrange:

Phương trình viết dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} m_s & & & & \\ & m_1 & & & \\ & & m_2 & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & m_{n-1} \\ & & & & & m_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_s \\ \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_i \\ \ddot{x}_n \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_s + \sum c_i & -c_1 & -c_2 & & -c_n \\ -c_1 & c_1 & 0 & & \\ -c_2 & 0 & c_2 & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & c_{n-1} \\ -c_n & & & & & c_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_s \\ \dot{x}_1 \\ \dot{x}_i \\ \dot{x}_n \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_s + \sum k_i & -k_1 & -k_2 & & -k_n \\ -k_1 & k_1 & & & \\ -k_2 & & k_2 & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & k_{n-1} \\ -k_n & & & & & k_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_s \\ x_1 \\ x_i \\ x_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_s \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

$H(\omega)$ được gọi là hàm ứng xử tần số phức không thứ nguyên của hệ MTLD:

$$H(2\pi f) = \frac{F_0}{k_s} \frac{1}{\left[\left(1 - \frac{f^2}{f_s^2} + 2\xi_s i \frac{f}{f_s} \right) - \frac{f^2}{f_s^2} \sum_{i=1}^N \mu_i \frac{\left(2\xi_i i \frac{f^2}{f_i^2} + 1 \right)}{\left(1 - \frac{f^2}{f_i^2} + 2\xi_i i \frac{f^2}{f_i^2} \right)} \right]} \quad (8)$$

Hàm ứng xử tần số này chỉ ra được ứng xử của kết cấu khi có gắn bộ giảm chấn chất lỏng đa tần số mà cụ thể là thể hiện mối quan hệ giữa biên độ dao động với tỷ số tần số (tỷ số giữa tần số kích động và tần số dao động riêng của kết cấu). Sự biến đổi của các tham số trong hàm này sẽ cho ba đường biểu diễn gồm đường đồ thị ứng xử của kết cấu khi không gắn TLD, khi gắn bộ giảm chấn chất lỏng đơn tần số (STLD) và khi gắn MTLD.

3. Mô hình thí nghiệm và cơ sở thiết lập dữ liệu để so sánh, đánh giá hiệu quả của bộ giảm chấn chất lỏng đa tần số

Mô hình kết cấu cho thí nghiệm là kết cấu được lắp dựng theo tỷ lệ 1:1 (mô hình tính toán phân tích và mô hình thí nghiệm trên cùng một đối tượng) làm cơ sở cho việc xây dựng dữ liệu thí nghiệm cho đánh giá [2]. Các kết quả thí nghiệm được đối chiếu với các dữ liệu phân tích lý thuyết trên cùng mô hình kết cấu nhằm khẳng định hiệu quả giảm chấn của bộ thiết bị giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD. Mô hình kết cấu này được tính toán để phù hợp với việc thực hiện thí nghiệm trên bàn rung. Các kết quả thu được từ thí nghiệm cho mô hình được so sánh đánh giá khi phân tích lý thuyết cho mô hình sử dụng hàm ứng xử tần số thiết lập cho hệ tương tác giữa kết cấu và MTLD.

3.1 Mô hình thí nghiệm và các dữ liệu đầu vào cơ bản cho thiết lập chương trình thí nghiệm

Mô hình thí nghiệm được lựa chọn là một cột thép tổ hợp hình chữ H. Cột thép được phân tích trong chương trình phân tích kết cấu thương mại Midas Civil.

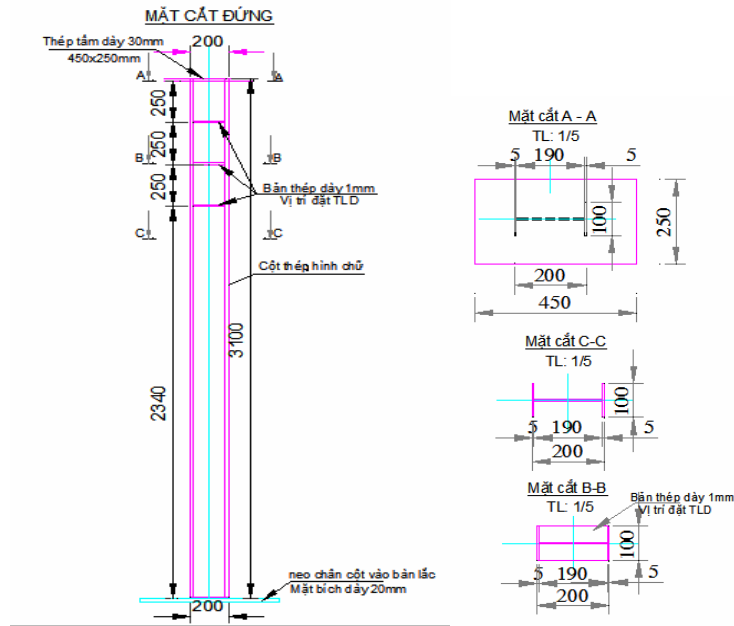
Các mode dao động, tần số dao động và biên độ dao động được chỉ ra từ phân tích trên phần mềm được sử dụng cho việc thiết kế MTLD. Các dữ liệu cơ sở này là dữ liệu ban đầu cho việc dùng hàm ứng xử tần số phức thiết lập để phân tích và đánh giá hiệu quả giảm dao động của cột khi có lắp đặt TLD. Sau đó dữ liệu phân tích lý thuyết này được so sánh với dữ liệu thí nghiệm cột trên bàn rung.

Kết quả phân tích mô hình cột thí nghiệm trên phần mềm Midas Civil cho thấy:

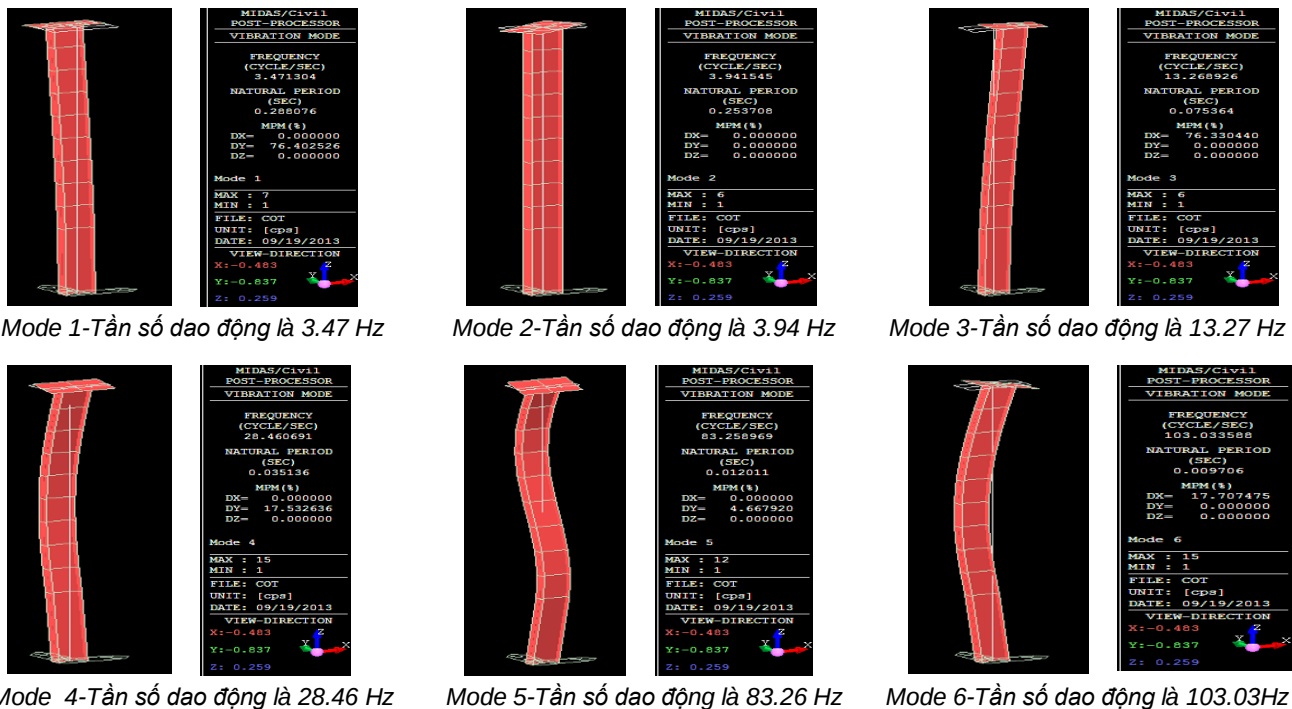
Bảng 1. Kết quả phân tích các mode dao động của mô hình cột thí nghiệm

STT	Mode	Tần số dao động tự nhiên (Hz)	Tỷ số cản
1	Mode 1	3.47	0.005
2	Mode 2	3.94	0.005
3	Mode 3	13.27	0.005
4	Mode 4	28.46	0.005
5	Mode 5	83.26	0.005
6	Mode 6	103.03	0.005

Trong thiết kế giảm chấn chất lỏng nhằm kiểm soát dao động cho mô hình lựa chọn mode dao động điển hình là mode 1 với tần số dao động tự nhiên của mô hình kết cấu là 3.47Hz.



Hình 4. Mô hình kết cấu cột thép dạng chữ H cho thí nghiệm

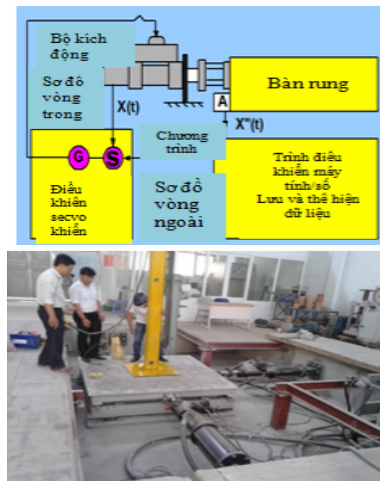


Hình 5. Các mode và tần số dao động theo các mode của mô hình cột kết cấu cho thí nghiệm

Do các vấn đề về sai số chế tạo, điều kiện liên kết mô hình kết cấu vào bàn rung nên vấn đề hiệu chỉnh mô hình kết cấu để xác định giá trị thực là hết sức cần thiết. Giá trị tần số dao động riêng thực của mô hình, tỷ số cản thực của mô hình có thể được xác định thông qua việc phân tích dữ liệu thu được khi tạo kích động cho bàn rung theo hàm định nghĩa với tần số

kích động xung quanh giá trị tần số dao động riêng của kết cấu với biến đổi Hilbert [6]. Kết quả phân tích được:

- Giá trị tần số dao động riêng của mô hình kết cấu thực là: $f = 2.85\text{Hz}$;
- Tỷ số cản tính toán thực là: 0.0018.



Hình 6. Sơ đồ hệ thống điều khiển bàn rung và mô hình thí nghiệm trên bàn rung và các giảm chấn

Các trường hợp thí nghiệm được thiết lập để xây dựng đường thực nghiệm làm cơ sở so sánh với đường phân tích lý thuyết khảo sát ứng xử của kết cấu chịu tác động kích động dạng điều hòa.

Tần số cộng hưởng của mô hình kết cấu cho thí nghiệm được xác định nhờ sử dụng chức năng có sẵn trong phần mềm điều khiển bàn rung trong phòng thí nghiệm. Chương trình này cho phép tìm kiếm tần số cộng hưởng và biên độ cộng hưởng thông qua một dải các giá trị tần số kích động cho bàn lắc khi có mô hình kết cấu đặt trên.

Hàm kích động dạng được thiết lập là hàm dao động dạng điều hòa (dạng hàm sin) và được định nghĩa để tạo kích động truyền đến bàn rung dạng: $y = A \sin(\omega t)$.

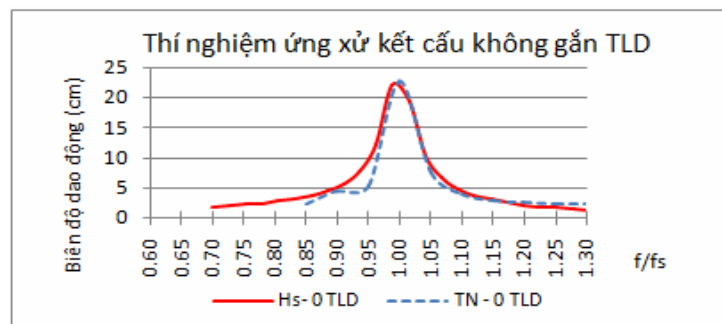
Các giá trị tần số kích động thiết lập cho bàn rung được lựa chọn sao cho có giá trị là bằng giá trị tần số dao động riêng của kết cấu (tần số này xác định trên kết cấu thực và là giá trị tần số tạo ra chuyển vị cộng hưởng với kết cấu) và các giá trị xung quanh giá trị cộng hưởng để tiện cho việc xây dựng đường thực nghiệm. Dựa vào phân tích lý thuyết, tần số kích động

vào mô hình kết cấu cho thí nghiệm nằm trong dải: $0.8 \leq f/f_s \leq 1.2$ với 9 giá trị tương ứng là: $f/f_s = 0.8$; $f/f_s = 0.85$; $f/f_s = 0.9$; $f/f_s = 0.95$; $f/f_s = 1$; $f/f_s = 1.05$; $f/f_s = 1.1$; $f/f_s = 1.15$; $f/f_s = 1.2$ (f_s là tần số dao động riêng thực của kết cấu lấy là 2.85Hz). Biên độ dao động kích động được tạo ra sao cho chuyển động vắng té của chất lỏng không trong vùng xảy ra phi tuyến mạnh và phù hợp với giới hạn đo của thiết bị đo, do vậy chọn: $A = 0.1\text{cm}$. Các trường hợp khảo sát này đều lấy bề rộng dải tần số $\Delta R = 0.3$.

3.2 Phân tích kết quả thí nghiệm và so sánh với dữ liệu phân tích lý thuyết khi sử dụng hàm ứng xử tần số cho hệ tương tác kết cấu – MTLD

Trường hợp 0: Đo dao động, chuyển vị cột mô hình kết cấu cho thí nghiệm khi không gắn thiết bị TLD.

Đồ thị với 2 đường lý thuyết (nét liền) và thí nghiệm (nét đứt) thể hiện cho trường hợp kết cấu không gắn giảm chấn chất lỏng có dạng tương đồng và giá trị tương đối sát nhau cho thấy việc sử dụng dữ liệu tần số dao động riêng của kết cấu thực đo được là khá phù hợp.



Hình 7. Biểu đồ ứng xử của kết cấu khi không gắn TLD

Trường hợp 1: Được đặt ra nhằm mục đích khảo sát ứng xử của mô hình kết cấu khi lắp đặt bộ giảm chấn chất lỏng đơn tần số - STLD. Cụ thể:

Trường hợp 1a: Đo dao động, chuyển vị cột mô hình kết cấu cho thí nghiệm khi có lắp đặt 1 thùng TLD.

Kết quả phân tích lý thuyết và thiết kế bộ giảm chấn lắp đặt cho mô hình thể hiện trong bảng 2:

Bảng 2. Số liệu thiết kế TLD cho trường hợp mô hình kết cấu chỉ có gắn 1 thùng

STT	Thùng TLD	Kích thước thùng LxB (mm)	Chiều cao chất lỏng (cm)	Trọng lượng nước trong thùng (kG)	Tần số dao động tự nhiên của thùng (Hz)	Tỷ số cản
1	Thùng 1	140x80x80	5.1	0.57	2.85	0.005

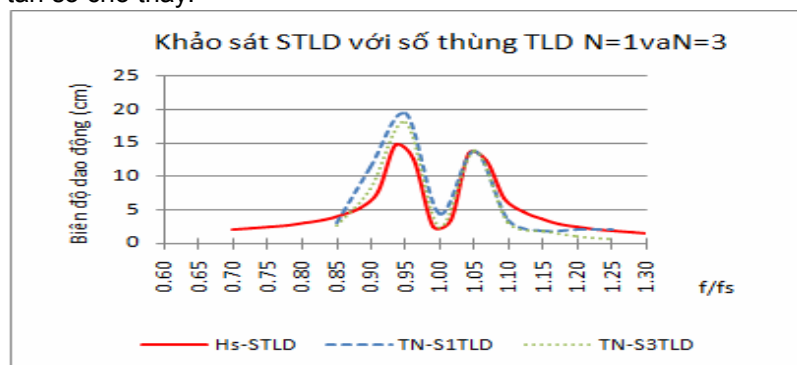
Trường hợp 1b: Đo dao động, chuyển vị cột mô hình kết cấu cho thí nghiệm khi có lắp đặt 3 thùng TLD có tần số dao động như nhau (chiều sâu chất lỏng giống nhau - SLTD).

Kết quả phân tích lý thuyết và thiết kế bộ giảm chấn lắp đặt cho mô hình thể hiện trong bảng 3:

Bảng 3. Số liệu thiết kế TLD cho trường hợp mô hình kết cấu chỉ có gắn 3 thùng giống nhau

STT	Thùng TLD	Kích thước thùng LxB (mm)	Chiều cao chất lỏng (cm)	Trọng lượng nước trong thùng (kG)	Tần số dao động tự nhiên của thùng (Hz)	Tỷ số cản
1	Thùng 1	80x60x60	2.3	0.48	2.85	0.009
2	Thùng 2	80x60x60	2.3	0.48	2.85	0.009
3	Thùng 3	80x60x60	2.3	0.48	2.85	0.009

Kết quả so sánh dữ liệu đo thu được trong trường hợp 1a, 1b trên biểu đồ với đường lý thuyết thiết lập khi sử dụng hàm ứng xử tần số cho thấy:



Hình 8. Hiệu quả giảm dao động cho mô hình kết cấu thí nghiệm với 1 thùng TLD so sánh với trường hợp 3 thùng TLD giống nhau

Dạng đường đồ thị của 2 trường hợp kết cấu khi lắp đặt 1 thùng TLD (1a) và 3 thùng TLD có chiều sâu chất lỏng giống nhau (1b) có dạng tương đồng với đường đồ thị phân tích lý thuyết, tuy nhiên không hoàn toàn trùng khớp như theo phân tích lý thuyết. Lý do được dự đoán do sai số chế tạo thùng chứa chất lỏng và sai số chiều sâu chất lỏng khi đổ vào thùng.

Trường hợp 2: Khảo sát ứng xử của mô hình kết cấu khi lắp đặt bộ giảm chấn chất lỏng đa tần số -

MTLD. Bề rộng dải tần số lấy là $\Delta R=0.3$. Chi tiết số liệu thiết kế TLD cho trường hợp chỉ có N thùng có tần số dao động khác nhau cho mô hình cột thí nghiệm khi sử dụng hàm ứng xử tần số đã thiết lập được thể hiện từ trường hợp 2a đến 2f:

Trường hợp 2a: Đo dao động, chuyển vị cột kết cấu thí nghiệm khi có lắp đặt 3 thùng TLD có tần số dao động khác nhau (3 thùng có chiều sâu chất lỏng khác nhau – bộ MTLD).

Bảng 4. Số liệu thiết kế TLD cho trường hợp mô hình kết cấu chỉ có gắn 3 thùng - MTLD

TT	Thùng TLD	Kích thước thùng LxB (mm)	Chiều cao chất lỏng (cm)	Trọng lượng nước trong thùng (kG)	Tần số dao động tự nhiên của thùng (Hz)	Tỷ số cản
1	Thùng 1	80x60x60	1.4	0.07	2.423	0.016
2	Thùng 2	80x60x60	1.8	0.08	2.850	0.012
3	Thùng 3	80x60x60	2.1	0.10	3.278	0.010

Trường hợp 2b: Đo dao động, chuyển vị cột kết cấu thí nghiệm khi có lắp đặt 5 thùng TLD có tần số dao động khác nhau (5 thùng có chiều sâu chất lỏng khác nhau).

Bảng 5. Số liệu thiết kế TLD cho trường hợp mô hình kết cấu chỉ có gắn 5 thùng - MTLD

STT	Thùng TLD	Kích thước thùng LxB (mm)	Chiều cao chất lỏng (cm)	Trọng lượng nước trong thùng (kg)	Tần số dao động tự nhiên của thùng (Hz)	Tỷ số cản
1	Thùng 1	80x60x60	1.4	0.07	2.423	0.016
2	Thùng 2	80x60x60	1.6	0.08	2.636	0.014
3	Thùng 3	80x60x60	1.8	0.08	2.850	0.012
4	Thùng 4	80x60x60	2.0	0.09	3.064	0.011
5	Thùng 5	80x60x60	2.1	0.10	3.278	0.010

Trường hợp 2c: Đo dao động, chuyển vị cột kết cấu thí nghiệm khi có lắp đặt 7 thùng TLD có tần số dao động khác nhau (chiều sâu chất lỏng của mỗi thùng trong giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD là khác).

Chi tiết số liệu thiết kế TLD cho trường hợp chỉ có 7 thùng có tần số dao động khác nhau cho mô hình cột thí nghiệm khi sử dụng hàm ứng xử tần số đã thiết lập:

Bảng 6. Số liệu thiết kế TLD cho trường hợp mô hình kết cấu chỉ có gắn 7 thùng - MTLD

STT	Thùng TLD	Kích thước thùng LxB (mm)	Chiều cao chất lỏng (cm)	Trọng lượng nước trong thùng (kg)	Tần số dao động tự nhiên của thùng (Hz)	Tỷ số cản
1	Thùng 1	80x60x60	1.4	0.07	2.423	0.016
2	Thùng 2	80x60x60	1.5	0.07	2.565	0.015
3	Thùng 3	80x60x60	1.6	0.08	2.708	0.013
4	Thùng 4	80x60x60	1.8	0.08	2.850	0.012
5	Thùng 5	80x60x60	1.9	0.09	2.993	0.011
6	Thùng 6	80x60x60	2.0	0.10	3.135	0.011
7	Thùng 7	80x60x60	2.1	0.10	3.278	0.010

Trường hợp 2d: Đo dao động, chuyển vị cột kết cấu thí nghiệm khi có lắp đặt 9 thùng TLD có tần số dao động khác nhau (chiều sâu chất lỏng của mỗi thùng trong giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD là khác).

Chi tiết số liệu thiết kế TLD cho trường hợp chỉ có 9 thùng có tần số dao động khác nhau cho mô hình cột thí nghiệm khi sử dụng hàm ứng xử tần số đã thiết lập:

Bảng 7. Số liệu thiết kế TLD cho trường hợp mô hình kết cấu chỉ có gắn 9 thùng - MTLD

STT	Thùng TLD	Kích thước thùng LxB (mm)	Chiều cao chất lỏng (cm)	Trọng lượng nước trong thùng (kg)	Tần số dao động tự nhiên của thùng (Hz)	Tỷ số cản
1	Thùng 1	80x60x60	1.40	0.07	2.423	0.016
2	Thùng 2	80x60x60	1.50	0.07	2.529	0.015
3	Thùng 3	80x60x60	1.60	0.08	2.636	0.014
4	Thùng 4	80x60x60	1.70	0.08	2.743	0.013
5	Thùng 5	80x60x60	1.80	0.08	2.850	0.012
6	Thùng 6	80x60x60	1.90	0.09	2.957	0.012
7	Thùng 7	80x60x60	1.95	0.09	3.064	0.011
8	Thùng 8	80x60x60	2.05	0.10	3.171	0.010
9	Thùng 9	80x60x60	2.10	0.10	3.278	0.010

Trường hợp 2e: Đo dao động, chuyển vị cột kết cấu thí nghiệm khi có lắp đặt 11 thùng TLD có tần số dao động khác nhau (chiều sâu chất lỏng của mỗi thùng trong giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD là khác), bề rộng dải tần số $\Delta R=0.3$.

Bảng 8. Số liệu thiết kế TLD cho trường hợp mô hình kết cấu chỉ có gắn 11 thùng - MTLD

STT	Thùng TLD	Kích thước thùng LxB (mm)	Chiều cao chất lỏng (cm)	Trọng lượng nước trong thùng (kg)	Tần số dao động tự nhiên của thùng (Hz)	Tỷ số cản
1	Thùng 1	80x60x60	5.1	0.03373	0.323	0.011
2	Thùng 2	80x60x60	5.5	0.03612	0.334	0.010
3	Thùng 3	80x60x60	5.9	0.03858	0.346	0.009
4	Thùng 4	80x60x60	6.2	0.04111	0.357	0.008
5	Thùng 5	80x60x60	6.6	0.04371	0.369	0.008

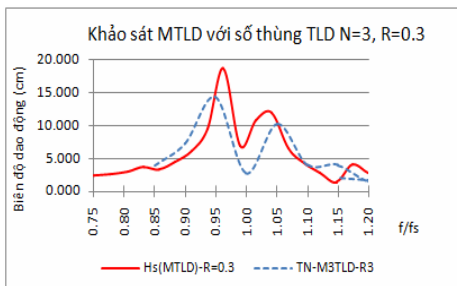
STT	Thùng TLD	Kích thước thùng LxB (mm)	Chiều cao chất lỏng (cm)	Trọng lượng nước trong thùng (kg)	Tần số dao động tự nhiên của thùng (Hz)	Tỷ số cản
6	Thùng 6	80x60x60	7.0	0.04639	0.380	0.007
7	Thùng 7	80x60x60	7.4	0.04913	0.391	0.007
8	Thùng 8	80x60x60	7.9	0.05194	0.403	0.006
9	Thùng 9	80x60x60	8.3	0.05481	0.414	0.006
10	Thùng 10	80x60x60	8.8	0.05775	0.426	0.006
11	Thùng 11	80x60x60	9.2	0.06075	0.437	0.005

Trường hợp 2f: Đo dao động, chuyển vị cột kết cấu thí nghiệm khi có lắp đặt 15 thùng TLD có tần số dao động khác nhau (chiều sâu chất lỏng của mỗi thùng trong giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD là khác), bề rộng dải tần số $\Delta R=0.3$.

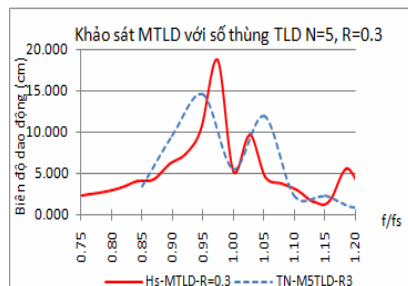
Bảng 9. Số liệu thiết kế TLD cho trường hợp mô hình kết cấu chỉ có gắn 15 thùng - MTLD

STT	Thùng TLD	Kích thước thùng LxB (mm)	Chiều cao chất lỏng (cm)	Trọng lượng nước trong thùng (kg)	Tần số dao động tự nhiên của thùng (Hz)	Tỷ số cản
1	Thùng 1	80x60x60	5.1	0.03373	0.323	0.011
2	Thùng 2	80x60x60	5.4	0.03543	0.331	0.010
3	Thùng 3	80x60x60	5.6	0.03716	0.339	0.009
4	Thùng 4	80x60x60	5.9	0.03893	0.347	0.009
5	Thùng 5	80x60x60	6.2	0.04074	0.356	0.008
6	Thùng 6	80x60x60	6.5	0.04259	0.364	0.008
7	Thùng 7	80x60x60	6.7	0.04447	0.372	0.008
8	Thùng 8	80x60x60	7.0	0.04639	0.380	0.007
9	Thùng 9	80x60x60	7.3	0.04834	0.388	0.007
10	Thùng 10	80x60x60	7.6	0.05033	0.396	0.007
11	Thùng 11	80x60x60	7.9	0.05235	0.404	0.006
12	Thùng 12	80x60x60	8.2	0.05440	0.413	0.006
13	Thùng 13	80x60x60	8.6	0.05648	0.421	0.006
14	Thùng 14	80x60x60	8.9	0.05860	0.429	0.006
15	Thùng 15	80x60x60	9.2	0.06075	0.437	0.005

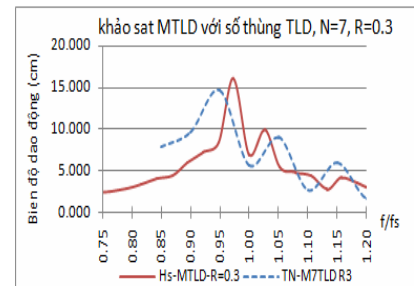
Kết quả so sánh dữ liệu đo thu được trong từng trường hợp từ 2a đến 2f trên biểu đồ so sánh với đường lý thuyết thiết lập khi sử dụng hàm ứng xử tần số cho thấy:



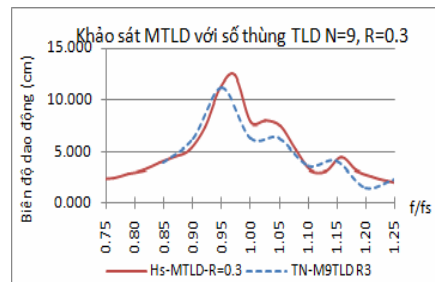
TH 2a: Hiệu quả giảm dao động cho mô hình kết cấu thí nghiệm với 3 thùng TLD có tần số dao động khác nhau, $\Delta R=0.3$



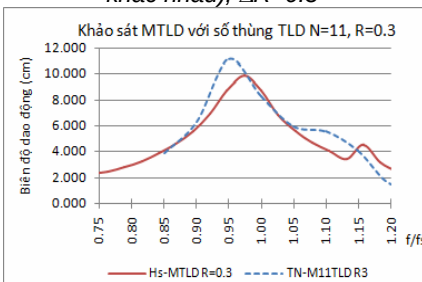
TH 2b: hiệu quả giảm dao động cho mô hình kết cấu thí nghiệm với 5 thùng TLD (tần số dao động của mỗi thùng khác nhau), $\Delta R=0.3$



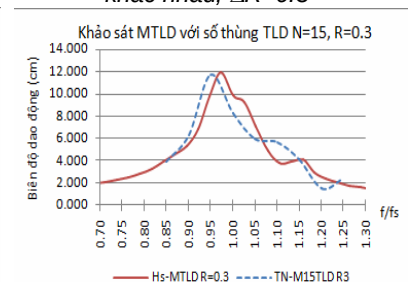
TH 2c: Hiệu quả giảm dao động cho mô hình kết cấu thí nghiệm với 7 thùng TLD có tần số dao động khác nhau, $\Delta R=0.3$



TH 2d: hiệu quả giảm dao động cho mô hình kết cấu thí nghiệm với 9 thùng TLD (tần số dao động của mỗi thùng khác nhau), $\Delta R=0.3$



TH 2e: Hiệu quả giảm dao động cho mô hình kết cấu thí nghiệm với 11 thùng TLD có tần số dao động khác nhau, $\Delta R=0.3$



TH 2f: hiệu quả giảm dao động cho mô hình kết cấu thí nghiệm với 15 thùng TLD (tần số dao động của mỗi thùng khác nhau), $\Delta R=0.3$

Hình 9. Đồ thị khảo sát ảnh hưởng của số lượng thùng chứa đến hiệu quả giảm dao động

Đồ thị khảo sát ảnh hưởng của số lượng thùng TLD trong MTLD đến hiệu quả giảm dao động cho thấy khá phù hợp về dạng so với đường đồ thị phân tích lý thuyết. Ứng xử của kết cấu tại vị trí tỷ số tần số bằng và xấp xỉ bằng 1, so sánh giữa lý thuyết và thực nghiệm là khá gần nhau, càng xa giá trị tỷ số tần số bằng 1 (thời điểm xảy ra cộng hưởng) các giá trị có xu hướng khác biệt nhiều hơn. Ứng với số lượng thùng chứa chất lỏng của bộ giảm chấn chất lỏng đa tần số cho thiết kế nằm trong khoảng từ $N = 5-15$ thùng thì hiệu quả của bộ giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD là khá tốt, nằm ngoài khoảng này, khi số thùng nhỏ hơn hoặc tăng lên nữa thì kết quả cho thấy hiệu quả giảm dao động của bộ giảm chấn là giảm và thậm chí không còn hiệu quả trong việc giảm dao động cho mô hình kết cấu.

Bảng 10. Số liệu thiết kế TLD cho trường hợp mô hình kết cấu với bề rộng dải tần số $\Delta R=0.2$ – MTLD

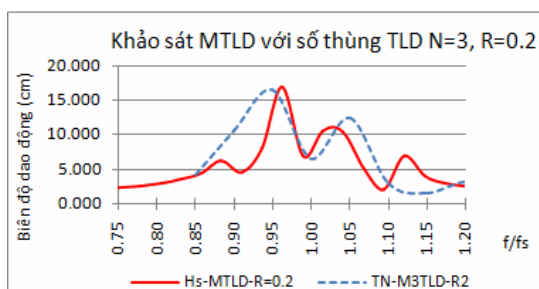
STT	Thùng TLD	Kích thước thùng LxB (mm)	Chiều cao chất lỏng (cm)	Trọng lượng nước trong thùng (kg)	Tần số dao động tự nhiên của thùng (Hz)	Tỷ số cản
1	Thùng 1	80x60x60	1.5	0.07	2.565	0.015
2	Thùng 2	80x60x60	1.8	0.08	2.850	0.012
3	Thùng 3	80x60x60	2.0	0.10	3.135	0.011

Trường hợp 3b: Đo dao động, chuyển vị cột kết cấu thí nghiệm khi có 3 thùng giảm chấn chất lỏng TLD khác nhau (3 thùng được đổ lượng chất lỏng khác nhau), bề rộng dải tần số thay đổi so với trường hợp 2a, lấy là $\Delta R=0.1$.

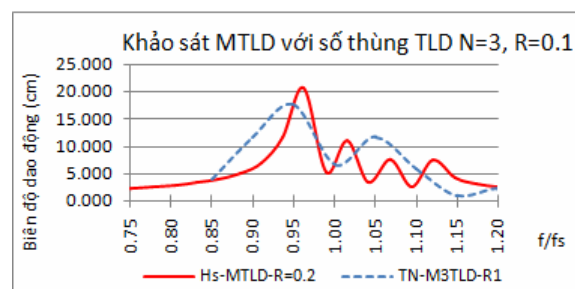
Bảng 11. Số liệu thiết kế TLD cho trường hợp mô hình kết cấu với bề rộng dải tần số $\Delta R=0.1$ - MTLD

STT	Thùng TLD	Kích thước thùng LxB (mm)	Chiều cao chất lỏng (cm)	Trọng lượng nước trong thùng (kg)	Tần số dao động tự nhiên của thùng (Hz)	Tỷ số cản
1	Thùng 1	80x60x60	1.6	0.08	2.708	0.013
2	Thùng 2	80x60x60	1.8	0.08	2.850	0.012
3	Thùng 3	80x60x60	1.9	0.09	2.993	0.011

Kết quả so sánh dữ liệu đo thu được trong trường hợp 3a, 3b trên biểu đồ được so sánh với đường lý thuyết thiết lập khi sử dụng hàm ứng xử tần số cho thấy:



TH 3a: Hiệu quả giảm dao động cho mô hình kết cấu thí nghiệm với 3 thùng TLD có tần số dao động khác nhau, $\Delta R=0.2$



TH 3b: hiệu quả giảm dao động cho mô hình thí nghiệm với 3 thùng TLD (tần số dao động của mỗi thùng khác nhau), $\Delta R=0.1$

Hình 10. Đồ thị khảo sát ảnh hưởng của bề rộng dải tần số đến hiệu quả giảm dao động

Khi bề rộng dải tần số thay đổi, dữ liệu thí nghiệm thể hiện khá nhạy cảm với sự thay đổi này. Đường thực nghiệm, đường lý thuyết là đồng dạng. So sánh với trường hợp 2a cho thấy: khi với số lượng thùng

TLD đơn trong bộ giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD là đủ lớn và bề rộng dải tần số là nhỏ ($\Delta R = 0.1$), chênh lệch tần số giữa các TLD đơn là nhỏ thì hiệu quả giảm dao động của MTLD là tương tự như SLTD.

Mặt khác, khi số lượng của các TLD đơn là nhỏ và bề rộng dải tần số là đủ lớn ($\Delta R = 0.3$) thì hiệu quả của MTLD là tốt hơn của hệ SLTD. Do vậy, hiệu quả của hệ MTLD chỉ có thể đạt được tốt nhất ứng với giá trị nhất định nào đó của số lượng TLD đơn và bề rộng dải tần số phù hợp. Giá trị khảo sát kiến nghị là bề rộng dải tần số là 0.2 - 0.3 và độ chênh tần số giữa các thùng TLD đơn lẻ là $\beta = 0.01 - 0.02$.

Trường hợp 4: Khảo sát ảnh hưởng của việc thiết kế giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD đến hiệu quả giảm dao động cho kết cấu.

Thông thường giảm chấn chất lỏng được thiết kế để tạo ra được tần số dao động riêng bằng về giá trị

với tần số dao động riêng của kết cấu để tạo ra hiệu quả tốt nhất. Khi khảo sát ảnh hưởng của tỷ số giữa giá trị tần số trung tâm của giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD và tần số dao động riêng của kết cấu không bằng 1 đến hiệu quả giảm dao động cho kết cấu với số lượng thùng chứa chất lỏng $N = 7$ TLD.

Trường hợp 4a: Đo dao động, chuyển vị cột kết cấu thí nghiệm khi có 7 thùng TLD (khác nhau), bề rộng dải tần số $\Delta R = 0.3$ và tỷ số giữa tần số trung tâm của giảm chấn chất lỏng MTLD và tần số dao động riêng của kết cấu $f/f_s = 0.95$.

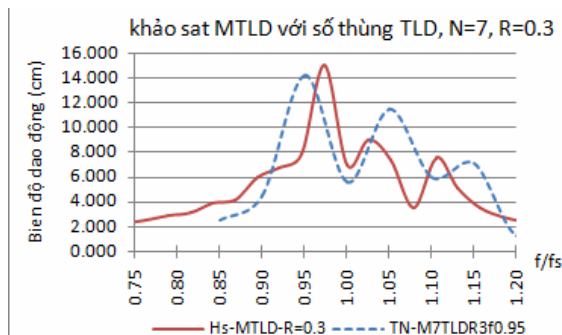
Bảng 12. Số liệu thiết kế TLD cho trường hợp mô hình kết cấu với $f/f_s = 0.95$ - MTLD

STT	Thùng TLD	Kích thước thùng LxB (mm)	Chiều cao chất lỏng (cm)	Trọng lượng nước trong thùng (kg)	Tần số dao động tự nhiên của thùng (Hz)	Tỷ số cản
1	Thùng 1	80x60x60	1.3	0.06	2.301	0.018
2	Thùng 2	80x60x60	1.4	0.07	2.437	0.016
3	Thùng 3	80x60x60	1.5	0.07	2.572	0.015
4	Thùng 4	80x60x60	1.6	0.08	2.708	0.013
5	Thùng 5	80x60x60	1.8	0.08	2.843	0.012
6	Thùng 6	80x60x60	1.9	0.09	2.978	0.011
7	Thùng 7	80x60x60	2.0	0.10	3.114	0.011

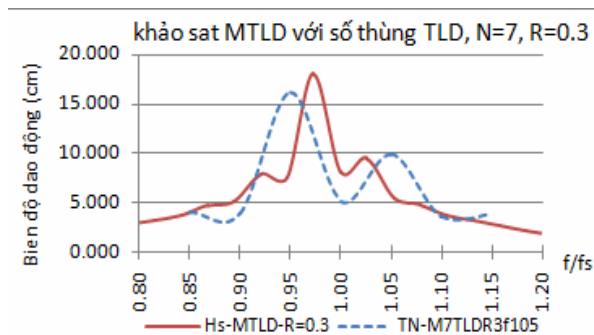
Trường hợp 4b: Đo dao động, chuyển vị cột kết cấu thí nghiệm khi có 7 thùng TLD (khác nhau), bề rộng dải tần số $\Delta R = 0.3$ và tỷ số giữa tần số trung tâm của giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD và tần số dao động riêng của kết cấu $f/f_s = 1.05$.

Bảng 13. Số liệu thiết kế TLD cho trường hợp mô hình kết cấu với $f/f_s = 1.05$ - MTLD

STT	Thùng TLD	Kích thước thùng LxB (mm)	Chiều cao chất lỏng (cm)	Trọng lượng nước trong thùng (kg)	Tần số dao động tự nhiên của thùng (Hz)	Tỷ số cản
1	Thùng 1	80x60x60	1.5	0.07	2.544	0.015
2	Thùng 2	80x60x60	1.6	0.08	2.693	0.013
3	Thùng 3	80x60x60	1.8	0.08	2.843	0.012
4	Thùng 4	80x60x60	1.9	0.09	2.993	0.011
5	Thùng 5	80x60x60	2.0	0.10	3.142	0.011
6	Thùng 6	80x60x60	2.1	0.10	3.292	0.010
7	Thùng 7	80x60x60	2.3	0.11	3.441	0.009



TH 4a: Hiệu quả giảm dao động cho mô hình kết cấu thí nghiệm với 7 thùng TLD (tần số dao động của mỗi thùng khác nhau, $R=0.3$, $f/f_s=0.95$)



TH 4b: hiệu quả giảm dao động cho mô hình thí nghiệm với 7 thùng TLD (tần số dao động của mỗi thùng khác nhau, $R=0.3$, $f/f_s=1.05$)

Hình 10. Khảo sát ảnh hưởng của tỷ số giữa tần số trung tâm của MTLD và tần số dao động riêng

Khi tỷ số giữa tần số kích động với tần số dao động riêng của kết cấu không bằng một, dạng của đường đồ thị thí nghiệm và lý thuyết là khá phù hợp đường đồ thị thực nghiệm thể hiện khá nhạy cảm với sự thay đổi này.

4. Kết luận

- Hiệu quả của MTLD là tốt hơn SLTD khi sử dụng nhiều thùng TLD với chiều sâu chất lỏng khác nhau hay tần số dao động riêng khác nhau (hệ MTLD có 1 tần số trung tâm trong dải tần số tính toán thiết kế của các TLD);

- Tương quan giữa tỷ số tần số và chuyển vị (theo tần số) là phù hợp về qui luật với kết quả lý thuyết đã phân tích cho mô hình cột thí nghiệm;

- Đường cong ứng xử của MTLD là khá phẳng, điều này chỉ ra rằng ứng xử của kết cấu có khả năng đáp ứng trên một dải rộng tần số và MTLD có tính cản cao hơn so với SLTD. Sự bằng phẳng này là do sự khác biệt pha nhỏ trong khoảng chuyển động của chất lỏng trong mỗi TLD của giảm chấn chất lỏng đa tần số MTLD;

- Do hạn chế về kinh nghiệm thí nghiệm nên đường thực nghiệm xây dựng sai số khá lớn so với đường lý thuyết. Tuy nhiên sai số vẫn nằm trong giới hạn cho phép là từ 7-11% (<15%) là có thể chấp nhận được.

Phân tích số hàm ứng xử tần số đã thiết lập để xác định được ảnh hưởng của các tham số đến hiệu quả giảm chấn như: số lượng thùng TLD N, bề rộng dải tần số ΔR , và tỷ số tần số kích động và tần số dao động riêng của kết cấu. Đặc biệt đề xuất được số lượng thùng TLD trong hệ MTLD hợp lý cho thiết kế

giảm chấn là $N = 5-11$ và chênh lệch tần số giữa các thùng là $\beta = 0.01 - 0.02$ (bề rộng dải tần số $\Delta R = 0.2-0.3$).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. L.M. SUN, Y. FUJINO, B.M. PACHECO, P. CHAISERI. (1992), "Modeling of Tuned Liquid Damper (TLD)", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, (41-44), pp. 1883-1894.
2. HARRY G. HARRIS và GAJANAN M. SABNIS. (1999), Model and experimental techniques, Second edition printed in USA.
3. L.M. SUN, Y. FUJINO, P. CHAISERI, B.M. PACHECO. (1995), "Properties of tuned liquid dampers using a TMD analogy", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 24 (7), pp. 967-976.
4. TOSHIHIRO WAKAHARA. (1993), "Wind-induced response of TLD-structure coupled system considering nonlinearity of liquid motion", *Shimizu Technology Research Bulletin*, (12).
5. Y.FUJINO, L.M.SUN. (1993), "Vibration Control by Multiple Tuned Liquid Dampers (MTLDs)", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 119 (12), pp. 3482-3500.
6. NGUYỄN HỮU HƯNG, NGUYỄN ĐỨC THỊ THU ĐỊNH. (2013), "Xác định tham số thực tế của công trình cầu thông qua kết quả phản ứng động lực học", *Hội thảo "40 năm hợp tác Việt Nam - Nhật Bản trong xây dựng: Thành tựu và cơ hội"*, Hà Nội, 8 & 9 /11/ 2013; ISBN: 978-604-82-0053-4.

Ngày nhận bài: 03/5/2015.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 22/9/2015.