

Các ảnh hưởng của gió đến kết cấu

Phạm Hoàng Kiên*

* TS., Công ty tư vấn thiết kế CTI Engineering, Nihonbashi, Chuo-ku, Tokyo 103-8430

Kiến thức về gió và các ảnh hưởng của nó đến kết cấu là những kiến thức không thể thiếu được khi thiết kế những công trình lớn như cầu treo dây võng, dây văng hay các siêu cao ốc. Bài viết này nhằm mục đích giới thiệu với người đọc những kiến thức cơ bản nhất trong thiết kế kháng gió. Đầu tiên, một số đặc tính chung của các tác động của gió, có so sánh với tác động gây ra bởi động đất, được trình bày. Tiếp theo, các hiện tượng khí lực học phát sinh bởi gió sẽ được giới thiệu. Trong bài viết này, tác giả không đi sâu về các phương pháp tính cũng như những qui định mang tính qui trình, mà chủ yếu tập trung giới thiệu để người đọc hiểu được bản chất của các hiện tượng gây ra bởi gió.

Key Words: Gió, tác dụng tĩnh, tác dụng động, kết cấu

1. Lời mở đầu

Các ảnh hưởng của gió tăng theo độ lớn của kết cấu. Trên thực tế, sự phát triển của ngành cơ học gió gắn rất chặt chẽ với những nghiên cứu về thiết kế kháng gió cho cầu nhịp lớn và nhà cao tầng. Trên thế giới, các nghiên cứu về gió đã có những bước tiến nhảy vọt kể từ sau tai họa sập cầu Tacoma Narrows vào năm 1940. Tác động của gió đến công trình có thể được chia thành hai nhóm lớn là tác dụng tĩnh và động. Khác với dao động gây ra bởi động đất, trong các hiện tượng động gây ra bởi gió còn phải xét đến cả sự tương tác giữa kết cấu và ngoại lực. Điều này làm cho bài toán trở nên phức tạp hơn. Do vậy, mặc dù các phương pháp phân tích để xác định phản ứng của công trình dưới tác dụng của tải trọng gió đã có những tiến bộ rất lớn, hiện nay thí nghiệm hầm gió vẫn là một công cụ không thể thiếu được trong các nghiên cứu để thiết kế kháng gió. Kỹ thuật CFD (Computational Fluid Dynamics) đang là một hướng phát triển nhiều triển vọng trong ngành cơ học gió. Trong tương lai, tuy chưa thể thay thế được thí nghiệm hầm gió nhưng CFD sẽ là một công cụ trợ lực hữu hiệu cho thí nghiệm.

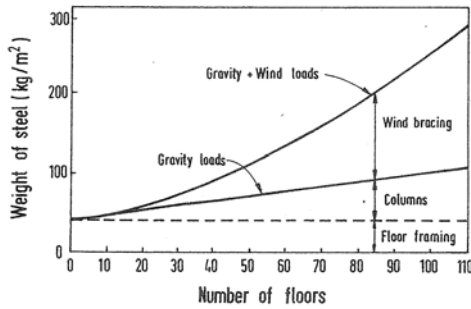
Ở Việt Nam các nghiên cứu về gió chưa được tiến hành nhiều. Điều này cũng dễ hiểu vì trong một thời gian dài Việt Nam chúng ta chưa có điều kiện để xây dựng các cầu lớn và nhà cao tầng. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, một số cầu treo dây văng và dây võng, siêu cao ốc cũng đã bắt đầu được xây dựng tại Việt Nam. Cùng với sự phát triển kinh tế xã hội, các công trình lớn sẽ được xây dựng ngày càng nhiều. Điều này đòi hỏi các kỹ sư thiết kế phải có kiến thức về gió

và ảnh hưởng của nó đến kết cấu. Bài viết này nhằm mục đích giới thiệu với người đọc những kiến thức cơ bản nhất trong thiết kế kháng gió. Vì ngành cơ học gió là một thế giới rộng lớn nên trong khuôn khổ một bài viết, tác giả không có ý định đi sâu về các phương pháp tính cũng như các qui định mang tính qui trình, mà chủ yếu tập trung giới thiệu để người đọc hiểu được bản chất của các hiện tượng gây ra bởi gió.

2. Một vài đặc tính chung của các tác động của gió

Khi xét đến mối quan hệ giữa gió và kết cấu, cần phải xét đến cả yếu tố mang tính tổng thể là kích thước của kết cấu và yếu tố mang tính cục bộ là hình trạng của kết cấu. Về mặt kích thước, nếu kết cấu càng lớn thì ảnh hưởng của tải trọng gió sẽ càng lớn. Không hoàn toàn thật chính xác, nhưng với những cầu đường bộ có nhịp dưới 100m thì việc tải trọng gió có ảnh hưởng trực tiếp là trường hợp rất ngoại lệ. Tuy vậy vì theo phương ngang không còn tải trọng nào khác nên tải trọng gió vẫn được dùng để thiết kế những cấu kiện chịu lực theo phương ngang. Ngược lại, với những cầu có nhịp siêu lớn như Akashi-Kaikyo (nhịp 1991m) thì tải trọng gió sẽ trở thành tải trọng thiết kế, ảnh hưởng rất lớn tới nhiều cấu kiện cầu thành kết cấu. Cũng tương tự như vậy trong kết cấu nhà, với những siêu cao ốc có chiều cao cỡ 300m thì giá trị và ảnh hưởng của tải trọng gió là rất lớn. Hình 1 mô tả trọng lượng thép cần thiết phải bổ sung khi tăng số tầng của tòa nhà. Với những tòa nhà dưới 10 tầng, kết quả thiết kế theo tải trọng thẳng đứng hoàn toàn có thể chống được tải trọng ngang mà không cần tăng thêm kích thước cấu kiện do việc

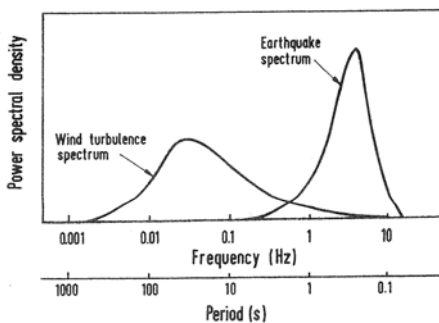
tăng của ứng suất cho phép khi xét với tải trọng tổ hợp. Khi số tầng vượt quá 10, lượng vật liệu cần thiết phải bổ sung để chống lại tải trọng ngang sẽ tăng một cách không tuyến tính.



Hình 1 Sự tăng trọng lượng thép trong các cao ốc

Mặt khác, cùng với tải trọng gió một trong những đặc thù của ảnh hưởng của gió tới công trình là vấn đề dao động. Hình trạng của kết cấu có ảnh hưởng lớn đến sự phân tách và hình dạng của dòng khí khi thổi qua kết cấu, và do vậy nó có ảnh hưởng rất lớn đến các hiện tượng động gây ra bởi gió.

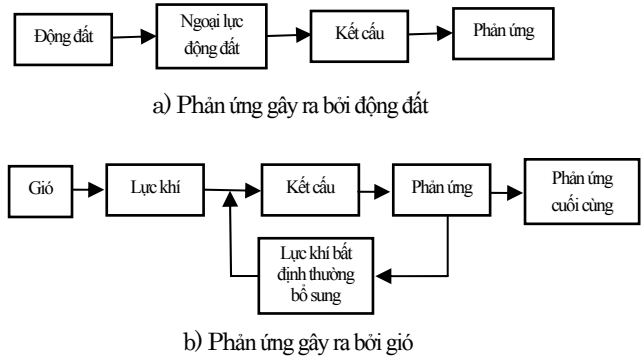
Một hiện tượng động khác gây ra bởi các tải trọng tự nhiên thường được so sánh với gió là dao động do động đất. Hình 2 mô tả phổ của tải trọng gió và động đất. Tác động của các tải trọng này sẽ phụ thuộc vào sự tương quan giữa đặc tính động học của kết cấu và khoảng tần số chi phối của tải trọng. Những cầu nhịp nhỏ và tòa nhà thấp (stiff structure) với chu kỳ dao động riêng nhỏ, ví dụ như 0.5 s, sẽ chịu ảnh hưởng rất nhỏ của gió, nhưng ảnh hưởng của động đất thì sẽ rất lớn. Ngược lại, với những cầu nhịp lớn và tòa nhà cao (flexible structure) có chu kỳ dao động riêng lớn, ví dụ như 5 s, ảnh hưởng của động đất có thể sẽ không lớn, nhưng ảnh hưởng của gió có thể sẽ là yếu tố chi phối thiết kế.



Hình 2. Phổ của gió và động đất

Một sự khác nhau nữa về mặt bản chất trong tác động của gió và động đất là sự tương tác giữa ngoại lực và kết cấu. Như được mô tả trong hình 3, trong dao động gây ra bởi động đất sẽ không có tác dụng tương hỗ giữa dao động và ngoại lực, trong động lực học công trình dao động loại này được gọi là dao động cưỡng bức (forced vibration). Ngược lại, trong nhiều dao động gây ra bởi gió, dao động của kết cấu sẽ sinh ra một lực khí bất định thường bổ sung (unsteady force), và lực khí mới này sẽ làm cho biên độ dao động lớn hơn. Dao động loại này được gọi là dao động tự kích

(self-excited vibration).



Hình 3 Phản ứng của kết cấu do gió và động đất

3. Các hiện tượng khí lực học phát sinh bởi gió

Gió là một đại lượng biến đổi cả về mặt thời gian lẫn không gian, vì vậy phản ứng của công trình dưới tác dụng của lực khí về bản chất là hiện tượng động. Các quan sát trên thực tế cho thấy phản ứng của công trình dưới tác dụng của lực khí không phải là một hiện tượng đơn thuần mà là tổng hợp của các hiện tượng khí lực học cơ bản. Tuy nhiên, trên quan điểm thuận tiện cho thiết kế, người ta chia các hiện tượng khí lực học cơ bản thành các nhóm. Trong tiêu chuẩn thiết kế kháng gió của Ủy ban quản lý xây dựng cầu Honshu-Shikoku (Honshu-Shikoku Bridge Authority: Wind-resistant Design Code for Honshu-Shikoku Bridges (2001), 2001 (bằng tiếng Nhật)) các hiện tượng cơ bản này được phân chia thành các nhóm như trong bảng 1.

Bảng 1 Phân loại các hiện tượng khí lực học cơ bản

Loại tác dụng	Tên tiếng Việt	Tên tiếng Anh
Tác dụng tĩnh	Biến dạng tĩnh & ứng suất Mất ổn định tĩnh <i>Mất ổn định uốn ngang</i> <i>Mất ổn định xoắn</i>	Static deflection & stress Static instability Lateral buckling Divergence
Tác dụng động	Dao động có giới hạn <i>Dao động do rối của dòng khí</i> <i>Dao động do xoáy khí</i> <i>Dao động do gió-mưa</i> <i>Dao động phía cuối gió</i> Dao động phát tán <i>Dao động phát tán theo phương uốn</i> <i>Dao động tự kích khí động học</i>	Limited vibration Buffeting Vortex-induced vibration Rain-wind-induced vibration Wake-induced vibration Divergent vibration Galloping Flutter

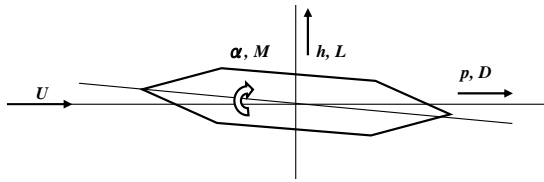
3.1. Tác dụng tĩnh

1) Biến dạng tĩnh và ứng suất

Đây là các hiện tượng tĩnh không phụ thuộc vào thời gian. Chúng được gây ra bởi vận tốc gió tính trung bình trong một khoảng thời gian nhất định. Dưới tác dụng của tải trọng gió trung bình, tại kết cấu sẽ phát sinh ra biến dạng tĩnh và tại các cấu kiện sẽ phát sinh ra ứng suất.

Có thể biểu diễn lực gió tĩnh tác dụng lên kết cấu bằng 3 thành phần lực, đó là lực đẩy (D), lực nâng (L) và mô men xoắn (M). Lực đẩy, lực nâng và mô men xoắn là các thành

phần lực theo phương gió thổi, vuông góc với phương gió thổi (phương thẳng đứng) và xoắn xung quanh trục của kết cấu. Quy ước dấu cho các thành phần lực này được thể hiện trong hình 4.



Hình 4 Định nghĩa về lực gió tĩnh và các chuyển vị liên quan

Lực đẩy, lực nâng và mô men xoắn trên một đơn vị chiều dài được tính như sau:

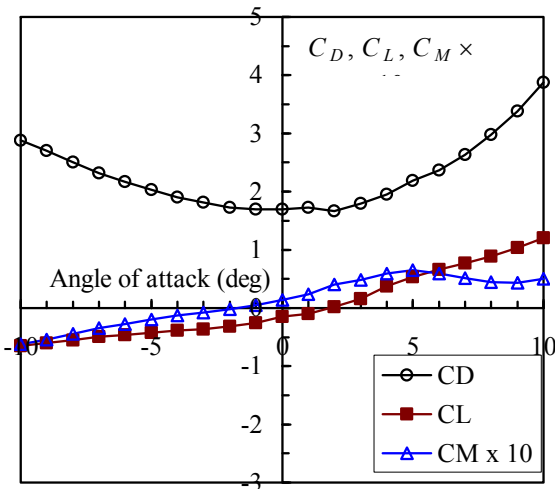
$$D = \frac{1}{2} \rho U^2 C_D H \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{2} \rho U^2 C_L B \quad (2)$$

$$M = \frac{1}{2} \rho U^2 C_M B^2 \quad (3)$$

trong đó ρ là tỷ trọng của không khí, U là vận tốc gió trung bình, H là chiều cao của dầm và B chiều rộng của dầm. C_D , C_L và C_M là các hệ số không có đơn vị, được gọi là hệ số lực đẩy, lực nâng và mô men xoắn.

Hình 5 giới thiệu một ví dụ về kết quả đo các hệ số của 3 thành phần lực trong thí nghiệm hầm gió đối với mặt cắt dầm gồm bản mặt cầu bê tông và hai dầm biên.



Hình 5 Các hệ số của 3 thành phần lực

Trên thực tế thiết kế, trong rất nhiều trường hợp trị số và ảnh hưởng của thành phần lực đẩy D lớn hơn nhiều so với hai thành phần còn lại. Do vậy trong nhiều quy chuẩn thiết kế kháng gió (chẳng hạn như tiêu chuẩn thiết kế kháng gió của Ủy ban quản lý xây dựng cầu Honshu-Shikoku, quy chuẩn thiết kế kháng gió cho cầu đường bộ của Hiệp hội cầu đường bộ Nhật Bản), người ta quy định trị số lực đẩy trung bình D tính theo công thức trên phải được nhân với một hệ số để xét đến ảnh hưởng của sự rối của dòng khí gọi là hệ số rối (gust factor G).

Như đã nói ở trên, gió trong tự nhiên là dòng khí rối biến

đổi cả về mặt thời gian lẫn không gian. Như vậy ngoài lực đẩy trung bình gây ra bởi vận tốc gió trung bình, còn có thành phần lực đẩy biến động gây ra bởi thành phần biến đổi của vận tốc dòng khí. Hệ số rối G chính là để xét đến ảnh hưởng của thành phần lực đẩy biến động này. Hệ số rối G có thể được định nghĩa như sau:

$$\text{Gust factor } G = \frac{\bar{p}_{\max}}{\bar{p}} \quad (4)$$

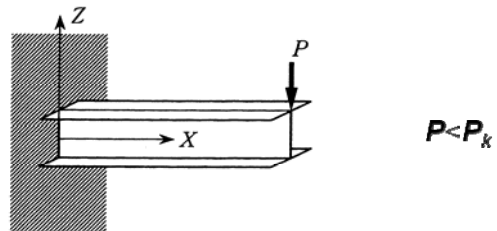
trong đó \bar{p}_{\max} là giá trị phản ứng lớn nhất (maximum response value), \bar{p} là giá trị phản ứng do lực đẩy trung bình.

Trong quy chuẩn thiết kế kháng gió cho cầu đường bộ của Hiệp hội cầu đường bộ Nhật Bản, hệ số rối G được lấy đồng nhất là 1.9. Cũng cần ghi nhớ là trong quy chuẩn này vận tốc thiết kế tiêu chuẩn được lấy đồng nhất là 40 m/s.

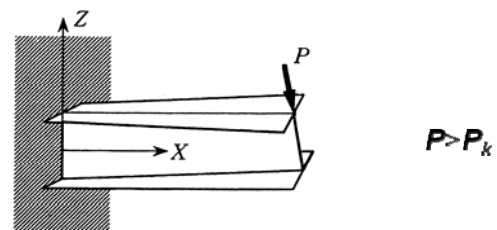
2) Các hiện tượng mất ổn định tĩnh

Hiện tượng mất ổn định tĩnh là hiện tượng trong đó biến dạng tăng nhanh một cách đột ngột dưới tác dụng của lực khí định thường (steady force). Hiện tượng này gồm hai loại như sau:

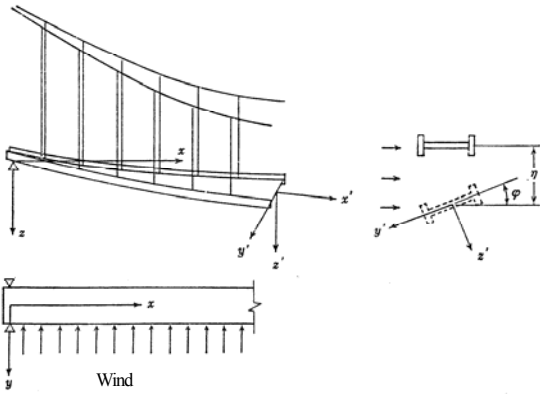
a) Mất ổn định uốn ngang: Xét trường hợp một kết cấu có hai trục không đối xứng chịu tác dụng của mô men uốn xung quanh trục khỏe, khi mô men uốn này còn trong một phạm vi nhỏ thì kết cấu sẽ chỉ bị biến dạng trong mặt phẳng của mô men uốn tác dụng (Hình 6). Nhưng khi mô men uốn này đạt đến một giá trị giới hạn thì sẽ xảy ra hiện tượng mà trong đó chuyển vị uốn theo trục yếu của dầm và xoắn xung quanh trục trọng tâm của dầm liên hợp với nhau và tăng nhanh một cách đột ngột (Hình 7). Hiện tượng này được gọi là mất ổn định uốn ngang. Đối với kết cấu cầu thì hiện tượng này chủ yếu phát sinh ở những cầu dầm vòm có dầm rất mảnh (Hình 8). Vận tốc gió giới hạn của hiện tượng này thường cao hơn so với vận tốc mất ổn định do dao động phát tán theo phương uốn (galloping) và mất ổn định do dao động tự kích khí động học (flutter).



Hình 6 Chuyển vị khi chưa xảy ra hiện tượng mất ổn định



Hình 7 Mode phá hoại khi bị mất ổn định uốn ngang



Hình 8 Mất ổn định uốn ngang trong cầu treo dây võng

Mất ổn định uốn ngang là một hiện tượng tương đối cổ điển trong cơ học, nhưng mất ổn định uốn ngang của cầu dây võng dưới tác dụng của lực khí định thường (steady force) thì mới chỉ được biết đến đầu tiên là qua các nghiên cứu của Hirai khi ông tìm hiểu các nguyên nhân của tai họa sập cầu Tacoma Narrows vào đầu những năm 40 của thế kỷ trước. Có thể nói rằng những nghiên cứu của Hirai đã đặt những viên gạch đầu tiên cho sự phát triển của ngành cơ học gió Nhật Bản. Từ phương trình trạng thái giới hạn tĩnh, Hirai đã giả sử các mode phá hoại (buckling mode), cho các mode này thỏa mãn các điều kiện biên, từ đó tìm ra được vận tốc gió giới hạn của mất ổn định uốn ngang. Hirai cũng đã tiến hành thí nghiệm hầm gió kê kiểm chứng công thức tính theo lý thuyết. Công thức của Hirai sau đó đã được Okauchi bổ sung thêm để xét đến cả ảnh hưởng của thành phần lực gió được truyền từ dầm sang cáp chủ. Công thức tính vận tốc gió giới hạn được biểu diễn như sau:

$$U_k = \sqrt{\frac{4\pi\sqrt{128}\sqrt{EJ \cdot GK}}{\mu C_D \rho b l^2}} \quad (5)$$

trong đó

$$\overline{GK} = \frac{4\pi^2}{l^2} EC_w + GK + \frac{H_w b^2}{4} \quad (6)$$

$$\mu^2 = 1 + \frac{\sqrt{128}}{4\pi^2} \frac{dC_L + C_D}{C_D} \quad (7)$$

EJ , EC_w và GK lần lượt là độ cứng chống uốn, chống xoắn và chống xoắn của dầm, α là góc tới, ρ là mật độ không khí, H_w là thành phần lực theo phương nằm ngang của cáp chủ, b là chiều rộng của dầm.

Hiện tượng mất ổn định uốn ngang sau đó còn tiếp tục được nghiên cứu bởi V. Boonyapinyo và P.H. Kiên. Trong các nghiên cứu của mình P.H. Kiên đã chỉ ra rằng, đối với các cầu dây văng có nhịp siêu lớn (trên 1000m) thì mặt cắt dầm chủ có dạng khí động học (streamlined cross-section) là điều kiện cần thiết, và khi đó vận tốc mất ổn định tĩnh (static critical wind speed) còn thấp hơn so với vận tốc mất ổn định

động (flutter onset wind speed).

b) Mất ổn định xoắn: là hiện tượng mất ổn định tĩnh có thể xảy ra khi kết cấu có độ cứng chống xoắn nhỏ và độ dốc của đường cong hệ số mô men xoắn C_M lớn, ví dụ như trong hình 9. Tác dụng của mô men xoắn M sẽ làm tăng giá trị của góc tới α , và như vậy sẽ dẫn đến một giá trị mô men xoắn lớn hơn. Vì độ lớn của mô men xoắn còn tỷ lệ với bình phương của vận tốc gió nên sẽ đến một lúc nào đó mà độ cứng chống xoắn của kết cấu không đủ chống lại được mô men xoắn tác dụng. Khi đó kết cấu sẽ trở nên mất ổn định.

Sự phát sinh của hiện tượng mất ổn định xoắn có thể được mô tả bằng sơ đồ như trong hình 10. Trong phạm vi gần với giá trị góc tới $\alpha=0$, dùng khai triển Taylor có thể biểu diễn mô men xoắn M một cách gần đúng như sau:

$$M(\alpha) = M(0) + \left. \frac{dM}{d\alpha} \right|_{\alpha=0} \alpha \quad (8)$$

Mô men xoắn này sẽ cân bằng với độ cứng chống xoắn k_α của kết cấu.

$$k_\alpha \alpha = M(0) + \left. \frac{dM}{d\alpha} \right|_{\alpha=0} \alpha \quad (9)$$

$$\left(k_\alpha - \left. \frac{dM}{d\alpha} \right|_{\alpha=0} \right) \alpha = M(0) \quad (10)$$

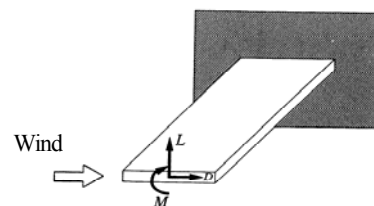
$$\alpha = \frac{M(0)}{k_\alpha - \left. \frac{dM}{d\alpha} \right|_{\alpha=0}} \quad (11)$$

α sẽ có một giá trị vô cùng lớn khi mẫu số trong công thức (11) bằng không. Nếu biểu diễn mô men xoắn trên một đơn vị chiều dài bằng công thức

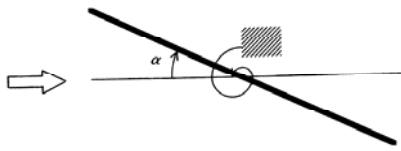
$$M = \frac{1}{2} \rho U^2 C_M B^2 \quad (12)$$

thì vận tốc gió giới hạn của hiện tượng mất ổn định xoắn có thể được biểu diễn như sau:

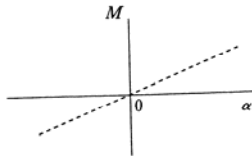
$$U_c = \sqrt{\frac{2k_\alpha}{\rho B^2 \left. \frac{dC_M}{d\alpha} \right|_{\alpha=0}}} \quad (13)$$



Hình 9 Lực gió tĩnh tác dụng lên một kết cấu hình dẹt



(a) Mô hình của mặt ổn định xoắn



(b) Quan hệ giữa mô men xoắn và góc tới

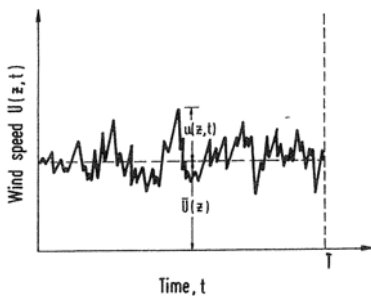
Hình 10 Mô hình và quan hệ giữa mô men xoắn và góc tới

3.2. Tác dụng động

1) Dao động có giới hạn: được định nghĩa là có giới hạn về mặt biên độ dao động và/hoặc có giới hạn về mặt phạm vi vận tốc gió. Dao động có giới hạn sẽ không dẫn đến sự phá hủy của kết cấu trong thời gian ngắn nhưng nó được xem như các hiện tượng gây ra các vấn đề trong trạng thái sử dụng chẳng hạn như mỏi của kết cấu và gây lo lắng cho người sử dụng. Dao động có giới hạn bao gồm những loại sau.

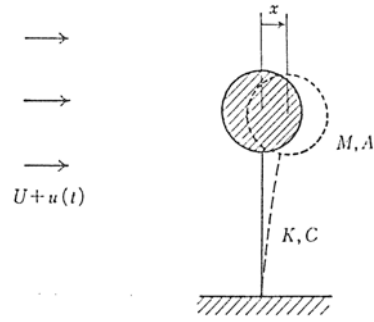
a) Dao động do rối của dòng khí

Đây là dao động bất quy tắc (random vibration) gây ra do sự rối của dòng khí. Nó thường được đánh giá bằng phân tích số và gắn liền với việc đánh giá giá trị lớn nhất của tải trọng gió. Như mô tả trong hình 11, gió trong tự nhiên là một đại lượng biến đổi bất quy tắc (cả về mặt thời gian lẫn không gian). Như vậy, ngoại lực tác dụng và cả phản ứng của kết cấu cũng là những đại lượng bất quy tắc. Người đầu tiên đã áp dụng phương pháp mang tính thống kê để xử lý bài toán cho các đại lượng bất quy tắc kể trên là nhà khoa học Davenport. Ông cũng là người đã đóng góp rất nhiều cho những nghiên cứu về gió trong lĩnh vực này.



Hình 11 Sự biến đổi của vận tốc gió theo thời gian

Chúng ta xét một kết cấu với khối lượng tập trung M , diện tích hứng gió A , hệ số độ cứng và giảm chấn lần lượt là K và C_0 (hình 12).



Hình 12 Hệ kết cấu với 1 bậc tự do

Phương trình dao động của kết cấu theo phương gió thổi (phương x) có thể viết như sau:

$$M\ddot{x} + C_0\dot{x} + Kx = P(\dot{x}) + P(t) \tag{14}$$

trong đó $P(\dot{x})$ là thành phần lực đẩy bất định thường gây ra bởi dao động của kết cấu, $P(t)$ là thành phần biến đổi của lực đẩy gây ra do rối của dòng khí. Áp dụng lý thuyết chuẩn định thường (quasi-steady theory), thành phần lực đẩy bất định thường có thể viết như sau:

$$P(\dot{x}) = -\rho AC_D U \dot{x} \tag{15}$$

Chuyển thành phần giảm chấn khí học (aerodynamic damping) này sang về trái, kết hợp nó với thành phần giảm chấn kết cấu (structural damping), phương trình (14) sẽ có dạng sau:

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = P(t) \tag{16}$$

trong đó $C = C_0 + C_a$, $C_a = \rho AC_D U$

Thành phần lực đẩy biến đổi $P(t)$ là một đại lượng bất quy tắc, do vậy phản ứng của kết cấu $x(t)$ cũng là bất quy tắc.

Nhưng nếu áp dụng lý thuyết dao động bất quy tắc thì hàm mật độ phổ (power spectral density function) của phản ứng $x(t)$ sẽ là:

$$S_x(f) = \frac{|H(f)|^2}{K^2} S_p(f) \tag{17}$$

trong đó $S_p(f)$ là hàm mật độ phổ của thành phần lực đẩy biến đổi. $S_p(f)$ có thể được tính theo công thức sau:

$$S_p(f) = 4P^2 |X_D(f)|^2 \frac{S_u(f)}{U^2}, \quad P = \frac{\rho}{2} C_D A U^2 \tag{18}$$

trong đó $S_u(f)$ là hàm mật độ phổ của thành phần vận tốc

gió biến đổi, $|X_D(f)|^2$ là hàm truyền dẫn khí động học (aerodynamic admittance). Trong trường hợp coi kết cấu là một chất điểm M thì kích thước của kết cấu có thể được xem là nhỏ so với tính biến đổi theo không gian của rối của dòng khí, đặc biệt là trong trường hợp kết cấu có độ dày theo phương gió thổi là nhỏ, thì có thể lấy giá trị của hàm truyền dẫn khí động học là 1.

$|H(f)|^2$ là hàm truyền dẫn cơ học (mechanical admittance),

nó là bình phương của giá trị tuyệt đối của hàm $H(if)$.

$H(if)$ là hàm phản ứng tần số (frequency response function), nó là hàm số phức biểu diễn mối quan hệ giữa biên độ của ngoại lực và biên độ dao động khi có một ngoại lực mang tính chu kỳ tác dụng lên kết cấu.

$$|H(f)|^2 = \frac{1}{[1 - (f/f_0)^2]^2 + 4\zeta^2 (f/f_0)^2} \quad (19)$$

trong đó ζ là tỷ lệ giảm chấn (damping ratio), nó là tổng giảm chấn (total damping) bao gồm cả thành phần giảm chấn khí động học. Nếu gọi tỷ lệ giảm chấn kết cấu (structural damping ratio) là ζ_0 thì

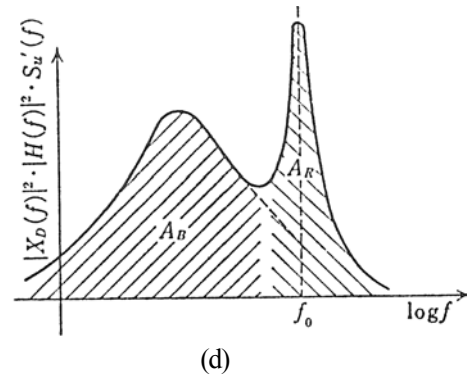
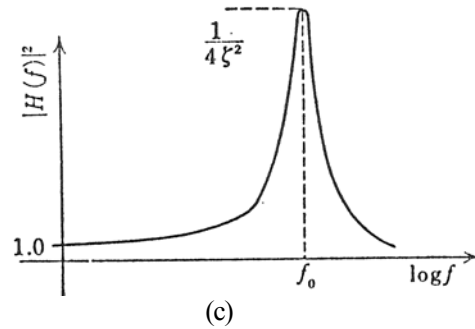
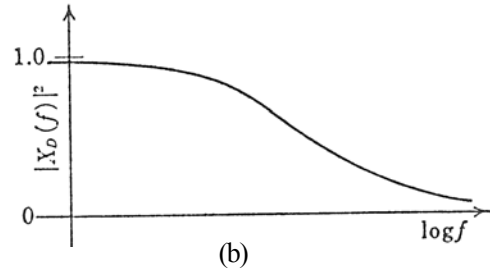
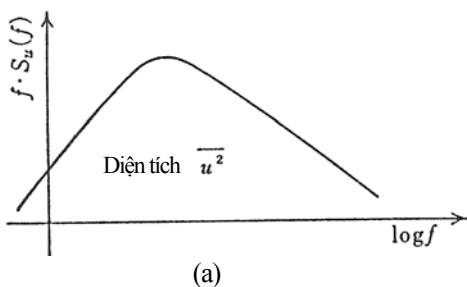
$$\zeta = \zeta_0 + \frac{\rho A C_D U}{4\pi f_0 M} \quad (20)$$

trong đó $f_0 = \sqrt{K/M} / 2\pi$ là tần số dao động riêng.

Như vậy nếu biết hàm mật độ phổ của thành phần vận tốc gió biến đổi $u(t)$ thì có thể tính giá trị trung bình của bình phương của biên độ phản ứng (dao động bất qui tắc) $\overline{x^2}$ như sau

$$\frac{\overline{x^2}}{2} = 4 \frac{P^2}{U^2} \frac{1}{K^2} \int_0^\infty |X_D(f)|^2 |H(f)|^2 S_u(f) df \quad (21)$$

Có thể giải thích thao tác tích phân theo công thức (21) một cách định tính như trong hình 13.



Hình 13 Thuyết minh theo mô hình về cách tính trung bình của bình phương của biên độ phản ứng

Giá trị trung bình của phản ứng x gây ra do lực đẩy trung bình P , tức là biến dạng tĩnh như đã nêu trong mục 3.1, được tính theo công thức $X=P/K$. Đối với hàm mật độ phổ của thành phần vận tốc gió biến đổi $u(t)$ áp dụng công thức biến đổi

$$S_u(f) = \overline{u^2} S'_u(f) \quad (22)$$

Như vậy có thể viết lại công thức (21) như sau

$$\frac{\overline{x^2}/2}{X^2} = 4 \left(\frac{\overline{u^2}}{U^2} \right) \int_0^\infty |X_D(f)|^2 |H(f)|^2 S'_u(f) df \quad (23)$$

Trong thiết kế chống gió, khi đánh giá phản ứng của các dao động bất qui tắc thì điều cần thiết là phải tính được giá trị cực đại kỳ vọng. Theo lý thuyết thống kê, nếu x là một đại lượng bất qui tắc ổn định (stationary random process) thì giá trị cực đại kỳ vọng của phản ứng (bao gồm cả giá trị phản ứng trung bình) có thể được tính như sau

$$\overline{\max \{X + x\}} = X + \overline{x_{\max}} = X \left(1 + g \frac{\sqrt{x^2}}{X} \right) \quad (24)$$

trong đó g là hệ số cực đại (peak factor); g sẽ được tính theo giá trị của khoảng thời gian đánh giá T (averaging time) và phổ của dao động phản ứng x . Ở đây tác giả không trình bày cách diễn giải mà chỉ nêu công thức tính

$$g = \sqrt{2 \ln(\nu T)} + \frac{0.5772}{\sqrt{2 \ln(\nu T)}} \quad (25)$$

$$\nu = \sqrt{\left(\int_{-\infty}^{\infty} f^2 S_x(f) df / \int_{-\infty}^{\infty} S_x(f) df \right)} \quad (26)$$

Như vậy, từ công thức (24) nếu tính tỷ số giữa giá trị cực đại kỳ vọng và giá trị phản ứng trung bình ta sẽ có công thức

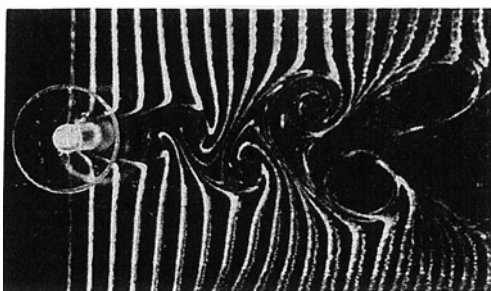
$$G = 1 + g \frac{\sqrt{x^2}}{X} \quad (27)$$

trong đó G là hệ số rỗi (gust factor).

b) Dao động do xoáy khí

Đây là dao động cưỡng bức gây ra bởi các xoáy khí Karman hình thành ở phía cuối gió của kết cấu. Trong phần này chúng ta định nghĩa những khái niệm sau.

- Vật thể cản gió (Bluff Body): Những vật thể không có mặt cắt dạng khí động học được gọi là Bluff Body. Những cấu kiện có dạng mặt cắt hình tròn, hình chữ nhật và hình chữ H là những ví dụ điển hình của Bluff Body.
- Xoáy khí Karman (Karman Vortex): Hình 14 mô tả trạng thái của dòng khí khi thổi qua một cấu kiện hình tròn. Phía sau cấu kiện sẽ lần lượt xuất hiện các xoáy khí. Các xoáy khí này được gọi là xoáy khí Karman.



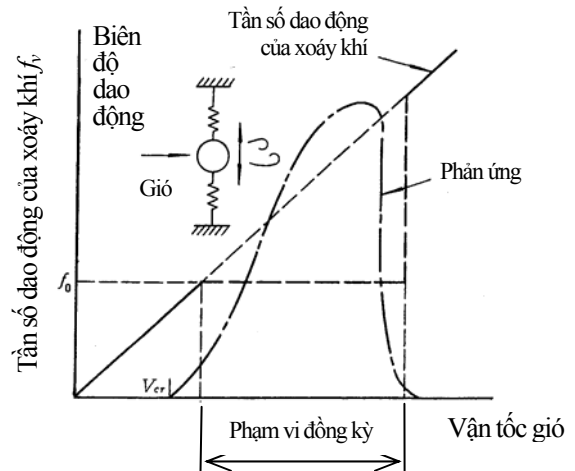
Hình 14 Xoáy khí Karman

- Số Strouhal (Strouhal Number): Các xoáy khí xuất hiện phía sau cấu kiện sẽ dao động với tần số tỷ lệ với vận tốc gió. Karman là nhà khoa học đã phát hiện ra điều này. Như trong công thức (28), thông qua số Strouhal S_t và sử dụng kích thước đại diện của cấu kiện d (characteristic length) có thể biểu diễn mối quan hệ giữa tần số dao động của xoáy khí Karman f_v và vận tốc gió U như sau:

$$S_t = \frac{f_v \cdot d}{U} \quad (28)$$

Số Strouhal là một đại lượng cố hữu đối với từng dạng mặt cắt, với mặt cắt hình tròn $S_t \approx 0.2$, với mặt cắt hình vuông $S_t \approx 0.12$.

- Hiện tượng đồng kỳ (Lock-In Phenomenon): Tần số dao động của xoáy khí xuất hiện phía sau một vật thể đứng im sẽ tăng cùng với sự tăng của vận tốc gió theo một hệ số tỷ lệ là số Strouhal như trong Hình 15. Tuy nhiên, nếu gió thổi vào một trụ tròn được treo bằng lò xo thì phản ứng của cấu kiện sẽ xuất hiện như đường dây xích trong Hình 15. Khi đó, nếu đo tần số dao động của xoáy khí xuất hiện phía sau trụ tròn này thì sẽ thấy rằng trong phạm vi vận tốc gió mà có xuất hiện phản ứng, tần số dao động của xoáy khí sẽ không biến đổi mà là một hằng số (bằng tần số dao động f_0 của trụ tròn). Như vậy, trong phạm vi vận tốc gió nói trên, xoáy khí và trụ tròn đã đồng kỳ (có cùng chu kỳ dao động) với nhau. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng đồng kỳ (Lock-In Phenomenon), và dao động của trụ tròn là dao động được gây ra bởi các xoáy khí Karman. Chính vì vậy để phán định một dao động có phải là dao động do xoáy khí hay không thì cần phải xem tần số dao động của xoáy khí xuất hiện phía sau vật thể có bằng tần số dao động của vật thể hay không.



Hình 15 Hiện tượng đồng kỳ trong dao động do xoáy khí

- Vận tốc gió phát sinh dao động: Như đã trình bày ở trên, vì dao động do xoáy khí là hiện tượng đồng kỳ nên nếu chúng ta tăng dần vận tốc gió lên thì vận tốc gió U_{cr} mà tại đó dao động bắt đầu phát sinh có thể tính theo công thức (28) trong đó tần số dao động của xoáy khí được thay bằng tần số dao động riêng của kết cấu.

$$U_{cr} = \frac{f_0 \cdot d}{S_t} \quad (29)$$

- Vận tốc gió qui đổi (reduced wind speed): Trong công thức (29), U_{cr} sẽ luôn thay đổi phụ thuộc vào cả hai giá trị f_0 và d . Như vậy, khi điều kiện thay đổi sẽ khó so sánh giữa các vận tốc gió phát sinh. Bởi vậy, để tiện so sánh, người ta đưa vào một đại lượng vận tốc gió không có thứ nguyên được gọi là vận tốc gió qui đổi V_r . Vận tốc gió qui đổi được định nghĩa theo công thức sau

$$V_r = \frac{V}{f_0 \cdot d} \tag{30}$$

Dùng khái niệm vận tốc gió qui đổi, có thể biểu diễn vận tốc gió phát sinh dao động qui đổi như sau

$$V_{r,cr} = \frac{V_{cr}}{f_0 \cdot d} = \frac{1}{S_t} \tag{31}$$

Ví dụ đối với trụ tròn chúng ta luôn có $V_{r,cr} = 5$, giá trị này là nghịch đảo của số Strouhal, không phụ thuộc vào độ lớn của mặt cắt cũng như tần số dao động riêng của trụ.

c) Dao động do gió-mưa

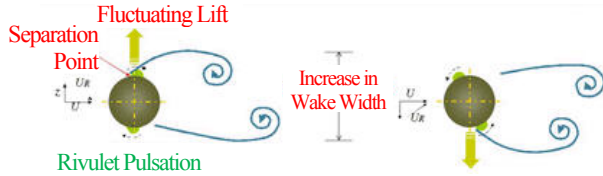
Hiện tượng dao động này thường phát sinh tại cáp xiên của cầu dây văng trong điều kiện có gió và mưa. Hiện tượng này được phát hiện đầu tiên bởi Hikami và Shiraishi (1987) tại cầu dây văng Meiko-Nishi (Nhật Bản), sau đó nó còn quan trắc được tại nhiều cầu khác trên thế giới.

Các thí nghiệm hầm gió đã chỉ ra rằng việc hình thành các đường nước nhỏ chạy dọc theo cáp xiên tại bề mặt trên và dưới của ống bọc cáp là một yếu tố rất quan trọng dẫn đến dạng dao động khí lực học này. Sự hình thành các đường nước này sẽ làm thay đổi hình dạng mặt cắt của cáp, vị trí của đường nước cũng thay đổi cùng với dao động của cáp và nó sẽ gây ra một sự biến đổi mang tính chu kỳ trong các lực khí động học tác dụng, kết quả là gió sẽ cung cấp năng lượng cho dao động. Dao động do gió-mưa có những đặc tính như sau:

- Xảy ra khi ống bọc cáp có bề mặt trơn nhẵn, ví dụ như ống PE.
- Xảy ra với vận tốc gió không cao (6-18 m/s) và với hướng gió thổi nghiêng khoảng 20° đến 60° so với mặt phẳng cáp xiên. Dải vận tốc gió nói trên chính là điều kiện để duy trì vị trí của đường nước tại phía trên của bề mặt cáp.
- Dễ chịu ảnh hưởng của rối của dòng khí, sẽ không phát sinh dao động khi cường độ rối vào khoảng 15%.
- Xảy ra với các mode thấp (thường từ mode 1 đến mode 3), với tần số dao động thường là nhỏ hơn 3 Hz.
- Tăng giảm chấn cơ học sẽ làm giảm biên độ dao động. Khi giảm chấn cơ học có logarithmic decrement damping $\delta = 0.020 - 0.030$ thì có thể ngăn được việc dao động

phát sinh.

- Biên độ dao động rất lớn (0.25m đến 1.0m), trong một số trường hợp dẫn đến sự va chạm lẫn nhau giữa các cáp cạnh nhau.



Hình 16 Hiện tượng dao động do gió-mưa

Dựa trên các quan trắc thực tế và các kết quả thí nghiệm, trong “Recommendations For Stay Cable Design, Testing And Installation” được phát hành bởi viện nghiên cứu PTI (Post-Tensioning Institute) của Mỹ, người ta đưa ra một tiêu chuẩn đối với số Scruton (Scruton number) như sau:

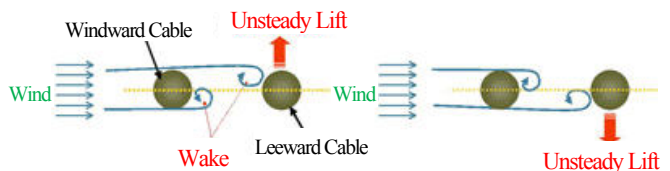
$$\frac{m\zeta}{\rho D^2} > 10 \tag{32}$$

Dùng công thức (32) có thể xác định được độ lớn của giảm chấn kết cấu cần thiết phải bố trí cho cáp xiên để không chế dao động do gió mưa xuống dưới mức gây ra ảnh hưởng xấu cho cáp.

Vì dao động do gió-mưa rất nhạy cảm với độ ráp của bề mặt ống bọc cáp nên một biện pháp rất hữu hiệu để không chế dao động này là xử lý bề mặt làm sao để các đường nước nhỏ không hình thành được trên ống bọc cáp. Phương pháp này đã được áp dụng thành công tại nhiều cầu dây văng trên thế giới.

d) Dao động phía cuối gió

Dao động này quan sát được ở cấu kiện nằm phía cuối gió (leeward structure) trong những kết cấu được bố trí song song như các cáp đôi (parallel cable) hoặc các dầm đôi (parallel girder). Như minh họa trong hình 17, khi hai cấu kiện được bố trí song song, dòng khí rối (wake) được tạo ra ở phía sau của cấu kiện nằm phía đầu gió (windward structure) sẽ gây ra dao động với biên độ lớn tại cấu kiện nằm phía cuối gió (leeward structure).



Hình 17 Hiện tượng dao động phía cuối gió

Từ các quan trắc thực nghiệm, người ta thấy dao động phía cuối gió có những đặc tính sau:

- Xuất hiện với các mode dao động tương đối thấp như mode 1 hoặc mode 2.
- Xuất hiện trong phạm vi vận tốc gió rộng, bắt đầu xuất hiện khi vận tốc gió còn tương đối nhỏ, sau đó dao động được duy trì liên tục đến một vận tốc gió tương đối cao.

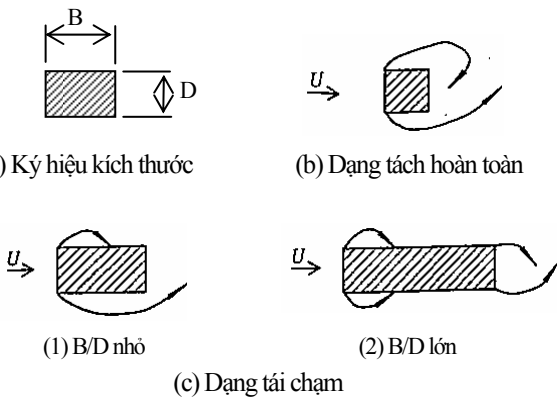
Để khống chế dao động phía dưới gió, về mặt phương pháp thì có thể áp dụng phương pháp mang tính khí lực học (ví dụ như gia công bề mặt của cáp để không làm phát sinh ra lực đẩy bất định thường (Unsteady Lift) tác dụng vào cáp nằm ở phía dưới gió) hoặc phương pháp mang tính kết cấu (ví dụ như bố trí các thiết bị giảm chấn). Tuy nhiên, tại thời điểm hiện nay, trong hai phương pháp trên thì phương pháp thứ nhất vẫn chưa có đầy đủ các số liệu thực nghiệm để phán đoán tính khả năng của nó, phương pháp thứ hai thì vẫn chưa có một giá trị rõ ràng về độ giảm chấn cần thiết. Trên thực tế người ta thường sử dụng những biện pháp sau:

- Dùng miếng đệm (Spacer) để liên kết hai dây cáp.
- Điều chỉnh khoảng cách giữa hai dây cáp.

2) Dao động phát tán:

Trong dao động phát tán, phản ứng của kết cấu sẽ sinh ra các lực khí bất định thường bổ sung, các lực khí này sẽ làm cho phản ứng của kết cấu trở nên lớn hơn, đến lượt mình các phản ứng lớn hơn sẽ lại sinh ra các lực khí bất định thường lớn hơn. Quá trình này cứ tiếp diễn dẫn đến sự phát tán của dao động và phá hủy kết cấu. Vì có tác dụng tương hỗ giữa dao động và lực khí tác dụng nên dao động loại này còn được gọi là dao động tự kích (self-excited vibration).

Như đã nói ở trên, hình trạng của dòng khí khi thổi qua kết cấu có ảnh hưởng rất lớn đến các hiện tượng dao động gây ra bởi gió. Hai khái niệm cơ bản thường được dùng khi mô tả hình trạng của dòng khí là sự phân tách (separation) và tái chạm (reattaching), chúng được minh họa như trong hình 18. Đây cũng là sự khác nhau rất cơ bản giữa hai hiện tượng dao động (Galloping và Flutter) trong dao động phát tán.



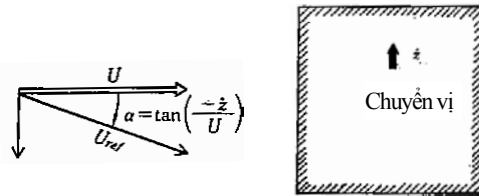
Hình 18 Dạng tách hoàn toàn và dạng tái chạm của dòng khí

a) Dao động phát tán theo phương uốn:

Đây là dạng dao động phát tán theo phương vuông góc với dòng khí với biên độ dao động lớn. Các kết quả nghiên cứu cho thấy dạng dao động này xảy ra với những vật thể có mặt cắt dạng tách hoàn toàn (với B/D=0.7-3.0). Khi tỷ lệ B/D lớn hơn khoảng giá trị trên, ảnh hưởng của tái chạm trở nên lớn hơn và dao động phát tán theo phương uốn sẽ không xảy ra.

Dao động phát tán theo phương uốn thường được giải thích bằng lý thuyết chuẩn định thường (quasi-steady theory). Trong lý thuyết chuẩn định thường, người ta giả thiết trạng thái chuyển động của vật thể là rất chậm, và do đó lực khí phát sinh sẽ có những đặc tính giống như lực khí khi vật thể đứng im và có thể dùng cùng một công thức để tính. Trong hình 15, U là vận tốc gió, giả thiết vật thể chuyển động lên phía trên với vận tốc \dot{z} nhỏ. Nếu chúng ta thay đổi điểm nhìn, tức là nhìn từ vị trí vật thể, khi đó có thể coi như chúng ta đứng im và dòng khí chuyển động xuống phía dưới với vận tốc $-\dot{z}$. Như vậy, có thể xem như dòng khí thổi vào vật thể theo một góc tới là $\alpha = \tan(-\dot{z}/U)$. Lực gió tĩnh tác dụng vào vật thể trong trường hợp có góc tới sẽ bao gồm hai thành phần là lực đẩy P_D và lực nâng P_L . Lực tác dụng theo phương thẳng đứng sẽ là

$$L = P_L \cos \alpha + P_D \sin \alpha \tag{32}$$



Hình 19 Áp dụng lý thuyết chuẩn định thường Dùng khai triển Taylor (Taylor Expansion) cho hàm L ở trên, vì góc α nhỏ nên những đại lượng có bậc của α từ 2 trở lên có thể bỏ qua, khi đó L sẽ được biểu diễn như sau

$$L \approx P_{L,0} + \left(P_{D,0} + \frac{dP_L}{d\alpha} \Big|_{\alpha=0} \right) \alpha \approx P_{L,0} + \left(P_{D,0} + \frac{dP_L}{d\alpha} \Big|_{\alpha=0} \right) \left(-\frac{\dot{z}}{U} \right) \tag{33}$$

Áp công thức (33) vào phương trình dao động của vật thể theo phương thẳng đứng, chuyển thành phần ngoại lực có liên quan tới \dot{z} sang về trái và coi nó như một đại lượng giảm chấn, chúng ta thu được phương trình có dạng như sau:

$$M\ddot{z} + C_0\dot{z} + Kz = L = P_{L,0} + \left(P_{D,0} + \frac{dP_L}{d\alpha} \Big|_{\alpha=0} \right) \left(-\frac{\dot{z}}{U} \right)$$

$$M\ddot{z} + \left\{ C_0 + \left(P_{D,0} + \frac{dP_L}{d\alpha} \Big|_{\alpha=0} \right) / U \right\} \dot{z} + Kz = P_{L,0} \tag{34}$$

Chúng ta biết rằng điều kiện để dao động phát tán xảy ra là tổng giảm chấn (total damping) phải có dấu âm, tức là

$$C_0 + \left(P_{D,0} + \frac{dP_L}{d\alpha} \Big|_{\alpha=0} \right) / U < 0 \tag{35}$$

Lưu ý rằng trên thực tế giá trị của C_D thường rất nhỏ, như vậy từ công thức (35) chúng ta có điều kiện cần của Galloping là

$$\left(P_{D,0} + \frac{dP_L}{d\alpha} \Big|_{\alpha=0} \right) < 0 \quad (36)$$

Vì giá trị của lực đẩy luôn dương ($P_{D,0} > 0$) nên nếu xét công thức (36) một cách khái lược hơn nữa chúng ta có điều kiện để Galloping có khả năng xảy ra là

$$\left(\frac{dC_L}{d\alpha} \right)_{\alpha=0} < 0 \quad (37)$$

tức là độ dốc của hệ số lực nâng (được biểu diễn theo Radian) tại vị trí góc tới $\alpha = 0$ có giá trị âm.

b) Dao động tự kích (mất ổn định) khí động học:

Dao động này thường được phân ra thành mất ổn định khí động học xoắn (torsional flutter) và mất ổn định khí động học liên thành (bending-torsional flutter hay coupled flutter hay classical flutter) dựa theo dạng dao động. Một tai nạn được biết đến nhiều là phá hủy mất ổn định khí động học của cầu Tacoma Narrows. Trong mục này tác giả sẽ không trình bày các công thức tính toán với Flutter mà chỉ giải thích các khái niệm cơ bản. Để hiểu rõ hơn về bản chất của Flutter, bạn đọc có thể tham khảo mục c) (so sánh giữa dao động tự kích và dao động cưỡng bức).

• Mất ổn định khí động học xoắn:

Dạng dao động này, khác với dao động phát tán theo phương uốn, xảy ra ở những vật thể có mặt cắt dạng tái chàm. Phần lớn các dao động mất ổn định khí động học trong kết cấu cầu là dạng dao động này.

• Mất ổn định khí động học liên thành:

Dạng dao động này được nghiên cứu đầu tiên trong lĩnh vực chế tạo máy bay (mất ổn định khí động học của cánh máy bay) nên nó còn có tên gọi là classical flutter. Vì hai loại chuyển vị khác nhau cùng xảy ra nên dạng dao động này được gọi là mất ổn định khí động học liên thành (coupled flutter). Ngoài ra, vì dao động đồng thời xảy ra theo 2 phương xoắn và uốn nên nó còn có một tên gọi nữa là mất ổn định khí động học xoắn-uốn hoặc mất ổn định khí động học hai bậc tự do (bending-torsional flutter or two degree-of-freedom flutter). Có nhiều tên gọi nhưng chỉ là cùng một hiện tượng.

Khác với mất ổn định khí động học xoắn, mất ổn định khí động học liên thành xảy ra ở trạng thái không có sự phân tách của dòng khí khi thổi qua vật thể. Dạng dao động này xảy ra ở những mặt cắt có hình dẹt hơn so với mất ổn định khí động học xoắn. Thông thường trong kết cấu cầu, nó là hiện tượng sẽ xuất hiện sau khi mất ổn định khí động học xoắn đã được khống chế.

c) Dao động tự kích và dao động cưỡng bức khác nhau như

thế nào?

Cả dao động tự kích và dao động cưỡng bức đều là hai dạng dao động cơ bản trong động lực học công trình. Tuy nhiên, vì cách biểu diễn ngoại lực trong dao động tự kích phức tạp hơn nên nhiều người cảm thấy là dao động tự kích khó hiểu hơn. Để đơn giản bài toán, chúng ta xét hệ kết cấu chỉ có một bậc tự do như trong hình 12. Phương trình dao động của hệ này có thể viết như sau

$$M\ddot{x} + C_0\dot{x} + Kx = f \quad (37)$$

trong đó M, C_0, K lần lượt là khối lượng, hệ số giảm chấn và độ cứng của kết cấu. Dùng tỷ lệ giảm chấn (damping ratio) h và tần số dao động riêng (natural frequency) ω_0 có thể biểu diễn mối quan hệ giữa M, C_0 , và K như sau

$$C_0 = (2h\omega_0)M \quad K = (\omega_0)^2 M \quad (38)$$

Trong trường hợp dao động cưỡng bức, ngoại lực được quyết định không phụ thuộc vào tình trạng của dao động nên có thể giả định như sau:

$$f(t) = F_0 \exp(i\omega_E t) \quad (39)$$

Lời giải của phương trình (37), tức là phản ứng của kết cấu (sau một khoảng thời gian nhất định kể từ khi $f(t)$ bắt đầu tác dụng) sẽ có dạng như sau:

$$x(t) = \frac{\frac{F_0}{K}}{\left[1 - \left(\frac{\omega_E}{\omega_0} \right)^2 \right] + ih \left(\frac{\omega_E}{\omega_0} \right)} \exp(i\omega_E t) \quad (40)$$

Nếu $\omega_E = \omega_0$ thì sẽ xảy ra hiện tượng cộng hưởng (resonance), khi đó công thức (40) sẽ có dạng như sau:

$$x(t) = \frac{F_0}{ih} \exp(i\omega_E t) \quad (41)$$

Từ công thức (40) và (41) có thể nêu ra những đặc trưng của dao động cưỡng bức như sau

- Dao động sẽ xảy ra với tần số bằng tần số của ngoại lực.
- Khi xảy ra cộng hưởng, biên độ của dao động sẽ tỷ lệ nghịch với tỷ lệ giảm chấn h của kết cấu.

Trong trường hợp dao động tự kích, ngoại lực sẽ chịu ảnh hưởng trực tiếp của tình trạng dao động. Có thể dùng thành phần chuyển vị và vận tốc để biểu diễn ngoại lực một cách đơn giản, ví dụ như sau

$$f(t) = f_R x + f_I \dot{x} \quad (42)$$

Thay công thức (42) vào (37), chuyển về, ta có

$$M\ddot{x} + (C_0 - f_I)\dot{x} + (K - f_R)x = 0 \quad (43)$$

Phương trình (43) có dạng phương trình dao động không có

ngoại lực tác dụng. Ở đây, nếu xét đến mối quan hệ giữa dấu của hệ số giảm chấn và trạng thái dao động, chúng ta sẽ có

(1) Trường hợp $C_0 - f_I > 0$

Giảm chấn dương: dao động sẽ là dao động tắt dần.

(2) Trường hợp $C_0 - f_I = 0$

Tổng giảm chấn bằng 0: kết cấu sẽ dao động với một biên độ không thay đổi.

(3) Trường hợp $C_0 - f_I < 0$ (44)

Giảm chấn âm: biên độ dao động sẽ tăng dần.

Từ công thức (44), nếu dùng quan hệ về biên độ dao động chúng ta có thể giả định

$$f_I = C_0 + f_0(A_0 - A) \quad f_0, A_0 > 0 \quad (45)$$

Như vậy, nếu $A < A_0$ thì sẽ xảy ra trường hợp (3), nếu

$A = A_0$ thì sẽ xảy ra trường hợp (2), nếu $A > A_0$ thì sẽ

xảy ra trường hợp (1).

Nếu dùng quan hệ về vận tốc gió chúng ta có thể giả định

$$f_I = C_0 + f_0(U - U_0) \quad f_0, U_0 > 0 \quad (46)$$

Lúc này, nếu $U < U_0$ thì sẽ xảy ra trường hợp (1), nếu

$U > U_0$ thì sẽ xảy ra trường hợp (3). Điều này có nghĩa là

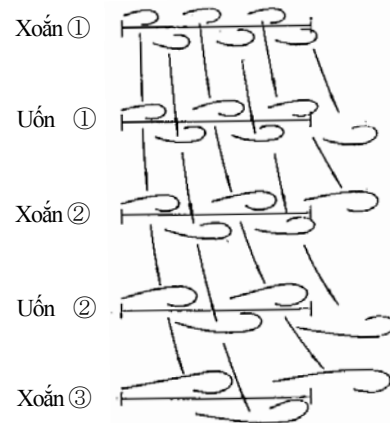
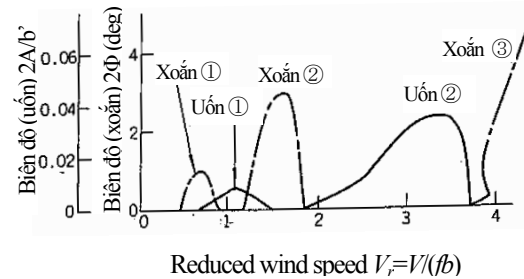
nếu vận tốc gió U vượt qua vận tốc gió U_0 thì đột nhiên

dao động sẽ chuyển sang dạng dao động phát tán. Đây chính là một đặc trưng của dạng dao động mang tính tự kích, khi vận tốc gió thấp hơn một giá trị vận tốc nhất định thì dao động không phát sinh, nhưng khi vận tốc gió vượt qua giá trị vận tốc này thì đột nhiên dao động xảy ra. Khi đó, tuy có thể có một vài trường hợp ngoại lệ nhưng trong đa số các trường hợp dao động gây ra bởi gió, do ảnh hưởng của lực khí f_R không lớn kết cấu sẽ dao động với tần số gần bằng tần số dao động riêng.

3) Giải thích về cơ chế của dao động khí lực học:

Hình 20 biểu thị mối quan hệ giữa các phản ứng dao động xoắn và uốn của một dầm mặt cắt hình chữ H và sự xuất hiện các xoáy khí trên bề mặt dầm. Trong hình vẽ, trục hoành là vận tốc gió qui đổi, trục tung là biên độ dao động. Chúng ta thấy rằng nếu vận tốc gió tăng dần lên thì các dao động xoắn và uốn sẽ lần lượt xuất hiện. Đồng thời cùng với sự tăng của vận tốc gió, số lượng các xoáy khí sẽ giảm đi. Về sự xuất hiện các xoáy khí trên bề mặt dầm, nếu các xoáy khí đối xứng với nhau qua một điểm thì dao động xoắn phát sinh, nếu đối xứng với nhau qua một trục (trục đối xứng của mặt

cắt dầm) thì dao động uốn phát sinh. Xoắn ① và ②, uốn ① và ② chính là các hiện tượng dao động do xoáy khí, xoắn ③ là hiện tượng mất ổn định khí động học xoắn. Như vậy về mặt bản chất, dao động do xoáy khí và mất ổn định khí động học là những hiện tượng dao động có cùng một cơ chế, sự khác nhau giữa chúng chỉ là số lượng xoáy khí xuất hiện trên bề mặt dầm và sự lệch pha giữa lực khí tác dụng và dao động của dầm.



Hình 20 Cơ chế của dao động khí lực học

Tài liệu tham khảo

- 1) Okauchi, K., Ito, M. và Miyata, T., *Kết cấu kháng gió*, Nhà xuất bản Maruzen, Nhật Bản, 1977.
- 2) Kubo, Y., Những kiến thức cơ sở về thiết kế kháng gió, *Tạp chí Cầu và Nền móng*, 89-8, pp. 112-120, 1989.
- 3) Yamada, H., *Tiếp cận với cơ học gió*, Nhà xuất bản Xây dựng, Nhật Bản, 1995
- 4) Hiệp hội cầu đường Nhật Bản, *Hướng dẫn thiết kế kháng gió cho cầu đường bộ*, 1991
- 5) Ủy ban quản lý xây dựng cầu Honshu-Shikoku, *Tiêu chuẩn thiết kế kháng gió cho kết cấu cầu*, 2001.
- 6) Phòng nghiên cứu về kết cấu và gió, Khoa Công trình, Trường Đại học Quốc gia Yokohama, Nhật Bản, *Báo cáo cuối cùng về Thí nghiệm hầm gió và Đánh giá ổn định khí động học của cầu chính Nhật Tân*, 2007.
- 7) Phạm Hoàng Kiên, *Nghiên cứu về sự mất ổn định của các cầu dây văng nhịp siêu lớn*, Luận văn Tiến sỹ,

