

Tính toán tải trọng động đất tương đương tác dụng lên công trình nhà: Sự giống và khác nhau trong các versions của UBC và IBC-2000

Trong các versions của tiêu chuẩn UBC thì công thức qui định về sự phân bố của tải trọng ngang tĩnh tương đương (equivalent static lateral forces) tác dụng lên công trình nhà là không thay đổi. Tải trọng ngang được giả định tác dụng ở các mức sàn của công trình nhà và thường thì càng lên cao (càng gần với mái) thì giá trị của nó càng lớn. Hơn nữa một lực tập trung F_t được quy định đặt thêm ở mức sàn mái khi chu kỳ dao động riêng cơ bản của hệ kết cấu T (fundamental natural period of vibration) lớn hơn 0,7 giây. Trong trường hợp đặc biệt khi trọng lượng và chiều cao của các tầng nhà là giống nhau thì sự phân bố của tải trọng ngang tương đương sẽ có dạng hình tam giác ngược nếu chu kỳ dao động T nhỏ hơn hoặc bằng 0.7 giây ($F_t = 0$), và có dạng hình tam giác ngược cộng thêm một lực tập trung ở trên đỉnh mái ($F_t > 0$) nếu chu kỳ dao động T lớn hơn 0.7 giây.

Về công thức để tính toán lực cắt nền (base shear force) hay độ lớn của lực động đất tương đương tác dụng lên công trình nhà thì có sự thay đổi như sau.

Trong UBC-91 và UBC-94 thì lực cắt nền được tính là $V_b = C_s.W = C_e/R_w.W = Z.I.C.W/R_w$ (công thức 1) trong đó $C = 1,25S/T^{2/3}$ (chú ý T mũ $2/3$). Về ý nghĩa và giá trị thực hành của các thông số trong công thức tính toán lực cắt nền đã được nói rõ trong tiêu chuẩn (Thư viện Bộ Xây Dựng, 37 Lê Đại Hành cũng có những tiêu chuẩn này). Trong công thức trên thì C_s = hệ số lực cắt nền (base shear coefficient) hay có ý nghĩa là tỷ số giữa gia tốc tương đương của sóng động đất tác dụng lên công trình và acceleration of gravity ($g = 9.807 \text{ m/s}^2$), T = chu kỳ dao động riêng cơ bản (bậc một), Z = hệ số vùng động đất (0.075 cho vùng 1; 0,15 cho vùng 2A; 0,2 cho vùng 2B; 0,3 cho vùng 3; và 0,4 cho vùng 4. Có lẽ một số vùng động đất của Việt Nam có thể coi tương ứng với vùng 1, 2A, hay 2B), I = hệ số tầm quan trọng của công trình, W = tổng trọng lượng nhà, R_w = hệ số giảm tải của kết cấu chảy dẻo, S = hệ số nền đất (đây là hệ số khó xác định nhất, và cũng là chỗ để mỗi nước tạo ra những cái riêng của họ!).

Vấn đề ảnh hưởng của nền đất (hệ số nền S) trong việc tính toán lực cắt nền đã được xem xét và quy định trong thực hành từ UBC-76. Trong thời gian đó thì hệ số S được tính toán phụ thuộc vào tỉ số T/T_s trong đó T = chu kỳ dao động riêng cơ bản của kết cấu và T_s = chu kỳ trội của nền đất (characteristic site period). Giá trị thực hành tính toán của hệ số S trong UBC-76 đã được qui định từ 1 đến 1.5. Việc xác định hệ số S phụ thuộc vào tỷ số T/T_s đã được dùng cho đến UBC-85.

Trong UBC-85 thì một phương pháp mới khác để xác định hệ số S đã đồng thời được sử dụng. Thay vì phụ thuộc vào tỉ số T/T_s thì hệ số S trong phương pháp mới này đã được xác định dựa trên 3 loại nền đất (soil profile types) được phân loại là rock, deep soil, và soft soil, tương ứng với các hệ số $S_1 = 1.0$, $S_2 = 1.2$, và $S_3 = 1.5$. Phương pháp mới này (dựa trên việc phân loại nền đất, thay vì phụ thuộc vào tỉ số T/T_s) đã được duy trì và phát triển thêm ở các versions tiếp theo như UBC-88, UBC-91, UBC-94, và UBC-97. Nhưng càng ở các versions sau thì việc phân loại và tính toán càng chi tiết và có phần "an toàn" hơn.

Hiện nay khái niệm T_s (characteristic site period) vẫn đang được một số người quan tâm để nghiên cứu về sự khuếch đại dao động của hệ một bậc tự do (single-degree-of-freedom system) làm việc phi tuyến so với hệ làm việc tuyến tính. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng hệ số khuếch đại dao động (displacement amplification factor) là khá lớn (lớn hơn 1) khi T/T_s nhỏ hơn 1 (hay $T < T_s$) và là không đáng kể (xấp xỉ bằng 1) khi $T/T_s > 1$ hay $= 1$...

So với UBC-85 thì ở UBC-88 có phân loại thêm một loại đất mới có tên là very deep soft soil, và hệ số nền đất tương ứng là $S_4 = 2.0$. Việc kể thêm trường hợp nền đất mềm và có bề dày rất lớn này là hậu quả của trận động đất ở Mexico năm 1985 (Tham khảo bài 2: Tải trọng động đất và tải trọng gió bão tác dụng lên công trình nhà khác nhau như thế nào?). Việc phân loại nền đất này vẫn được giữ nguyên ở trong các UBC-91 và UBC-94 (tổng cộng gồm 4 loại đất). Như vậy sau khi có được các giá trị của S_1 , S_2 , S_3 , và S_4 thì từ công thức 1 ở trên ta sẽ tính toán được các giá trị lực cắt nền V_b .

So với UBC-88, UBC-91, và UBC-94 thì trong UBC-97 đã có thêm 2 loại đất mới nữa, đó là hard rock và soils requiring site-specific evaluation hay còn gọi là đất rất yếu có cấu trúc phức tạp (liquefiable soils, weakly cemented soils, highly organic clays, very thick soft clays, ...). Như vậy tổng cộng có 6 loại đất được phân loại ở UBC-97 và được ký hiệu lần lượt là Sa, Sb, Sc, Sd, Se, và Sf. Việc phân loại nền đất có thể dựa theo các đặc trưng tính toán của nền đất như: giá trị tính toán của vận tốc sóng cắt trung bình (average shear wave velocity), average standard penetration blow count, average undrained shear strength, ...

Ngoài ra về hình dạng công thức để tính toán lực cắt nền trong UBC-97 cũng có sự thay đổi: Đối với trường hợp chu kỳ dao động riêng là ngắn (hay trong phạm vi gia tốc không đổi trên biểu đồ phổ phản ứng thiết kế) thì $V_b = 2.5C_a.I.W/R_w$ (công thức 2), và đối với trường hợp chu kỳ dao động riêng là dài (hay trong phạm vi vận tốc không đổi) thì $V_b = C_v.I.W/(R_w.T)$ (công thức 3) trong đó C_a và C_v được gọi là hệ số địa chấn (seismic coefficients) và được xác định phụ thuộc vào hệ số vùng động đất Z (gồm có 5 vùng như đã nói ở trên) và loại nền đất (gồm có 5 loại, trừ loại thứ 6 là đất rất yếu có cấu trúc phức tạp).

Như vậy trong UBC-97 thì ảnh hưởng của nền đất đã được kể đến thông qua hai hệ số C_a và C_v ở công thức 2 và 3. Đây là một sự khác biệt lớn của UBC-97 so với các versions trước khi kể đến ảnh hưởng của nền đất, đó là trong phạm vi chu kỳ dao động ngắn thì hệ số C_a (hay lực cắt nền S_b) thay đổi không những theo hệ số vùng chấn động Z mà cả theo loại nền đất (trong UBC-94 và các versions trước thì S_b chỉ phụ thuộc vào vùng chấn động Z , và không phụ thuộc vào loại nền đất). Chẳng hạn đối với vùng động đất 2B (vùng động đất trung bình có giá trị $Z = 0.2$) thì giá trị của $C_a = 0.28$ cho loại đất thứ 4 (stiff soil, ký hiệu là Sd) và $C_a = 0.34$ cho loại đất thứ 5 (soft soil, ký hiệu là Se). Cũng trong vùng động đất 2B này thì giá trị của $C_v = 0.4$ cho loại đất thứ 4 và $C_v = 0.64$ cho loại đất thứ 5.

Đối với hai loại đất thứ 1 (hard rock, ký hiệu là Sa) và loại thứ 2 (rock, ký hiệu là Sb) thì giá trị của C_a và C_v được qui định trong UBC-97 là bằng nhau. Thực tế trong trường hợp này thì C_a có phần lớn hơn C_v một chút (nhưng không đáng kể), vì khi nền đất càng cứng thì thành phần sóng động đất có chu kỳ ngắn truyền trong nó càng nhiều. Nhưng đối với các loại đất khác (mềm hơn) thì được qui định $C_v > C_a$, hay nói một cách khác là ảnh hưởng của nền đất trong trường hợp chu kỳ dao động riêng của kết cấu là dài (hay trong phạm vi vận tốc không đổi trên biểu đồ phổ phản ứng thiết kế) là lớn hơn trong trường hợp chu kỳ dao động riêng của kết cấu là ngắn (hay trong phạm vi gia tốc không đổi).

Ảnh hưởng của loại vết đứt gãy (fault type) và khoảng cách từ công trình xây dựng đến vết đứt gãy (distance closest to fault) cũng đã được kể đến ở UBC-97 thông qua hai hệ số N_a và N_v (near-source factors for short and long periods). Nhưng ảnh hưởng này chỉ được kể đến đối với vùng động đất thứ 4 (vùng động đất mạnh nhất có hệ số $Z = 0.4$) vì thực tế là các vết đứt gãy lớn thường chỉ xuất hiện khi động đất mạnh xảy ra. Ở Việt Nam có lẽ vấn đề này chỉ cần kể đến một chút cho những công trình rất quan trọng khi phải đặt gần với vết đứt gãy mà có thể xảy ra!

Giá trị của N_a và N_v trong UBC-97 được qui định là lớn hơn hoặc bằng 1. Như vậy có thể coi ảnh hưởng của nền đất được biểu hiện qua tích của hai hệ số $C_a.N_a$ và $C_v.N_v$. Trong vùng động đất thứ 4 thì N_a và N_v là lớn hơn hoặc bằng 1, còn trong 4 vùng động đất nhỏ hơn khác thì $N_a = N_v = 1$. Cũng trong vùng động đất thứ 4 thì giá trị của C_v (trong phạm vi chu kỳ dao động dài) được qui định không được nhỏ hơn 0.32, hay từ công thức 3 ta có $V_b \geq 0.32N_v.I.W/R_w$. Ngoài ra đối với tất cả các vùng động đất (từ 1 đến 4) thì $V_b \geq 0.11C_a.I.W$. Nói chung về vấn đề ảnh hưởng của vết đứt gãy và cả nền đất yếu đến dao động của công trình còn khá là phức tạp và hiện nay vẫn còn đang bàn luận khá sôi nổi!

Giá trị của N_a và N_v trong UBC-97 cho vùng động đất thứ 4 là phụ thuộc vào hai yếu tố: fault type và distance closest to fault. Có 3 loại vết đứt gãy A, B, và C được phân loại tương ứng với độ lớn của động đất có thể xảy ra (magnitude) và mức độ hoạt động của vết đứt gãy theo năm (slip rate). Khoảng cách distance closest to fault (R) cũng được phân thành 3 loại khi tính N_a : R nhỏ hơn hay = 2 km, $R = 5$ km, và R lớn hơn hay = 10 km; và 4 loại khi tính N_v : R nhỏ hơn hay = 2 km, $R = 5$ km, R lớn hơn hay = 10 km, và R lớn hơn hay = 15 km. Chẳng hạn đối với trường hợp loại vết đứt gãy B và $R = 5$ km thì $N_a = 1$ và $N_v = 1.2$. Nhưng đối với trường hợp loại vết đứt gãy C (có $M < 6.5$ và slip rate < 2 mm/yr) thì cả 2 giá

trị N_a và N_v luôn đều bằng 1, không phụ thuộc vào giá trị R . Và khi khoảng cách R lớn hơn hay $= 15$ km thì cả N_a và N_v đều $= 1$, không phụ thuộc vào loại đất (sóng động đất được coi như far-fault motions). Trong các trường hợp này có nghĩa là ảnh hưởng của vết đứt gãy không cần phải kể đến ngay cả trường hợp trong vùng động đất thứ 4 (vùng động đất lớn nhất).

Ngoài các hệ số C_a và C_v thì trong công thức 3 của UBC-97 thì V_b được qui định là hàm của T (mũ bậc 1) chứ không phải là mũ bậc $2/3$ như ở công thức 1 của UBC-94 và các versions trước đó. Điều này có nghĩa là trong phạm vi vận tốc không đổi trên biểu đồ phổ phản ứng thiết kế (design response spectrum, hay biểu đồ quan hệ giữa phổ gia tốc và chu kỳ dao động của hệ một bậc tự do, được đề xuất bởi ông GS. Nathan M. Newmark của trường University of Illinois at Urbana-Champaign) thì tải trọng động đất quy định trong UBC-97 sẽ giảm nhanh hơn so với qui định trong UBC-91 và UBC-94 khi chu kỳ dao động của kết cấu tăng. Vấn đề giả định hàm quan hệ này như thế nào (chẳng hạn T mũ 1, hay mũ $2/3$, ...) có lẽ là chỗ để mỗi nước tạo ra những cái riêng của họ.

Nói chung trong tiêu chuẩn UBC-97 họ đã cung cấp rất cụ thể các hệ số (trong công thức 2 và 3) để tính toán cho từng trường hợp khác nhau. Và từ đó chúng ta cũng có thể thiết lập được biểu đồ phổ phản ứng dùng cho thiết kế (design response spectra, hay biểu đồ quan hệ giữa phổ gia tốc và chu kỳ dao động của hệ một bậc tự do) tương ứng cho từng loại đất và vùng địa chấn. Biểu đồ phổ phản ứng hiện nay cũng hay được dùng để đánh giá khả năng làm việc của kết cấu chịu tải trong động đất (Khi nào có điều kiện tôi sẽ viết thêm về vấn đề này sau)....

Ngoài tiêu chuẩn UBC, hiện nay ở Mỹ còn có thêm tiêu chuẩn IBC 2000 (International Building Code) mà nhiều người đang rất quan tâm. Trong tiêu chuẩn IBC 2000 này thì sự phân bố của tải trọng ngang tương đương (equivalent static lateral forces) có xu hướng gần với dạng dao động của kết cấu (việc đặt một lực tập trung ở mức sàn mái đã không được sử dụng). So với tiêu chuẩn UBC lực tác dụng ngang ở các mức sàn nhà có xu hướng tăng nhanh hơn khi càng gần mái (do kể đến ảnh hưởng của dạng dao động bậc cao). Hình dạng phân bố này cũng khá gần với hình dạng phân bố được quy định trong tiêu chuẩn xây dựng của Nhật Bản ban hành từ khoảng năm 1980 và ngày nay vẫn đang được sử dụng. Ngoài ra có một sự thay đổi lớn nữa là họ đã thiết lập được các bản đồ phân vùng cường độ động đất có thể xảy ra ứng với các xác suất 2% và 10% trong vòng 50 năm để nhằm xác định ảnh hưởng của nền đất... (sẽ nói thêm sau)

Nói chung tiêu chuẩn để thiết kế các công trình chống động đất vẫn còn nhiều vấn đề phải bàn và trong tương lai vẫn còn tiếp tục nhiều thay đổi. Nhưng theo tôi thì Mỹ, Nhật Bản, và New Zealand vẫn là những nước đi đầu và có nhiều đóng góp trong vấn đề thiết kế các công trình chống động đất. Những nước động đất khác thì còn đang phải chạy dài theo để sửa đổi cách tính toán cho phù hợp với điều kiện của họ, mặc dù cách làm của họ có phần biến hóa như thế nào đó (có thể là đơn giản hóa hay phức tạp hóa đi) để được thành "tài sản quốc gia".

Nhân tiện nói về tiêu chuẩn kháng chấn thì vừa qua tại hội nghị lần thứ 13 về động đất trên toàn thế giới (13th World Conference on Earthquake Engineering) được tổ chức ở Vancouver, Canada (4 năm tổ chức 1 lần, lần tới sẽ được tổ chức ở Ấn Độ) tôi có nghe thấy các bác engineers phản đối khá mạnh về việc các bác academics đang ngày càng làm cho tiêu chuẩn phức tạp thêm. Đọc tiêu chuẩn bây giờ ngày càng khó hiểu và mất thời gian! Họ cho rằng tiêu chuẩn hiện nay quá rườm rà, có nhiều chi tiết không cần thiết đưa vào, nên cắt bỏ bớt đi. Số trang nên giới hạn trong vòng khoảng 150 pages gì đó, bằng nửa so với hiện nay.... Không biết mọi người nghĩ thế nào về vấn đề này?

TS. Đinh Văn Thuật
Uni. of Tokyo
E-mail: dingh@eri.u-tokyo.ac.jp
31.8.2004