

# TÍNH TOÁN HỆ SỐ PHÂN BỐ NGANG CỦA HOẠT TẢI BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN PREDICTION OF LATERAL DISTRIBUTION OF VEHICULAR LIVE LOADS ON BRIDGE BY USING FINITE ELEMENT

Trương Hồng Linh

Khoa Kỹ Thuật Công Trình, Trường ĐH Bán Công Tôn Đức Thắng

## BẢN TÓM TẮT

Trong bài này đề cập tới việc sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM), chương trình phân tích kết cấu được dùng SAP2000, để xác định hệ số phân bố tải trọng theo phương ngang của hoạt tải dọc theo chiều dài của dầm. Trình tự mô phỏng kết cấu thượng tầng dùng trong chương trình sẽ được mô tả đầy đủ các chi tiết. Với kết quả nhận được từ chương trình sẽ so sánh với kết quả được tính theo theo 22TCN 272-05.

## ABSTRACT

The paper discusses how a general finite element (FE), such as SAP2000 program, can be used to modeling the bridge superstructure system to move traffic loads and further to predict the accurate lateral distribution of live loads on bridge longitudinal girders. FE modeling techniques and features using family of SAP2000 programs are present and discussed in details. Live load distribution factors derived from the FE method are compared with other value of 22TCN 272-05.

### 1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Việc xác định chính xác hệ số phân bố ngang của hoạt tải có ý nghĩa quan trọng trong công tác thiết kế kết cấu cầu vì nó sẽ mang lại hiệu quả về mặt kinh tế và nâng cao sự an toàn của kết cấu. Hiện nay, tồn tại các phương pháp xác định hệ số phân bố ngang của hoạt tải [4], [5]. Tuy nhiên, việc xác định hệ số phân bố của hoạt tải theo phương ngang vẫn còn một số tồn tại, chỉ áp dụng cho một số trường hợp. Chẳng hạn như đối với mặt cắt ngang cầu gồm những dầm BTCT DƯL tiết diện chữ I thì hệ số phân bố hoạt tải đối với mô men cho các dầm giữa:

*Đối với 1 làn xe:*

$$g_{int}^S = 0.06 + \left(\frac{S}{4300}\right)^{0.4} + \left(\frac{S}{L}\right)^{0.3} \left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0.1} \quad (1)$$

*Đối với 2 làn xe hay nhiều hơn:*

$$g_{int}^M = 0.075 + \left(\frac{S}{2900}\right)^{0.6} + \left(\frac{S}{L}\right)^{0.2} \left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0.1} \quad (2)$$

Hệ số phân bố hoạt tải đối với mô men cho các dầm biên:

*Đối với 1 làn xe:* theo quy tắc đòn bẩy  
*Đối với 2 làn xe hay nhiều hơn:*

$$g_{ext}^M = e g_{int}^M \quad (3)$$

$$e = 0.77 + \frac{d_e}{2800} \quad (4)$$

Trong đó:

S – Khoảng cách giữa các dầm chính. S = 1100 – 4900mm.

t<sub>s</sub> – Chiều dày bản mặt cầu. t<sub>s</sub> = 110 – 300 mm.

L – Chiều dài tính toán của nhịp. L = 6000 – 73000mm.

K<sub>g</sub> – Hệ số độ cứng theo phương dọc.

d<sub>e</sub> – Khoảng cách giữa bản bụng phía ngoài dầm biên và mép trong đá vữa.

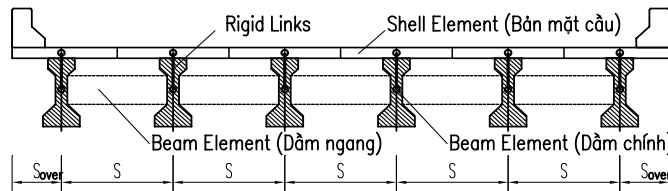
Cùng với sự phát triển của máy tính đã góp phần lớn trong việc sử dụng các phương pháp tính để tính toán kết cấu công trình. Trong đó, phương pháp phần tử hữu hạn (Finite Element Method – FEM) là một trong những phương pháp được áp dụng rộng rãi nhất trong việc xây dựng các chương trình phân tích kết cấu, chẳng hạn như: SAP2000, RM2000, Midas

Civil, STADD III . . . và các chương trình này ngày càng được hoàn thiện và phát triển.

Trong bài viết này, chúng tôi sẽ đề cập đến vấn đề sử dụng FEM và phương pháp mô phỏng kết cấu thượng tầng cầu BTCTDUL bằng phần mềm SAP2000 để tính toán hệ số phân bố tải trọng của hoạt tải theo phương ngang của xe tải thiết kế và xe 2 trục thiết kế.

## 2 MÔ PHỎNG VÀ PHÂN TÍCH KẾT CẤU BẰNG PHẦN TỬ HỮU HẠN

Kết cấu thượng tầng của kết cấu cầu thường bao gồm: bản mặt cầu, gờ chắn bánh xe, lan can, dầm ngang, dầm dọc. Để xác định hệ số phân bố tải trọng theo phương ngang của hoạt tải đoàn xe theo phương dọc thì việc mô phỏng đầy đủ các chi tiết trong kết cấu thượng tầng là không cần thiết. Đối với quá trình phân tích chi tiết thì các kết cấu được mô phỏng như sau: đối với bản mặt cầu thì phần tử được sử dụng để mô phỏng sẽ là phần tử shell (bốn nút; trong khi đó, dầm chính, dầm ngang được mô phỏng bằng cách dùng phần tử thanh hai nút (hình 1).



Hình 1: Mô hình kết cấu cầu bằng FE

Sự làm việc của tiết diện liên hợp giữa bản mặt cầu và dầm chính được mô phỏng bằng cách sử dụng các điều kiện ràng buộc về chuyển vị (rigid links/element). Điều kiện ràng buộc giữa nút của phần tử thanh (dầm chính) và nút của phần tử shell (bản mặt cầu) phải bảo đảm cùng chuyển vị thẳng đứng, trong quá trình tính toán đã sử dụng điều kiện ràng buộc là rigid body. Các ràng buộc này được thực hiện dọc theo chiều dài của dầm chính. Dầm ngang được xem cùng tâm với dầm chính.

Tùy thuộc vào chiều rộng làm việc có hiệu của bản mặt cầu [4] khi xét đến trong tiết diện liên hợp mà có sự phân chia các phần tử shell cho phù hợp. Để tăng độ chính xác cho phép tính toán thì kích thước của phần tử shell được chọn dựa vào: hệ số tương quan của phần tử [3] không quá lớn, hệ số này được xác định:  $r = \text{chiều dài cạnh dài}/\text{chiều dài cạnh ngắn}$  (đối với trường hợp phần tử shell tam giác);  $r = \text{Khoảng lớn cách giữa 2 trục cạnh đối diện}/\text{Khoảng cách nhỏ giữa 2 trục cạnh đối diện}$  (đối

với phần tử shell tứ giác). Hệ số này phải gần bằng nhau hoặc chênh lệch ít nhất là bốn lần.

Các phần tử shell/plate không tiếp nhận tải trọng bánh xe tác động trực tiếp và cũng không thể hỗ trợ cho việc đặt tải di động trên cầu, do vậy khi mô phỏng tải trọng bánh xe sẽ được thực hiện: Mô phỏng tải trọng bánh xe bằng những tải tĩnh tức là chỉ đặt tại một số vị trí cố định, đặt tại các nút của phần tử; Xe chạy dọc cầu có thể một hay nhiều lần xe. Các xe được đặt trong làn xe thiết kế nhưng được xếp lệch tâm sao cho gây ra hệ số phân bố ngang là lớn nhất.

Phân tích kết cấu bằng phương pháp tĩnh, với sự làm việc của vật liệu đàn hồi tuyến tính được coi là phương pháp đơn giản trong phân tích kết cấu. Độ cứng của bản theo phương ngang có ý nghĩa lớn hơn so với độ cứng theo phương dọc bởi vì theo phương dọc bản được đỡ bởi các dầm chính. Do đó, phần tử bản mặt cầu được mô phỏng bằng phần tử shell/plate đẳng hướng với mô đun đàn hồi theo phương ngang [1] (hình 2):

$$E_{\text{trans}} = \left( \frac{S}{S_0} \right)^2 E_{\text{long}} \quad (5)$$

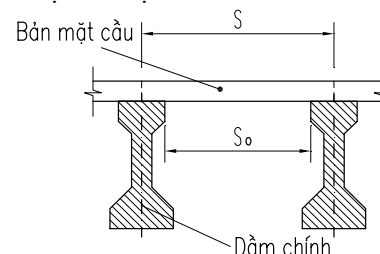
Trong đó:

$S$  – Khoảng cách từ tim đến tim các dầm chính theo phương ngang.

$S_0$  - Khoảng cách tĩnh giữa các dầm chính theo phương ngang.

$E_{\text{trans}}, E_{\text{long}}$  – Mô đun đàn hồi của vật liệu theo phương ngang và dọc cầu.

Đối với dầm chính ngoài các đặc trưng hình học: diện tích, mô men quán tính . . . , trong quá trình tính toán có xét đến ảnh hưởng xoắn với hệ số xoắn của dầm theo Saint – Venant được xác định:

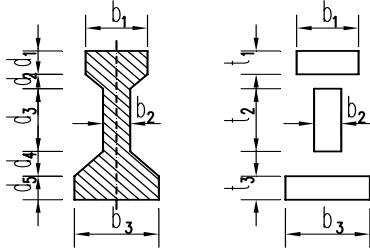


Hình 2: Hệ số trục hướng  $(S/S_0)^2$

$$J = \frac{\sum b_i t_i^3}{3} \quad (6)$$

Trong đó:

$b_i, t_i$  – Bề rộng và bề dày của các phần tử (hình 3).



Hình 3: Mặt cắt ngang dầm BTCTDƯL hình chữ I

### 3 TÍNH TOÁN MÔ MEN CỦA TIẾT DIỆN LIÊN HỢP VÀ HỆ SỐ PHÂN BỐ NGANG

Mô men tác dụng lên tiết diện liên hợp được xác định [1]:

$$M_{comp} = M_b + \int_0^{b_e} M_{slab} dx \quad (7)$$

Trong đó:

$M_{comp}$  – Mô men của tiết diện liên hợp.

$M_b$  – Mô men trong dầm của tiết diện

không liên hợp.

$M_{slab}$  – Mô men trong bản mặt cầu.

$b_e$  – Chiều rộng có hiệu của bản khi tham gia vào tiết diện liên hợp. Chiều rộng có hiệu của bản được xác định theo [4].

Mô men tiết diện liên hợp cũng được tính bằng:

$$M_{comp} = f_{bcomp} S_{bcomp} \quad (8)$$

Trong đó:

$f_{bcomp}$  – Ứng suất tại thớ dưới cùng của tiết diện liên hợp.

$S_{bcomp}$  – Mô men chống uốn của tiết diện liên hợp tại đáy dầm.

Mặt khác ứng suất tại đáy dầm của tiết diện liên hợp được xác định gần đúng:

$$f_{bcomp} = \frac{P_b}{A_{beam}} + \frac{M_b}{S_{bbeam}} \quad (9)$$

Trong đó:

$P_b, M_b$  – Mô men tính toán của dầm từ kết quả phân tích của chương trình.

$A_{beam}$  – Diện tích mặt cắt ngang của dầm.

$S_{bbeam}$  – Mô men chống uốn tại đáy dầm của tiết diện không liên hợp.

Hệ số phân bố ngang của hoạt tải được xác định bằng:

$$\eta = \frac{N_L M_{comp}}{\sum M_{comp}} \quad (10)$$

Trong đó:

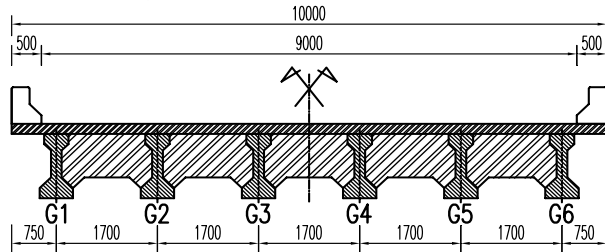
$N_L$  – Số làn xe.

$\sum M_{comp}$  – Tổng mô men của tất cả các dầm tại tiết diện đang xét.

### 4 THÍ DỤ TÍNH TOÁN VÀ NHẬN XÉT

Xét cầu có nhịp dùng dầm 24.54m, rộng 10.0m, trên mặt cắt ngang bố trí 6 dầm chính tiết diện chữ I cách nhau 1.7m. Bê tông bản mặt cầu và dầm ngang sử dụng M300, bê tông dầm chính M500. Mô đun đàn hồi của bản theo phương dọc cầu  $E_{long} = 2769.2 \text{ kN/cm}^2$ , theo phương ngang cầu  $E_{trans} = E_{long} (S/S_0)^2 = 4809.01 \text{ kN/cm}^2$ , mô đun đàn hồi cả dầm chính  $E_{beam} = 3749.4 \text{ kN/cm}^2$  [4], hệ số poisson  $\nu = 0.2$ . Tải trọng tác dụng bao gồm xe tải thiết kế, xe 2 trục thiết kế. Quá trình khảo sát sẽ tính toán hệ số phân bố ngang bằng FEM dựa vào SAP2000 đã trình bày ở trên tại các vị trí gối và giữa nhịp.

Các mô hình và kết quả tính toán bằng chương trình SAP2000 được trình bày ở hình 5 – 8 và bảng 2 – 5:



Hình 4: Mặt cắt ngang kết cấu nhịp

Bảng 1: Đặc trưng hình học các dầm chính

Dầm	$A_{bbeam} \text{ (cm}^2\text{)}$	$S_{bbeam} \text{ (cm}^3\text{)}$	$S_{bcomp} \text{ (cm}^3\text{)}$
1	3391.83	95531.3	87659.9
2	3391.83	95531.3	89664.9
3	3391.83	95531.3	89664.9
4	3391.83	95531.3	89664.9
5	3391.83	95531.3	89664.9
6	3391.83	95531.3	87659.9

Kết quả tính toán hệ số phân bố ngang của lực cắt cho thấy khi theo SAP2000 nhỏ hơn so với 22TCN 272 – 05 với các sai số nhỏ nhất: xếp 1 làn xe: đối với dầm biên: 52.58% (bảng 4); dầm bên trong: 23.32% (bảng 4), khi xếp 2

làn xe thì sự sai số này đã giảm: dầm biên: 4.31% (bảng 2); dầm bên trong: 17.88% (bảng 4).

Kết quả tính toán hệ số phân bố ngang của mô men: hệ số phân bố tải trọng ngang theo mô men giữa các dầm là tương đối xấp xỉ nhau và giá trị lớn xảy ra ở dầm biên và dầm bên trong thứ nhất (bảng 3, bảng 5). Tùy theo số làn xe khảo sát mà có sự sai biệt khác nhau: với 1 làn xe thì các sai số nhỏ nhất của dầm biên: 66.44% (bảng 6), dầm bên trong: 35.62% (bảng 6); đối với 2 làn xe thì các sai số nhỏ nhất của dầm biên: 11.36% (bảng 6), dầm bên trong: 23.21% (bảng 6).

Tại vị trí gối: hệ số phân bố ngang lực cắt của dầm biên được tính theo phương pháp đòn bẩy [4] có sai số rất lớn so với tính theo SAP2000 nhưng với hệ số phân bố ngang mô men thì sai số này không đáng kể.

## 5 KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Hệ số phân bố ngang của hoạt tải được tính bằng FEM thấp hơn so với 22TCN 272 - 05 (bảng 2 - 6). Điều này rất có ý nghĩa trong việc thiết kế các dầm chính vì xác định chính xác nội lực trong dầm sẽ thiết kế tiết diện hợp lý hơn, mang lại hiệu quả kinh tế cao.

Với phương pháp mô phỏng hệ bản mặt cầu và dầm chính ở trên cho thấy không những phù hợp cho việc tính toán hệ số phân bố ngang trong các cầu thẳng mà còn có thể áp dụng để tính toán cho các cầu xiên, cầu cong.

Hệ số phân bố ngang của các loại tải trọng khác nhau sẽ khác nhau nên việc dùng 1 công thức để xác định hệ số phân bố ngang cho cả xe tải thiết kế và xe 2 trục thiết kế [4], [5] là chưa hợp lý.

SAP2000 là một chương trình phân tích kết cấu dựa trên FE, đây là chương trình tương

đối đơn giản, dễ sử dụng nhưng có khả năng tính toán cao. Với máy tính COMPAQ có cấu hình CPU 2.8GHz thì giải bài toán trên cho trường hợp tuyến tính chỉ cần từ 40s việc này rất có ý nghĩa trong quá trình về mặt thời gian và kết quả tính toán.

Với những ưu điểm của FEM và khả năng tính toán của các chương trình phân tích kết cấu tối ưu vọng FEM sẽ được ứng dụng nhiều vào trong công tác phân tích và thiết kế kết cấu cầu. Với những kết quả nghiên cứu trên tối ưu vọng sẽ có những nghiên cứu mở rộng để xác định một cách chính xác hệ số phân bố ngang của hoạt tải.

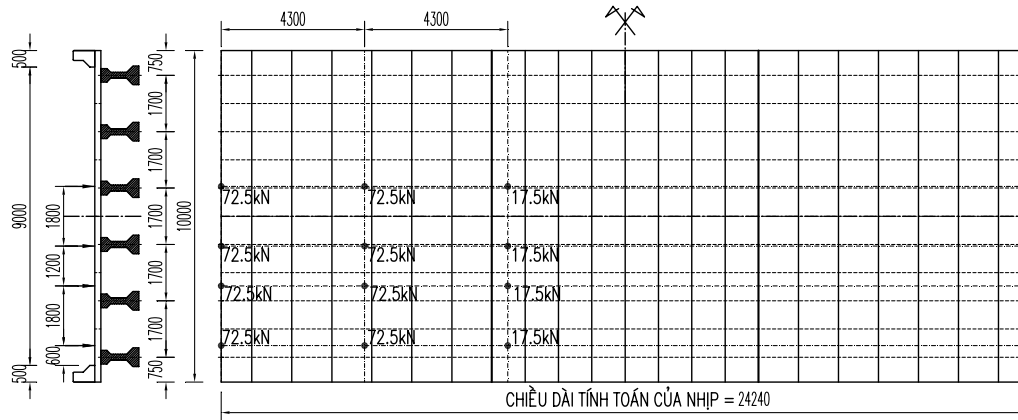
## TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. **Yochia Chen.** *Distribution of vehicular loads on bridge girders by the FEA using ADINA: modelling, simulation, and comparison.* Computers and Structures 72 (1999) 127 – 139.
2. **Yochia Chen.** *Prediction Of Lateral Distribution Of Vehicular Live Loads On Bridge With Unequally Spaced Girders.* Computers and Structures Vol 45, No.4. pp 609 – 620, 1995.
3. *CSI Analysis Reference Manual for SAP2000, ETABS, SAFE.* Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA. September, 2004.
4. **BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI.** *Tiêu chuẩn kỹ thuật: Công Trình Giao Thông, Tập VIII.* Nhà Xuất Bản Giao Thông Vận Tải, HN – 2001.
5. *AASHTO – LRFD Bridge Design Specifications, Customary U. S. Units, Second Edition 1998.* Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.

## MỤC LỤC THAM KHẢO:

Bảng 2: Hệ số phân bố ngang của lực cắt tại gối theo SAP2000 và 22TCN272-05 do xe tải thiết kế

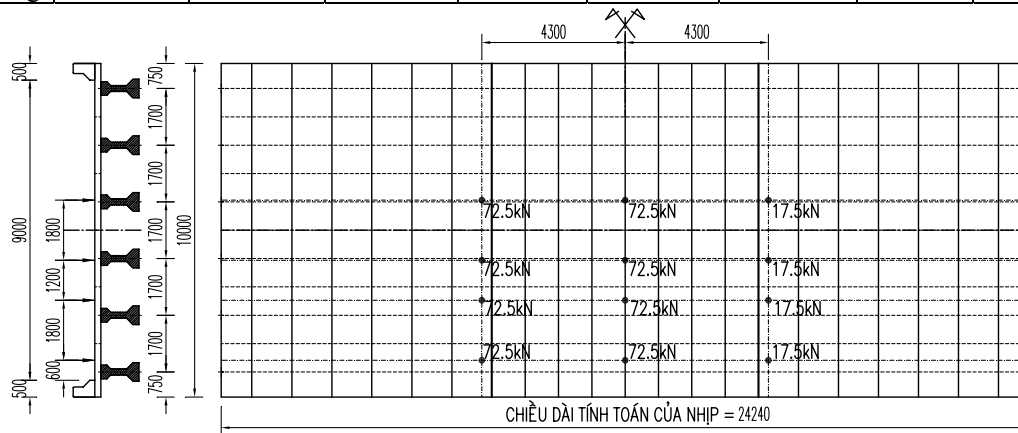
Dầm	$V_{\text{beam-1lane}}$ (kN)	$V_{\text{beam-2lane}}$ (kN)	SAP2000 $g_{\text{V}}^{\text{S}}$ (A)	SAP2000 $g_{\text{V}}^{\text{M}}$ (B)	22TCN272-05 $g_{\text{V}}^{\text{S}}$ (C)	22TCN272-05 $g_{\text{V}}^{\text{M}}$ (D)	(A - C)/C (%)	(B - D)/D (%)
1	-44.710	-12.077	0.318	0.405	0.741	0.423	-57.09%	-4.31%
2	-40.432	-23.521	0.288	0.456	0.584	0.647	-50.76%	-29.54%
3	-26.523	-34.383	0.189	0.434	0.584	0.647	-67.70%	-32.90%
4	-13.924	-34.259	0.099	0.343				
5	-9.809	-23.556	0.070	0.238				
6	-5.201	-12.183	0.037	0.124				
Tổng	-140.599	-139.979						



Hình 5: Trường hợp xác định lực cắt lớn nhất do xe tải thiết kế

Bảng 3: Hệ số phân bố ngang của mô men tại giữa nhịp theo SAP2000 do xe tải thiết kế

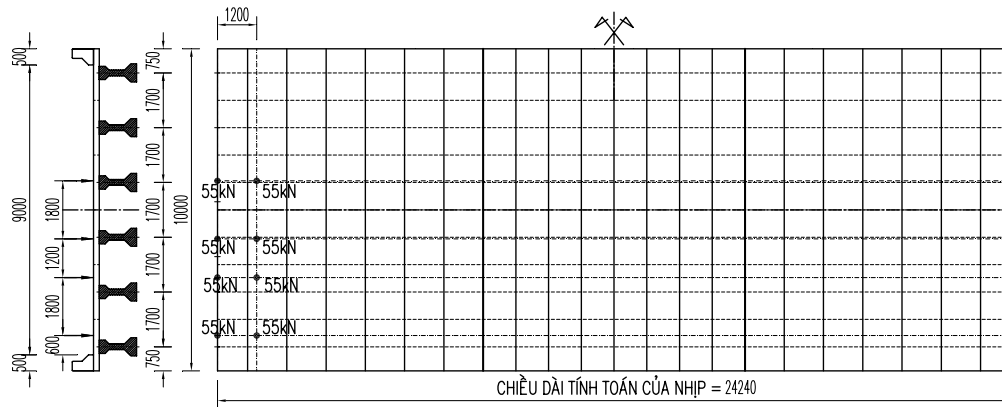
Dầm	$M_{beam}^S$ (kN.m)	$M_{beam}^M$ (kN.m)	$f_{bcomp}^S$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{bcomp}^M$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$M_{comp}^S$ (kN.m)	$M_{comp}^M$ (kN.m)	$g_{M-FE}^S$	$g_{M-FE}^M$
1	403.303	621.235	0.422	0.650	370.073	570.048	0.255	0.392
2	368.267	617.018	0.385	0.646	345.653	579.128	0.238	0.398
3	278.565	591.182	0.292	0.619	261.459	554.878	0.180	0.381
4	208.157	520.665	0.218	0.545	195.374	488.692	0.134	0.336
5	166.713	415.488	0.175	0.435	156.475	389.974	0.108	0.268
6	135.000	356.099	0.141	0.373	123.876	326.758	0.085	0.225
Tổng	1560.004	3121.688			1452.910	2909.479	0.255	0.392



Hình 6: Trường hợp xác định mô men lớn nhất do xe tải thiết kế

Bảng 4: Hệ số phân bố ngang của lực cắt tại gối theo SAP2000 và 22TCN272-05 do xe 2 trục thiết kế

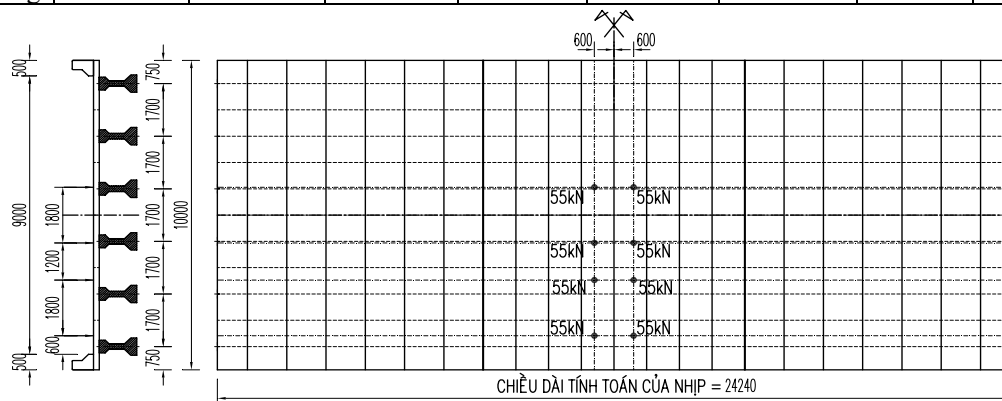
Dầm	$V_{beam-1lane}$ (kN)	$V_{beam-2lane}$ (kN)	SAP2000 $g_{v}^S$ (A)	SAP2000 $g_{v}^M$ (B)	22TCN272-05 $g_{v}^S$ (C)	22TCN272-05 $g_{v}^M$ (D)	(A - C)/C (%)	(B - D)/D (%)
1	-39.958	-42.008	0.351	0.371	0.741	0.423	-52.58%	-12.27%
2	-50.925	-60.144	0.448	0.531	0.584	0.647	-23.32%	-17.88%
3	-17.055	-62.649	0.150	0.553	0.584	0.647	-74.32%	-14.46%
4	-2.235	-47.773	0.020	0.422				
5	-1.653	-10.720	0.015	0.095				
6	-0.838	-3.092	0.007	0.027				
Tổng	-112.664	-226.386						



Hình 7: Trường hợp xác định lực cắt lớn nhất do xe 2 trục thiết kế

Bảng 5: Hệ số phân bố ngang của mô men tại giữa nhịp theo SAP2000 do xe 2 trục thiết kế

Dầm	$M_{beam}^S$ (kN.m)	$M_{beam}^M$ (kN.m)	$f_{bcomp}^S$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{bcomp}^M$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$M_{comp}^S$ (kN.m)	$M_{comp}^M$ (kN.m)	$g_{M-FE}^S$	$g_{M-FE}^M$
1	341.860	503.239	0.358	0.527	313.692	461.774	0.267	0.392
2	318.901	515.560	0.334	0.540	299.318	483.900	0.254	0.411
3	226.440	499.862	0.237	0.523	212.535	469.166	0.181	0.398
4	154.691	428.495	0.162	0.449	145.191	402.182	0.123	0.341
5	123.008	319.790	0.129	0.335	115.454	300.152	0.098	0.255
6	99.041	259.966	0.104	0.272	90.881	238.546	0.077	0.203
<b>Tổng</b>	<b>1263.941</b>	<b>2526.912</b>			<b>1177.071</b>	<b>2355.721</b>		



Hình 8: Trường hợp xác định mô men lớn nhất do xe 2 trục thiết kế

Bảng 6: Hệ số phân bố ngang của mô men tính theo SAP2000 và 22 TCN 272 - 05

Dầm	SAP2000 (A) 1 làn xe - $g_{M-FE}^S$	22TCN 272 - 05 (C) 1 làn xe - $g_M^S$	(A-C)/C (%)	SAP2000 (B) 2 làn xe - $g_{M-FE}^M$	22TCN 272 - 05 (D) 2 làn xe - $g_M^M$	(B-D)/D (%)
<b>Do xe tải thiết kế</b>						
1	0.255	0.794	-67.92%	0.392	0.442	-11.41%
2	0.238	0.395	-39.77%	0.398	0.535	-25.59%
3	0.180	0.395	-54.44%	0.381	0.535	-28.71%
<b>Do xe 2 trục thiết kế</b>						
1	0.267	0.794	-66.44%	0.392	0.442	-11.36%
2	0.254	0.395	-35.62%	0.411	0.535	-23.21%
3	0.181	0.395	-54.29%	0.398	0.535	-25.55%