

PHÂN TÍCH TÍNH TOÁN ĐIỀU CHỈNH NỘI LỰC CẦU DÂY VĂNG

ANALYSING AND DETERMINING THE INITIAL FORCE IN CABLES OF CABLE STAYED BRIDGES

Lê Văn Nam và Vũ Hồng Nghiệp*

Đại Học Bách Khoa Tp. Hồ Chí Minh
*Đại Học Giao Thông Vận Tải Tp. Hồ Chí Minh

BẢN TÓM TẮT

Bài báo này trình bày cách mô hình phần tử cấp và cách xác định lực căng ban đầu trong cáp để đảm bảo hình dạng trắc dọc trong cầu dây văng. Quá trình tính toán đã được các tác giả đã lập trình thành một chương trình tính toán phục vụ trong việc làm luận văn tốt nghiệp cho các sinh viên chuyên ngành cầu đường và phục vụ cho thiết kế các công trình thực tế.

ABSTRACT

This paper presents a new method of modeling cable elements and determining the initial force in cables to maintain the design profile of cable stayed bridges. The calculating process has been developed to become a program for serving students major in Bridge Engineering and design Engineers.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Do tính thẩm mỹ cao, vượt được nhịp lớn và ưu điểm về kinh tế, nhiều cầu dây văng (CDV) đã được xây dựng trên thế giới trong thời gian 50 năm qua.

Tại Việt Nam, các CDV lớn đã và đang xây dựng là cầu Mỹ Thuận có nhịp chính $L=350m$, cầu Kiên với $L=200m$, cầu Rạch Miễu (Bến Tre), cầu Phú Mỹ ở Thành phố Hồ Chí Minh, cầu Bãi Cháy với $L=435m$, sau khi xây dựng xong sẽ chiếm kỷ lục dài nhất về loại CDV mặt phẳng dây, cầu Cần Thơ có nhịp chính $L=550m$ dài nhất Đông Nam Á.



Hình 1 . Cầu cho người đi bộ Huerfanos (Chilê), $L=26m+57m+26m=109m$

Theo các nghiên cứu về giao thông nông thôn thì khu vực ĐBSCL cần đến hơn 65.000 cây cầu với chiều dài nhịp $\leq 200m$ bắc qua hệ thống kênh rạch chằng chịt nối liền các huyện thị. Do điều kiện địa chất, thi công và kinh tế, phương án xây dựng CDV được xem là tối ưu nhất.

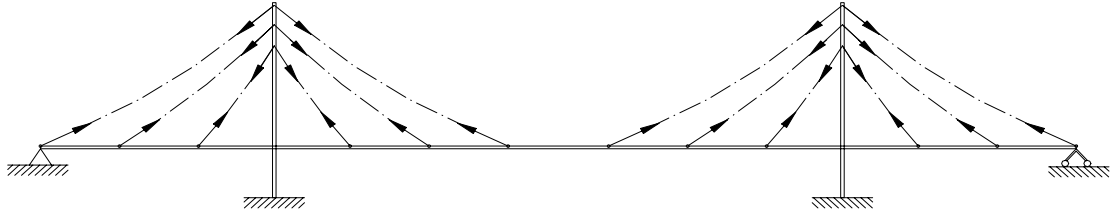
Nhiều cầu vượt dạng CDV được xây dựng tại các thành phố lớn ở Nhật Bản, Mỹ, Anh, Trung Quốc ... cho thấy chúng không những phù hợp với giao thông bộ hành trong nội thành mà còn có tính thẩm mỹ cao và ưu điểm khác về kinh tế.

Trong tính toán CDV, một trong những vấn đề khó khăn nhất là xác định lực điều chỉnh của dây văng để đảm bảo hình dạng trắc dọc của cầu. Do hạn chế về lý thuyết và nhất là công cụ tính toán cho nên đây là một nguyên nhân gây trở ngại cho việc thiết kế, áp dụng phổ biến loại cầu này.

Dựa vào các nghiên cứu về phần tử dây mềm [1][2][3][4], PPTHH [6][8], Matlab, các tác giả đã nghiên cứu, xây dựng một chương trình tính xác định lực căng trong dây văng để đảm bảo trắc dọc của cầu và chuyển vị nhỏ nhất trên đỉnh tháp. Chương trình đã được các sinh viên Trường ĐHBK sử dụng trong các đồ án, luận văn tốt nghiệp về CDV và tham gia tính toán một số công trình thực tế.

2. NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN

2.1. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN



Hình 2. Mô hình tính toán lực điều chỉnh dây văng.

Trong CDV, lực căng trong cáp gây ra các chuyển vị bên (cho các vị trí neo khác), lực nén trong tháp và dầm. Do bởi lực căng trong dây rất nhạy với sự thay đổi nhỏ về hình học nên chuyển vị của dầm và tháp phải được xem xét. Hơn nữa ảnh hưởng của lực nén lên khả năng nén uốn dọc trục của dầm và tháp cũng phải được tính toán. Do đó toàn bộ kết cấu cầu gồm dây văng, dầm, tháp cần phải được phân tích đồng thời [5][7][9]. Dầm và tháp cầu được mô hình như phần tử khung. Các dây văng được xem như phần tử dây mềm liên kết với hệ dầm, tháp tại các vị trí neo và tác dụng lên hệ lực nút như hình 2.

Dựa vào phương pháp phần tử hữu hạn, phương trình tính toán của hệ như sau :

$$[K][q] = [P] + [P_c] \quad (1)$$

Trong đó :

$[K]$: Ma trận độ cứng gồm chỉ của phần tử dầm và tháp.

$[q]$: Chuyển vị nút của hệ.

$[P]$: Vector tải trọng tương đương.

$[P_c]$: Vector lực nút tại các vị trí đầu cáp.

Việc tính toán ma trận độ cứng $[K]$ và vector tải trọng tương đương $[P]$ chỉ là quá trình lắp ghép các ma trận con, vector con có thể tham khảo trong các tài liệu về phương pháp phần tử hữu hạn [6][8]. Khó khăn còn lại là xác định vector lực $[P_c]$ theo các trạng thái làm việc của cáp [1][2][3].

Trình tự tính toán lực điều chỉnh của dây văng như sau :

Bước 1 :

Các dây văng được treo ở trạng thái ban đầu với mũi tên văng f_0 (giả thiết duy nhất của phương pháp) và chỉ chịu lực căng do trọng lượng bản thân dây. Từ đó ta có thể xác định chiều dài dây

L_0 và lực căng ban đầu tại các nút.

$$L_0 = \frac{l}{\cos \alpha} + \frac{D_0 \cos^3 \theta}{2H_0^2} - \frac{H_0 l}{EF \cos^2 \theta} - \frac{D_0}{EFH_0} \quad (2)$$

$$P_1 = H_0 = \frac{M_0^d}{f_0} = \frac{ql^2}{8f_0} = -P_3 \quad (3)$$

$$P_2 = R_A = \frac{ql}{2} - H_0 \operatorname{tg} \theta = \frac{ql}{2} - \frac{ql^2}{8f_0} \operatorname{tg} \theta \quad (4)$$

$$P_4 = R_B = \frac{ql}{2} + H_0 \operatorname{tg} \theta = \frac{ql}{2} + \frac{ql^2}{8f_0} \operatorname{tg} \theta \quad (5)$$

Tính $[P_c]$, thay thế vào (1) giải tìm chuyển vị của hệ.

Bước 2 :

Điều chỉnh lực căng dây theo các chuyển vị đã tìm được (6). Do ta chỉ quan tâm đến cao độ của dầm cầu nên ta chỉ hiệu chỉnh thành phần chuyển vị đứng :

$$H_1 = H_0 - \frac{EFD_0}{2lH_0^2} \cos^5 \theta - \frac{EF}{l} (v \sin \theta \cos^2 \theta) \quad (6)$$

Tính lại $[P_c]$, thay thế vào (1) giải tìm chuyển vị của hệ.

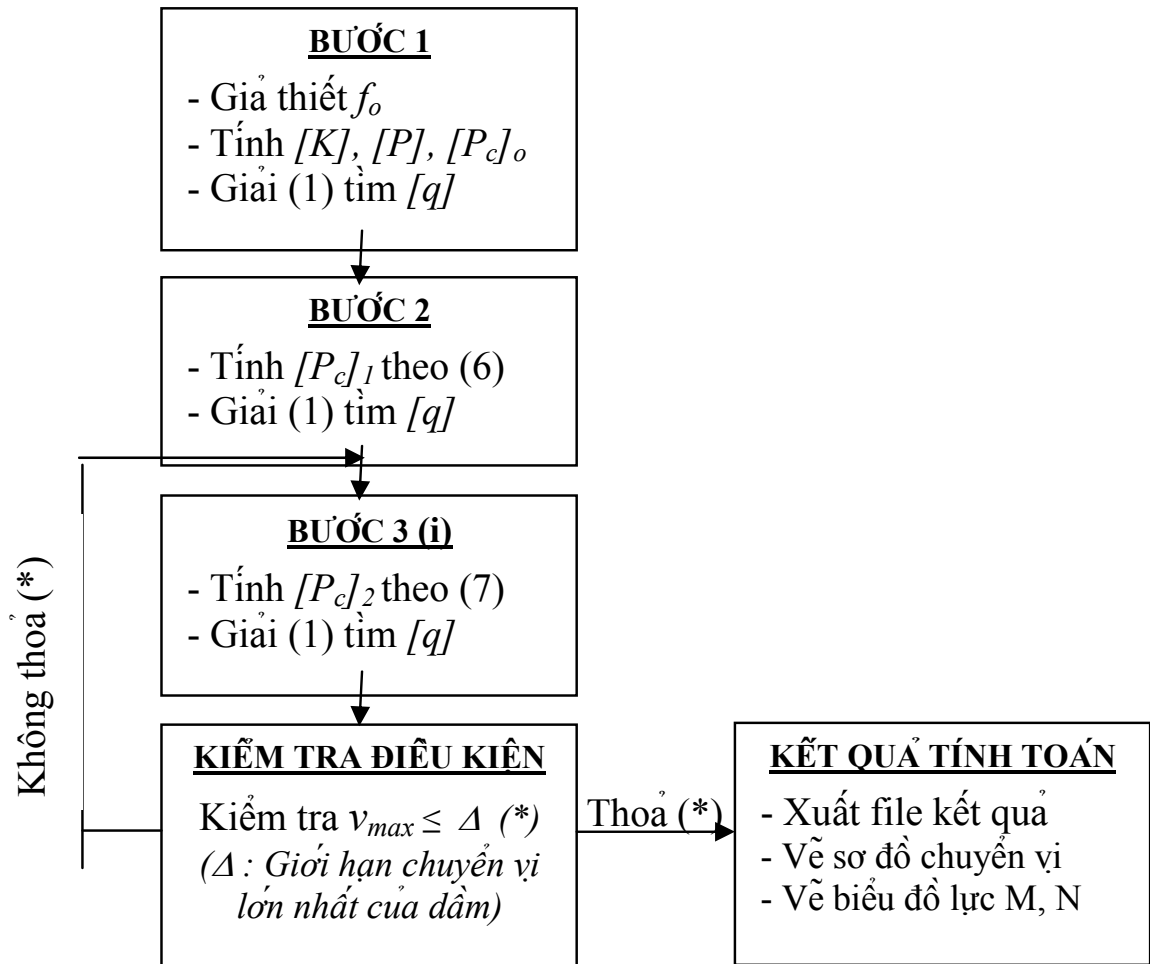
Bước 3 :

Điều chỉnh lực căng dây theo các chuyển vị đã tìm được theo công thức (7) :

$$H_2 = H_1 - \frac{EF}{l} (v \sin \theta \cos^2 \theta) \quad (7)$$

Tính lại $[P_c]$, thay thế vào (1) giải tìm chuyển vị của hệ. Kiểm tra điều kiện.

Sơ đồ tính toán như sau :



Hình 3: Sơ đồ tính toán điều chỉnh CDV

3. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

Sau đây xin trình bày một ví dụ cụ thể được tính toán bằng chương trình.

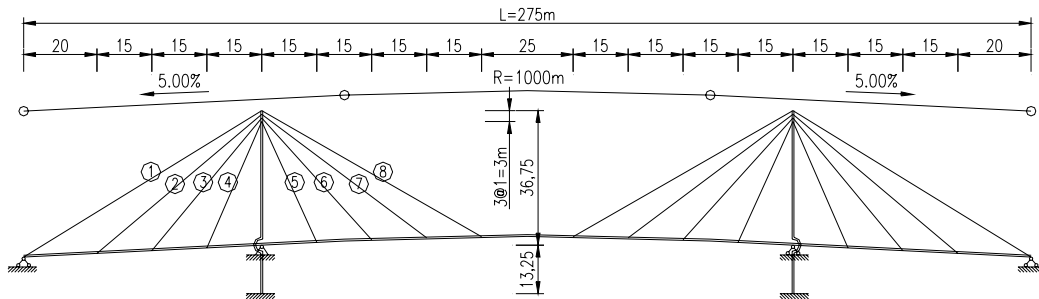
a. Sơ đồ tính toán

- Sơ đồ nhịp : $L = 65\text{m} + 145\text{m} + 65\text{m} = 275\text{m}$, $i = 5\%$, $R = 1000\text{m}$.

- Tính tải giai đoạn 1 : Trọng lượng bản thân kết cấu (CT tự động tính toán).

- Tính tải giai đoạn 2 : 1.20 T/m

- Hoạt tải thi công : 1.50 T/m



Hình 4. Sơ đồ cầu ví dụ tính toán

- Chiều cao tháp $H = 50\text{m}$, khoảng cách các điểm neo trên đỉnh tháp là 1m.

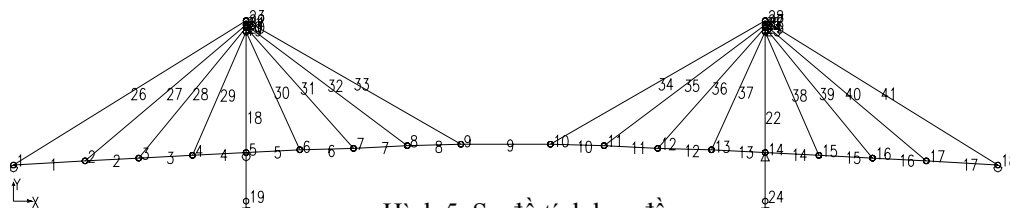
Các loại tải trọng :

b. Các đặc trưng vật liệu, hình học hệ

Phần tử	E (T/m ²)	γ (T/m ³)	Hệ số Poisson	A (m ²)	I (m ⁴)
Cáp D100 (1)	20389018	7.85	0.3	0.00785	0
Cáp D80 (2,8)	20389018	7.85	0.3	0.00503	0
Cáp D60 (3,6,7)	20389018	7.85	0.3	0.00283	0
Cáp D50 (4,5)	20389018	7.85	0.3	0.00196	0
Tháp	20389018	7.85	0.3	0.96000	0.94985
Dầm	20389018	7.85	0.3	1.02000	0.92320

c. Tính toán lực căng trong dây văng

Sơ đồ tính ban đầu



Hình 5. Sơ đồ tính ban đầu

Tải trọng tác dụng

File kết quả tính toán

KET QUA CHUYEN VI NUT

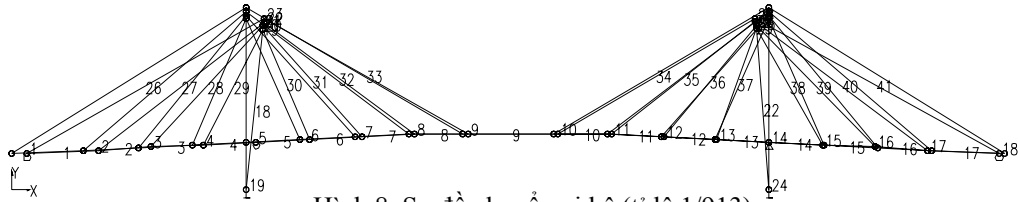
NUT	Ux	Uy	Rz
1	0.004601	0.000000	-0.000102
2	0.004360	-0.000030	0.000047
3	0.003992	0.000079	-0.000013
4	0.003550	-0.000100	0.000001
5	0.003052	0.000000	0.000003
6	0.002561	-0.000080	0.000002
7	0.002105	0.000029	0.000004
8	0.001749	0.000036	0.000010
9	0.001499	-0.000025	-0.000053
10	0.001499	-0.000024	0.000053
11	0.001253	0.000039	-0.000011
12	0.000906	0.000023	-0.000004
13	0.000469	-0.000072	-0.000002
14	0.000000	0.000000	-0.000003
15	-0.000476	-0.000092	-0.000001
16	-0.000901	0.000073	0.000013
17	-0.001259	-0.000028	-0.000046
18	-0.001509	0.000000	0.000102
19	0.000000	0.000000	0.000000
20	0.004839	-0.003115	-0.000206
21	0.005047	-0.003160	-0.000210
22	0.005260	-0.003191	-0.000215
23	0.005476	-0.003208	-0.000217
24	0.000000	0.000000	0.000000
25	-0.004000	-0.002958	0.000170
26	-0.004172	-0.003001	0.000174
27	-0.004347	-0.003031	0.000178
28	-0.004526	-0.003048	0.000180

KET QUA NOI LUC PHAN TU

PT	Pi	Pj	Mi	Mij	Mj
1	-241.4469	-232.7109	0.0000	140.2926	-301.8148
2	-474.4303	-467.8783	-301.8148	-75.7752	-177.3356
3	-589.9438	-583.3918	-177.3356	18.2948	-113.6748
4	-645.9467	-639.3947	-113.6748	1.9922	-209.9408
5	-646.5685	-640.0165	-209.9408	-0.8881	-119.4354
6	-590.2534	-583.9635	-119.4354	3.0150	-202.1345
7	-466.3227	-461.6926	-202.1345	7.4289	-110.6076
8	-329.0884	-326.4676	-110.6076	-79.3275	-375.6475
9	0.0000	0.0000	-375.6475	79.8804	-374.5918
10	-321.4766	-324.0974	-374.5918	-80.2425	-113.4933
11	-448.5320	-453.1620	-113.4933	8.4420	-197.2227
12	-560.5175	-566.8075	-197.2227	2.9276	-124.5221
13	-611.3936	-617.9456	-124.5221	-1.1431	-205.3641
14	-610.8363	-617.3883	-205.3641	1.7250	-118.7859
15	-560.0264	-566.5784	-118.7859	18.0112	-172.7917
16	-456.8330	-463.3850	-172.7917	-74.5498	-303.9079
17	-240.2163	-248.9523	-303.9079	139.2460	-0.0000
18	-1566.6352	-1190.3062	-84.8534	-84.8534	-84.8534
19	-938.1243	-930.1173	-84.8534	-84.3669	-83.8803
20	-653.1389	-645.1319	-83.8803	-87.2051	-90.5299
21	-345.7347	-337.7277	-90.5299	-45.2650	0.0000
22	-1497.0570	-1120.7280	70.1297	70.1297	70.1297
23	-891.8522	-883.8452	70.1297	69.7165	69.3033
24	-633.1142	-625.1072	69.3033	73.6684	78.0334
25	-347.4828	-339.4758	78.0334	39.0167	0.0000
26	277.8648	279.9650	0.0000	0.0000	0.0000
27	303.8884	305.0340	0.0000	0.0000	0.0000
28	181.0131	181.5260	0.0000	0.0000	0.0000
29	141.5070	141.7190	0.0000	0.0000	0.0000
30	133.9964	134.2069	0.0000	0.0000	0.0000
31	183.7469	184.2415	0.0000	0.0000	0.0000
32	168.9974	169.5967	0.0000	0.0000	0.0000
33	377.7085	378.8873	0.0000	0.0000	0.0000

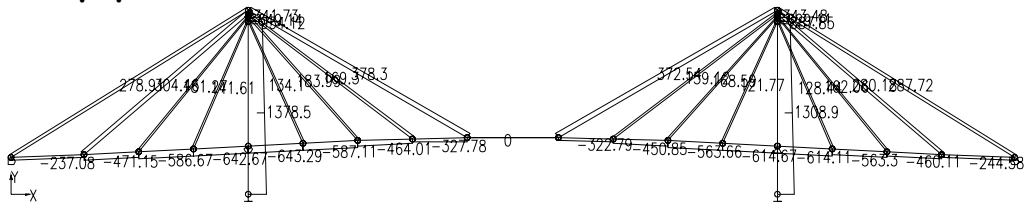
34	371.9484	373.1273	0.0000	0.0000	0.0000
35	158.8239	159.4231	0.0000	0.0000	0.0000
36	168.3384	168.8330	0.0000	0.0000	0.0000
37	121.6618	121.8723	0.0000	0.0000	0.0000
38	128.3379	128.5499	0.0000	0.0000	0.0000
39	161.7987	162.3117	0.0000	0.0000	0.0000
40	279.6028	280.7484	0.0000	0.0000	0.0000
41	286.6725	288.7727	0.0000	0.0000	0.0000

Sơ đồ chuyển vị

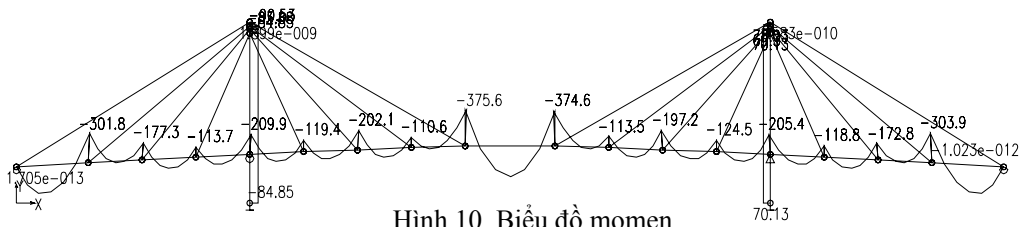


Hình 8. Sơ đồ chuyển vị hệ (tỉ lệ 1/913)

Biểu đồ nội lực



Hình 9. Biểu đồ lực dọc



Hình 10. Biểu đồ momen

4. KẾT LUẬN

- Nghiên cứu đã được sử dụng trong các đồ án, luận văn tốt nghiệp của sinh viên Trường ĐHBK về CDV. Khi so sánh với các phương pháp tính khác, chương trình có tốc độ tính nhanh hơn, kết quả thể hiện đầy đủ gồm file kết quả, các biểu đồ nội lực, chuyển vị ...(chuyển được sang ACAD).

- Trong điều kiện hiện nay các chương trình tính kết cấu đều không có bản quyền nên kết quả tính không đảm bảo. Việc tự xây dựng chương trình là cần thiết, có ý nghĩa về nghiên cứu, ứng dụng trong thực tiễn.

- Chương trình là nền tảng ban đầu cho các sinh viên có các nghiên cứu tiếp theo như các nghiên cứu về ảnh hưởng nhiệt độ, mô hình không gian, tự động thiết kế, phân tích động lực học ...

- Chương trình cũng có thể sử dụng trong tính toán các công trình thực tế. Góp phần phổ biến loại kết cấu này phục vụ cho giao thông nông thôn cũng như thành phố.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Cách tính hệ treo theo sơ đồ biến dạng. Lều Thọ Trình. NXB Khoa Học và Kỹ Thuật, 1985.
2. Lê Văn Nam. Nghiên cứu các trạng thái làm việc của phân tử dây mềm ứng dụng cho mô hình phân tử cáp trong cầu dây văng. Tạp chí Giao thông vận tải tháng 03/2005.
3. Lê Văn Nam, Vũ Hồng Nghiệp. Ứng dụng mô hình dây văng bằng phân tử dây mềm trong phân tích, tính toán cầu dây văng. Tạp chí Giao thông vận tải tháng 04/2005.
4. Lê Văn Nam, Vũ Hồng Nghiệp. Mô hình phân tử cáp trong phân tích điều chỉnh trục dọc

cầu dây văng. Tạp chí phát triển khoa học & công nghệ tháng 02/2005.

5. Lê Văn Nam, Vũ Hồng Nghiệp. Tính toán cầu dây văng theo Phương pháp lực và theo Sơ đồ biến dạng để kiểm chứng kết quả theo SAP2000 — Hội nghị sinh viên nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Bách khoa Tp. Hồ Chí Minh năm 2001, Giải khuyến khích giải thưởng sinh viên nghiên cứu khoa học 2001, Bộ Giáo dục và Đào tạo.

6. Phương pháp phần tử hữu hạn. Chu Quốc Thắng. NXB Khoa Học và Kỹ Thuật, 1997

7. P.K.K.Lee.D.W.Chen, F.T.K.Au, L.G.Tham. Determination of initial cable forces in prestressed concrete cable stayed bridges for given design deck profiles using the force equilibrium method. Computers and Structures 74. 2000.

8. S.S Rao. The Finite Element Method in Engineering. Pergamon Press

9. Ki Seok Kim, Hae Sung Lee. Analysis of target configuration under dead load for cable stayed bridges. Computers and Structures 79. 2001.