

PHÂN TÍCH TRẠNG THÁI ỨNG SUẤT VÀ BIẾN DẠNG TRONG ĐẬP BÊ TÔNG TRỌNG LỰC KHI XẢY RA ĐỘNG ĐẤT

EARTHQUAKE ANALYSIS OF CONCRETE GRAVITY DAMS

Lê Đình Hồng

Khoa Kỹ thuật Xây dựng - Trường Đại học Bách khoa TP HCM

BẢN TÓM TẮT

Trong vùng chịu ảnh hưởng của động đất, các công trình thủy lợi, đặc biệt là đập bê tông trọng lực, cần được tính toán, kiểm tra với tổ hợp lực đặc biệt trong đó có kể đến lực do động đất gây nên. Việc tính toán theo phương pháp giả tĩnh, trong đó lực động đất bằng tích của khối lượng đập dâng hoặc khối lượng nước tương ứng với áp lực thủy động nhân với gia tốc động đất, chỉ dùng trong thiết kế sơ bộ. Bài báo này giới thiệu việc sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn cùng với trường gia tốc động đất theo thời gian (time-history) và phổ phản ứng (response spectrum) để mô phỏng trạng thái ứng suất và biến dạng trong đập bê tông trọng lực khi xảy ra động đất.

ABSTRACT

In areas affected by earthquake, hydraulic structures, especially concrete gravity dams, must be designed to withstand the anticipated earthquake. The pseudo-static method, in which the inertia force equals the product of mass and ground acceleration, can be used only for the preliminary design. This report presents an application of the finite element method together with the acceleration time history as well as the response spectrum for simulating the earthquake behavior of a gravity concrete dam.

1. GIỚI THIỆU

Đập dâng nước được xây dựng trong vùng chịu tác động của động đất cần được thiết kế và kiểm tra bằng các phương pháp tính toán thích hợp nhằm bảo đảm không thiết kế quá lãng phí và cũng bảo đảm không xảy ra sự cố nghiêm trọng có ảnh hưởng đến phạm vi rộng lớn khi xảy ra động đất. Với phương pháp phần tử hữu hạn ta có thể phân tích chi tiết trạng thái ứng suất và biến dạng bên trong thân đập có xét đến tính chất cơ lý của nền đá. Ngoài ra ta cũng có thể phân tích được các điểm yếu cục bộ bên trong thân đập khi xảy ra động đất, mặc dù theo tính toán lý thuyết (phương pháp giả tĩnh: $F_{\text{động đất}} = \text{khối lượng đập} \times \text{gia tốc động đất}$ và lực được đặt tại trọng tâm đập) đập không bị trượt hay lật nếu vẫn còn nguyên khối, để từ đó có biện pháp gia cố cần thiết. Việc tính toán động đất có thể được thực hiện theo một trong hai cách: sử dụng trường gia tốc động đất theo thời gian (thực tế ghi nhận được hay giả định) hoặc phổ phản ứng; các dữ liệu này phụ thuộc vào đặc trưng động đất của vùng nghiên cứu, khoảng cách từ

vị trí đứt gãy đến vị trí xây dựng công trình, điều kiện địa chất nền bên dưới công trình.

2. TÓM TẮT LÝ THUYẾT

Phương trình chuyển động của vật thể nhiều bậc tự do được viết như sau [5, 6]:

$$[M]\{\ddot{q}(t)\} + [C]\{\dot{q}(t)\} + [K]\{q(t)\} = \{p(t)\} \quad (1)$$

trong đó: $[M]$ = ma trận khối lượng; $[C]$ = ma trận tắt dần liên quan đến khả năng làm tắt dần dao động của công trình; $[K]$ = ma trận độ cứng của công trình; $\{q(t)\}$, $\{\dot{q}(t)\}$, $\{\ddot{q}(t)\}$ = lần lượt là vector chuyển vị nút, vận tốc nút và gia tốc nút với N bậc tự do; và $\{p(t)\}$ = vector ngoại lực tác dụng vào công trình. Trong phương trình (1) số hạng đầu tiên trong vế trái là lực quán tính; số hạng thứ nhì là lực tắt dần được giả thiết tỷ lệ với vận tốc và số hạng thứ ba là lực đàn hồi.

Ở dạng dao động tự do (không có ngoại lực tác dụng và không có lực tắt dần), phương trình (1) trở thành

$$[M]\{\ddot{q}(t)\} + [K]\{q(t)\} = 0 \quad (2)$$

Bằng cách giả thiết lời giải của (2) có dạng

$$\{q(t)\} = \{\bar{q}\} \sin(\omega t + \theta) \quad (3)$$

trong đó $\{\bar{q}\}$ = biểu diễn hình dạng dao động của hệ thống (không phụ thuộc thời gian); ω = tần số dao động; và θ = pha của dao động. Thay (3) vào (2) và giải ta xác định được các tần số dao động ω_n (hay chu kỳ dao động $T_n = 2\pi/\omega$) cũng các như các vectơ hình dạng $\{\bar{q}\}$ được biểu diễn ở dạng ma trận hình dạng mode như sau:

$$[\Phi] = [\Phi_1 \quad \Phi_2 \quad \dots \quad \Phi_N] = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \dots & \phi_{1N} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \dots & \phi_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \phi_{N1} & \phi_{N2} & \dots & \phi_{NN} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Nếu vectơ chuyển vị thực của hệ thống được mô tả như là một tổ hợp của các vectơ hình dạng mode

$$\{q(t)\} = [\Phi] \{Y(t)\} \quad (5)$$

sử dụng một số phép toán chuẩn hoá thì phương trình (1) có thể được viết lại ở dạng các phương trình vi phân thường độc lập với nhau trong hệ tọa độ mode như sau

$$\ddot{Y}_n + 2\omega_n \xi_n \dot{Y}_n + \omega_n^2 = P_{nJ} \ddot{q}_{sJ}(t) \quad (6)$$

trong đó: n = bậc tự do thứ n ; ξ_n = hệ số tắt dần (thường lấy bằng 0,05); $\ddot{q}_{sJ}(t)$ = gia tốc động đất theo phương J ; và P_{nJ} = thừa số tham gia vào mode dao động thứ n theo phương J (chỉ một phần khối lượng của bậc tự do thứ n tham gia vào mode dao động thứ n theo phương J nào đó).

Phương trình (6) có thể được giải để xác định chuyển vị của các bậc tự do theo thời gian khi biết trường gia tốc động đất (time history) theo thời gian.

Hoặc ta cũng có thể xác định được phản ứng lớn nhất ứng với từng mode dao động mà không cần giải phương trình (6) khi biết phổ phản ứng của công trình (response spectrum), biểu diễn quan hệ giữa phản ứng cực đại và tần số.

3. ÁP DỤNG

Việc tính toán minh hoạ được thực hiện cho một đập dâng cao 50m, bề rộng đáy

40m, chiều sâu nước trước đập là 46m. Đập được xây dựng trên nền đá có tính chất cơ lý (modun đàn hồi và hệ số Poisson) được giả định tương tự như tính chất của bê tông thân đập). Sơ đồ tính toán bao gồm phần nền có chiều rộng bằng 3 lần chiều rộng đáy đập và chiều dày bằng 1,5 lần chiều cao đập [4] (Hình 1). Việc tính toán được thực hiện cho 1m chiều dài đập theo bài toán biến dạng phẳng (plane strain), sử dụng phần mềm SAP 2000 [7]. Miền tính toán được chia thành 468 phần tử với 528 nút và 988 bậc tự do. Trong tính toán phân tích mode chỉ xét 12 mode dao động đầu tiên.

Trong tính toán khối lượng riêng của nền được gán bằng không, điều này bảo đảm gia tốc dao động của nền bằng đúng với gia tốc của thông số nhập cũng như chỉ tính toán biến dạng và ứng suất phụ thêm do đập dâng và áp lực nước gây ra.

Trường gia tốc được giả định và lấy tỷ lệ từ trường gia tốc Elcentro (xây ra năm 1940 tại Mỹ với gia tốc cực đại là 0,32g), với gia tốc cực đại theo phương ngang và đứng lần lượt là 0,1g (Hình 2) và 0,07g (đây là gia tốc cực đại được Công ty Sweco International dùng khi tính toán các công trình thủy điện ở khu vực miền Trung, Việt nam) [1].

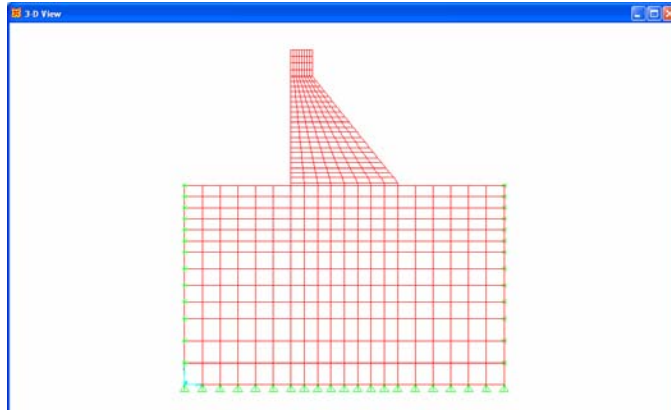
Phổ phản ứng xác định ứng với vùng có cấp động đất 0,1g theo phương ngang (Hình 3) và 0,07g theo phương đứng và nền đá tốt. Việc tính toán được thực hiện cho các tổ hợp sau:

- Trường hợp bình thường, có kể đến lực đẩy nổi (phân bố tuyến tính) tác dụng dưới đáy đập.
- Trường hợp động đất (không xét lực đẩy nổi tác dụng dưới đáy đập) và tính cho các bài toán sau:
 - ✓ Giả tĩnh: áp suất thủy động tính theo Westergaard [2]:

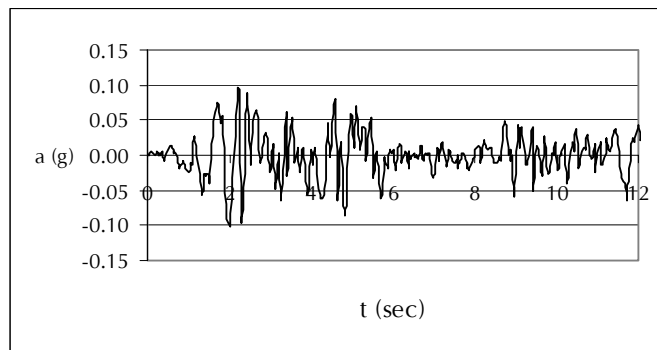
$$p_{td}(z) = \frac{7}{8} \gamma_n \sqrt{H(H-z)},$$

trong đó: H = chiều sâu nước trước đập; z = cao độ điểm tính toán kể từ đáy đập; và γ_n = trọng lượng riêng của nước. Lực quán tính do trọng lượng bản thân đập đặt tại trọng tâm đập.

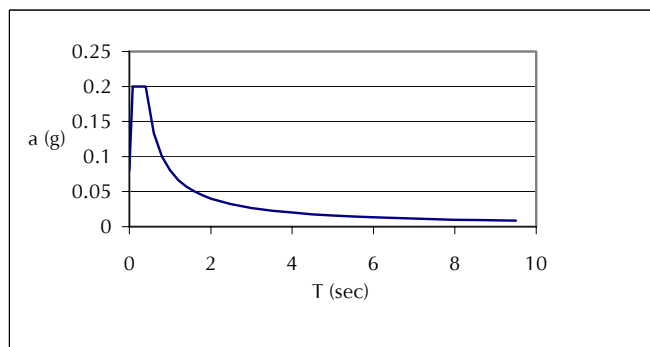
Hình 1: Sơ đồ tính toán



Hình 2: Trường gia tốc động đất theo phương ngang



Hình 3: Quan hệ gia tốc phổ theo phương ngang và tần số dao động



✓ Động lực học [2, 3, 4]: sử dụng trường gia tốc động đất và phổ phản ứng, và áp lực thủy động được tính toán bằng cách gán khối lượng bổ sung (added mass) cho các nút phía thượng lưu đập. Khối lượng bổ sung được xác định bằng cách dùng áp suất thủy động tính theo Westergaard chia cho gia tốc

trọng trường và quy về các nút, khi đó áp lực thủy động sẽ bằng khối lượng bổ sung này nhân với gia tốc tính toán của điểm nút tương ứng.

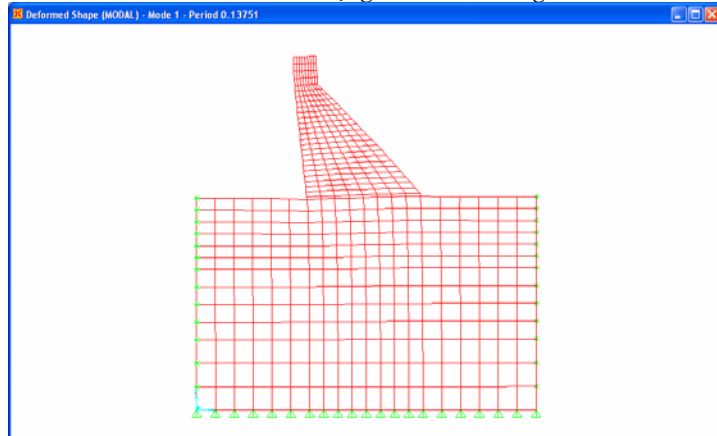
4. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

Một số kết quả tính toán được minh họa trong các hình 4 – 10 sau đây và ta có một vài nhận xét sau:

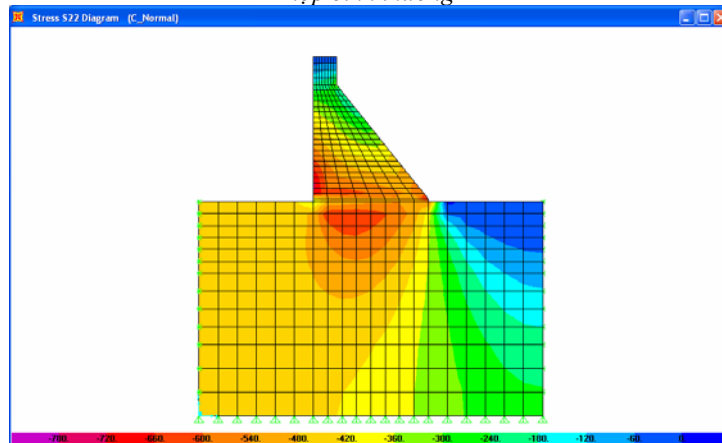
- ✓ Khối lượng đóng góp trong mode dao động thứ nhất chiếm 78,9%, tổng khối lượng đóng góp trong 12 mode dao động đầu tiên là 99,8% theo phương ngang và 99,7% theo phương đứng.
- ✓ Tần số dao động tự nhiên của công trình là $\omega = 45,7\text{rad/s}$ với chu kỳ dao động là $T = 0,1375\text{s}$ (khi chưa kể khối lượng bổ sung do áp lực thủy động các giá trị tương ứng là $\omega = 55,8\text{rad/s}$ và $T = 0,1126\text{s}$). Nghĩa là do tác dụng của áp lực thủy động dao động của công trình bị chậm lại (Hình 4).
- ✓ Trong trường hợp làm việc bình thường trong thân đập không xuất hiện ứng suất kéo (Hình 5).
- ✓ Khi xét đến động đất: phương pháp giả tĩnh cho kết quả quá an toàn so với phương pháp động lực học, nhưng phương pháp giả tĩnh lại không cho thấy các vị trí nguy hiểm trong thân đập nơi ứng suất kéo xuất hiện chẳng hạn tại vùng gần vị trí đập thay đổi tiết diện (Hình 9).
- ✓ Bảng 1 trình bày tóm tắt kết quả tính toán ứng suất theo phương đứng tại mép thượng lưu và hạ lưu đáy đập. Lưu ý là trong phương pháp động lực học dao động có thể xảy ra theo hai phương (+x và -x cũng như +z và -z) nên ứng suất có hai giá trị max và min. Kết quả tính theo phương pháp dùng time-history và response spectrum có chênh lệch do thông số đầu vào chưa tương ứng với cùng cấp động đất.
- ✓ Thông qua kết quả tính toán sự phân bố ứng suất và biến dạng trong thân đập ta có biện pháp gia cường cốt thép tại

những vị trí cần thiết (nơi ứng suất kéo xuất hiện khi xảy ra động đất) hoặc thay đổi tiết diện để không cho phép xuất hiện ứng suất kéo trong thân đập (nếu chứng tỏ được tính kinh tế của

Hình 4. Mode biến dạng cơ bản của công trình

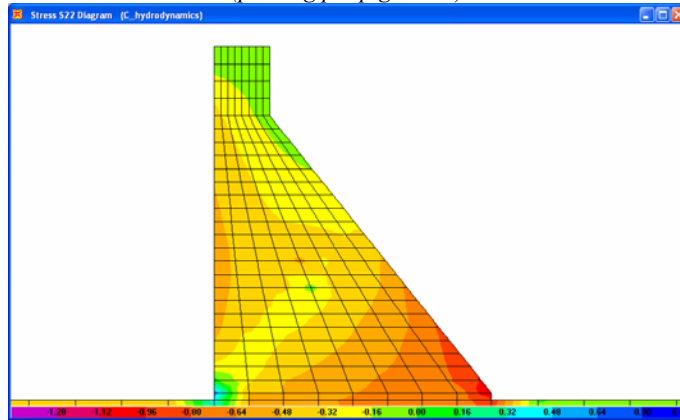


Hình 5. Phân bố ứng suất theo phương đứng trong đập và nền - trường hợp bình thường

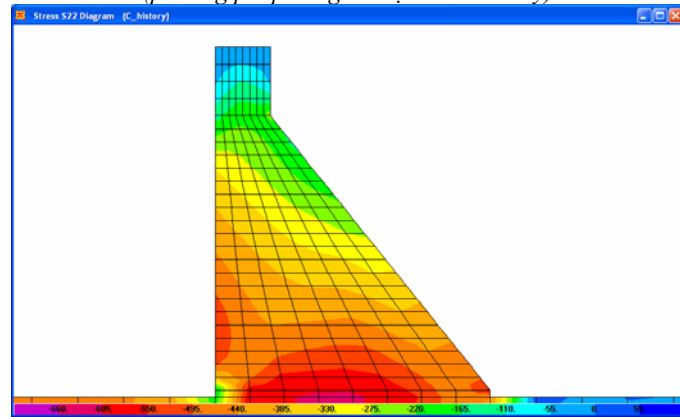


- biện pháp thay đổi tiết diện).
- ✓ Chuyển vị của đỉnh đập được khuếch đại nhiều lần so với chuyển vị của nền (Hình 10).

Hình 6. Phân bố ứng suất theo phương đứng - trường hợp động đất (phương pháp giả tĩnh)



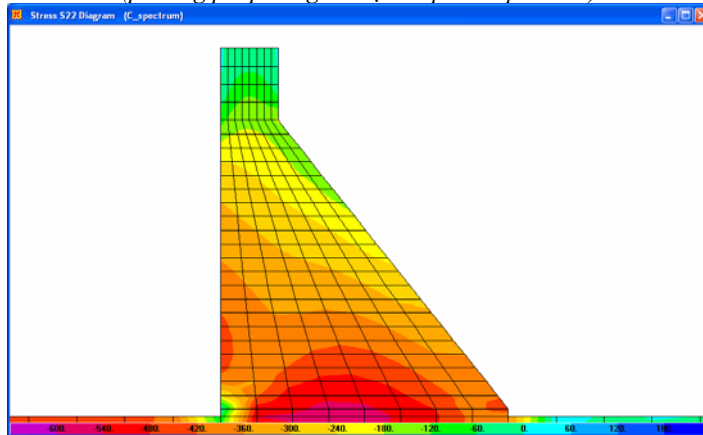
Hình 7. Phân bố ứng suất theo phương đứng - trường hợp động đất (phương pháp dùng dữ liệu time-history)



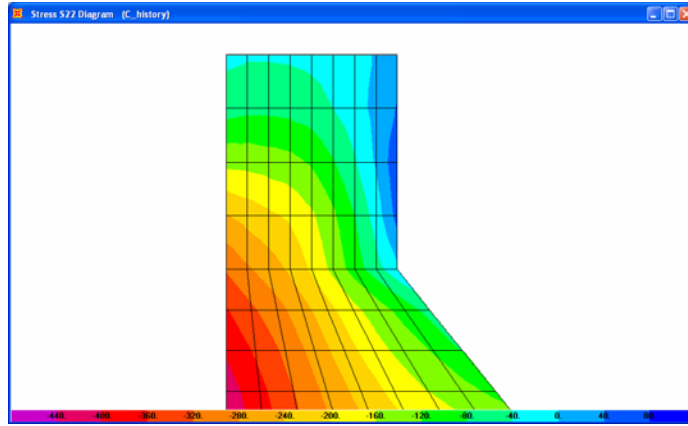
Bảng 1. Tóm tắt kết quả tính toán ứng suất tại mép thượng lưu và hạ lưu đáy đập

Phương pháp và trường hợp tính toán	Ứng suất max theo phương đứng (T/m ²)	
	Mép thượng lưu	Mép hạ lưu
Bình thường	-38,8	-68,5
Động đất (giả tĩnh)	+55,1	-111,2
Động đất (time-history)	-17,3 ÷ -105,6	-55,3 ÷ 85,0
Động đất (response spectrum)	+0,3 ÷ -120,3	-46,5 ÷ 90,5

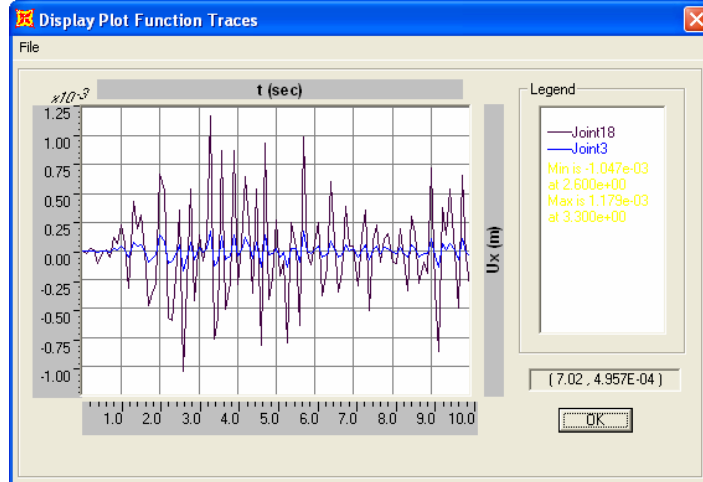
Hình 8. Phân bố ứng suất theo phương đứng - trường hợp động đất (phương pháp dùng dữ liệu response spectrum)



Hình 9. Phân bố ứng suất theo phương đứng tại vị trí tiết diện đập thay đổi - trường hợp động đất (phương pháp dùng dữ liệu time-history)



Hình 10. Chuyển vị ngang của đỉnh đập (nút 18) và nền đập (nút 3) theo thời gian



5. KẾT LUẬN

Bài báo này chỉ bước đầu đề cập các tính chất chính xác và ưu điểm của phương pháp phân tích trạng thái ứng suất và biến dạng trong thân đập bê tông trọng lực bằng cách sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn cùng với trường gia tốc động đất và phổ phản ứng trên cơ sở thông số đầu vào vào mạnh tính cách giả định. Điều cần nghiên cứu tiếp theo là xác định các thông số đầu vào ứng với vùng nghiên cứu cụ thể (trường gia tốc động đất hay phổ phản ứng), các cách mô phỏng khác đối với áp lực thủy động, ảnh hưởng của nền và khối nước phía thượng lưu đối với sự tắt dần dao động của đập dâng, cũng như phân tích chi tiết kết quả để có biện pháp xử lý thích hợp và tiết

kiệm trong thiết kế đập ở vùng chịu tác động của động đất, ...

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Sweco International. Design Memorandum, Final Report, Dynamic Analysis of a Dam Pier for Earthquake Loads (A Vuong Design Advisory Services). 2004.
2. US Army Corps of Engineers. Time-History Dynamic Analysis of Concrete Hydraulic Structures. 2003.
3. US Army Corps of Engineers. Response Spectra and Seismic Analysis for Concrete Hydraulic Structures. 1999.

4. US Army Corps of Engineers. Seismic Design Provisions for Roller Compacted Concrete Dams. 1995.
5. Clough, R.W. & J. Penzien. Dynamics of Structures. McGraw-Hill, 1993.
6. Costa, J.L.D. Standard Methods for Seismic Analyses. Report BYG-DTU R-064, Technical University of Denmark, 2003.
7. CSI Analysis Reference Manual for SAP2000, ETABS and SAFE, 2004.