

報告 コンクリート橋の健全度調査

古賀 悟*

要旨：本報告は、筆者が管理技術者として携わった、コンクリート橋の健全度調査に関するものである。対象橋梁は 1930 年代に竣工し、その後の交通の重量化に対応するため、1990 年代に鋼板接着工法で補強されている。この補強工事から既に 20 年近くが経過しており、老朽化が懸念されたため、架け替えを含めた今後の維持補修計画を立案するために健全度調査を行った。コンクリートの圧縮強度試験、応力頻度測定、中性化試験、および塩化物イオン測定を行い、その結果を基に橋梁の耐荷力評価、余寿命推定を行った。その結果、当該橋梁が健全であることが判明し、当面は軽微な補修で継続供用できると判断した。

キーワード：健全度調査、応力頻度測定、小径コア、耐荷力評価、疲労寿命

1. はじめに

高度成長期に大量に整備された橋梁は、ここ数年で更新期を迎えるものが多い。また、少子高齢化による税収減、および橋梁の維持管理に携わる人材の不足が懸念されている。そのような現状において、橋梁のアセットマネジメントの有効性が認識されつつある。橋梁の健全度を把握し、その橋梁の余寿命を推定することは、アセットマネジメントの観点から重要な意味を持つと考える。ここでは、筆者が管理技術者として携わった、コンクリート橋の健全度調査について報告する。

2. 構造物の概要

対象となる構造物は、1930 年代に竣工したかなり古い橋梁である。通過交通の重量化に対応するため、1990 年代に鋼板接着工法、及び増し杭工法で補強され、現在に至る。現在でも 28,000 台/日の重要路線に位置し、地域交通の要衝を担っている。ただし、現在この路線は 20 t 超の車両の通行を制限している。

3. 調査内容

対象橋梁の健全度を把握するため、下記 4 種類の試験・調査を行った。

供試体による圧縮強度試験

応力頻度測定

中性化試験

塩化物イオン測定

ここでは、圧縮強度試験、応力頻度測定、中性化試験について報告する。

3.1 圧縮強度試験

コンクリートの圧縮強度を把握するには、躯体から供試体を採取して圧縮強度試験を行う方法が最も信頼性が高い。しかし、供用下にある橋梁から 100 mm の標準コアを採取するのは、鉄筋の切断リスクや構造物の耐久性の観点から、困難な場合も少なくない。



写真-1 標準コアと小径コア(参考)

*中日本建設コンサルタント(株) 建設技術本部 課長補佐 (正会員)

そこで本件では、25 mmの小径コアによる圧縮強度試験を採用した。小径コアによる圧縮強度試験は特許技術になるが、25 mm、高さ50 mmの供試体で圧縮強度試験を行うことができるため、既設構造物へのダメージを最小限に抑えることができる点を評価し、採用した。

小径コアマシンを写真-2に、コアの採取状況を写真-3に、コア採取跡を写真-4に示す。



写真-2 小径コアマシン



写真-3 小径コア採取状況



写真-4 小径コアの採取跡

小径コアの場合、コア径に占める粗骨材の割合が大きく、圧縮強度への粗骨材の影響が大きいため、コアの破壊形状を異常値棄却の判断材

料とする。圧縮試験後のコアの破壊形状は、図-1に示す4種類に大別される。



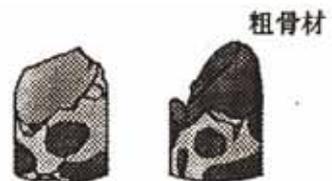
(a) 円すい状のブロックが残る。



(b) 斜めの面で破壊し、2つに分かれる。モルタル面で破断したような跡が認められる。



(c) 破壊後2つに分かれる。大きな粗骨材の面ですべったような跡が認められる。



(d) 載荷方向に直交する断面全体にわたり大きな粗骨材があり、モルタルが圧壊したような形状を示す。

図-1 コアの破壊形状

(a)および(b)が標準的な形状であるが、(c)は比較的小さな値を示し、(d)は比較的大きな値を示す傾向にあり、異常値の棄却検定の参考にする。本件の場合は、全て(a)の破壊形状であった。圧縮強度試験の結果を表-1に示す。

表-1 圧縮強度試験結果 (単位: N/mm²)

部 材		供試体 1	供試体 2	供試体 3	平均
上 部 工	主 桁	50.8	44.5	57.9	51.1
	ゲルバー-1	24.6	24.2	26.5	25.1
	ゲルバー-2	35.5	27.6	24.0	29.0
	床 版	53.9	55.4	41.8	50.4
橋 脚		44.5	34.8	25.2	34.8

ゲルバー部は、ジャンカや橋面排水による劣化のため低い値になっているが、それ以外の部材については、概ね 40~50N/mm² であった。当時の設計資料は現存していないが、設計基準強度は 21N/mm² と推定されるため、設計時の 2 倍程度の強度を有していることになる。

3.2 応力頻度測定

応力頻度測定とは、実交通下で部材に発生する応力度を分析して、耐荷力の評価や疲労寿命の評価などを行うものである。具体的には、調査対象部材である主桁および床版の主筋をはつり出し、これにひずみゲージを貼付し(写真-5,6)、ヒストグラムレコーダーにて 72 時間連続でデータを記録し(写真-7)、得られたデータを用いて各種検討を行う。

対象橋梁は、ラーメン構造とゲルバー桁が連続する形式である。ラーメン部とゲルバー部は、構造や支間長が異なるため、応力の発生状況が異なると考えられる。よって、ひずみの測定位置は、ラーメン部とゲルバー部それぞれの主桁の支間中央とした。また、上下線一体の 3 主桁であるため、外縁と中央の桁の応力状態が異なると判断し、それぞれの構造について外縁の桁 1 本と中央桁を測定対象とした。また、疲労破壊が懸念される床版についても、ラーメン部とゲルバー部で 2 箇所ずつ測定した。



写真-5 ひずみゲージ設置状況



写真-6 主筋へのひずみゲージ貼付状況



写真-7 応力頻度測定状況(記録は自動)

3.2.1 耐荷力の評価

耐荷力の評価は、ピークバレー法を用いて行う。ピークバレー法(Method of peak valley)とは、極大極小法とも呼ばれ、車両通過時に生じる応力度の波形の最大値(Peak)および極小値(Valley)の発生する頻度をその応力度レベル

毎にカウントする方法である。主に部材に作用する引張、圧縮それぞれの応力度の最大値を知るものである。ピークバレー法では、図-2のようなグラフが得られる。

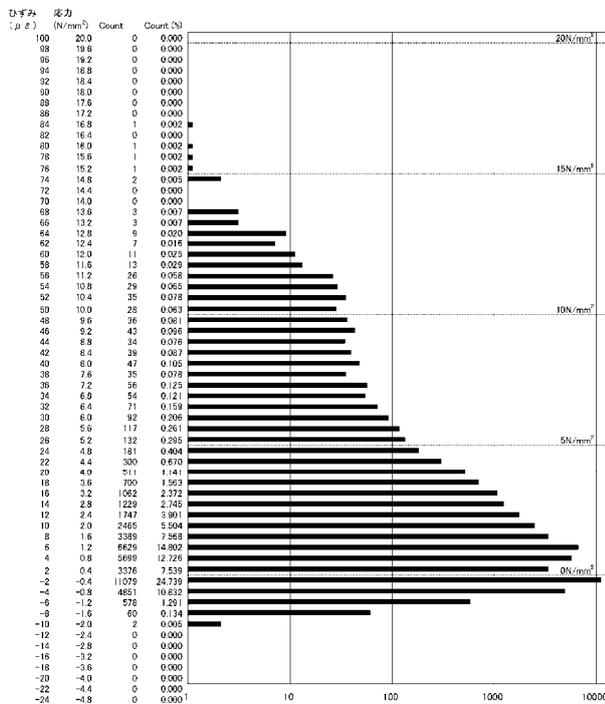


図-2 ピークバレー法での集計結果

実応力度（実際の活荷重によって生じる鉄筋応力）の最大値 σ_{max} が、許容応力度 σ_a から死荷重時応力度 σ_d （計算値）を減じた値以下であれば補強は必要ないと判断できる。

評価結果を表-2 に示す。表中の部材番号に対応する部材は以下の通りである。

- 部材 1 : ラーメン部の外縁主桁
- 部材 2 : ラーメン部の中央主桁
- 部材 3 : ゲルバー部の外縁主桁
- 部材 4 : ゲルバー部の中央主桁

表-2 耐荷力の評価 単位：N/mm²

部材	許容応力度 σ_a	死荷重応力度 σ_d	$\sigma_a - \sigma_d$	判定	実応力度 σ_{max}
1	140	55.0	85.0	>(OK)	14.4
2	140	55.0	85.0	>(OK)	14.0
3	140	65.4	74.6	>(OK)	12.4
4	140	65.4	74.6	>(OK)	16.8

実際の活荷重で生じる応力度 σ_{max} は、活荷重を受け持つことができる応力度 ($\sigma_a - \sigma_d$) の 2 割程度に収まっており、十分な耐力を有している。よって、新たな補強の必要はないと判断できる。これは下記の要因によるものと思われる。

- 鋼板接着工法が有効に機能している
- 20 t 超の車両通行を規制している
- コンクリートが予想以上に高強度であった

3.2.2 余寿命の推定

橋梁の余寿命評価は、主筋の疲労寿命に着目して行った。疲労寿命の評価には、『鋼構造物の疲労設計指針・同解説』（日本鋼構造協会編）を準用した。疲労寿命の予測には、レインフロー法を用いる。レインフロー法（Method of Rain flow）とは雨垂れ法とも呼ばれ、応力 - ひずみ曲線の閉じたループに着目し、その応力度の振幅頻度を数える方法である。この方法は主に疲労損傷評価を行う時に用いられている。レインフロー法では、図-3のようなグラフが得られる。このグラフは、応力レベルごとの発生回数を記録したグラフであり、このグラフの総和が、主筋が1日に受ける応力になる。

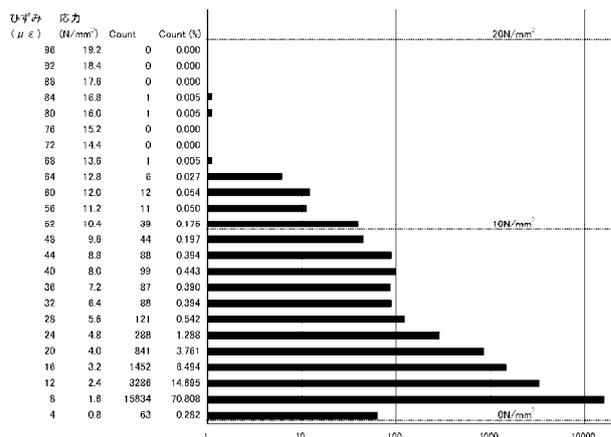


図-3 レインフロー法での集計結果

主筋の疲労寿命を評価するには、レインフロー法から等価応力を算出する。等価応力とは、疲労被害を与える一定振幅の応力であり、この値が大きいほど疲労寿命は短くなる。

等価応力計算に用いた計算式を式(1)に示す。

$$\Delta\sigma_e = \sqrt[m]{\sum \Delta\sigma_i^m \cdot n_i / \sum n_i} \quad (1)$$

ここに、 $\Delta\sigma_e$ ：等価応力範囲 (N/mm²)

$\Delta\sigma_i$ ：各スライスレベルの応力範囲

N_i ：応力範囲頻度分布における $\Delta\sigma_i$ の頻度

m ：疲労範囲曲線の傾きを表すための定数=5

測定結果から予測した余寿命を表-3 に示す。

また、測定した応力繰返し数を供用開始からの 74 年分の繰返し数に換算し、疲労設計曲線上にプロットしたものを図-4 に示す。

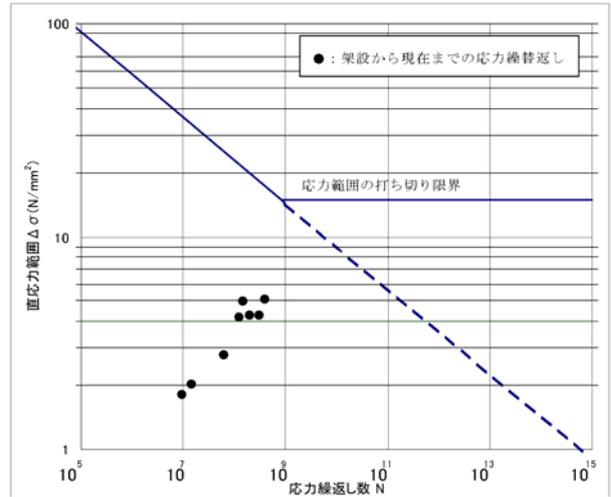


図-4 疲労設計曲線

等価応力範囲の最大値は、ゲルバー部主桁の 5.08N/mm² であり、この部材が最も疲労損傷を受けていることになる。本橋では、図-4 に示すように全ての部材が、応力範囲の打ち切り限界以下となった。この場合、疲労設計指針では疲労照査の必要がないということである。

しかし、本件では『疲労破壊の危険性はない』という判断ではなく、橋梁の余寿命を把握することが目的であるため、修正 Miner 則により余寿命を求めた。その結果、最も厳しい応力状態のゲルバー部主桁 においても、余寿命が 33,500 年となった。

以上より、本橋梁が疲労損傷により破壊する可能性はないと考えられる。

3.3 中性化試験

応力頻度測定で鉄筋を露出させたはつり箇所において、フェノールフタレイン 1% 溶液を噴霧し、赤紫色を呈した深さを測定した。

測定結果を表-4 に 測定状況を写真-8 に示す。

表-3 余寿命予測結果

		等価 応力 範囲 σ_e N/mm ²	現在 まで の か か り 数 Nt 回	疲 勞 寿 命 N (回)	余 寿 命 (千 年)	累 積 損 傷 度 D
ラ イ メ ン 部	主 桁	4.284	1.99 E+08	4.27 E+11	157	0.00046
	主 桁	4.249	3.14 E+08	4.45 E+11	103	0.00071
	床 版	2.782	6.39 E+07	3.70 E+12	4227	0.00002
	床 版	2.025	1.49 E+07	1.81 E+13	88927	0.00000
ゲ ル バ ー 部	主 桁	4.954	1.49 E+08	2.07 E+11	101	0.00072
	主 桁	5.077	3.98 E+08	1.83 E+11	33	0.00218
	床 版	4.160	1.24 E+08	4.95 E+11	291	0.00025
	床 版	1.813	9.55 E+06	3.15 E+13	240396	0.00000

表-4 中性化試験結果

部 材	中 性 化 深 さ (c m)								平 均
1	0.8	1.2	2.8	2.7	2.8	3.2	2.4	1.2	2.1
2	2.8	2.0	5.7	2.5	3.2	4.4	2.1	2.7	3.2

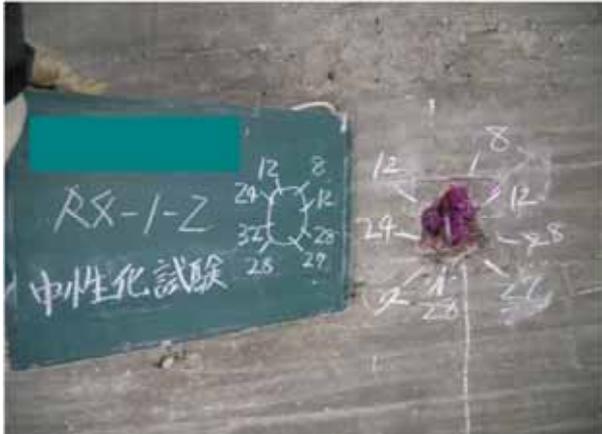


写真-8 中性化試験状況

中性化試験の結果を受けて、中性化速度式による検証を行う。中性化速度式は岸谷式(式(2)、式(3))を用いる。

- ・水セメント比が60%以上の場合

$$t = \frac{0.3(1.15 + 3)}{R^2(-0.25)^2} C^2 \quad (2)$$

- ・水セメント比が60%未満の場合

$$t = \frac{7.2}{R^2(4.6 - 1.76)^2} C^2 \quad (3)$$

ここに、 t : Cまで中性化する期間(年)=74年
 : 強度上の水セメント比
 水セメント比は不明であるため
 0.50~0.60の値を用いた。

C: 中性化深さ (cm)

R: 中性化比率 (普通のポルトランドセメント, 川砂利, プレーンとして R=1.0)

以上より、岸田式から予想される中性化深さは、1.7 cm(W/C=0.50の場合)~3.2 cm(W/C=0.60の場合)である。中性化試験の結果は、最大で3.2 cmであるため、W/C=0.60の場合の推定値と一致する。

鉄筋かぶり、主桁で約100 mm、床版で約35 mmであったため、中性化深さは鉄筋位置には達していない。

4. おわりに

コンクリート橋の健全度を把握するため、本件では応力頻度測定を用いた。コンクリート橋で応力頻度測定を行うには、主筋をはつり出す必要があるが、対象構造物の実交通下での応力度を把握できるため、橋梁の耐荷力、及び余寿命の評価には有効な調査方法であると考えられる。

今回の対象橋梁がこれほど長い疲労寿命を有しているのは、図-5に示すように、輪荷重が主桁上に載荷される合理的な構造であり、床版に対して厳しい載荷条件にならないためであると考えられる。理にかなった構造であり、入念に施工され、適切に管理された橋梁であれば、70年の歳月を経てもなお、十分な機能を有することに感銘を受けた。

このような構造物を、末永く供用すべく維持管理することが、我々の使命であると痛感した業務であった。

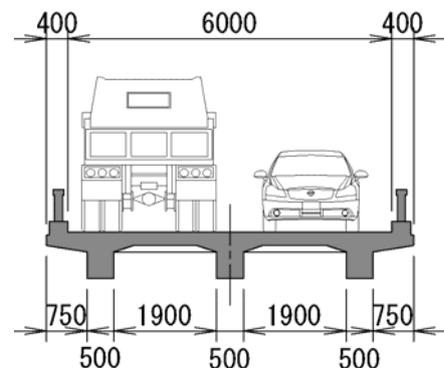


図-5 対象橋梁の幅員構成図

参考文献

- 1) (財)道路保全技術センター編：応力頻度測定要領(案), 1996.3
- 2) (社)日本鋼構造協会編：鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 技報堂出版, 1993.4