

斜張橋의 靜的 解析에 관한 研究

—數值計算을 中心으로—

Statical Analysis of Cable-Stayed Bridge

朴	春	赫*
Park,	Choon	Hyok
裴	主	星**
Bae,	Joo	Sung
梁	承	鉉***
Yang,	Seung	Hyeon
趙	商	吉****
Cho,	Sang	Kil

Abstract

Two Cable-Stayed bridge on south coast in Korea has not constructed until a quarter of a century past since the beginning of it's own era. Our country is about to be interested in such a type of bridge.

It has succeeded in constructing the 500 m spanned bridge against wind and earthquake in other several countries. Many countries are striving for designing a long spanned bridge to 1000 m.

For the realization of such a long spanned bridge in Korea clues to the problems, "How to design it", should be solved one by one. One of difficulties is in analysing the mechanical system because of multi-order indeterminacy. In this study one of the numerical methods is proposed in order to eliminate the troublesome.

要 旨

우리 나라의 南海岸에 架設된 2個의 斜張橋의 出現으로 우리 나라도 名實共히 斜張橋時代의 幕이 열렸다. 이 開幕은 世界的인 趨勢에서 보면 四半世紀 늦게 出發하였다. 지금 先進諸國의 技術은 500 m 級 斜張橋의 開通 tape 를 끊는 門前에 到來하였다. 이제부터 우리들의 研究出發은 비록

* 正會員·全北大學校 工科大學 敎授, 土木工學科

** 正會員·全北大學校 工科大學 助敎授, 土木工學科

*** 全北大學校 大學院

**** 全北大學校 大學院

걸음마부터 이지만 보다 많은 人員이 參與하여 서로 分擔하여 組織的으로 깊이있고 폭넓은 研究를 부지런히 持續的으로 해 나가는 것만이 落後된 現實을 克服하는 지름길이 될 것이다. 特히 本 研究는 앞으로의 耐風, 耐震設計를 目標로 그 걸음마인 靜的인 解析을 構造形式別로 우리나라의 特殊性에 맞게 數值解析中心으로 取扱하였으며, 그 解析理論은 應力法을 導入하였다. 解析對象 모델은 3 徑間 radial 型으로 內的으로 8 次의 不靜定構造를 擇하였으며, 解析에 있어서 基本系로서 靜定基本系를 取하지 않고 케블을 除去한 3 徑間連續桁을 取하였다. 또 不靜定量으로서는 케블에 作用하는 軸力을 取하여 解析하였으며, 最終的으로 처짐과 휨모멘트를 그림으로 나타내었다.

1. 緒 言

斜張橋에 대한 着想은 썩 오래 前부터였다고 알려져 왔으나 本格的인 條件을 具備한 近代 斜張橋의 出發은 1955年 西獨의 技術에 의하여 스웨덴에 架設된 Strömund 橋(最大支間 182.6 m)라 하겠다. 斜張橋 技術의 발자취를 集約하여 表現하면 「西獨에서 싹이 터 유럽에서 가꾸어져 世界全域에서 꽃을 피웠다」고 하겠다.

특히 斯界의 巨星 西獨의 Leonhardt 博士는 斜張橋의 架設領域을 懸垂橋의 架設領域인 600 m 以上の 支間까지도 그 適用의 可能性을 示唆한 바 있다.

從前에는 斜張橋의 合理的인 架設領域을 150~400 m로 보아왔으나 이미 1975年 프랑스의 Nazaire 橋(最大支間 404 m)가 400 m 線을 突破한 것을 爲始하여 1983年에는 스페인에 440 m의 Luna 橋가 登場하였다. 더욱 놀라운 것은 이 Luna 橋는 PC 斜張橋라는 事實이다. 또 現在 施工中이거나 거의 完工 直前에 있는 斜張橋 中에서 400 m 級 以上만 하여도 10 個橋를 헤아릴 수 있다. 이 中에는 특히 中央支間이 460 m로 世界最長 斜張橋가 될 日本의 橫濱港 橫斷橋를 비롯하여 本州-四國 連絡橋의 兒島-坂出 路線에 420 m의 쌍둥이 斜張橋(道路, 鐵道 併用)를 包含해서 4 個의 斜張橋가 日本에 架設되고 있다. 이제 500 m, 600 m 級의 斜張橋도 그 登場이 目前에 迫頭하였다. 斜張橋 時代가 開幕되어 四半世紀가 지나서야 겨우 우리나라도 斜張橋時代를 맞게 되었다. 이제 南海岸에는 陸地와 섬을 잇는 2 個의 斜張橋가 徐徐히 그 偉容을 드러내기 始作하였다. 特히 珍島 連陸橋는 344 m (70 m+344 m+70 m)로서 支間長으로서는 世界

20 位 以內에 들어갈 수 있는 斜張橋이며, 突山 連陸橋는 이보다 若干 支間長이 작은 280 m (85 m+280 m+85 m)로서 世界 40 位 內外에 들어갈 수 있는 斜張橋이다. 이 2 個의 斜張橋는 構造的으로 型式이 同一한 兄弟橋라 하겠다. 이 斜張橋도 1973 年度에 架設된 南海大橋와 같이 外國의 技術支援에 依하여 架設되고 있다. 그러므로 南海岸에 架設되는 2 個의 斜張橋 誕生의 意義는 우리 나라에도 늦게나마 長大橋研究라는 새로운 課題를 提起하는 契機를 마련하였다. 지금 先進諸國들의 技術은 500~600 m 級 架設에 앞을 다투어 불꽃 튀기는 競爭을 하고 있다. 그러나, 우리는 이에 拘碍됨이 없이 着實히 걸음마부터 폭넓고 깊이있게 出發하여야 한 것으로 본다. 따라서 本 研究는 우리의 特殊性을 勘案하여 斜張橋의 靜的인 解析을 構造別로 數值計算中心으로 展開하였다. 특히 이 斜張橋를 合理的으로 設計하려면 靜力學的인 側面에서 뿐만 아니라 動力學的인 面으로도 檢討되어야 함은 勿論이다. 그러나, 斜張橋의 設計에서 가장 基幹이 되는 것은 靜力學的인 構造特性의 究明이다. 특히 長支間의 斜張橋는 非線型性이 되어 有限要素法, 有限變位理論에 의한 非線型解析法을 導入하여야 하나 實際 設計에서는 有限變位理論이 아직도 補助的·檢證的 役割의 領域을 完全히 벗어나지 못하였다.

國內에서 發表된 斜張橋에 대한 研究論文은 4~5 編에 不過하다. 특히 文獻 1)은 1962 年에 發表한 것으로서 이것은 日本의 斜張橋에 관한 研究의 出發과 거의 때를 같이하고 있는 우리나라에서는 斜張橋에 대해서 嚆矢的인 論文이다. 文獻 2), 3)은 斜張橋의 構造特性과 經濟性·合理性等 斜張橋의 優秀性을 論하여 이 研究를 誘導하려는 強力한 意志가 담긴 論文들이다.

2. 斜張橋의 基本構造型式

斜張橋에는 그것을 構成하는 要素, 即 主桁, 塔 및 케블의 連結方法에 의하여 多様な 型式이 있다. 그 型式은 主桁과 塔과의 連結狀態에 의하여 2種類로 大別되고, 또 塔脚에 있어서 塔의 支持條件과 塔上에 있어서의 케블의 碇着條件에 의하여 分類하던 實用上 8型式으로 大別된다. 또 케블의 配置方法으로 一面碇着型式과 二面型式으로 分類되며, 一面碇着型式은 通常 上下 車線을 分離한 道路橋에 많이 使用되며 이 型式은 經濟的 또는 美觀的으로도 優秀하다고 할 수 있다.

다음에 橋軸方向 斷面內의 케블의 配置方法에는 크게 다음 4種類로 區分한다(그림 1 參照). 그런데 一般的으로 實際 設計에 많이 適用되는 應力法에 適用可能한 構造型式은 다음과 같다.

① 解析上의 基本系인 主桁은 複數의 連續된 單純桁, 連續桁 또는 Gerber 桁으로 하며 基本 主桁의 各種 影響値는 既知로 한다.

② 塔은 等斷面이며 鉛直이고 그 받침 條件은 固定, 힌지 또는 主桁과 剛結된 型式으로 한다(그림 2 參照).

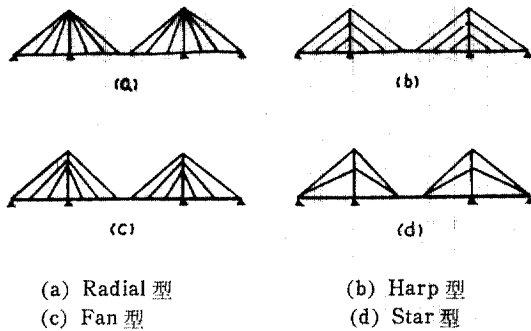


그림 1.



그림 2.

③ 케블은 塔上에서 固定支持된 型式과 回轉 받침에 依한 滑動支持된 型式으로 한다.

④ 本 解析에서는 1基의 塔에 케블이 4本인 경우의 計算式으로 表示되나 本數가 變動이 있을 때는 容易하게 變形시킬 수 있으며 케블의 配置方法은 任意의 形狀도 可하다(本 數值計算例는 1基의 塔에 케블은 6本의 경우를 取) 扱함).

3. 解 析

3.1. 應力法

斜張橋는 大體로 多次不靜定構造物로서 그 解析方法들은 應力法, 變形法, 傳連行列法, Kani의 方法 등으로 알려져 있다. 그러나, 그 어느 方法이건 多次 不靜定構造物이므로 그 解析에는 電子計算機가 不可缺한 同伴者가 된다.

本 모델은 應力法으로 解析하며 다음과 같은 假定을 導入한다.

1) 應力과 變形과의 關係는 變形이 微小하다고 생각하여 線形이라 본다. 即, 解析은 微小變形理論에 따른다.

2) 케블의 sag는 無視한다(케블의 彈性係數는 一定).

3) 케블의 張力에 의하여 桁 및 塔에 생기는 部材의 軸方向力의 影響은 그들의 처짐 計算에서는 無視한다.

4) 斷面力과 外力과는 變形前의 骨組形狀에 관하여 힘의 平衡條件을 滿足한다.

本 解析은 應力法을 導入하여 解析對象構造 모델은 그림 3과 같이 塔에 彈性變形이 생기지 않는 境遇를 取扱한다.

그림 4에 나타난 斜張橋의 girder와 塔의 變形狀態에 있어서는 다음 2個의 關係式이 얻어진다.

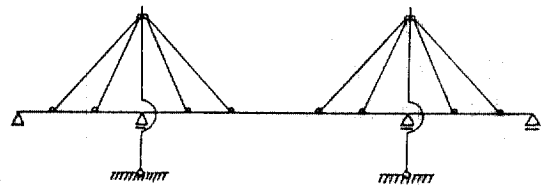


그림 3.

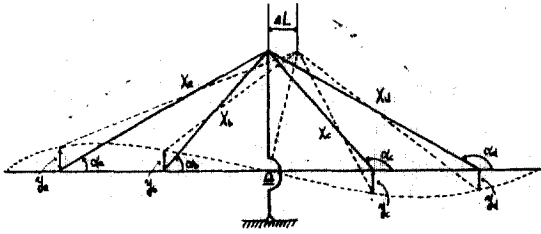


그림 4.

$$X_a \cos \alpha_a + X_b \cos \alpha_b + X_c \cos \alpha_c + X_d \cos \alpha_d = 0 \quad (1)$$

$$X_i = N_i / \sin \alpha_i \quad (i = a, b, c, d) \quad (2)$$

式 (1), (2)에서 다음의 (3)式이 얻어진다.

$$N_a \cot \alpha_a + N_b \cot \alpha_b + N_c \cot \alpha_c + N_d \cot \alpha_d = 0 \quad (3)$$

그런데, 케이블의 彈性伸長과 girder 및 塔의 變位에 관한 幾何學的 伸長을 고려하면, 먼저 케이블 a 에 관해서는

$$\frac{X_a \cdot L_a}{E_c \cdot A_a} = y_a \sin \alpha_a + \Delta L \cos \alpha_a \quad (4)$$

가 된다.

다시 케이블 b, c, d 에 관해서도 같은 方法으로 구하여진다.

式 (4)를 變形하여서 다음의 4個의 式이 구하여진다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{N_a \cdot L_a}{E_c \cdot A_a \cdot \sin^2 \alpha_a} &= y_a + \Delta L \cot \alpha_a \\ \frac{N_b \cdot L_b}{E_c \cdot A_b \cdot \sin^2 \alpha_b} &= y_b + \Delta L \cot \alpha_b \\ \frac{N_c \cdot L_c}{E_c \cdot A_c \cdot \sin^2 \alpha_c} &= y_c + \Delta L \cot \alpha_c \\ \frac{N_d \cdot L_d}{E_c \cdot A_d \cdot \sin^2 \alpha_d} &= y_d + \Delta L \cot \alpha_d \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式 (1)~(5)에 있어서 사용되는 記號의 說明은 다음과 같다.

X_i : 케이블張力

N_i : 케이블張力の 鉛直分力

α_i : girder와 케이블이 이루는 角

(x 軸의 正의 方向으로부터 反時計 方向을 正으로 한다.)

E_c : 케이블의 縱彈性係數

A_i : 케이블의 斷面積

L_i : 케이블의 길이

ΔL : 塔頂의 水平移動(右側의 移動을 正으로 한다.)

y_i : 케이블連結點에 있어서의 girder의 처짐(右側의 처짐을 正으로 한다.)

式 (1)과 (5)로부터 ΔL 을 구하면 다음과 같은 式(6)이 얻어진다.

$$\Delta L = \frac{\frac{A_a \sin \alpha_a \cos \alpha_a}{L_a} y_a + \frac{A_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b}{L_b} y_b + \frac{A_c \sin \alpha_c \cos \alpha_c}{L_c} y_c + \frac{A_d \sin \alpha_d \cos \alpha_d}{L_d} y_d}{\frac{A_a \cos^2 \alpha_a}{L_a} + \frac{A_c \cos^2 \alpha_c}{L_c} + \frac{A_b \cos^2 \alpha_b}{L_b} + \frac{A_d \cos^2 \alpha_d}{L_d}} \quad (9)$$

式(6)을 式(5)에 代入하여 變形하면 다음의 Matrix 方程式이 求解된다.

$$C \cdot N = X - H \cdot Y = [E - H] \cdot Y = H' \cdot Y \dots (7a)$$

여기에서,

C, N, Y, H, E 및 H' 는 다음과 같이 定義된다.

$$C = \begin{pmatrix} \frac{L_a}{E_c A_a \sin^2 \alpha_a} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{L_b}{E_c A_b \sin^2 \alpha_b} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{L_c}{E_c A_c \sin^2 \alpha_c} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{L_d}{E_c A_d \sin^2 \alpha_d} \end{pmatrix} \quad (7b)$$

N =列 vector : $\{N_a, N_b, N_c, N_d\}$

Y =列 vector : $\{y_a, y_b, y_c, y_d\}$

$$H = \begin{pmatrix} H_a \cot \alpha_a & H_b \cot \alpha_a & H_c \cot \alpha_a & H_d \cot \alpha_a \\ H_a \cot \alpha_b & H_b \cot \alpha_b & H_c \cot \alpha_b & H_d \cot \alpha_b \\ H_a \cot \alpha_c & H_b \cot \alpha_c & H_c \cot \alpha_c & H_d \cot \alpha_c \\ H_a \cot \alpha_d & H_b \cot \alpha_d & H_c \cot \alpha_d & H_d \cot \alpha_d \end{pmatrix} \quad (7c)$$

$$H_i = \frac{A_i \sin \alpha_i \cos \alpha_i}{L_i} \cdot \frac{1}{\sum_a (A \cos^2 \alpha / L)}$$

$$\left. \begin{aligned} H' &= [E - H] \\ E &: 4 \text{次單位 Matrix} \end{aligned} \right\} \quad (7d)$$

그림 3의 斜張橋에 있어서는 以上の 關係式을 左右의 塔에 關해 求함으로써 다음과 같은 2個의 式이 求하여진다.

$$C_i \cdot N_i = H'_i \cdot Y_i \quad (8)$$

$$C_{ii} \cdot N_{ii} = H'_{ii} \cdot Y_{ii} \quad (9)$$

여기에서 添字는 左側의 塔(i), 右側의 塔(ii)을 나타낸다.

또, 斜張橋의 처짐은 다음의 式으로 나타낸다.

$$Y = Y_0 - D \cdot N \quad (10)$$

여기서 式(10)에 사용한 記號는 다음과 같이 定義된다.

Y : 斜張橋의 主桁의 처짐

Y_0 : 基本主桁의 처짐

D : 基本主桁의 케블連結點에 單位集中荷重 $P=1$ 을 作用시켰을 때의 처짐 影響係數

N : 列 vector $\{N_1, N_2, \dots, N_6\}$

式(10)을 式(9), (8)에 代入하여 連立시켜 풀면 다음과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} C_i & 0 \\ 0 & C_i \end{bmatrix} \cdot N = \begin{bmatrix} H_i' & 0 \\ 0 & H_{ii}' \end{bmatrix} \left[\begin{bmatrix} Y_{i0} \\ Y_{ii0} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} D_i \\ D_{ii} \end{bmatrix} \cdot N \right] \quad (11)$$

그러므로, 8次 Matrix 方程式이 얻어진다.

$$[C + H' \cdot D] \cdot N = H' \cdot Y_0 \quad (12)$$

따라서, 케블張力の 鉛直方向 分力 N 는 式(12)를 풀므로써 다음과 같이 얻어진다.

$$N = [C + H' \cdot D]^{-1} \cdot Y_0 \quad (13)$$

N 가 구해지면 各種 斷面力 및 變位는 다음과 같이 해서 쉽게 구해진다.

1. 케블應力 : $X = N \operatorname{cosec} \alpha$
2. 케블水平分力 : $F = N \cot \alpha$
3. 桁의 굽힘 모멘트 : $M = M_0 - M' \cdot N$
4. 桁의 剪斷力 : $S = S_0 - S' \cdot N$
5. 主桁의 反力 : $R = R_0 - R' \cdot N$
6. 主桁의 처짐 : $y = y_0 - y' \cdot N$

여기에서,

M, S, R, y : 斜張橋의 影響係數

M_0, S_0, R_0, y_0 : 基本系의 影響係數

M', S', R', y' : 基本系의 케블連結點의 影響係數

로 한다.

3. 2. Mixed Method

本 方法은 未知變量에 힘과 變位를 포함시켜 힘과 變位를 同時에 구한다. 解析 모델은 그림 5(a)에서와 같이 支點 A, B, C 에서 單純支持되어 있고, 點 D, G, I 및 E 에서는 케블에 의하여 彈性的으로 支持되어 있으며, 케블은 塔의 꼭대

기 F 點에서 hinge 결합이고, 塔도 B 點에서 主桁과 hinge 結合된 構造로 한다. 이런 구조의 斜張橋의 全 舉動은 塔의 傾斜 및 이로 인한 케블의 stretching, 塔의 軸方向 shortening 등을 별도로 고려하여 중첩함으로써 얻는다.

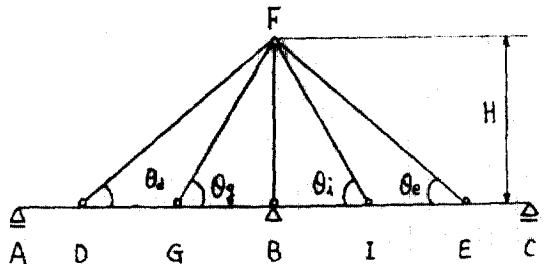
點 D, G, I 및 E 에서의 케블 張力과 點 B 의 反力을 과잉력으로 잡고, B 點에서의 主桁의 처짐은 零이며, D, G, I 및 E 點에서의 主桁의 처짐은 이 點들에서의 케블의 처짐과 같다는 條件과, 그림 5(b)에서 과잉력을 제거한 정정구조물의 點 D, G, B, I 및 E 에서의 처짐을 고려하여 適合方程式을 세우면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \delta_d' - f_{da} N_d - f_{de} N_e - f_{di} N_i - f_{db} N_b &= \Delta d \\ \delta_e' - f_{ea} N_d - f_{ee} N_e - f_{ei} N_i - f_{eb} N_b &= \Delta e \\ \delta_g' - f_{ga} N_d - f_{ge} N_e - f_{gi} N_i - f_{gb} N_b &= \Delta g \\ \delta_b' - f_{ba} N_d - f_{be} N_e - f_{bi} N_i - f_{bb} N_b &= \Delta b \\ \delta_i' - f_{ia} N_d - f_{ie} N_e - f_{ii} N_i - f_{ib} N_b &= \Delta i \\ \delta_e' - f_{ea} N_d - f_{ee} N_e - f_{ei} N_i - f_{eb} N_b &= \Delta e \end{aligned} \quad (13a)$$

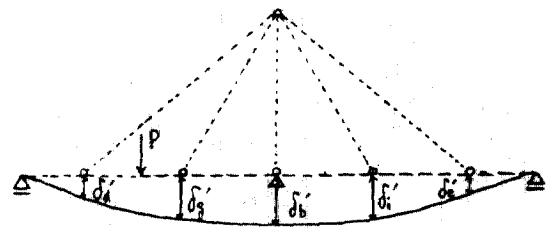
여기서,

N_d, N_g, N_i, N_e : D, G, I 및 E 點에서 케블張力의 垂直成分

N_b : 支點 B 의 垂直反力



(a)



(b)

그림 5. (a) 解析 Model.

(b) 과잉력을 제거한 靜定構造物의 처짐.

$\delta_d', \delta_g', \delta_b', \delta_i', \delta_e'$: 作用荷重으로 인한 D, G, B, I 및 E 點의 처짐

$\Delta d, \Delta g, \Delta b, \Delta i, \Delta e$: D, G, B, I 및 E 點에서의 全 垂直 처짐

f_{da}, f_{dg}, \dots : 單純보 AC 에서 두번째 침 자의 點에 垂直單位荷重이 作用할 때 첫번째 침자 點의 처짐에 대한 유연도 계수

上記 適合方程式에 塔의 傾斜 및 이로 인한 케이블의 Stretching, 塔의 軸方向 Shortening 을 별도로 고려하여 適合方程式을 다시 세우면 式 (13a)의 右邊은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} \Delta d &= \phi BD + C_d N_d + (N_d + N_g + N_i + N_e) f_T \\ \Delta g &= \phi BG + C_g N_g + (N_d + N_g + N_i + N_e) f_T \\ \Delta b &= 0 \\ \Delta i &= -\phi BI + C_i N_i - (N_d + N_g + N_i + N_e) f_T \\ \Delta e &= -\phi BE + C_e N_e - (N_d + N_g + N_i + N_e) f_T \end{aligned} \right\} (13b)$$

여기서,

ϕ : 塔의 傾斜角

$$\begin{pmatrix} f_{da} + C_d + f_T & f_{dg} + f_T & f_{db} & f_{di} + f_T & f_{de} + f_T & BD \\ f_{gd} + f_T & f_{gg} + C_g + f_T & f_{gb} & f_{gi} + f_T & f_{ge} + f_T & BG \\ f_{bd} & f_{bg} & f_{bb} & f_{bi} & f_{be} & \\ f_{id} + f_T & f_{ig} + f_T & f_{ib} & f_{ii} + C_i + f_T & f_{ie} + f_T & -BI \\ f_{ed} + f_T & f_{eg} + f_T & f_{eb} & f_{ei} + f_T & f_{ee} + C_e + f_T & -BE \\ BD & BG & 0 & -BI & -BE & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_d \\ N_g \\ N_b \\ N_i \\ N_e \\ \phi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta_d' \\ \delta_g' \\ \delta_b' \\ \delta_i' \\ \delta_e' \\ 0 \end{pmatrix} \quad (13d)$$

4. 數值計算例

CABLE-STAYED BRIDGE

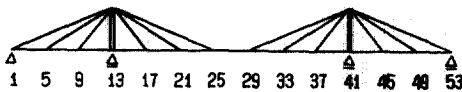


그림 6.

앞에서의 解析에서는 케이블 8本을 對象으로 하였으나 本 計算例에서는 케이블 12本의 境遇로서 解析을 若干 擴張하여 適用하였다(그림 7 參照).

f_T : 塔의 單位 Shortening

C_d, C_g, C_i, C_e : D, G, I 및 E 點에서 케이블 張力의 單位垂直成分으로 인한 垂直 처짐

$$C_d = \frac{l_d}{A_d E_d \sin \theta_d}, \quad f_T = \frac{H}{A_T E}$$

但, A_d : 斷面積

l : 케이블의 길이

E_d : 彈性係數

θ_d : 케이블의 傾斜角

A_T : 塔의 斷面積

E : 塔의 彈性係數

H : 塔의 높이

式 (13b)는 未知變量 ϕ 를 더 포함하므로 하나의 方程式이 더 요구된다. 이 條件方程式은 塔의 hinge 點에서의 모멘트를 취하면 다음과 같이 쉽게 결정된다.

$$N_d BD + N_g BG - N_i BI - N_e BE = 0 \dots (13c)$$

式 (13a), (13b), (13c)을 정리하여 Matrix 形態로 쓰면 다음과 같다.

그 斷面諸元은 다음과 같다.

析斷面 : $I = 2.7 \text{ m}^4, A = 1.37 \text{ m}^2$ (等斷面),

$$E = 2.1 \times 10^7 \text{ t/m}^2$$

Cable : $A = 0.10 \text{ m}^2$ (同一斷面積),

$$E = 2.0 \times 10^7 \text{ t/m}$$

本 計算例에서는 케이블의 張力(N), 휨모멘트(M) 및 처짐(δ)까지 求하였다. girder의 斷面力 計算은 케이블連結點과 各支點 및 中央點을 包含해서 53點을 設定하여 各點의 影響值를 求하여 그림 7, 그림 8, 그림 9와 같이 圖示하였다. 특히 케이블의 鉛直成分力(不靜定力) N 의 값은 紙面關係로 12×12 로 縮小計算하여 表 1에 表示하였다.

表 1. Influence Value of N

	1	5	9	17	21	25	29	33	37	45	49	53
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	-0.31310	0.37230	0.44904	-0.02933	0.00553	0.09087	-0.06605	-0.01943	0.01575	0.00928	-0.02905	-0.05748
9	-0.22837	-0.00730	0.82639	-0.09136	0.00735	0.06777	-0.04781	-0.01413	0.01137	0.00673	-0.02105	-0.04165
17	0.22429	0.11579	-0.10487	0.80916	0.09560	-0.06693	0.04381	0.05012	-0.01149	-0.00592	0.01841	0.03643
21	0.42842	0.21643	-0.06916	0.41281	0.58558	0.02233	0.11840	0.02028	-0.03372	-0.01539	0.04756	0.09411
25	0.46052	0.23259	-0.07040	0.03826	0.39429	0.31651	0.26906	0.11475	-0.05072	-0.04088	0.12937	0.25603
29	0.25603	0.12937	-0.04088	-0.05072	0.11475	0.26906	0.31650	0.39430	0.03826	-0.07040	0.23259	0.46052
33	0.09410	0.04757	-0.01539	-0.03372	0.02028	0.11840	0.02233	0.58558	0.41281	-0.06716	0.21643	0.42842
37	0.03642	0.01841	-0.00592	-0.01149	0.01012	0.04381	-0.06693	0.09560	0.80916	-0.10487	0.11579	0.22429
45	-0.04165	-0.02105	0.00673	0.01137	-0.01413	-0.04781	0.06777	0.00735	-0.09136	0.82639	-0.00730	-0.22837
49	-0.05748	-0.02905	0.00928	0.01575	-0.01943	-0.06605	0.09087	0.00553	0.02933	0.44904	0.37230	-0.31310
53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

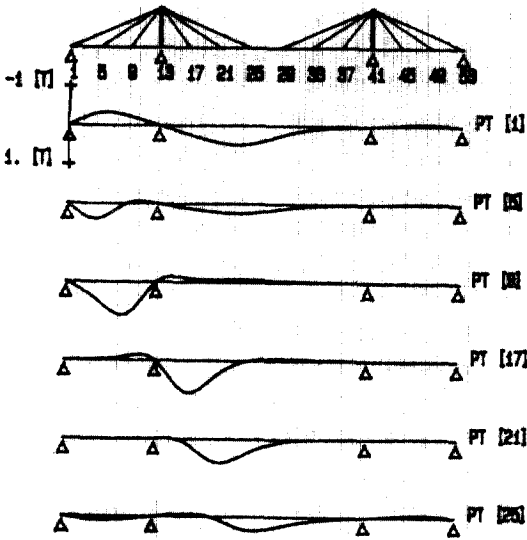


그림 7. Cable (vertical) force influence line.

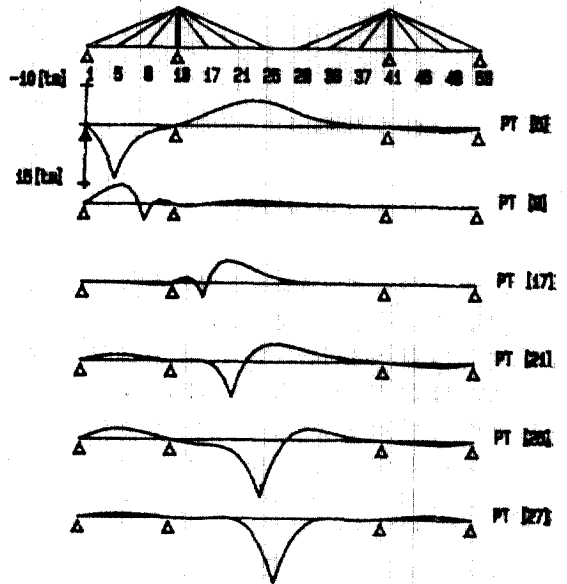


그림 8. Bending moment influence line.

5. 結 論

以上本 研究는 케블이 塔에 固定되고 塔은 兩基 共히 基部가 橋軸方向으로만 回轉이 許容되는 hinge 構造를 對象으로 하였다. 따라서 이 條件만을 滿足하면 케블의 本數, 케블의 配置型式에 關係없이 應力法으로 解析이 可能하다.

또, 過去에는 斜張橋의 解析이라면 大型電子 計算機가 아니면 不可能한 것으로 알고 있었다. 그러나 最近에 이르러서는 甚至於 Personal Computer 도 性能이 優秀한 것들이 많이 開發되어

프로그램을 分割作成하면 家庭 혹은 個人的 研究室에서도 이 研究가 可能하게 되었다.

특히 本 研究에서 最大 12×53의 Matrix 計算까지도 有効記憶容量이 100 KB 未滿인 電子 計算機로 處理가 可能하였다. 萬一 이보다 더 적은 容量의 Personal Computer 라 할지라도 分割 點의 數만 줄이면 計算이 可能할 것이다.

本 研究에서 分割點을 53點으로 擇한 것은 Plotter 의 曲線을 보다 圓滑하게 그릴 수 있게 하기 위함이다.

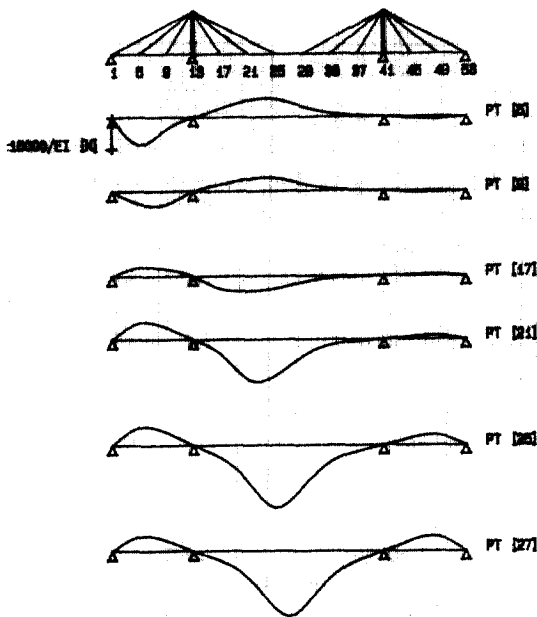


그림 9. Deflection influence line.

參 考 文 獻

1. 黃鶴周：“2徑間 斜鋼索橋에 관한 研究” 大韓土木學會誌 第10卷 第1號 1962. 8.
2. 徐英甲：“斜張橋의 支間과 應力에 對한 研究” 大韓土木學會誌 第20卷 第1號 1972. 3.
3. 徐英甲：“桁橋의 合理的 構造型式에 대하여” “連續桁橋와 斜張橋의 合理的 構造型式에 대하여” 大韓土木學會誌 第23卷 第1號 1975. 3.
4. 黃鶴周：“斜張橋의 靜的 解析에 관한 研究” 大韓土木學會誌 第3卷 第4號 1983. 12.
5. 日本道路公團：尾道大橋 設計 計算書.
6. 小西一郎：鋼橋(設計編 II) 技報堂 1975.
7. 前田 林：3徑間連續桁을 基本系とする 斜張橋의 形式による 靜力學的 構造特性에 關する 研究. 土木學會論文報告集, 1970. 3.
8. 前田 林：“任意な 形狀의 斜張橋解析”, 土木學會論文報告集, 1968. 2.
9. 山本 八谷：“斜張橋의 靜的構造解析”, 三菱重工技報, Vol. 3, No. 6, 1966.
10. 山本 古賀 島：“斜張橋의 設計計算について”, 工學

研究 第11卷 第12號.

11. 長谷川 成岡：“各種 構造形式의 斜張橋의 曲げモーメント, たわみに 關する 研究”, 土木學會誌, Vol. 53, No. 9. 1968. 9.
12. 川崎重工業株式會社：“斜張橋의 研究(全卷)”.
13. 松田, 三宅, 今政, 鈴木：“斜張橋의 靜力學的 特性에 關する 二三의 考警”, 三菱重工技報, Vol. 7, No. 7, 1970. 12.
14. 山本他：“斜張橋 設計計算法 三菱研究報告”, H 57, 1970.
15. 土木學會編：“斜張橋 資料集成”, 1976.
16. 渡邊 昇：“橋의 影響線의 理論と 計算法”, 現代社, 1969.
17. 渡邊 昇：“格子げたの 理論と 計算”, 技報堂, 1968.
18. 岡内外 2人：“斜張橋의 特性에 關する 2,3의 考警”, 日本中央大學 理工學部紀要, 1967.
19. 岡村隆夫：“Kani의 方法による 斜張橋의 解法”, 土木技術 第14卷 第12號, 1959. 12.
20. Walter Podolny: “Construction and design of Cable-Stayed Bridge.” John Wiley & Sons. 1876.
21. M.S. Troitsky: “Model Analysis and Design of Cable-Stayed Bridge.” PICE. 1972. 2.
22. Man-Chung Tang: “Design of Cable-Stayed Bridge.” ASCE, ST8. 1972.
23. Man-Chung Tang: “Analysis of Cable-Stayed Girder Bridges” *Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 97, No. ST5, May 1971, Proc. paper, 8116.*
24. Lazar, B.E., Troitsky, M.S. and Douglass, M. McC.: “Load Balancing Analysis of Cable-Stayed Bridges.” *Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 98, No. ST8, August 1972, Proc. Paper 9122.*
25. Lazar, B.E.: “Stiffness Analysis of Cable-Stayed Bridges” *Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 98, No. ST7, July 1972, Proc. Paper 9036.*
26. Kajita, T. and Cheung, Y.K.: “Finite Element Analysis of Cable-Stayed Bridges,” *IABSE, Pub. 33-II, 1973.*

(接受: 1984. 8. 22)