

投稿論文 (和文)
PAPERS

実測たわみに基づく橋桁の剛性評価に関する研究

新延泰生*・矢島基臣**・菅原 荘***

本研究は、基本的な橋梁形式の一つである桁橋をとりあげ、実測たわみに基づいた現実の橋桁の剛性を感度解析手法により推定している。本論文では実在の2橋に対して、ブロック別投設方法による鉄筋コンクリート床版各施工段階における実測たわみに基づく橋桁の剛性ならびに床版打設後に行われた載荷試験による計測たわみに基づく橋桁の剛性をそれぞれ推定し、床版と鋼桁との合成効果を検討している。

Keywords : stiffness evaluation, sensitivity analysis, girder bridge, structural models

1. ま え が き

実際に設計施工される構造物では、施工後に行われる載荷試験より得られる実測たわみなどの応答値より、また施工途中で計測されるたわみなどから、構造物を設計施工する際に仮定した解析モデルの妥当性や諸パラメータの設定値の妥当性を検討することがよく行われる。

本研究は、基本的な橋梁形式の一つである桁橋をとりあげ、コンクリート床版施工中に計測されるたわみ、あるいは、施工後の載荷試験から得られる実測たわみに基づいて現実の橋桁の剛性を推定しようとするものである。実際の挙動に合致した橋桁の剛性を推定することにより設計時に評価されなかった剛性あるいは余分に見込んだ剛性を把握することができ、合理的かつ信頼性のある解析モデルあるいは設計モデルを作り上げることが可能となる。

測定応答量を基にして構造系の種々のパラメータを推定する問題を逆解析問題あるいは同定問題と呼んでいる^{1),2)}。解析方法としては最小自乗法により定式化し、非線形最適化理論により求める方法が一般的であるが、ここでは、感度解析手法を用いて実測たわみに基づく橋桁の剛性を逆に推定することとする。本研究で示すように、構造系が明確で、床版施工中に得られる実測たわみに基づいて橋桁の剛性を順次に推定していく、すなわち、未知剛性を一つずつ推定していく場合あるいは構造系の中で剛性を推定する要素の位置が確定している場合には、安定な解を比較的簡単に得ることができる感度解析を応用した手法^{3),4)}が適していると考えられる。

本研究で示した剛性評価方法は構造部材の損傷程度を

推定する問題にも適用可能と考えられる⁵⁾。

2. 感度解析手法による剛性推定方法

1章で述べたように感度解析手法によれば、既知の応答量に基づいて構造系の未知剛性を推定することが可能である。すなわち、感度解析は逆解析問題に対する一つの解析方法となる。本章ではこの感度解析を応用した剛性推定の考え方を説明する。感度解析の詳細については文献6)を参照されたい。

変位法による静的な状態方程式は一般に

$$[K] \{z\} = \{F\} - \{F_p\} - \{F_{\epsilon 0}\} \dots \dots \dots (1)$$

で与えられる。ここに $[K]$ は剛性マトリックス ($n \times n$)、 $\{z\}$ は節点変位ベクトル ($n \times 1$)、 $\{F\}$ は節点外力ベクトル ($n \times 1$)、また $\{F_p\}$ 、 $\{F_{\epsilon 0}\}$ はそれぞれ分布荷重あるいは温度変化などの初期ひずみによる等価節点力ベクトル ($n \times 1$) を表す。

感度変数 X_i , $i=1, \dots, m$ (断面積, 断面二次モーメントなど) の微小変動に対して式(1)の両辺の第一変分をとると

$$[K] \{\delta z\} + \left[\frac{\partial K}{\partial X_i} \right] \{z\} \delta X_i = \left[\frac{\partial F}{\partial X_i} \right] \delta X_i - \left[\frac{\partial F_p}{\partial X_i} \right] \delta X_i - \left[\frac{\partial F_{\epsilon 0}}{\partial X_i} \right] \delta X_i$$

$$i=1, 2, \dots, m \dots \dots \dots (2)$$

となる。 z を従属変数と考え独立な感度変数 X で表すと $\{\delta z\}$ は $\{\partial z / \partial X_i\} \delta X_i$ で示されるので式(2)は次のようになる。

$$[K] \left\{ \frac{\partial z}{\partial X_i} \right\} = \left\{ \frac{\partial F}{\partial X_i} \right\} - \left\{ \frac{\partial F_p}{\partial X_i} \right\} - \left\{ \frac{\partial F_{\epsilon 0}}{\partial X_i} \right\} - \left\{ \frac{\partial K}{\partial X_i} \right\} \{z\}$$

$$i=1, 2, \dots, m \dots \dots \dots (3)$$

式(3)において左辺の $\{\partial z / \partial X_i\}$ は i 部材の感度変数

* 正会員 工博 東洋大学助教授 工学部土木工学科 (〒350 川越市鯉井中野台 2100)
 ** 正会員 工博 東洋大学教授
 *** 丸磯建設(株) 東京支店 土木部工事課工事長

X_i の微小変動に対する各節点変位の変動量，すなわち節点変位の感度係数を示す。式 (3) は式 (1) と同じく剛性マトリックス $[K]$ を係数マトリックスとしているので，有限要素法の解法ルーチンがそのまま使用でき，感度係数マトリックス $\{\partial z/\partial X_i\}$ が簡単に求められる。

感度変数が $\{X_0\}$ より $\{X\} = \{X_0\} + \{\delta X\}$ へ微小変動した場合，節点変位 z は近似的に

$$z = z_0 + \{S\}_0^T \{\delta X\} \dots\dots\dots (4)$$

で表される。ここに， z_0 は与えられた感度変数 $\{X_0\}$ に対する節点変位を示し，また $\{S\}_0$ は $\{X_0\}$ に対する節点変位 z の感度係数ベクトル $\{\partial z/\partial X_i\}$ である。ここで，節点変位 z の δX に対する線形性を向上させるために X_i の逆数 $R_{X_i} = 1/X_i$ を新たに感度変数とすれば⁶⁾， R_X が $\{R_{X_0}\}$ より $\{R_X\} = \{R_{X_0}\} + \{\delta R_X\}$ へ微小変動した場合の節点変位 z は次のように示される。

$$z = z_0 + \{-S_i X_i^2\}_0^T \{\delta R_X\} \dots\dots\dots (5)$$

ここで，各部材要素の剛性変動率を β_i ($-1 < \beta_i$)，感度変数 X を部材断面二次モーメントとし，節点変位 z としてたわみを考えれば式 (5) は次のように書ける。

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

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 節点でのたわみを示す。 $(\partial v_j/\partial I_i)_0$ は基本構造系において i 部材の断面二次モーメント I_i が変動したときの j 節点のたわみ v_j の感度係数を表す。なお，添字 “0” は基本構造系であることを示す。式 (6) で，実測たわみ v_j を与え，剛性変動率 β_i を逆に求めれば，推定剛性値 $I_i = (1 + \beta_i) I_{0i}$ が求められる。

構造系が静定な場合は，式 (6) から一度の計算により直ちに厳密解が求められる⁶⁾。一方，構造系が不静定な場合は，推定剛性値 $(1 + \beta_i) I_{0i}$ に対して再解析されたたわみと実測たわみとに誤差が生じ，求めた推定剛性値を新たに基本構造系とし，式 (6) より剛性変動率 β_i を繰り返し求めることになる。しかし，式 (5) で示される節点変位 Z の R_X に対する線形性が良好なため後に示す計算例に見るようにほぼ 2~3 回の反復回数で解が得られる。

3. 実橋への適用例

橋長の長い連続形式の橋梁の床版施工は，一度に打設できるコンクリート量に制限があって，ブロックに分けて打設せざるを得ない。その場合，ブロック施工各段階におけるすでに打設済みの床版コンクリートに与える主として応力上の影響および橋桁のキャンパーの管理上の問題などがある。これらの問題に対してはコンクリートの材令からヤング係数比 n を仮定し，鋼桁と床版との合成作用を考慮して床版コンクリート部の引張応力度あるいは床版各施工段階におけるキャンパーの変化を計算

している。最近では過大な交通荷重による床版コンクリートの破損例が多く見られることから合成桁よりも非合成桁の例が多くなってきているが，非合成桁の場合においてもスラブアンカーにより床版と鋼桁との間にある程度の合成作用があることはよく知られている。非合成桁における合成作用の程度については定量的に把握することは困難で，前述したように合成桁と考え，ヤング係数比 n をコンクリートの材令により調整することにより合成効果を考慮しているのが現状である。

以下実橋への適用例として床版打設中の鋼桁の実測たわみから，また床版打設硬化後に行われた載荷試験による鋼桁の実測たわみに基づいて床版，床組そして鋼桁を含めた橋桁としての剛性を 2. で述べた感度解析手法により推定する。すなわち，床版および床組の鋼桁に対する剛性寄与を実測たわみに基づいた橋桁全体の剛性から評価するものである。したがって，使用されている床版コンクリートの材料特性は剛性推定の過程では表に出てこない。通常的设计における解析モデルの中で床版および床組の剛性寄与を鋼桁の剛性の割増しという形で表現するもので，同形式の桁橋の設計の簡便化につながるものと考えられる。

(1) 川島橋

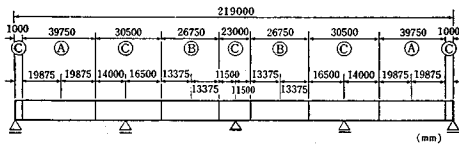
実橋への適用例その 1 として以下に示す川島橋をとりあげ，床版施工中に測定された鋼桁の変位量を基に床版の各施工段階における橋桁の剛性を推定する。

a) 川島橋の概要ならびに床版施工について

橋の名称	川島橋
所在地	茨城県下館市大字下川島地先国道 50 号
橋 格	1 等橋
道路規格	第 3 種 1 級
形 式	4 径間連続非合成鋼板桁橋×2 連
橋 長	$L_B = 439.800 \text{ m}$
支 間 長	$L_S = (4 \times 54.750 \text{ m} = 219.00 \text{ m}) \times 2 \text{ 連}$
幅 員	車道部 8.250 m，歩道部 2.500 m
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
	車道部厚さ $t = 80 \text{ mm}$
	歩道部厚さ $t = 30 \text{ mm}$
床 版	鉄筋コンクリート床版，厚さ $t = 240 \text{ mm}$

川島橋は，4 径間連続桁橋で，橋面積も大きく床版コンクリートを一度に全長打設することは困難であるため，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。ブロック割とその打設順序は次のような基本方針⁷⁾に基づいて決定された。

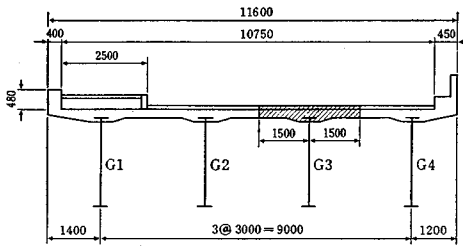
- i) 各ブロックの打設時に鋼桁に局部的な大変形を生じさせないこと。
- ii) たわみ (製作キャンパー) の大きい部分より打



図一 床版打設ブロック割

表一 床版施工各STEPと作用荷重 (G3桁)

STEP	施工内容	打設日	G3桁に作用する荷重 (tf/m)
0	鋼桁架設	—	—
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	地覆・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)



図二 主桁配置および床版断面

設し、支点上は最後に打設する。

iii) 打設進行中に先に打設したコンクリートにひびわれを生じさせない順序および養生期間を設定すること。

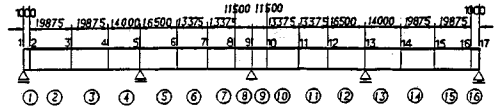
ブロック割は図一に示すとおりで、A→B→Cの順に打設が行われた。床版の各施工段階は表一に示すように5ステップに分けられ、各ステップごとに鋼桁のキャンパーが測定された。キャンパーの測定値は、鋼桁上フランジに1mおきに鉛直に取り付けられた定規用鉄筋の上端の鉛直変位を水準測量することにより求めている。このキャンパーの測定値からステップ間のキャンパー変化量を求め、これを実測たわみとして床版施工の各ステップにおける橋桁の剛性を推定した。なお、支点上においても測定点が上フランジ上にあるため、支点上における回転が原因と考えられるわずかな変位が測定されたが、以下の計算ではこの変位量を支点間で比例配分し、実測たわみより除去した。この補正された実測たわみを基にしてステップ間のキャンパーの変化量を図示したものを図一4.1~4.3の破線で示す。ここで示したものは測定精度が比較的良好なG3桁(図二参照)に対するものである。使用した床版コンクリートの圧縮強度の試験結果を表二に示す。

b) 橋桁の剛性評価

基本構造系(剛性 I_{0i})として鋼桁(ここではG3桁)

表二 床版コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm²)

強度	ブロック		
	A	B	C
1週強度	198	208	207
4週強度	319	306	395



図三 要素分割

表三 剛性推定に使用した実測たわみと基本構造系に作用させる荷重

剛性推定ブロック	実測たわみ	荷重(表1参照)
A	$(v_3 + v_{15})/2$	STEP(1+2+5)
B	$(v_7 + v_{11})/2$	STEP(3+4)
C	$(v_7 + v_{11})/2$	STEP(3+4+5)

を考え、まずこれに所定の荷重を作用させて基本構造系に対する節点変位 v_{j0} および感度係数 $(\partial v_j / \partial I_i)_0$ を計算する。床版施工の各ステップにおけるG3桁に作用する荷重は表一に示すとおりで、図二において、斜線部分をG3桁への載荷範囲と考え幅員方向全荷重に3.00/11.60を乗じて求めている。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三に示すように行った。

各ステップごとに剛性を推定する要素は、例えばステップ3ではAブロックの②, ③, ⑭, ⑮の各要素で、剛性変動率 β_i は各要素において同一と考える。次のステップ4ではBブロックの⑥, ⑦, ⑩, ⑪の各要素の剛性を推定するが、Aブロックに相当する要素の剛性はステップ3で推定した値を用いる。また、ステップ5ではCブロックの④, ⑤, ⑧, ⑨, ⑫, ⑬の各要素の剛性を推定するが、A, Bブロックに相当する要素の剛性は前のステップで推定した値を用いる。この手順を基本として、Aブロック床版打設硬化後の橋桁の剛性を推定する場合は、実測たわみ v_j として、各節点における鋼桁架設時からステップ3へのキャンパー変化量の中で相対的に測定誤差の少ないと考えられる最大値をとる。この場合最大値は v_3 であるが、対称性を考慮して v_3 と v_{15} の平均値を実測たわみとした。また基本構造系に作用させる荷重としてはステップ1から3までの荷重の合計を考えればよい。またこの荷重は基本構造系に対する v_{j0} および感度係数 $(\partial v_j / \partial I_i)_0$ を計算する際の荷重にもなる。各ブロック床版打設後の橋桁の剛性を推定する場合の実測たわみ v_j および基本構造系に作用させる荷重を表三にまとめて示す。

式(6)より β_i を求め、推定剛性値 $I_i = (1 + \beta_i) \times I_{0i}$

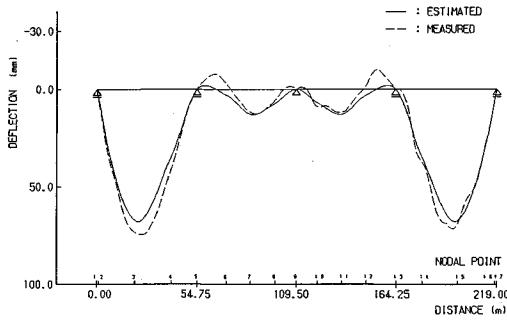


図-4.1 推定されたステップ0-3間のキャンパー変化量と実測たわみの比較 (G3桁)

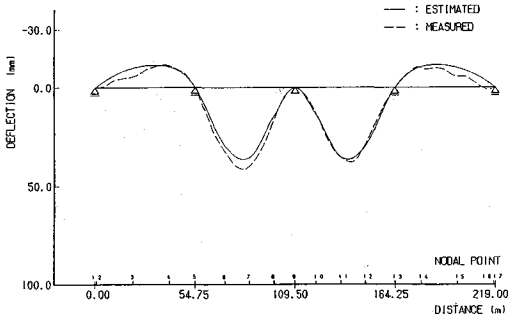


図-4.2 推定されたステップ2-4間のキャンパー変化量と実測たわみの比較 (G3桁)

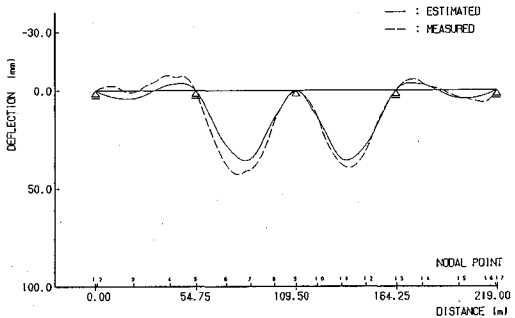


図-4.3 推定されたステップ2-5間のキャンパー変化量と実測たわみの比較 (G3桁)

に対して表-3に示す荷重を用いて計算したキャンパーの変化量を図-4.1~4.3の実線で示す。図からいずれの場合も推定された剛性より計算されるたわみ(キャンパー変化量)と実測たわみとの対応はかなり良いことがわかる。

得られた各ブロックに相当する要素の剛性変動率 β_i は、 $\beta_A (= \beta_2 = \beta_3 = \beta_{14} = \beta_{15}) = 0.2067$ 、 $\beta_B (= \beta_6 = \beta_7 = \beta_{10} = \beta_{11}) = 0.0801$ 、 $\beta_C (= \beta_4 = \beta_5 = \beta_8 = \beta_9 = \beta_{12} = \beta_{13}) = 0.7142$ であった。 β_C はやや大きい β_C の推定に際して、ステップ5におけるG3桁に作用する荷重が大きめであること、またステップ2から5の間でA、BブロックはCブロックと同じようにステップ4~5で硬化

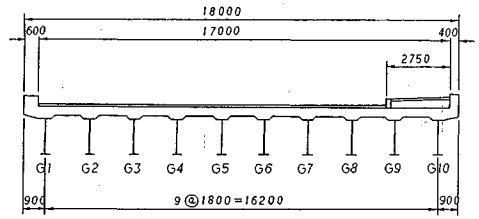


図-5 主桁配置および床版断面 (mm)

し剛性を持ち始めることから、結果的に剛性値を大きめに推定していることになる。

以上から、床版打設過程での死荷重のように幅員方向にはほぼ平均的に作用する静荷重に対しては各ブロックの床版打設硬化後の橋桁の剛性はほぼ鋼桁のみの剛性に近く、したがって床版と鋼桁との合成作用は少ないものと判断される。

ここではキャンパーの変化量に対する温度変化の影響を無視しているが、現実には温度の実測値から桁断面上下方向に温度勾配を持つことが認められ、これによるたわみがキャンパー変化量の中に含まれていることになるが、温度勾配から逆算したたわみは最大で2 mm程度である。しかしこの値は床版打設に伴うキャンパーの変化量に比較して小さいものと考えられ、ここでは温度変化の影響を無視した。桁軸方向および桁断面上下方向の温度実測値の精度に十分な信頼性があれば基本構造系に作用させる荷重の中に温度によるものを加えることにより、より実際の挙動に近い橋桁の剛性を得ることができ

(2) 笹目橋

実橋への適用例その2として以下に示す笹目橋をとりあげる。川島橋では床版施工過程における橋桁の剛性を評価したが、笹目橋では床版打設硬化後に行われた静的載荷試験より得られたたわみ実測値から橋桁の剛性を推定し、床版と鋼桁との合成効果を評価する。

a) 笹目橋の概要ならびに静的載荷試験による橋桁のたわみ測定

橋の名称	笹目橋
所在地	東京都板橋区新河岸先国道17号
橋格	1等橋
道路規格	第4種1級
形式	2径間連続非合成鋼板桁橋
橋長	$L_B = 57.400$ m
支間長	$L_S = 2 @ 28.200$ m
幅員	車道部 14.250 m, 歩道部 2.750 m
平面線形	直線
勾配	縦断勾配 0.4%, 横断勾配 2%
舗装	アスファルト舗装
	車道部厚さ $t = 80$ mm

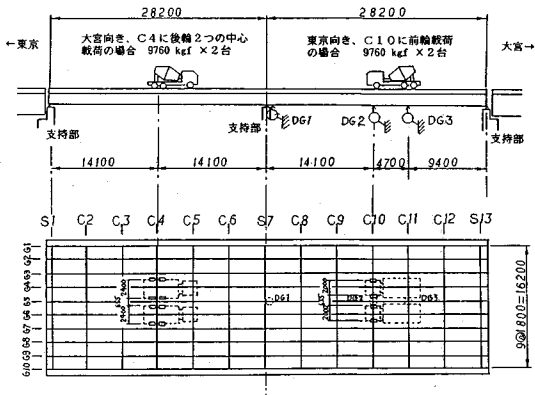


図-6 静的載荷試験の一例

表-4 床版コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm²)

強度	ブ ロ ッ ク	
	A	B
1 週 強度	1 6 7	2 0 4
4 週 強度	3 3 2	3 7 5

歩道部厚さ $t=30$ mm
 床 版 鉄筋コンクリート床版
 車道部厚さ $t=200$ mm
 歩道部厚さ $t=140$ mm

笹目橋は図-5に示すように主桁10本を有する、幅員の広い多主桁橋である。床版コンクリートは両端の支点S1, S13から橋中央部へ20.7 mの部分(Aブロック)と中間支点S7からS1, S13方向に7.5 m, 計15 m部分(Bブロック)の2ブロックに分けて打設された(S1, S13, S7については図-6を参照)。各ブロックの床版コンクリートの圧縮強度の試験結果を表-4に示す。測定されたひずみと応力との関係よりヤング係数比 n はほぼ7~8と推定され、 $n=7$ として以下の計算を進めている。

橋桁のたわみは、歩道および地覆コンクリート打設後約2か月経過してから、以下に述べるような静的載荷試験を行うことにより得た。

図-6に示すように、コンクリートミキサー車2台(重量9760 kgf×2台=19520 kgf)をG5桁とC4分配横桁の交点、またはG5桁とC10分配横桁の交点近傍に車の前輪または後輪2つの中心がくるように並列させた後、G5桁の中間支点(DG1)およびスパン内2か所(G5桁とC10分配横桁との交点DG2とG5桁とC11対傾構との交点DG3)でたわみを測定した。なお載荷は東京向きに載荷した場合と大宮向きに載荷した場合とを行っているが、以下の剛性評価では、東京向きの車の前輪をG5桁とC10分配横桁との交点に乗せたときのたわみを剛性評価する場合の実測たわみとしている。

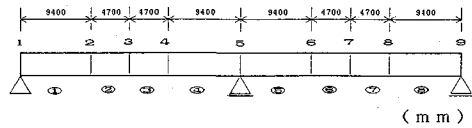


図-7 要素分割

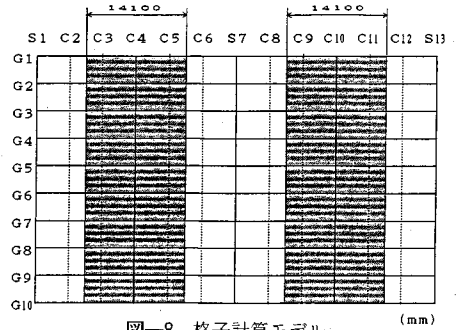


図-8 格子計算モデル

表-5.1 剛性推定結果 (1回目)

$V_0 = 0.4612$ (cm) $V = 0.1945$ (cm) $\beta_1 = 1.7201$

V_0 : 初期基本系で計算された変位

V : 測定変位

β_1 : I_0 からの剛性変動率

要素	初期基本系 I_0 (cm ⁴)	合成断面 $n=7$ I_v (cm ⁴)	推定断面 I_{est1} (cm ⁴)	I_{est1}/I_v (%)
①	623169.0	1689353.0	1695097.3	100.3
②	743285.0	1902740.0	2021827.8	106.3
③	729674.0	1878789.0	1984804.2	105.6
④	849100.0	2238464.0	2309657.8	103.2
⑤	849100.0	2238464.0	2309657.8	103.2
⑥	729674.0	1878789.0	1984804.2	105.6
⑦	743285.0	1902740.0	2021827.8	106.3
⑧	623169.0	1689353.0	1695097.3	100.3

$I_{est1} = (1 + \beta_1) I_0$

b) 橋桁の剛性評価

実測たわみを得たG5桁についてその橋桁としての剛性を求めることとするが、得られた剛性評価は他の桁に対して適用されるものである。基本構造系(剛性 I_{0i})は鋼桁のみとし、その要素割りは載荷に使用したコンクリートミキサー車の前輪と後輪2つの中心との距離を考慮して図-7に示すように行った。

G5桁に作用する荷重は格子計算より求めたが、その際、C4の荷重分配横桁の曲げ剛性を求めるに当たって、図-8に示すように床版については幅14.10 m分の剛性および中間対傾構C2, C3, C5, C6のそれぞれの換算剛性⁸⁾を重ねばりとして加えたものを考慮した。荷重分配横桁C10についても同様にして曲げ剛性を求めた。

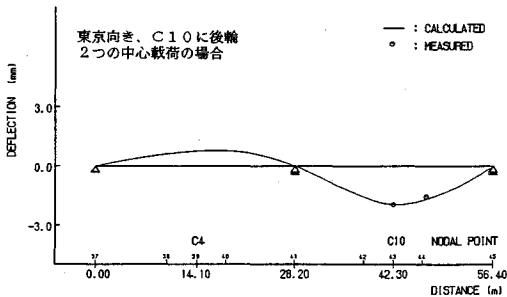
剛性推定結果を表-5.1, 5.2に示す。本結果は2回の反復計算により解が得られた。なお2回目の計算における基本構造系は1回目の計算で得られた推定断面 I_{est1} としている。推定された断面剛性 I_{est2} は鋼桁に対し

表一5.2 剛性推定結果（2回目）

$V_0 = 0.1851$ (cm) $V = 0.1945$ (cm) $\beta 2 = -0.0525$
 $V_c = 0.1945$ (cm) $\beta 1 = 1.7201$
 V_0 : 基本構造系で計算された変位
 V : 測定変位
 V_c : 推定断面 Iest2 で計算された変位
 $\beta 2$: Iest1 からの剛性変動率
 $\beta 1$: I₀ から Iest1 までの剛性変動率

要素	基本構造系 (1+β1)I ₀	合成断面 n=7 I _v (cm ⁴)	推定断面 Iest2 (cm ⁴)	Iest2 / I _v (%)
①	1695097.3	1689353.0	1606116.4	95.1
②	2021827.8	1902740.0	1915695.8	100.7
③	1984804.2	1878789.0	1880615.6	100.1
④	2309657.8	2238464.0	2188416.7	97.8
⑤	2309657.8	2238464.0	2188416.7	97.8
⑥	1984804.2	1878789.0	1880615.6	100.1
⑦	2021827.8	1902740.0	1915695.8	100.7
⑧	1695097.3	1689353.0	1606116.4	95.1

$I_{est2} = (1 + \beta 2) (1 + \beta 1) I_0$



図一9 再解析されたたわみと実測たわみとの比較（G5桁）

ては約2.6倍、また合成断面（ヤング係数比 $n=7$ ）に対しては約95～100%の範囲で示され、非合成桁橋ではあるが、床版と鋼桁との合成効果が相当に認められた。推定結果の妥当性を検討するために Iest2 を基に再解析したたわみと実測たわみとを比較したものを図一9に示す。図中の実線は Iest2 に対して再解析された G5 桁のたわみ曲線を表し、○印は実測たわみを表している。両者の対応はかなり良好であることがわかる。

4. ま と め

3章で示した実橋への適用例より実測たわみから実橋の橋桁の剛性を推定する問題に対して本論文2章で示した感度解析手法による剛性推定方法の有効性が確認された。

実橋への適用例としてとりあげた2例は構造系の相違はあるが、いずれも非合成桁橋である。川島橋の場合はブロック別打設方法による床版各施工段階における橋桁の剛性を推定していて、橋桁に作用する荷重は打設された床版コンクリートの自重であって橋面上広く作用している。そのような分布荷重に対しては床版と鋼桁との合成効果はあまり認められなかった。一方、笹目橋の場合では床版施工後の橋桁の剛性を推定していて、橋桁に作

用する荷重はコンクリートミキサー車の車輪荷重である。そのような集中的に作用する荷重に対しては橋桁はほぼ合成桁に近い挙動を示した。

実測たわみから剛性を逆算する考え方は一般に行われているが、その考え方は基本的に試行錯誤的なものであって、式（6）のような数式的に陽な形で実測たわみと剛性との関係が与えられない。一方、感度解析手法による剛性推定方法はパソコンによる画面処理・対話形式の演算に向いていて、さらに感度解析から得られる感度係数そのものを調べることで設計の一過程でどの部材あるいは構造要素を変動させたらよいかの情報も得られ、構造物の設計の過程で利用することにより設計コストを低下させることも可能と考えられる⁹⁾。

今後は更に実橋のデータを基に実構造物の剛性評価に関して検討を進めて行く予定である。

最後に、本研究は東洋大学工業技術研究所を通しての依頼研究の一部で、本研究の機会を与えていただいた関係各位に謝意を表します。とくに佐々木道夫博士（新日本技研）には貴重な助言をいただき深く謝意を表します。また本論文の数値計算および図、表の作製の労をとった東洋大学大学院博士前期課程修了の野沢 靖君（現在日本橋梁）ならびに台原 直君（現在長大）に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Udwardia, F.E., Garba, J. A. and Ghodsi, A. : Parameter identification problems in structural and geotechnical engineering, Proc. of ASCE, Vol.110, No.EM 9, pp.1409～1432, 1984.
- 2) Douglas, B.M. and Wayne, H.R. : Dynamic tests and system identification of bridges, Proc. of ASCE, Vol.108, No.ST 10, pp.2295～2312, 1982.
- 3) 実松秀夫ほか：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，土木学会第41回年次学術講演会第1部，pp.385～386，1986年11月。
- 4) 野口 健ほか：実測たわみから推定される非合成桁橋の剛性評価，土木学会第43回年次学術講演会第1部，pp.438～439，1988年10月。
- 5) 植野芳彦・新延泰生・矢島基臣：感度解析による剛性推定のモデル実験，土木学会第42回年次学術講演会第1部，pp.470～471，1987年9月。
- 6) 新延泰生・松井邦人・鈴木 成：静的感度解析の応用に関する研究，構造工学論文集，Vol.32 A, pp.467～474，1986年3月。
- 7) 日本橋梁建設協会：床版工事設計施工の手引き，pp.64～65，1984年5月。
- 8) 日本道路協会：鋼道路橋設計便覧，p.129，1979年2月。
- 9) 新延泰生・小山幸作・小野寺秀夫：画面処理・対話形式による感度解析を用いた構造解析，第15回土木情報システムシンポジウム，1990年10月。

(1990.10.23 受付)

A STUDY ON THE EVALUATION OF BRIDGE GIRDER STIFFNESS IN ACCORDANCE WITH MEASURED DEFLECTION

Yasuo NIINOBE, Motoomi YAJIMA and Sakari SUGAHARA

Estimation method for the stiffness of practical structures based on measured deflection is proposed. In this paper, as examples, bridge girder stiffness is estimated from deflection which are measured during placing of the slab concrete, and after construction, are obtained by loading test. And degree of composite action between the girders and the slab concrete of noncomposite girders is estimated from deflection of girder. When girder stiffness in accordance with practical behaviour is evaluated, we can present a more rational and reliable model of analysis and design.
