

TÍNH TOÁN VAN CUNG CHỊU TÁC ĐỘNG CỦA ĐỘNG ĐẤT THEO TIÊU CHUẨN HOA KỲ

Vũ Hoàng Hưng, Vũ Thành Hải

Bộ môn Kết cấu công trình, Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Tài liệu “Thiết kế cửa van hình cung trong đập tràn - Kỹ thuật và thiết kế, EM 1110-2-2702” của Hoa Kỳ quy định khi tính toán van cung chịu tác động của động đất, áp lực thủy động do động đất sinh ra được tính theo công thức Westergaard và áp lực thủy động này được thay thế bằng khối lượng nước tương đương gắn vào bản mặt cửa van và cùng chuyển động với kết cấu van trong khi động đất. Hiện nay phần mềm SAP2000 có thể đáp ứng được yêu cầu tính toán này. Thông qua một ví dụ cụ thể để minh chứng việc áp dụng tiêu chuẩn EM 1110-2-2702 tính toán van cung chịu tác động của động đất là công việc có thể thực hiện một cách dễ dàng.

1. Đặt vấn đề

Dự thảo “**Tiêu chuẩn kỹ thuật thiết kế cửa van cung bằng thép công trình chống ngập Thành phố Hồ Chí Minh**” được biên soạn chủ yếu dựa vào tài liệu “**Thiết kế cửa van hình cung trong đập tràn - Kỹ thuật và thiết kế**” của Hoa Kỳ (Design of Spillway Tainter Gates - Engineering and Design, EM 1110-2-2702, 2000) do trong tiêu chuẩn có nhiều nội dung mới và tiên tiến so với tiêu chuẩn thiết kế van cung của các nước khác trên mấy phương diện sau:

Thứ nhất, về phương pháp tính toán: EM đã sử dụng phương pháp tính toán theo trạng thái giới hạn để tính bộ phận động của kết cấu van cung và phương pháp tính toán theo ứng suất cho phép đối với gối bản lề, các chi tiết cơ khí và thiết bị đóng mở, tương tự như quy định trong tiêu chuẩn thiết kế cửa van trong công trình thủy lợi của Nga, là phương pháp tính toán quen thuộc đã được sử dụng ở nước ta trong các cơ sở đào tạo, cũng như trong các cơ quan tư vấn thiết kế;

Thứ hai, về mô hình tính toán: EM yêu cầu tính toán van cung theo bài toán không gian để phản ánh đúng trạng thái làm việc thực tế của cửa van. Khi mô hình hóa bản mặt, dầm ngang và đứng liên kết với bản mặt có đường

trục không giao nhau, điều này cần phải được xem xét khi mô hình hóa kết cấu van;

Thứ ba, về tải trọng tác dụng vào cửa van: Ngoài các lực khác, EM yêu cầu xét tới lực ma sát trượt của vật chắn nước bên và ở gối bản lề khi tính toán nội lực và biến dạng của kết cấu van trong quá trình đóng mở, cũng như tính toán lực kéo van. Do lực ma sát ở gối bản lề lại phụ thuộc vào phản lực gối, nên cần tiến hành giải lặp. Điều này chưa đề cập tới trong nhiều tiêu chuẩn thiết kế van cung của nhiều nước;

Thứ tư, về xác định lực kéo van: EM tính toán lực kéo van bằng cách mô hình hóa van theo bài toán không gian, ở đây mômen cản do áp lực nước, do trọng lượng bản thân van và mômen cản do lực ma sát bên là đã biết, chỉ có mômen cản do lực ma sát ở gối bản lề là chưa được xác định, cần tiến hành giải lặp;

Thứ năm, về tác động của động đất: EM đề nghị áp lực thủy động do động đất sinh ra được tính theo công thức Westergaard và tác động của động đất E được xác định dựa trên hiệu ứng quán tính thủy động của nước, chuyển động cùng với kết cấu van khi động đất.

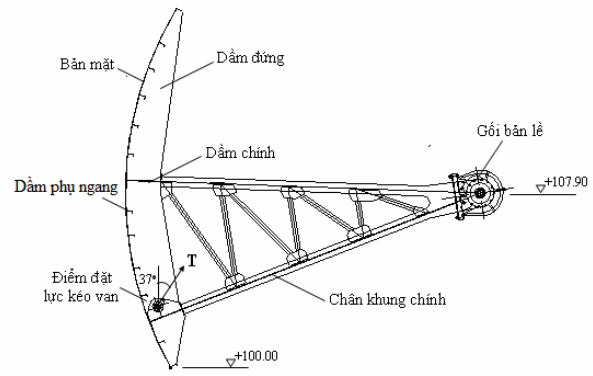
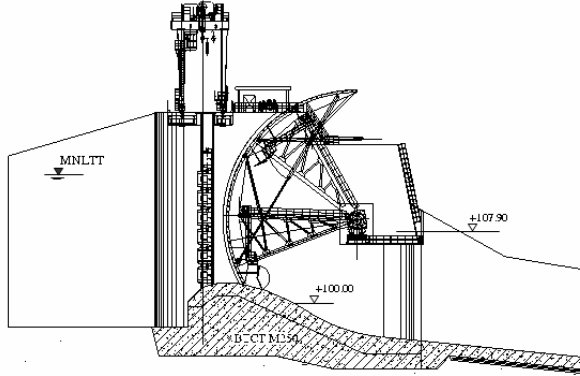
Vì những lý do trên mà tiêu chuẩn này đã được các tác giả chọn làm tài liệu tham khảo

chính để biên soạn dự thảo “*Tiêu chuẩn kỹ thuật thiết kế cửa van cung bằng thép công trình chống ngập Thành phố Hồ Chí Minh*”. Việc áp dụng tiêu chuẩn này trong thiết kế cửa van cung bằng thép thực hiện không mấy khó khăn nhờ các phần mềm tính toán kết cấu

chuyên dụng, trong đó phần mềm SAP2000 từ Version 10 trở lên có thể đáp ứng được các yêu cầu tính toán đã nêu trong tiêu chuẩn. Trong phạm vi bài báo này, các tác giả chỉ đề cập đến vấn đề tính toán cửa van cung bằng thép chịu tác động của động đất.

2. Số liệu tính toán

2.1. Bố trí tổng thể



Hình 1 - Bố trí tổng thể van cung trên đập tràn Hình 2 - Hình chiếu cạnh van cung

- Cao trình đáy van: + 100.00m
- Cao trình MNDBT: + 113.50m
- Cửa van đóng, đáy van hai đầu tựa vào trụ pin.

2.2. Cửa van

- Vật liệu thép CT38 có $E=2.1 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$; $\nu=0.3$; $\gamma=78 \text{ kN/m}^3$

- Nhịp tải trọng $L_t=15\text{m}$, khoảng cách giữa hai gối bản lề $L_o=13.8\text{m}$

- Bán kính bán mặt van $R=16\text{m}$, chiều dày bản mặt 20mm

- Dầm phụ ngang tiết diện chữ [N°30: $h=30\text{cm}$, $b_c=10\text{cm}$, $t_c=1.1\text{cm}$, $t_b=0.65\text{cm}$, các dầm phụ ngang đặt úp và có bản bụng theo phương bán kính của bán mặt

- Dầm đứng trong nhịp van tiết diện chữ T cánh phía hạ lưu, có chiều cao thay đổi, tại đỉnh và đáy bằng chiều cao dầm phụ ngang, tại vị trí dầm chính bằng chiều cao dầm chính, bản bụng bằng thép bản dày 20mm, bản cánh rộng 300mm, dày 30mm

- Dầm đứng hai đầu van dùng tiết diện chữ [có $h=600\text{mm}$, $b_c=300\text{mm}$, $t_c=20\text{mm}$, $t_b=10\text{mm}$, không thay đổi theo chiều cao, đặt quay vào phía trong nhịp

- Dầm chính tiết diện chữ I có $h=1400\text{mm}$,

- $b_c=500\text{mm}$, $t_c=30\text{mm}$, $t_b=20\text{mm}$, phần công xôn của dầm chính dài 2.5m, chiều cao dầm đoạn công xôn biến đổi tuyến tính, tiết diện đầu công xôn có kích thước $h=600\text{mm}$, $b_c=500\text{mm}$, $t_c=30\text{mm}$, $t_b=20\text{mm}$

- Công xôn dầm chính dài 2.5m, các dầm đứng ở giữa cách nhau 2.5m

- Chân khung chính tiết diện chữ I có $h=600\text{mm}$, $b_c=500\text{mm}$, $t_c=30\text{mm}$, $t_b=20\text{mm}$.

2.3. Tải trọng

- Động đất cấp 8 có gia tốc cơ sở lớn nhất $a_c=0.2g$

- Áp lực thủy động do động đất được xác định theo công thức Westergaard:

$$p = \frac{7}{8} \gamma_w a_c \sqrt{Hy}$$

- trong đó: p - Áp lực thủy động ngang ở khoảng cách $y(\text{m})$ dưới mặt nước, kN/m^2

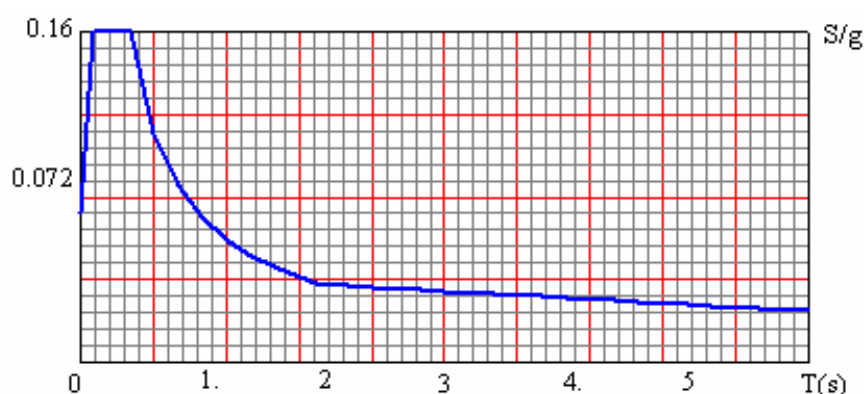
- $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ - Trọng lượng riêng của nước

- $H = 13.5\text{m}$ - Chiều sâu cửa cột nước tới ngưỡng cống

- Phổ phản ứng thiết kế được cung cấp cho ở bảng 1 và hình 3.

Bảng 1- Hàm phổ phản ứng thiết kế

Chu kỳ	0	0.1	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4
Gia tốc	0.072	0.16	0.16	0.1111	0.0858	0.0701	0.0595	0.0518
Chu kỳ	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3
Gia tốc	0.0459	0.0413	0.0376	0.0369	0.0363	0.0357	0.0350	0.0344
Chu kỳ	3.2	3.4	3.6	3.8	4	5	6	
Gia tốc	0.0337	0.0331	0.0325	0.0118	0.0312	0.0280	0.0248	



Hình 3 - Đường cong phổ phản ứng thiết kế

3. Mô hình hóa kết cấu van

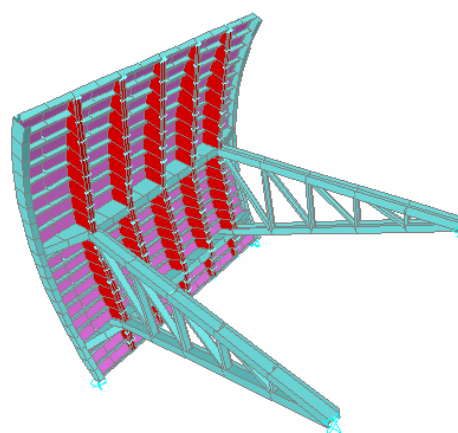
Bản mặt và dầm đứng giữa được mô hình hóa bằng phần tử Shell, dầm đứng hai đầu, dầm phụ ngang và các bộ phận còn lại được mô hình hóa bằng phần tử Frame. Mô hình phần tử hữu hạn của cửa van cung cho ở hình 4.

4. Áp lực nước tăng thêm do động đất

Để phù hợp với hệ tọa độ OXYZ có gốc tại đáy van đã dùng trong SAP2000 để mô hình hóa kết cấu van, ta chuyển công thức Westergaard tính áp lực thủy động do động đất dưới dạng sau:

$$p = \frac{7}{8} \gamma_w a_c \sqrt{H(H-y)} = \frac{7}{8} \gamma_w a_c \sqrt{Hz}$$

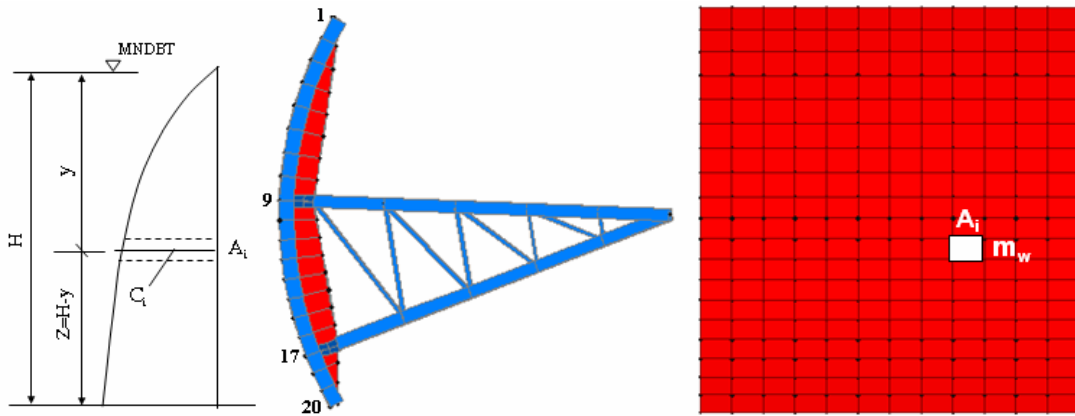
Lực động đất bao gồm lực quán tính của các khối lượng cửa van và lực thủy động do động đất tác dụng lên kết cấu van. Đối với trường hợp tải trọng 1, kết cấu van ngập trong nước, thì lực thủy động tác dụng lên cửa van được xác định dựa trên hiệu ứng quán tính thủy động của nước, chuyển động cùng với kết cấu van. Vậy với một phần tử bản mặt có



Hình 4 - Mô hình phần tử hữu hạn kết cấu van diện tích A_i chịu áp lực thủy động sẽ được thay thế bằng một khối lượng nước tương đương gắn vào phần tử đó và cùng chuyển động với kết cấu van khi chịu tác động của động đất, khối lượng này được xác định theo công thức sau:

$$m_w = \frac{7}{8} \gamma_w \sqrt{Hz_i} A_i = C_i A_i$$

trong đó: γ_w là khối lượng riêng của nước



Hình 5 - Khối lượng áp lực thủy động tương đương gắn vào bản mặt

5. Khối lượng nước tương đương

Khối lượng nước tương đương gắn vào mỗi phần tử diện tích bản mặt giả thiết phân bố đều có cường độ lấy tại tâm phần tử đó, giá trị C_i cho ở bảng 2.

Bảng 2 - Khối lượng nước tương đương

TT	H(m)	13.5	$C_i = m_w / A_i$	
	Nút	Z_i (m)	Z_{ci} (m)	C_i
1	20	0	0.35	11.66
2	19	0.69	1.04	11.35
3	18	1.39	1.75	11.02
4	17	2.11	2.50	10.67
5	16	2.88	3.27	10.29
6	15	3.65	4.05	9.89
7	14	4.44	4.84	9.46
8	13	5.24	5.64	9.01
9	12	6.04	6.45	8.54
10	11	6.85	7.26	8.03
11	10	7.66	8.07	7.49
12	9	8.48	8.98	6.84
13	8	9.48	9.96	6.05
14	7	10.44	10.93	5.16
15	6	11.41	11.89	4.09
16	5	12.36	12.83	2.63
17	4	13.30		

6. Chạy chương trình và khai thác kết quả

Sau khi gắn áp lực nước và khối lượng nước tương đương vào các phần tử của bản mặt, gắn liên kết đơn thẳng đứng tại hai điểm tựa ở đáy van và liên kết khớp có một trục quay nằm ngang tại gối bản lề, nhập phổ phản ứng thiết kế. Chạy chương trình và hiển thị

kết quả.

Tính toán chuyển vị ứng với tổ hợp lực:

$$TH7' = H3 + DEAD \pm E$$

và tính nội lực ứng với tổ hợp lực:

$$TH7 = 1.2H3 + 1.2DEAD \pm 1.0E$$

- **Chuyển vị:** Phổ màu chuyển vị ngang UX theo phương dòng chảy với tổ hợp lực TH7' được thể hiện trên hình 6. Giá trị chuyển vị lớn nhất $U1 = 0.031968m$ tại nút 41.

- **Ứng suất bản mặt:** Phổ màu ứng suất S11 cho ở hình 7, ứng suất S11Top có giá trị lớn nhất $75000.91kN/m^2$ ở phần tử 68, còn $65430.21kN/m^2$ là ứng suất trung bình tại nút 58, được định vị trên hình 7.

- **Nội lực dầm phụ ngang:** Dầm phụ ngang số 19 có giá trị mômen uốn M3 lớn nhất $-105.74kNm$ và biểu đồ lực cắt V2 tương ứng, được biểu diễn ở hình 8.

- **Ứng suất dầm đứng:** Phổ màu ứng suất S11 cho ở hình 9, dầm đứng giữa chịu lực lớn nhất trong các dầm đứng, ứng suất S11 có giá trị lớn nhất $131033.49kN/m^2$ ở phần tử 632, được định vị ở hình 9.

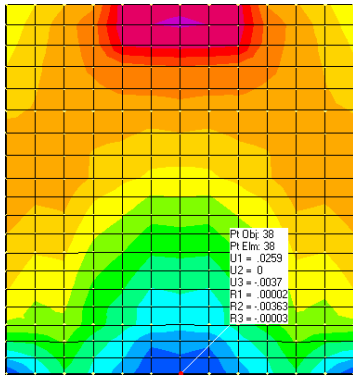
Biểu đồ nội lực trong dầm đứng biên được biểu diễn ở hình 10, mômen uốn, lực cắt và lực dọc có giá trị lớn tại vị trí các dầm chính $M3 = -658.10kNm$, $V2 = 512.90 kN$, $P = -1394.33kN$ ở phần tử 3.

- **Nội lực dầm chính:** Dầm chính dưới chịu lực lớn hơn dầm chính trên, từ hình 11 cho thấy mômen lớn nhất ở giữa nhịp

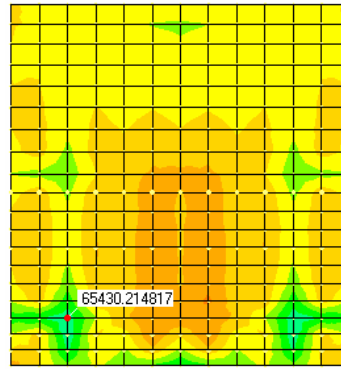
$M3=3564.29\text{kNm}$ và lực cắt lớn nhất tại chân van $V2=2724.79\text{kN}$ ở phần tử 273.

- **Chuyển vị và nội lực khung chính:** Khung chính dưới chịu lực lớn hơn khung trên, chuyển vị lớn nhất tại giữa dầm $U1=0.0209\text{m}$ cho ở hình 12. Chân khung

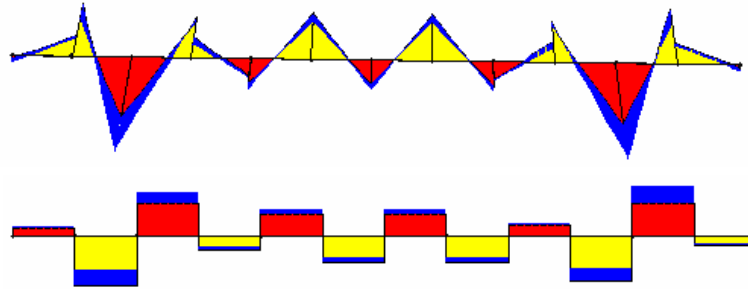
chính dưới chịu lực dọc đồng thời chịu mômen uốn $P=-6276.19\text{kN}$, $M2=39.49\text{kNm}$, $M3=-85.6853\text{kNm}$ ở phần tử 58 (xem hình 13 và hình 14). Giá trị nội lực của một số phần tử trong khung chính dưới ứng với TH7 cho ở hình 15.



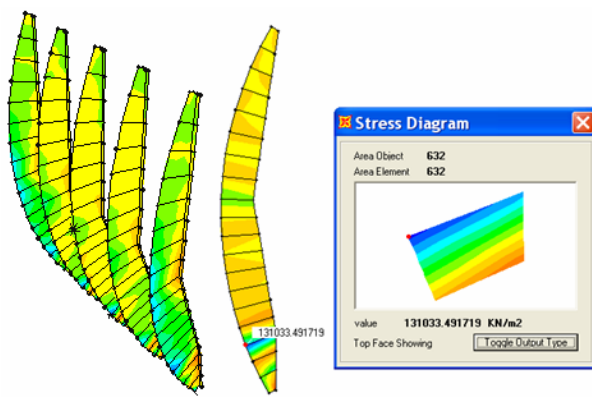
Hình 6 - Phổ chuyển vị UX (TH7)



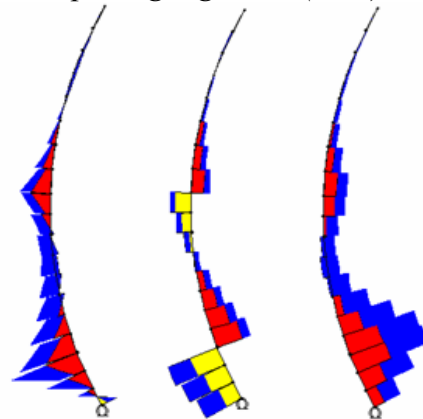
Hình 7 - Phổ ứng suất S11 của bản mặt van (TH7)



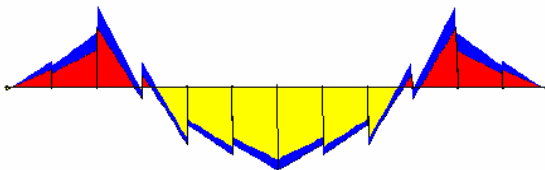
Hình 8 - Biểu đồ mômen uốn và lực cắt của dầm phụ ngang số 19 (TH7)



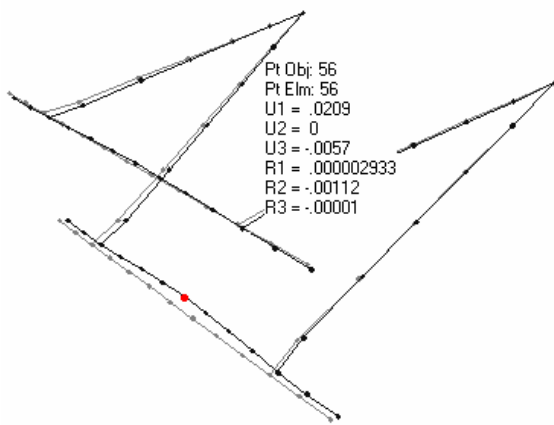
Hình 9 - Phổ ứng suất S11 của các dầm đứng giữa (TH7)



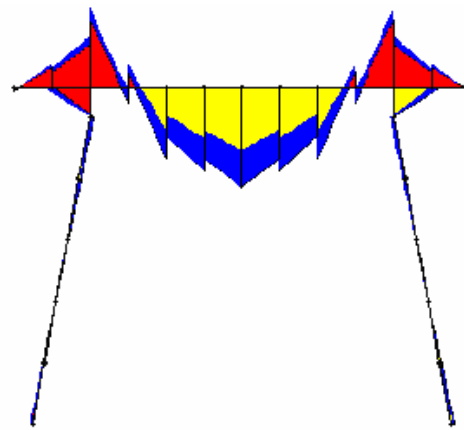
Hình 10 - Biểu đồ mômen uốn, lực cắt và lực dọc của dầm đứng biên (TH7)



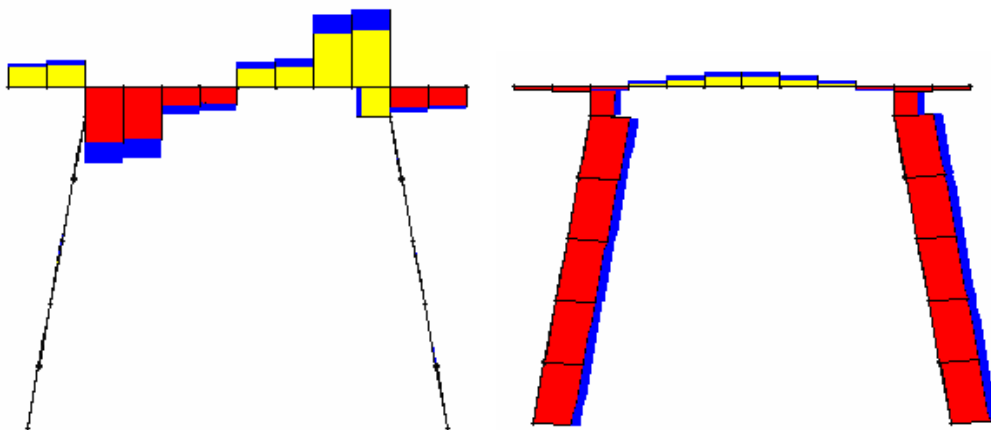
Hình 11 - Biểu đồ mômen và lực cắt của dầm chính dưới (TH7)



Hình 12 - Sơ đồ chuyển vị của khung chính (TH7)



Hình 13 - Biểu đồ mômen uốn M3 trong khung chính dưới (TH7)



Hình 14 - Biểu đồ lực cắt V2 và lực dọc P của khung chính dưới (TH7)

Element Forces - Frames									
File View Format-Filter-Sort Select Options									
Units: As Noted									
	Frame Text	OutputCase Text	StepType Text	P KN	V2 KN	V3 KN	T KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
▶	58	TH7	Min	-6216.794	-9.345	16.556	0.3132	39.4818	-85.6853
	58	TH7	Min	-6216.122	-9.345	14.807	0.3132	31.7555	-81.1474
	58	TH7	Min	-6215.449	-9.345	13.058	0.3132	24.8498	-76.6136
	58	TH7	Min	-6214.777	-9.345	11.308	0.3132	18.6001	-72.0847
	58	TH7	Min	-6214.104	-9.345	9.559	0.3132	11.3717	-67.5611
	58	TH7	Min	-6213.432	-9.345	7.809	0.3132	3.1755	-63.0437

Record: 1 of 368

Hình 15 - Giá trị nội lực của một số phần tử trong khung chính dưới (TH7)

7. Kết luận

Thông qua một ví dụ tính toán cụ thể có thể thấy rằng, phần mềm SAP2000 đáp ứng được yêu cầu tính toán van cung chịu tác động của động đất theo tiêu chuẩn Hoa Kỳ. Áp lực nước tăng thêm do động đất được thay thế bằng khối lượng tương đương gắn vào bản mặt cửa van và cùng chuyển động với kết cấu

van khi chịu tác động của động đất. Kết quả tính toán thể hiện rõ sự tăng thêm chuyển vị và nội lực trong các bộ phận kết cấu cửa van khi có động đất. Do đó việc tính toán cửa van có xét đến động đất đối với các công trình lớn ở Đồng bằng sông Cửu Long là rất cần thiết không nên bỏ qua.

Tài liệu tham khảo:

1. “Thiết kế cửa van hình cung trong đập tràn - Kỹ thuật và thiết kế” (Design of Spillway Tainter Gates - Engineering and Design, EM 1110-2-2701, 2000).
2. “Phân tích động lịch sử - thời gian kết cấu bê tông thủy công” (Time-History Dynamic Analysis of Concrete Hydraulic Structures, EM 1110-2-6051, 2003).

Abstract:

**APPLICATION OF THE UNITED STATES' DESIGNING STANDARD
TO DESIGN A RADIAL GATES UNDER EARTHQUAKE LOADING:
AN EXAMPLE BY SAP2000**

Vu Hoang Hung, Vu Thanh Hai

“Design of Spillway Tainter Gates - Engineering and Design, EM 1110-2-2702” of the United States defines that in designing a radial gate under earthquake loading the hydrodynamic pressure, which is caused by earthquake, should be computed by the Westergaard formula and it is seen as an equivalent mass of water cemented on the surface of radial gate and move along with radial gate structure. In present, application of SAP 2000 is a very effective method to solve this problem. This paper presents a real example to prove the above statement.