

個人用 컴퓨터를 이용한 斜張橋의 構造分割 解析方法

Structural Analysis of Cable-Stayed Bridge by Block Method Using Personal Computer

박춘혁* · 양승현** · 한재익*** · 박찬교****

Park, Chun Hyok · Yang, Sung Hyeun · Han, Jai Ik · Park, Chan Keo

Abstract

This paper discusses the block method on cable stayed bridge. The block method is one of the structural analysis methods, and it calculates the sectional forces and the displacements by combining results of several sub-structural system after analyzing each divided structure by means of finite element method. The block method has two branches, one is based on the force method and the other is based on the displacement method. We can select one of two methods by considering structural stability of divided structures. The conclusion gives some thoughts about cable stayed bridge analysis using this block method. Those are as follows. First, the results of analysis on divided structural system are consistent with those of analysis on global structural system. Second, saving memory volume of computer, we can analyze the complicated multi-cable stayed bridge on personal computer.

요 지

本論文은 斜張橋를 對象으로 하여 전체구조를 몇개의 부분구조계로 나눈 후 有限要素法을 이용하여 각각 해석하고, 그 結果를 重疊하여 전체구조의 斷面力 및 變位量을 구하는 構造分割 解析方法에 대하여 논하였다. 해석방법은 應力型 構造分割 解析方法과 變位型 構造分割 解析方法이 있는데, 두 方法中에서 적절한 방법을 선택하여 構造物을 解析할 수 있다. 이 해석방법을 사용하면 컴퓨터의 記憶容量을 절감시켜, 복잡한 多重케이블 斜張橋도 個人用 컴퓨터를 사용하여 解析이 가능하며, 그 結果는 전체를 분할하지 않고 해석한 結果와 一致하여 本 解析 技法의 信賴性을 입증할 수 있다.

1. 序 論

斜張橋는 長大橋梁으로서 信賴性과 經濟性을 갖

추기 위해서는 設計 및 施工面에서 高度의 技術과 專門知識이 要求되며, 다른 橋梁과 비교해 볼 때 많은 制約條件을 갖는 橋梁이다. 그러나 斜張橋는 꾸준한 研究와 高度의 產業成長에 힘입어 急速히 發展해 왔으며, 現在는 中央支間이 800 m~900 m에 이르는 橋梁이 加設되었을 뿐만 아니라 가장 適合한

* 정희원 · 전북대학교 토목공학과 교수

** 이리농공전문대학 토목과 전임강사

*** 전북대학교 대학원 박사과정 수료

**** 전북대학교 대학원 석사과정 수료

長大橋梁으로 認定받고 있다.^(1,2)

그러나 우리나라에서는 珍島連陸橋 및 突山連陸橋에 이어 올림픽大橋가 이미 斜張橋로 架設되었음에도 불구하고, 現在까지의 國內의 斜張橋에 대한 研究는 대부분 단편적인 研究論文에 그치고 있고 設計 및 施工에 있어서도 外國의 技術을 導入하고 있는 실정으로, 아직은 체계적이고 일관성있는 연구가 定着되지 못하고 있다.

이와같이 斜張橋에 대한 研究가 뿌리를 내리지 못하고 있는 것은 斜張橋가 가지고 있는 構造의 特性(多次 不靜定構造物)을 解析하고 設計하는데 비교적 大容量의 컴퓨터가 적합하여 일반 個人用 컴퓨터로는 많은 어려움이 있기 때문으로 생각되며, 이것이 지금까지의 사장교의 研究에 커다란 制約要素의 하나로 작용하여 왔다고 볼 수 있다.

따라서 本 研究는 컴퓨터의 制約에 구애받지 않고 적은 용량의 컴퓨터를 가지고도 斜張橋의 構造의 舉動을 把握할 수 있는 構造解析 方法을 開發하여 건설회사, 학교연구실, 연구소 등에 이미 널리 보급되어 있는 개인용 컴퓨터를 이용할 수 있도록 함으로써 손쉽게 斜張橋의 연구에 접근할 수 있도록 하여 멀지않은 장래에 우리나라에서도 斜張橋에 대한 理論體系가 確立되고, 나아가 우리의 技術陣만으로 우리의 斜張橋가 건설될수 있도록 하는데 기여하려 한다.

본 연구에서 개발한 構造分割解析 方法은 線形解析 技法으로서 목적구조물을 부분적으로 나누어서 해석함으로써, 전체적으로 해석하는데 필요한 컴퓨터의 기억용량을 약 1/2 또는 1/4 정도 절감시킬 수 있으므로 비교적 복잡한 斜張橋도 개인용 컴퓨터를 가지고 쉽게 해석할 수 있다.

2. 斜張橋의 構造分割解析

본 연구의 構造分割解析 方法은 全體 構造系를 몇개의 部分 構造系로 나누어서 각각 有限要素法을 이용하여 해석한 후^(3,4) 應力法과 變位法에 根據를 두고 있는 應力型 構造分割解析 方法과 變位型 構造分割解析 方法⁽⁵⁾의 두가지 方法에 의하여 전체구

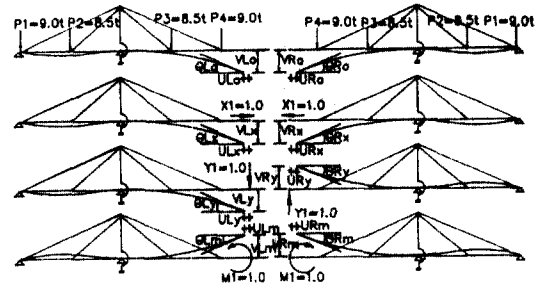


그림 1. 應力型 構造分割 方法.

조계를 해석한다.

따라서, 본 연구에서는 日本의 Onomichi橋⁽⁶⁻⁸⁾를 解析모델로 하여 위의 두 構造分割解析 方法을 논하기로 한다.

2.1 應力型 構造分割解析 方法

應力型 構造分割解析 方法은 構造系 全體를 分割斷面의 分割前의 境界條件, 즉 전달변위량($U_i=0, V_i=0, \theta_i=0$)에 따라서 몇개의 部分構造系로 分割한 후 그림 1과 같이 적절한 單位外力($X=1, Y=1, M=1$)을 작용시켜 分割斷面간의 變形에 대한 平衡條件을 이용하여 각 단면에 대한 未知荷重係數를 구한 후 全體 構造系의 斷面力 및 變位量을 구한다.

그림 1에서 각 부분구조계가 전체적으로 平衡狀態를 유지하려면 다음 식을 만족해야 한다.

$$\begin{aligned} U_x X + U_y Y + U_m M &= -U_0 \\ V_x X + V_y Y + V_m M &= -V_0 \\ \theta_x X + \theta_y Y + \theta_m M &= -\theta_0 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, $U_x = (U_{Lx} - U_{Rx}), U_y = (U_{Ly} - U_{Ry}), U_m = (U_{Lm} - U_{Rm}), U_0 = (U_{L0} - U_{R0}), V_x = (V_{Lx} - V_{Rx}), V_y = (V_{Ly} - V_{Ry}), V_m = (V_{Lm} - V_{Rm}), V_0 = (V_{L0} - V_{R0}), \theta_x = (\theta_{Lx} - \theta_{Rx}), \theta_y = (\theta_{Ly} - \theta_{Ry}), \theta_m = (\theta_{Lm} - \theta_{Rm}), \theta_0 = (\theta_{L0} - \theta_{R0}), U_{Lx}, V_{Lx}, \theta_{Lx}$: 왼쪽 分割斷面に 단위수평력을 작용시켰을 때의 수평, 수직변위 및 처짐각, $U_{Ly}, V_{Ly}, \theta_{Ly}$: 왼쪽 分割斷面に 단위수직력을 작용시켰을 때의 수평, 수직변위 및 처짐각, $U_{Lm}, V_{Lm}, \theta_{Lm}$: 왼쪽 分割斷面に 단위모멘트를 작용시켰을 때의 수평, 수직변위 및 처짐각, $U_{L0}, V_{L0}, \theta_{L0}$: 分割前의 외력에 대한 왼쪽 分割斷面の 수평, 수직변위 및 처짐각, $U_{Rx}, V_{Rx}, \theta_{Rx}$: 오른쪽 分割斷면에 대한 각각의 수평, 수

직변위 및 처짐각을 나타낸다. 또 X, Y, M은 구하려는 각 分割斷面의 未知荷重係數이다.

式 (1)을 행렬 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} U_x & U_y & U_m \\ V_x & V_y & V_m \\ \theta_x & \theta_y & \theta_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ M \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} U_0 \\ V_0 \\ \theta_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

또한, 分割前 分割斷面의 變位量의 傳達 여부에 따라 式 (2)는 다음과 같이 된다.

① 분할전 분할단면의 수평 전달변위량이 없는 경우, 즉 $U_i=0$ 인 경우

$$\begin{bmatrix} V_y & V_m \\ \theta_y & \theta_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ M \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} V_0 \\ \theta_0 \end{bmatrix} \quad (3-1)$$

$$\left. \begin{aligned} U_{x11}X_1 + \dots + U_{x1n}X_n + U_{y11}Y_1 + \dots + U_{y1n}Y_n + U_{m11}M_1 + \dots + U_{m1n}M_n &= -U_{01} \\ \vdots & \\ U_{xn1}X_1 + \dots + U_{xnn}X_n + U_{yn1}Y_1 + \dots + U_{ynn}Y_n + U_{mn1}M_1 + \dots + U_{mnn}M_n &= -U_{0n} \end{aligned} \right\} \quad (4-1)$$

$$\left. \begin{aligned} V_{x11}X_1 + \dots + V_{x1n}X_n + V_{y11}Y_1 + \dots + V_{y1n}Y_n + V_{m11}M_1 + \dots + V_{m1n}M_n &= -V_{01} \\ \vdots & \\ V_{xn1}X_1 + \dots + V_{xnn}X_n + V_{yn1}Y_1 + \dots + V_{ynn}Y_n + V_{mn1}M_1 + \dots + V_{mnn}M_n &= -V_{0n} \end{aligned} \right\} \quad (4-2)$$

$$\left. \begin{aligned} \theta_{x11}X_1 + \dots + \theta_{x1n}X_n + \theta_{y11}Y_1 + \dots + \theta_{y1n}Y_n + \theta_{m11}M_1 + \dots + \theta_{m1n}M_n &= -\theta_{01} \\ \vdots & \\ \theta_{xn1}X_1 + \dots + \theta_{xnn}X_n + \theta_{yn1}Y_1 + \dots + \theta_{ynn}Y_n + \theta_{mn1}M_1 + \dots + \theta_{mnn}M_n &= -\theta_{0n} \end{aligned} \right\} \quad (4-3)$$

여기서, $U_{xij}, U_{yij}, U_{mij}$: j번 分割斷面에 단위수평 하중을 작용시켰을 때의 i번 분할단면의 $U_x, U_y, U_m, V_{xij}, V_{yij}, V_{mij}$: j번 分割斷面에 단위수직하중을 작용시켰을 때의 i번 분할단면의 $V_x, V_y, V_m, \theta_{xij}, \theta_{yij}, \theta_{mij}$: j번 分割斷面에 단위회전력을 작용시켰을 때의 i번 분할단면의 $\theta_x, \theta_y, \theta_m, U_{0i}, V_{0i}, \theta_{0i}$: 分割前의

② 분할전 분할단면의 수직 전달변위량이 없는 경우, 즉 $V_i=0$ 인 경우

$$\begin{bmatrix} U_y & U_m \\ \theta_y & \theta_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ M \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} U_0 \\ \theta_0 \end{bmatrix} \quad (3-2)$$

③ 분할전 분할단면의 회전 전달이 없는 경우, 즉 $\theta_i=0$ 인 경우

$$\begin{bmatrix} U_x & U_y \\ V_x & V_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} U_0 \\ V_0 \end{bmatrix} \quad (3-3)$$

式 (1)과 式 (2) 및 式 (3)은 分割斷面이 하나인 경우에 대하여 고려하였으나 斜張橋를 비롯한 실제 구조물을 취급할 경우는 분할단면이 여러개일 수도 있다. 따라서 n개의 분할단면을 갖는 구조물에 대하여 고려하면 다음과 같이 된다.

외력을 작용시켰을 때 i번 分割斷面의 $U_0, V_0, \theta_0, X_i, Y_i, M_i$ 은 구하려고 하는 i번 分割斷面의 未知荷重係數이다.

式 (4)를 행렬 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$[A]\{X\} = -\{B\} \quad (5)$$

여기서,

$$[A] = \begin{bmatrix} U_{x11} & \dots & U_{x1n} & U_{y11} & \dots & U_{y1n} & U_{m11} & \dots & U_{m1n} \\ \vdots & & \vdots & & & \vdots & & & \vdots \\ U_{xn1} & \dots & U_{xnn} & U_{yn1} & \dots & U_{ynn} & U_{mn1} & \dots & U_{mnn} \\ V_{x11} & \dots & V_{x1n} & V_{y11} & \dots & V_{y1n} & V_{m11} & \dots & V_{m1n} \\ \vdots & & \vdots & & & \vdots & & & \vdots \\ V_{xn1} & \dots & V_{xnn} & V_{yn1} & \dots & V_{ynn} & V_{mn1} & \dots & V_{mnn} \\ \theta_{x11} & \dots & \theta_{x1n} & \theta_{y11} & \dots & \theta_{y1n} & \theta_{m11} & \dots & \theta_{m1n} \\ \vdots & & \vdots & & & \vdots & & & \vdots \\ \theta_{xn1} & \dots & \theta_{xnn} & \theta_{yn1} & \dots & \theta_{ynn} & \theta_{mn1} & \dots & \theta_{mnn} \end{bmatrix} \quad \{X\} = \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \\ Y_1 \\ \vdots \\ Y_n \\ M_1 \\ \vdots \\ M_n \end{bmatrix} \quad \{B\} = \begin{bmatrix} U_{01} \\ \vdots \\ U_{0n} \\ V_{01} \\ \vdots \\ V_{0n} \\ \theta_{01} \\ \vdots \\ \theta_{0n} \end{bmatrix}$$

또한 分割後의 境界條件은 分割斷面이 1 단면인 경우와 같이 分割斷面의 傳達變位置이 없는 경우에 대하여 각 分割斷面의 해당 變位置를 0으로 놓고 풀면 된다.

각 分割斷面에 대한 未知荷重係數行列 {X}는

$$\{X\} = -[A]^{-1}\{B\} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} F &= F_0 + F_{x1}X_1 + \dots + F_{xn}X_n + F_{y1}Y_1 + \dots + F_{yn}Y_n + F_{m1}M_1 + \dots + F_{mn}M_n \\ S &= S_0 + S_{x1}X_1 + \dots + S_{xn}X_n + S_{y1}Y_1 + \dots + S_{yn}Y_n + S_{m1}M_1 + \dots + S_{mn}M_n \\ M &= M_0 + M_{x1}X_1 + \dots + M_{xn}X_n + M_{y1}Y_1 + \dots + M_{yn}Y_n + M_{m1}M_1 + \dots + M_{mn}M_n \\ U &= U_0 + U_{x1}X_1 + \dots + U_{xn}X_n + U_{y1}Y_1 + \dots + U_{yn}Y_n + U_{m1}M_1 + \dots + U_{mn}M_n \\ V &= V_0 + V_{x1}X_1 + \dots + V_{xn}X_n + V_{y1}Y_1 + \dots + V_{yn}Y_n + V_{m1}M_1 + \dots + V_{mn}M_n \\ \theta &= \theta_0 + \theta_{x1}X_1 + \dots + \theta_{xn}X_n + \theta_{y1}Y_1 + \dots + \theta_{yn}Y_n + \theta_{m1}M_1 + \dots + \theta_{mn}M_n \end{aligned} \quad (7)$$

式 (7)을 Matrix 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} F \\ S \\ M \\ U \\ V \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_0 & F_{x1} & \dots & F_{xn} & F_{y1} & \dots & F_{yn} & F_{m1} & \dots & F_{mn} \\ S_0 & S_{x1} & \dots & S_{xn} & S_{y1} & \dots & S_{yn} & S_{m1} & \dots & S_{mn} \\ M_0 & M_{x1} & \dots & M_{xn} & M_{y1} & \dots & M_{yn} & M_{m1} & \dots & M_{mn} \\ U_0 & U_{x1} & \dots & U_{xn} & U_{y1} & \dots & U_{yn} & U_{m1} & \dots & U_{mn} \\ V_0 & V_{x1} & \dots & V_{xn} & V_{y1} & \dots & V_{yn} & V_{m1} & \dots & V_{mn} \\ \theta_0 & \theta_{x1} & \dots & \theta_{xn} & \theta_{y1} & \dots & \theta_{yn} & \theta_{m1} & \dots & \theta_{mn} \end{bmatrix} [1 \ X_1 \dots X_n \ Y_1 \dots Y_n \ M_1 \dots M_n]^T \quad (8)$$

여기서, F, S, M, U, V, θ 는 각각全體構造系의 각 절점의 斷面力 및 變位置, $F_0, S_0, M_0, U_0, V_0, \theta_0$ 는 각각 外力에 대한 部分構造系의 각 절점의 斷面力 및 變位置, $(F_{xi}, F_{yi}, F_{mi}), (S_{xi}, S_{yi}, S_{mi}), (M_{xi}, M_{yi}, M_{mi}), (U_{xi}, U_{yi}, U_{mi}), (V_{xi}, V_{yi}, V_{mi}), (\theta_{xi}, \theta_{yi}, \theta_{mi})$ 는 각각 部分構造系의 分割斷面に 단위 강재수평력, 수직력, 회전력위를 주었을 때 i번 部分構造系의 각 절점의 축방향력, 전단력, 휨모멘트, 수평변위량, 수직변위량, 회전변위량이다.

2.2 變位型 構造分割解析 方法

變位型 構造分割解析 方法은 應力型 構造分割解析 方法과 마찬가지로 構造系 全體를 각 分割斷面의 分割前의 境界條件, 즉 傳達斷面力($X_i=0, Y_i=0, M_i=0$)에 따라서 몇개의 部分構造系로 분할한 후 그림 2와 같이 적절한 단위 강재변위($U=1, V=1, \theta=1$)를 주어, 분할단면간의 단면력에 대한 平衡條件을 이용하여 각 단면에 대한 未知變位係數를 구한

未知荷重係數行列 {X}가 구해지면 全體構造系의 각 斷面力 및 變位置은 각 分割斷面に 대한 斷面力 및 變位置에 각 分割斷面に 대한 未知荷重係數를 곱하고, 각 分割斷面に 대하여 각각 합하여 구해진다. 즉,

후 全體構造系의 斷面力 및 變位置을 구한다.

그림 2의 각 部分構造系가 전체적으로 平衡狀態를 유지하려면 다음 식을 만족해야 한다.

$$\begin{aligned} X_u U + X_v V + X_z \theta &= -X_0 \\ Y_u U + Y_v V + Y_z \theta &= -Y_0 \\ M_u U + M_v V + M_z \theta &= -M_0 \end{aligned} \quad (9)$$

여기서, $X_u = (X_{Lu} - X_{Ru}), X_v = (X_{Lv} - X_{Rv}), X_z =$

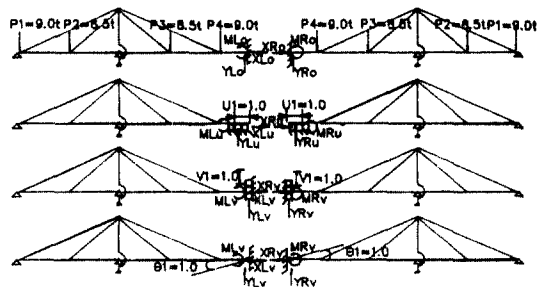


그림 2. 변위형 구조분할 방법.

$(X_{Lz} - X_{Rz}), X_0 = (X_{L0} - X_{R0}), Y_u = (Y_{Lu} - Y_{Ru}), Y_v = (Y_{Lv} - Y_{Rv}), Y_z = (Y_{Lz} - Y_{Rz}), Y_0 = (Y_{L0} - Y_{R0}), M_u = (M_{Lu} - M_{Ru}), M_v = (M_{Lv} - M_{Rv}), M_z = (M_{Lz} - M_{Rz}), M_0 = (M_{L0} - M_{R0}), X_{Lz}, Y_{Lv}, M_{Lv}$: 왼쪽 分割斷面에 단위 강제수평변위를 주었을 때의 수평력, 수직력, 모멘트, X_{Lv}, Y_{Lv}, M_{Lv} : 왼쪽 分割斷面에 단위 강제수직변위를 주었을 때의 수평력, 수직력, 모멘트, X_{Lz}, Y_{Lz}, M_{Lz} : 왼쪽 分割斷面에 단위 강제회전변위를 주었을 때의 수평력, 수직력, 모멘트, X_{L0}, Y_{L0}, M_{L0} : 分割前의 외력에 대한 왼쪽 分割斷面的 수평력, 수직력, 모멘트, 첨자 R은 오른쪽 分割斷面に 대한 각각의 수평력, 수직력 및 모멘트를 나타낸다. 또, U, V, θ 은 구하려고 하는 각 分割斷面的 未知變位係數이다.

式 (9)를 행렬 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X_u & X_v & X_z \\ Y_u & Y_v & Y_z \\ M_u & M_v & M_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ V \\ \theta \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ M_0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

또한, 分割前 分割斷面的 變位量의 傳達 여부에 따라 式 (10)는 다음과 같이 된다.

① 分割前 分割斷面的 수평 전달력이 없는 경우, 즉 $X_1=0$ 인 경우

$$\begin{bmatrix} Y_v & Y_z \\ M_v & M_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ \theta \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} Y_0 \\ M_0 \end{bmatrix} \quad (11-1)$$

② 分割前 分割斷面的 수직 전달력이 없는 경우, 즉 $Y_1=0$ 인 경우

$$\begin{bmatrix} X_u & X_z \\ M_u & M_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ \theta \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} X_0 \\ M_0 \end{bmatrix} \quad (11-2)$$

③ 分割前 分割斷面的 휨 전달력이 없는 경우, 즉 $M_1=0$ 인 경우

$$\begin{bmatrix} X_u & X_v \\ Y_u & Y_v \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ V \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix} \quad (11-3)$$

變位型 構造分割解析 方法에 있어서도 n개의 分割斷面을 갖는 구조물에 대해서는 앞의 應力型 構造分割解析 方法과 同一한 方法으로 전개되며, 또한 分割後의 境界條件은 分割斷面이 1 단면인 경우와 같이 分割斷面的 傳達力이 없는 경우에 대하여 각 分割斷面的 해당 단면력을 0으로 놓고 앞의 應力型 構造分割解析 方法과 同一한 方法으로 풀면 된다.

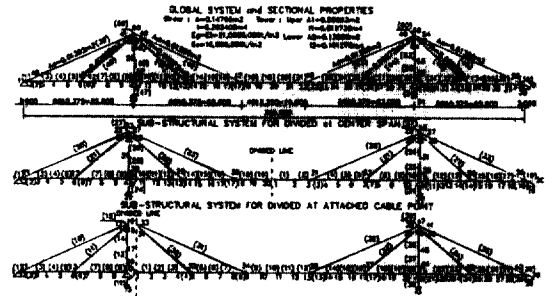


그림 3. 전체구조계 및 분할구조계의 절점구성.

3. 數値解析

3.1. 數値解析 對象構造物

本 研究에서 數値解析 對象構造物로는 모든 斜張橋에 대하여 適用이 可能하지만 特別히 間接성을 위하여 케이블 수가 적고, 또 기존 자료를 손쉽게 얻을 수 있는 관계로 日本의 3徑間 2重 케이블 斜張橋인 Onomichi橋⁶⁻⁸⁾를 선택하였다. 여기에서 Onomichi橋의 形式 및 諸元는 設計書⁶⁾에 準하여 적용하였으나, 解析上 작용하중은 間接성을 위하여 케이블 부착점에 대한 荷重만을 고려하고 기타의 하중은 생략하였다.

數値解析 結果를 比較하기 위하여 對象構造物을 全體構造를 解析하고, 또 應力型 構造分割 解析, 變位型 構造分割 解析을 各各 수행하기 위하여 그림 1, 그림 2와 같은 요령으로 中央經間의 中央部에서 構造系를 分割한 후 두가지 方法에 대하여 각각 解析하였으며, 또한 主塔과 케이블 부착점에서 構造系를 분할한 후 應力型 構造分割解析 方法은 構造系가 不安定이 되므로 해석할 수 없고 단지 變位型 構造分割解析 方法에 의하여 해석을 수행하였다. 全體構造系 및 分割構造系에 대한 절점구성 및 단면제원⁶⁻⁹⁾은 그림 3과 같다.

3.2. 數値解析 結果 比較

앞의 各各의 構造系를 두 方法에 의하여 解析한 結果를 紙面關係上 표 1에서 몇개의 절점과 부재에 대해서만 각각 變位 및 斷面力을 比較하였다.

위의 표에서 알 수 있듯이 應力型 構造分割 解析 結果와 變位型 構造分割 解析 結果는 전체구조를 構造分割하지 않고 解析한 결과와 一致하고 있으며, 분할단면이 어느 부분이나에 관계없이 일치하므로

표 1. 각 해석 결과의 비교(1)

구조해석방법	부재	절점	수평변위(m)	수직변위(m)	처짐각(Rad.)
전체 구조계로 해석	6	6	6.7168800E-05	3.0265300E-03	4.9308300E-05
		7	5.0376600E-05	3.3932200E-03	1.5846900E-05
응력형 구조분할 해석 (중앙 경간 분할시)	좌 6	6	6.7168820E-05	3.0265267E-03	4.9308251E-05
		7	5.0376618E-05	3.3932119E-03	1.5846847E-05
변위형 구조분할 해석 (중앙 경간 분할시)	좌 6	6	6.7168842E-05	3.0265320E-03	4.9308320E-05
		7	5.0376594E-05	3.3932273E-03	1.5846836E-05
변위형 구조분할 해석 (Cable부착점 분할시)	좌 6	6	6.7168862E-05	3.0265239E-03	4.9308361E-05
		7	5.0376603E-05	3.3932176E-03	1.5847070E-05
전체 구조계로 해석	14	14	-1.4158600E-04	-2.0841900E-02	-6.4006900E-04
		15	-1.3984700E-04	-2.7549400E-02	-6.4509300E-04
응력형 구조분할 해석 (중앙 경간 분할시)	좌14	14	-1.4158657E-04	-2.0841964E-02	-6.4006809E-04
		15	-1.3984652E-04	-2.7549430E-02	-6.4509307E-04
변위형 구조분할 해석 (중앙 경간 분할시)	좌14	14	-1.4158634E-04	-2.0841899E-02	-6.4006878E-04
		15	-1.3984678E-04	-2.7549431E-02	-6.4509352E-04
변위형 구조분할 해석 (Cable부착점 분할시)	우 5	5	-1.4158650E-04	-2.0841915E-02	-6.4006819E-04
		6	-1.3984678E-04	-2.7549392E-02	-6.4509402E-04
전체 구조계로 해석	41	44	9.3317000E-03	-6.1211700E-04	-4.0234000E-04
		45	-1.4158600E-04	-2.0841900E-02	-4.0234000E-04
응력형 구조분할 해석 (중앙 경간 분할시)	좌22	25	9.3317428E-03	-6.1211717E-04	-4.0233960E-04
		26	-1.4158657E-04	-2.0841964E-02	-4.0233960E-04
변위형 구조분할 해석 (중앙 경간 분할시)	좌22	25	9.3316773E-03	-6.1211765E-04	-4.0234003E-04
		26	-1.4158634E-04	-2.0841899E-02	-4.0234003E-04
변위형 구조분할 해석 (Cable부착점 분할시)	우30	31	9.3317002E-03	-6.1211711E-04	-4.0233998E-04
		32	-1.4158650E-04	-2.0841915E-02	-4.0233998E-04

표 1. 각 해석 결과의 비교(2)

구조해석방법	부재	절점	축방향력(t)	전단력(t)	휨모멘트(t.m)
전체 구조계로 해석	6	6	5.029020E+00	-1.310550E+00	6.910320E+00
		7	-5.029020E+00	1.310550E+00	-2.050720E+01
응력형 구조분할 해석 (중앙 경간 분할시)	좌 6	6	5.029023E+00	-1.310545E+00	6.910283E+00
		7	-5.029023E+00	1.310545E+00	-2.050725E+01
변위형 구조분할 해석 (중앙 경간 분할시)	좌 6	6	5.029016E+00	-1.310546E+00	6.910320E+00
		7	-5.029016E+00	1.310546E+00	-2.050717E+01
변위형 구조분할 해석 (Cable부착점 분할시)	좌 6	6	5.029023E+00	-1.310540E+00	6.910262E+00
		7	-5.029023E+00	1.310540E+00	-2.050718E+01
전체 구조계로 해석	14	14	-5.209820E-01	1.860300E+00	1.170890E+01
		15	5.209820E-01	-1.860300E+00	7.591720E+00

표 1. 각 해석 결과의 비교(2)

구조해석방법	부재	절점	축방향력(t)	전단력(t)	휨모멘트(t.m)
응력형 구조분할 해석 (중앙 경간 분할시)	좌14	14	-5.210342E-01	1.860306E+00	1.170897E+01
		15	5.210342E-01	-1.860306E+00	7.591766E+00
변위형 구조분할 해석 (중앙 경간 분할시)	좌14	14	-5.209877E-01	1.860304E+00	1.170915E+01
		15	5.209877E-01	-1.860304E+00	7.591674E+00
변위형 구조분할 해석 (Cable부착점 분할시)	우 5	5	-5.209888E-01	1.860309E+00	1.170893E+01
		6	5.209888E-01	-1.860309E+00	7.591709E+00
전체 구조계로 해석	41	44	-1.441170E+01	-1.228620E-15	-3.463820E-20
		45	1.441170E+01	1.228620E-15	-3.200690E-20
응력형 구조분할 해석 (중앙 경간 분할시)	좌22	25	-1.441173E+01	2.467890E-15	-2.064083E-19
		26	1.441173E+01	-2.467890E-15	-2.146074E-19
변위형 구조분할 해석 (중앙 경간 분할시)	좌22	25	-1.441171E+01	1.241461E-15	-1.422510E-19
		26	1.441171E+01	-1.241461E-15	1.227472E-19
변위형 구조분할 해석 (Cable부착점 분할시)	우30	31	-1.441174E+01	1.581170E-15	-3.800921E-20
		32	1.441174E+01	-1.581170E-15	-3.762358E-20

*상기 표의 절점 및 부재번호는 그림 3을 참조

1/3, 1/4, ... 등으로 분할할 수 있음을 알 수 있다.

4. 結 論

本 研究에서 開發한 構造分割解析 方法은 모든 種類의 斜張橋 뿐만아니라 一般構造物에 대해서도 適用이 가능하다. 그러나, 本 論文에서는 특별히 斜張橋의 대표적인 構造形式인 3徑間 斜張橋를 대상으로 하여 構造分割解析 方法의 理論的 背景을 說明하고, 그 이론적 배경을 근거로 하여 日本의 Onomichi橋를 모델로 설정하여 수치해석을 행하였다. 또한 構造分割解析 方法의 正確度를 檢證하기 위하여 斜張橋를 構造分割하지 않은 全體 構造系를 數值解析한 結果와 比較 檢討한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

① 應力型 構造分割 解析 結果와 變位型 構造分割 解析 結果는 전체구조를 構造分割하지 않고 解析한 結果와 一致하여 構造分割 解析 方法은 信賴할 수 있는 解析方法임을 보여준다(표 1 참조).

② 構造分割 解析을 행함으로써 컴퓨터의 기억 용량을 1/2 이상 절감할 수 있었다. 따라서 소형의 個人用 컴퓨터에서도 多重케이블 斜張橋의 解析이

용이하다.

③ 解析 結果의 比較에서 알 수 있듯이 構造分割 解析 方法은 分割斷面의 수가 많아도 그 결과는 거의 一致함을 알 수 있다.

④ 應力型 構造分割解析과 變位型 構造分割解析은 分割斷面이 構造物의 어느 부분이든 상관없이 그 部分構造가 不安定이 되지 않도록 選擇하여 使用하여야 한다.

따라서, 本 研究의 結果를 토대로 構造分割解析 方法은 個人用 컴퓨터를 가지고 斜張橋의 靜的 舉動을 把握할 수 있는 基礎的인 解析 技法으로 利用될 수 있을 것으로 사료되며, 또한 앞으로 斜張橋에 대한 一般的인 關心을 더욱 擴散시킬 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 1992년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 지방대학육성과제 학술연구보조비에 의하여 연구되었음.

参考文献

1. 小西一郎, 鋼橋(設計編 II), 技報堂, 1975.
2. 박춘혁, 배주성, 양승현, 조상길, “斜張橋의 靜的解析에 關한 研究(數值計算을 中心으로)”, 大韓土木學會論文報告集, 第5卷, 第1號.
3. 藤井文夫, 實用ポケコン構造解析, (2) 斜張橋, 土木施工, 第26卷 4號, 1985. 4. p. 85.
4. 小堀爲雄, 吉田博, 有限要素法による構造解析プログラム, 丸善株式會社, 1980.
5. 藤井文夫, “連載資料 實用ポケコン構造解析 [V] 高層多スパンラーメン(その1)”, 土木施工, 第26卷 2號, 1985. 2.
6. 長谷川紀夫, 成岡昌夫, “各種構造形式の斜張橋の曲げモーメント, たわみに關する研究—尾島大橋のスパン・斷面諸量をそのまま用いて—”, 土木學會誌, 1968. 9.
7. 日本道路公團, 尾道大橋設計計算書, 1968. 4.
8. 長谷川紀夫, 成岡昌夫, 還元法による斜張橋の解析, 土木學會誌, 1968.
9. 前田, 林, 任意な形態の斜張橋解析, 土木學會論文報告集, 1968. 2.

(接受: 1993. 7. 20)