

PSV-14 コンクリート橋の耐用性診断とその検証法

神戸大学工学部 正員 宮本文穂
 神戸大学工学部 正員 西村 昭
 兵庫県土木部 正員 前田 強
 (株)栗本鐵工所 正員 田谷 光

1. はじめに

既存橋梁の安全性評価あるいは耐用性診断法に関する種々の研究、提案がなされているが、土木構造物が他分野の製品と比べて大規模で単産品となること、その耐用期間が非常に長いこと等のため、限られた場合を除いて実証試験、耐用性試験が困難であり、その評価、診断結果の検証が行われていないのが実状である。

本研究は、架設後40～50年を経て架け替えの決定した3橋のコンクリート橋を対象に現場非破壊試験を実施することによって、TL-20荷重に対する曲げ及びせん断破壊安全率を指標とした安全性評価を行うとともに、主桁破壊試験及び主桁構成材料試験を実施して、その評価結果を耐荷性及び耐久性の両面から検証することにより、合理的な耐用性診断のための現場試験法の確立を目指そうとするものである。

2. 現場載荷試験法の概要及び基本的考え方

2.1 耐用性診断のための全体系に対する静的載荷試験：既知の重量の試験車（例えば、積載総重量20tfトラック）を、各主桁ごとに最も不利となるように載荷する。これらの試験は高欄の有無各場合について実施することが望ましい。測定項目は、各主桁各位置（例えば、スパン4等分点）でのたわみ及び鉄筋ひずみ等とする。このようにして得られたたわみ及びひずみのデータを基にして、System Identification（構造同定：SI）法の適用によって構造パラメータとして断面二次モーメント、ヤング係数などを得、各破壊形式に対応した安全率より静的な面からの損傷度を推定する。

2.2 耐用性診断のための全体系に対する重錘落下振動試験：橋梁路面上の各位置に重錘（例えば重量300kgf）を対象橋梁全体を振動させるに必要なエネルギーが得られるような落下高さ（例えば、落高約1mとすると加力エネルギーは約0.3tfmとなる）から落下させ、単一衝撃を与えた場合の重錘の加速度及び各桁の応答加速度より伝達関数を得、モーダル解析を適用してモーダルパラメータ（振動数、振動形、振幅、減水定数、位相）を同定し、SI法を適用することによって動的な面からの各主桁の剛性低下（損傷度）を推定する。この場合、重錘落下位置は低次の基本振動のみでなく高次の曲げ及びねじり振動が卓越し易いように選定する。この試験状況の一例を写真1に示す。



写真1 重錘落下振動試験の概要

2.3 主桁の耐荷力評価試験：主桁の耐荷力及び破壊形式を明らかにし、耐荷力評価結果を検証するため、RC床版部で縁切りを行って各主桁を独立させ、単純支持のRC-T桁として中央載荷を行い破壊に至らせる。載荷は、荷重と主桁中央変位との関係をX-Yレコーダ等を使用して出力させ、適当な荷重段階毎に載荷、除荷を繰り返す。なお、これらの各除荷後に前述2.2の重錘落下振動試験を実施し、損傷程度の進行に対応した振動特性の変化を求めることによ

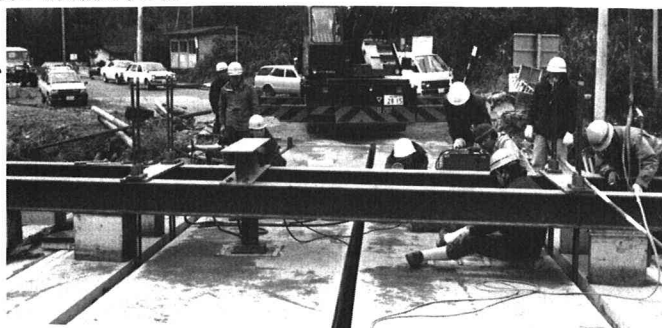


写真2 主桁の耐荷力評価試験の概要

って、振動特性と現有耐荷力との間の関係付けを行なう努力をすることが望ましい。この試験状況の一例を写真2に示す。

表1 試験内容及び概略日程

日 程	実施試験	使用重機
2日間 (一回目試験)	目視試験 静的載荷試験 重錘落下振動試験	20 tonf トラック、コンクリートブレーカー クレーン車 (300 kgf 重錘落下用)
2日間 (二回目試験)	主桁破壊試験 重錘落下振動試験	クレーン車 (載荷桁移動用) クレーン車 (300 kgf 重錘落下用)
1日間	コンクリート圧縮試験 鉄筋引張り試験	200 tonf 万能試験機

2.4 主桁構成材料の材料試験：破壊試験終了後、コンクリートコア抜き及び鉄筋採取を行い、材料試験を行うことによって診断結果を材料的な面（耐久性）から検証する。試験内容は、コアに関しては圧縮試験及び中性化深さの測定、鉄筋に関しては引張試験を一般とする。

表1に一般的な試験日程及び使用機器を示す。

表2 試験対象橋梁の概要

橋梁名	桜 橋	前 野 橋	対 田 橋
所在地	兵庫県佐用郡三日月町(本郷川)	兵庫県出石郡但東町出合市場	兵庫県美方郡浜坂町
路線名	国道179号線	国道426号線	国道178号線
橋長	21.84m (支間割：2@10.9)	45.80m (支間割：5@9.16)	49.00m (支間割：5@9.8)
幅員	6.75m	5.50m	5.50m
架設年度	昭和8年 (同43年拡幅)	昭和6年	昭和25年
適用示方書	大正15年 (2等橋)	大正15年 (2等橋)	昭和14年 (2等橋)
構造形式	上部：RC-T 単純桁 (5 主桁) 橋台：重力式 直接基礎 橋脚：逆T式 直接基礎	上部：RC-T 単純桁 (4 主桁) 橋台：重力式 直接基礎 橋脚：逆T式 直接基礎	上部：RC-T 単純桁 (3 主桁) 橋台：重力式 直接基礎 橋脚：重力式 直接基礎

3. 試験対象橋梁の概要

表2に、試験の対象とした「桜橋」、「前野橋」、「対田橋」の橋梁諸元等をまとめて示す。「桜橋」は昭和8年に4主桁2径間のRC単純T桁橋として架設され、

橋齢は50年を超えている。ただし、昭和43年に下流側に主桁が増設されて5主桁となっている。「前野橋」は昭和61年現在、橋齢55年の4主桁を有する5径間RC単純T桁橋である。また、「対田橋」は、「桜橋」や「前野橋」より橋齢は若く、昭和25年に架設された3主桁5径間鉄筋RC単純T桁橋で、昭和63年現在橋齢は38年である。

4. 診断結果及び検証結果

表3(a) 曲げ破壊安全率の推定結果（前野橋）

表3(a),(b)は、一例として、「前野橋」に対する静的載荷試験結果に基づいて、SI法を適用して得られた曲げ破壊安全率を高欄の有無で比較したもの、及び主桁の耐荷力評価試験結果より、破壊荷重及び曲げ破壊安全率を求めたものを示している。これらより得られた主な知見をまとめると以下ようになる：

①試験車を使用した静的載荷試験より得られる主桁たわみに基づくSystem Identification法の適用は構造パラメータとして損傷が考えられる種々のものを選定でき、例えば本研究で選定した主桁断面2次モーメント、コンクリートのヤング係数などが考えら

れる。これらの評価結果より各破壊形式に対応する安全率がえられ、これを主桁耐荷力評価試験及び材料試験結果と比較することになる。前野橋を対象とした本試験結果では検証結果とほぼ一致した。しかし、構造モデルの選定、構造パラメータの数量などさらに検討を要する点も残されている。②重錘落下振動試験より得られる加速度応答にモーダル解析を適用して導出されるモーダルパラメータ（振動特性）から種々の損傷情報が得られる可能性がある。すなわち

、本試験の場合、振動次数及び振動モードより損傷部位の検出が可能となった。また、振動数及び振動モードの推定誤差を最小にするように集中質点系モデルを用いて、構造パラメータ（断面2次モーメント及びヤング係数）を求めることが可能となり、動的な面からの損傷程度の評価ができる。③評価、診断用試験法及びその結果の検証法として提案した静的載荷試験、重錘落下振動試験、主桁耐荷力評価試験及び主桁構成材料試験は、この種の試験法としては比較的簡便でしかも日程的にも大きな負担にならないと考えられる。また、これらより得られる結果も細部では検討の余地はあるもののほぼ妥当なものとなっている。

		主 桁	M_u (tfm)	M_d (tfm)	M_L (tfm)	T_M	T_M'
スパン1	高欄有り	A	70.7	26.7	21.8	2.02	2.02
		B	70.8	14.1	9.33	6.08	6.03
		C	70.8	14.6	9.66	5.82	5.78
		D	70.7	26.8	21.5	2.04	2.04
	高欄無し	A	70.7	22.5	18.9	2.55	2.55
		B	70.8	16.5	11.3	4.81	4.76
		C	70.8	20.1	10.9	4.65	4.65
		D	70.7	21.5	18.9	2.60	2.60
スパン2	高欄有り	A	70.7	26.2	21.5	2.07	2.70
		B	70.8	16.1	10.3	5.31	5.31
		C	70.8	12.3	8.57	6.82	6.73
		D	70.7	27.6	22.0	1.96	1.96
	高欄無し	A	70.7	21.8	19.2	2.55	2.55
		B	70.8	18.9	10.2	5.09	5.06
		C	70.8	18.0	11.8	4.47	4.44
		D	70.7	22.1	18.5	2.63	2.63

注) M_u : 破壊曲げモーメント, M_d : 死荷重による曲げモーメント
 M_L : $L=20$ による曲げモーメント, T_M : 曲げ破壊安全率
 T_M' : 有効幅を考慮した曲げ破壊安全率

表3(b) 曲げ破壊安全率の検証結果（前野橋）

		$\delta=L/500$ 時	破壊安全率, T_M
スパン1	主桁B	43.7	4.57
	" C	47.0	5.00
スパン2	主桁B	44.1	4.62
	" C	41.8	4.33