

I-293

既存橋梁の耐力の一評価法とその検証に関する研究

神戸大学 正会員 西村 昭，藤井 学，宮本 文穂
 兵庫県 正会員 春名 真義
 神戸大学 学生員 ○杉江 功

1. まえがき 橋梁における維持管理の重要性が指摘されて久しくなるが、その根幹の一つとも言うべき損傷度評価については、合理的、定量的手法が確立されているとは言い難い。その理由として、橋梁の複雑さや単産品である事などが挙げられるが、提案された手法を実証できないというのもその一因である。

2年前、我々は兵庫県桜橋の実橋試験を行い、静的荷重試験について System Identification法(SI法)を用いた損傷度評価を行っている^{1), 2)}。今回、同橋の架替え工事に当り、経時変化調査のための試験とともに、その耐力試験を行う機会が得られたので、SI法の有効性についての検討を行ってみた。

2. 試験概要 試験対象となった桜橋の諸元等と断面図を表1、および図1に示す。図中、E桁は旧橋部と一体化する様に横桁と共に新設されたものである。静的試験は、20tトラックを各桁に最も不利となる様に載荷し、各桁のたわみを測定した。このあと破壊試験では、前回調査結果から最も損傷を受けていると思われるC、D桁を他の桁と縁切りする事により独立させ、残りの桁に反力を持たせて、単純支持のRCT桁として中央部集中荷重とし、X-YレコーダーのP- δ 曲線を見ながら油圧ジャッキで荷重を与え、支間中央のたわみ、主鉄筋応力、及び両端より $l/4$ 点のスターラップの応力を測定した。

表1 桜橋の諸元等

所在地	兵庫県佐用郡三日町
架設年次	昭和8年
形式	RC単純T桁橋
スパン	2@10.9=21.8m
斜角	74°
幅員	6.75m
適用示方書	大正15年版
設計荷重	TL-8
拡張年次	昭和43年

3. 静的試験結果 前回及び今回の2回の試験のたわみ分布と、今回の試験に対する理論値及びSI法を適用した結果より得られるたわみ分布を図2に示す。なお、理論値は、高欄、舗装、地覆の影響を無視し、全断面有効のねじり剛性を有する格子桁として解析したものである。

理論値との比較では、各桁ともかなり剛性が低下しており、特にB、C、D桁の剛性低下が著しく、A、E桁では、損傷度は小さいように見える。これは、ひびわれなどの目視による評価とほぼ一致している。しかし、前回と今回の2回の試験結果は、試験車両の違いなどにより直接比較する事はできない。例えば、車両直下の桁のたわみが、前回より小さいのは、車幅が大きくなり、荷重が分散したためと考えられる。

これに対しSI法は、構造物の現状を定量的に把握する目的で、適当な構造モデルに対し、実験から得られた力学的挙動が計算値と一致する様に、種々の構造パラメーター（各桁の剛性、弾性係数など）を決定するものである。今回は、力学的挙動としてたわみ分布を、構造パラメーターとして各桁の断面2次モーメント、及びコンクリートの弾性係数を選び、たわみの実測値と計算値との誤差による評価で現状の構造パラメーターを推定した。SI法による評価結果（表2参照）を見ると、A桁などで断面2次モーメントが増加している様に見えるが、これは荷重の違いや、他の桁の剛性低下による相対的なものだと思われる。この結果を用いて各桁の破壊安全率を次式より算出する。

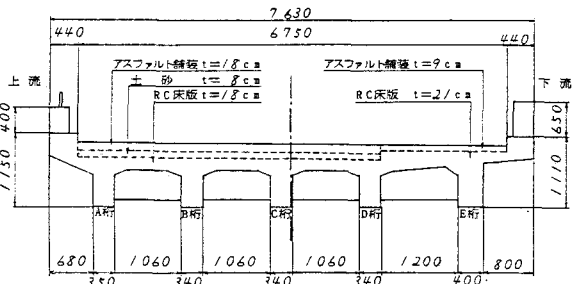


図1 桜橋の断面図 (単位: mm)

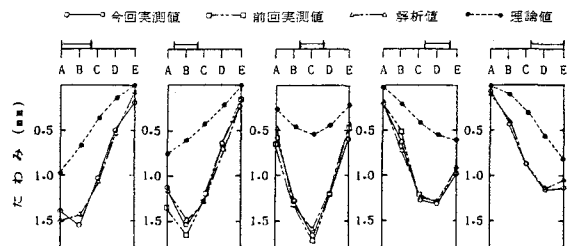


図2 たわみ分布

これに対しSI法は、構造物の現状を定量的に把握する目的で、適当な構造モデルに対し、実験から得られた力学的挙動が計算値と一致する様に、種々の構造パラメーター（各桁の剛性、弾性係数など）を決定するものである。今回は、力学的挙動としてたわみ分布を、構造パラメーターとして各桁の断面2次モーメント、及びコンクリートの弾性係数を選び、たわみの実測値と計算値との誤差による評価で現状の構造パラメーターを推定した。SI法による評価結果（表2参照）を見ると、A桁などで断面2次モーメントが増加している様に見えるが、これは荷重の違いや、他の桁の剛性低下による相対的なものだと思われる。この結果を用いて各桁の破壊安全率を次式より算出する。

$$\gamma_m = (M_u - 1.1 M_d) / M_i$$

ここに、 γ_m : T-20荷重に対する曲げ破壊安全率

M_u : 破壊曲げモーメント(ACI基準を適用)

M_d : 死荷重による曲げモーメント

M_i : T-20荷重による曲げモーメント

さらに、断面2次モーメントの低下には、ひびわれなどによる有効幅の減少が影響しているものと考え、その時の破壊曲げモーメントに対しても安全率(γ_m')を算出してみた。せん断破壊に対しても同様の照査を行い、それらの結果を表3に示す。有効幅を考慮した場合には、C桁のせん断破壊に対する安全率が最も小さくなっている事がわかる。

4. 破壊試験結果 C, D桁に対する破壊試験結果を表4に示す。各桁の破壊は、曲げに対しては、中央たわみがスパン長の500分の1に達した時を、せん断については、スターラップが降伏した時と定義して求めた。

C桁のスターラップの荷重～ひずみ曲線に明白な降伏点がないため、0.2%耐力を降伏点応力とし、この時破壊したものとす。両桁を比較すると、曲げはC桁、せん断はD桁の方が耐荷力が小さく、また、両桁ともせん断破壊が先行し、かなり遅れて主鉄筋の降伏、及び、たわみの急増点が現れた。これらは、目視の結果とほぼ一致した結果となっている。

5. まとめ SI法を用いることにより、各桁の破壊安全率という形で損傷度評価を行ったが、その有効性ならびに破壊試験によって得られた耐荷力との比較をまとめると次のようになる。

1) SI法による橋梁の診断では、桁の優劣など、ほぼ目視や破壊試験のデータと一致する結果が得られた。しかし、実橋のたわみには多くの要因が影響を与えるが、それらを全て構造パラメータにする事はできないため、絶対的な数値を得る事はできず、評価はある要因(ねじり剛性など)を固定させた時の、相対評価という事になる。また、せん断破壊では、 $\ell/4, 3\ell/4$ 点が対称位置のためSI法ではほぼ同じ安全率となったが、実際は全く別の挙動を示している。このため、より正確な比較評価を行うには、構造パラメータを持つ部材の分割数を増やす必要がある。

2) 破壊試験における曲げ耐荷力は、予想される値よりかなり大きいものであった。この原因として、舗装の影響などが考えられるが、アスファルトの剛性は温度によって大きく変化する(今回の試験は冬季に行った)など、実測値をそのまま真の耐荷力とすることはできない。特に、コンクリート橋の場合はこうした2次的な要因が、損傷度評価に係わってくるので、十分な注意を要する。

参考文献 1) 西村 昭 他: 橋梁診断ケーススタディー, 橋梁と基礎, Vol.19, 1985.4
2) Douglass, B.M. and Reid, W.H.: Dynamic Tests and System Identification of Bridge, J. of Str. Div., ASCE, Vol.108, No.ST 10, PP.2295-2312, 1982

表2 SI法による構造パラメーターの推定

構造パラメーター	設計値	前回の値	ケース1	ケース2
断面2次モーメント ($\times 10^6 \text{ cm}^4$)	主 桁 A	3.19	1.82	2.60
	主 桁 B	2.92	1.01	1.05
	主 桁 C	2.92	0.74	0.74
	主 桁 D	3.09	0.70	0.80
	主 桁 E	5.51	4.56	3.99
	横桁A~B	1.65	0.22	0.12
	横桁B~C	1.65	0.66	0.62
	横桁C~D	1.65	0.44	0.44
	横桁D~E	1.89	0.88	0.80
ヤング係数 ($\times 10^6 \text{ kg/cm}^2$)	2.40	1.90	1.90	1.90
誤 差 E_{rr}^2	—	.160	.091	.157

(備考) ケース1は15ポイント, ケース2は25ポイントを用いた

表3 破壊安全率 a) 曲げ破壊安全率

主 桁	M_u (t・m)	M_d (t・m)	M_i (t・m)	γ_m	γ_m'	γ_m' (前回の値)
A 桁	56.3	19.1	9.30	3.79	3.79	4.68
B 桁	54.9	10.6	5.75	7.52	6.09	3.67
C 桁	54.9	6.47	4.22	11.3	2.96	3.58
D 桁	55.1	6.16	3.98	12.1	4.83	4.28
E 桁	80.2	27.4	12.4	4.04	4.04	5.93

b) せん断破壊安全率 (C 桁)

照査位置	S_u (t)	S_d (t)	S_i (t)	r_s	r_s'	r_s' (前回)
$\ell/4$ 点	15.9	4.24	3.98	2.82	1.84	2.10
$3\ell/4$ 点	15.9	4.21	3.97	2.84	1.86	2.10

(備考) 照査位置は岡山側からの距離 ($\ell = 10.9\text{m}$)

表4 桜橋の破壊試験結果

	最大荷重	$\delta=1/500$ 時の荷重	せん断破壊荷重
C桁	35.7	27.3 (19.1)	12.4 (31.6)
D桁	40.1	32.3 (19.7)	10.1 (32.0)

(備考) ()内は理論値

(単位: ton)