

I-193 感度解析手法による床版打設時の たわみにもとづく橋桁の剛性評価

建設省 正員 実松秀夫 東洋大 学生員○榎本覚雄
東洋大 正員 新延泰生 東洋大 正員 矢島基臣

1. まえがき

感度解析手法によれば、既知の応答量にもとづいて、それに合致する構造部材の断面剛性を推定することが可能である。すなわち、感度解析は、いわゆる逆解析問題に対する一つの解析方法となる^{*)}。本研究では、実際の四径間連続非合成桁橋をとりあげ、床版打設時の鋼桁のたわみ測定値から床版打設時の各過程における橋桁の剛性を感度解析手法により推定した。

2. 感度解析手法にもとづく剛性評価方法

2. 1 感度解析手法

まず、感度解析手法による定式化を行っておく。変位法による状態方程式は、一般に、

$$[K]\{Z\} = \{F\} \quad (1)$$

ここに、 $[K]$ は剛性マトリクス、 $\{Z\}$ は変位ベクトル、 $\{F\}$ は外力ベクトルである。設計変数 X (断面積、断面二次モーメント等)の微小変動に対して式(1)の両辺の第一変分をとると、

$$[K]\{\delta Z\} + [\partial K / \partial X_i]\{Z\}\delta X_i = \{\partial F / \partial X_i\}\delta X_i \quad (2)$$

今、ベクトル $\{F\}$ が設計変数 $\{X_i\}$ の関数でない場合を考えると、 $\{\partial F / \partial X_i\} = 0$ となり、

$$[K]\{\partial Z / \partial X_i\} = -[\partial K / \partial X_i]\{Z\} \quad (3)$$

の式が得られる。ここに、 $[\partial Z / \partial X_i]$ が、 i 部材の設計変数の微小変動に対する各変位の変動量すなわち感度係数である。

2. 2 剛性評価方法

いま、設計変数が $\{X\}$ より $\{X_0\} + \{\delta X\}$ へ微小変化した場合、応答 ϕ は次式で近似的に、

$$\phi = \phi_0(X_0) + \{S\}^T X_0 \{\delta X\} \quad (4)$$

と表わされ、 ϕ_0 は与えられた設計変数 $\{X_0\}$ に対応する応答を示している。また $\{S\}^T X_0$ は、感度係数である。次に X の逆数 R_X を設計変数として、

$\{R_{X0}\}$ より $\{R_X\} = \{R_{X0}\} + \{\delta R_X\}$ へ変化した場合の応答 ϕ は次のように表わせる。

$$\phi = \phi_0(X_0) + \{-S\}^T X_0^2 \{\delta R_X\} \quad (5)$$

3. 実橋への適用例

3. 1 川島橋の概要

実橋への適用例として、非合成桁橋である川島橋を取り上げ、実際に測定された鋼桁の変位データをもとに床版の施工段階における主桁の剛性を推定する。以下に、川島橋の概要を示す。

橋の名称	川島橋(一尋橋)
所在地	東京都下城市大字下川島地先国道50号
道路規格	第3種1級
橋種	4径間連続非合成鋼桁橋+2連
橋長	$L = 439.880$ m
支間長	$L_1 = (4 \times 54.75 + 219.880) \times 2$ 連
斜角	右79°00'00"
勾配	縦断勾配1%, 横断勾配2%
舗装	アスファルトコンクリート舗装
鋼材	歩道部 $t = 8.0$ mm
	歩道部 $t = 3.0$ mm
床版	鉄筋コンクリート床版 $t = 240$ mm
許容応力度	道路橋示法第11欄横断による

川島橋は、四径間連続桁橋で、橋面積も大きく床版コンクリート打設量が多いため、一度に全長打設することは困難であり、橋をいくつかのブロックに分けて打設するブロック別打設方法を採用している。ブロック割は図3-1に示す通りで、A→B→Cの順に打設を行った。床版の施工段階における主桁の剛性は未知であり、その剛性を推定しようとするのがここでの目的である。

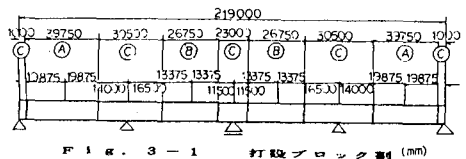


Fig. 3-1 打設ブロック割 (mm)

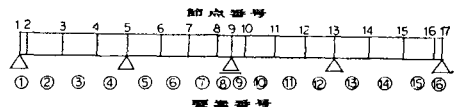


Fig. 3-2 要素番号及び節点番号

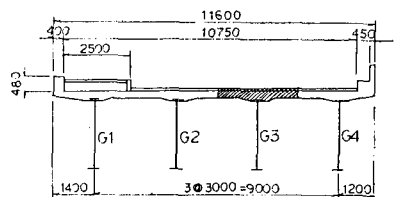


Fig. 3-3 主桁配置及び床版断面

3. 2 床版打設時のたわみ（キャンパー）

たわみの測定値としては、鋼桁の床版の施工段階における、たわみ変化量を用いる。剛性推定は、表3-1に示すような、5つのステップに分けて行なう。各ステップのたわみ測定値に支点上の変位をその区間で比例分配し、測定値より除去したたわみ補正値を用いて比較するステップ間のたわみ変化量を図3-4～6の破線で示している。なお、たわみ測定値は精度が比較的良好なG3桁を取り上げている。

3. 3 剛性評価

ここで、式(5)より、剛性の変動が予想される要素の剛性変動率を $\beta\%$ 、設計変数を断面二次モーメント I にとると、

$$v_j = v_{j0} + \sum_{i=1}^{16} \left(\frac{\partial v_j}{\partial I_i} \right)_0 I_{0i} \left\{ \frac{\beta_i}{1 + \beta_i} \right\} \quad (6)$$

が得られる。ここに、 v_j は j 節点での実測たわみ、 v_{j0} は基本構造系（剛性 I_{0i} ）で計算された j 節点でのたわみである。基本構造系の要素分割は、床版のブロック割を考慮して、図3-2に示すように行った。荷重はG3桁に合成作用として協力する床版部分（図3-3の斜線部分）を考え、各荷重状態を表3-1に示す。基本構造系に所定の荷重を加え、感度係数を計算し、それをもとに式(6)から変動率 β を算出すれば、推定値 $I_i = (1 + \beta_i) I_{0i}$ が求められる。推定された I_i の妥当性を検討するために、 I_i をもとにたわみを計算し、実測たわみと比較したものを、図3-4～6に示す。

4. まとめ

推定された剛性より計算されるたわみと実測たわみとの対応はかなり良く、感度解析手法の有効性が判明した。測定たわみの精度の信頼性が十分であれば、複数個のたわみ測定値から、より細かな剛性の分布を求めることが可能である。

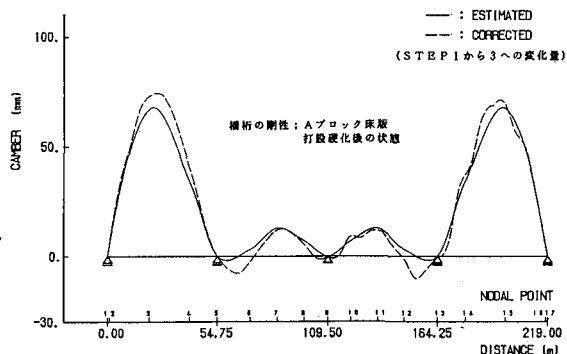
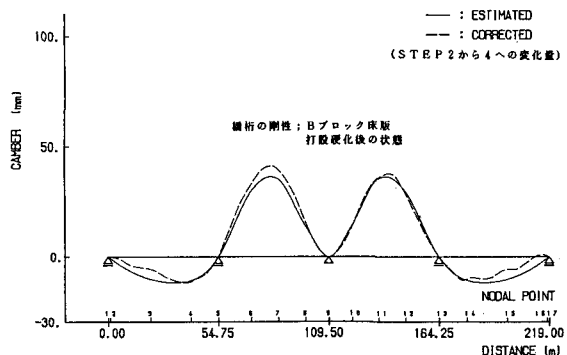
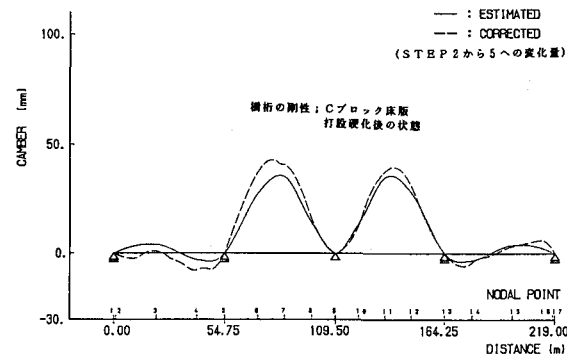
最後に、解析ならびに数値計算の労をとってくれた鈴木成君（現 明和設計）、また本研究に際して御援助いただいた関係各位に謝意を表します。

参考文献

＊）新延・松井・鈴木：静的感度解析の応用に関する研究、構造工学論文集 Vol.32A, 1986-3

Table. 3-1 各STEPの荷重状態

STEP	打設内容	打設日	G ₃ 桁に作用する荷重 (tf/m)
1	鉄筋組立	—	0.408
2	Aブロック打設	8/4	1.898
3	Bブロック打設	8/9	
4	Cブロック打設	8/23	
5	地盤・高欄・型枠除去等	9/26	0.512
床版コンクリート体積 (1mあたり)			3.122 (m ³ /m)

Fig.3-4 ESTIMATED CAMBER OF STEEL GIRDER G₃ ON STEP 1-3Fig.3-5 ESTIMATED CAMBER OF STEEL GIRDER G₃ ON STEP 2-4Fig.3-6 ESTIMATED CAMBER OF STEEL GIRDER G₃ ON STEP 2-5