

I - 34

鋼道路橋の定量的診断の実橋への適用

株式会社帝国設計事務所 ○正会員 坂田浩一 札幌市白石区土木部 竹島 尚
株式会社BMC 正会員 小芝明弘 北海学園大学 正会員 杉本博之

1. まえがき

現在、我が国で供用されている橋長 15m 以上の道路橋は約 13 万橋（全橋梁数は 66 万橋）であり、昭和 40 年から 50 年代に建設時期が集中していることは周知のとおりである。また、現在建設されている橋梁の数は 1 年間に 2000～2500 橋程度である。橋の寿命を 50 年とすると、毎年 2600 橋、毎日 7 橋（全橋梁数では毎年 1 万 3 千橋、毎日 30 橋）の橋が寿命に達していることになる。

少子高齢化が加速的に進む中、近い将来においてこれらの橋梁を今までの投資ペースで架け替えを含む維持管理を継続することは至難であることは明白である。

よって、これらの問題を解決するためには、まず始めに橋梁の維持管理を含めたライフサイクルコストを将来に渡ってトータル的に把握する必要がある。橋梁のライフサイクルコストを把握するためには、橋梁の現在の健康状態をより定量的に把握していくことが有効となる。そして、その要因として鋼材の腐食、さらには疲労の程度をつかむことに加えて過去からの継続的な検査記録など橋梁の老朽状態の程度を共通ルールの基で定量的に診断していかなければならない。定量的な診断を行うことは橋梁を延命化するための手段の一つであると思われる。

このような考えの基で、経年 21 年の単純合成鋼板桁橋の主に耐荷力、耐久性を重視した定量的診断を行ったので報告する。

2. 調査内容の概要

(1) 概要

当業務において診断を行った橋梁は札幌市に位置し、JR を跨ぐ跨線橋である。図-1 に示した橋梁形式は単純合成鋼板桁の無塗装仕様である。橋梁診断時における交通量調査によると 1 日 1 方向当たりの交通量は 2 万台であり、札幌市内の重要な幹線道路として位置づけられている。本橋梁は昭和 53 年に供用が開始されて以来、市内の経済発展に大きく寄与してきた。しかし、交通量が多いに関わらず JR 直上の跨線部であるため、鋼橋について詳細な点検、診断が必ずしも十分なものではなかった。

著者らはこの橋梁の現在の耐荷力を把握するとともに、耐久性についても経年による疲労の累積度合いを把握することで適切な補修時期および定量的な余寿命の判定を行うこととした。この橋梁の診断を行い今後の点検手順、および延命化の合理性について検討してみることとした。

(2) 橋梁諸元

- ① 経年（架設年：昭和 51 年、供用開始年：昭和 53 年）
- ② 橋梁形式：単純合成鋼板桁（無塗装桁）
- ③ 支間長：40.1m
- ④ 有効幅員：2.0m + 13.0m + 2.0m（歩道 + 車道 + 歩道）
- ⑤ 橋格：1 等橋（TL-20）（昭和 47 年道路橋示方書を適用）
- ⑥ 床版：グレーチング床版（T=170mm）
- ⑦ 主要鋼材：SMA50（耐候性鋼材）

Application of quantitative diagnosis system to the steel highway bridges

By Kouichi SAKATA, Hisashi TAKEJIMA, Akihiro KOSHIBA & Hiroyuki SUGIMOTO

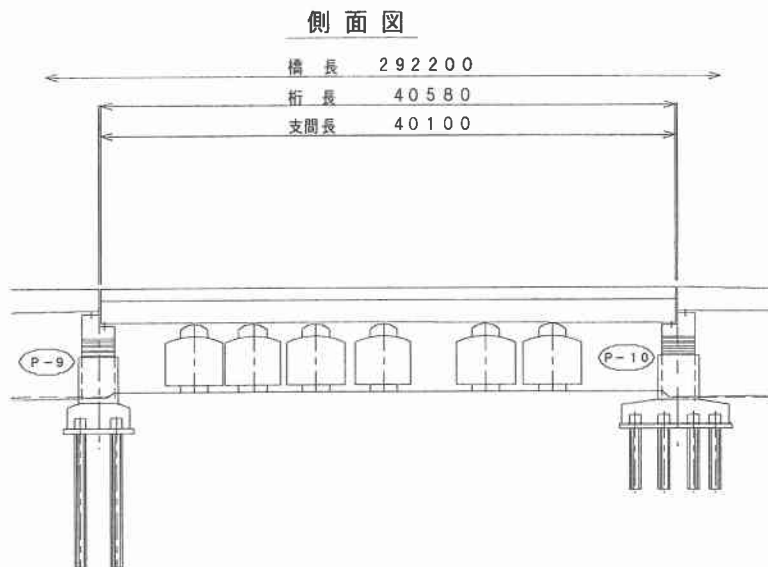
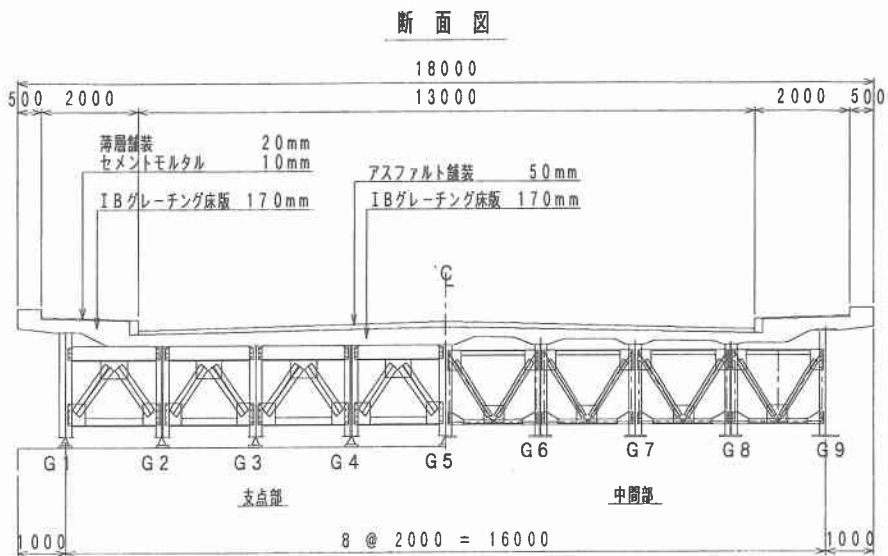


図-1 横断面図と側面図

(3) 調査項目

調査項目は下記に示す4項目である。

①橋梁の目視検査

②20t ダンプの載荷走行試験による耐荷力の把握

③48 時間連続応力度の頻度測定による作用応力度挙動としての実応力度および疲労の評価に用いる応力度のスペクトルの収集、(交通量) 実荷重時の特性。

④コンクリート床版のたわみ測定による耐荷力の調査

3. 調査項目およびその方法

(1) 目視検査

当橋に発生している変状を確認するために、双眼鏡による点検に加え、必要に応じて足場や梯子を利用した目視検査を行った。なお、これらの検査を支援するために、目視検査システム¹⁾(点検結果の電子情報化および検査の支援情報が参照できるシステム)を利用した。なお、当橋の履歴、設計計算時の内容より、当橋で特に重点的に点検する項目として次のものを選んだ。

- ①ソールプレートと主桁溶接部の亀裂有無
- ②対傾構のガセットと主桁溶接部の亀裂有無
- ③横構のガセットと主桁溶接部の亀裂有無
- ④主桁と横桁、対傾構連結部の垂直補剛材上端の亀裂有無
- ⑤支承の沈下有無
- ⑥主桁のフランジ部腐食状況
- ⑦コンクリート床版下面のひび割れ

なお、目視検査の判定は建設省の「橋梁点検要領(案)(昭和63年7月)」に準じた。

(2) 実橋測定項目

- ①着目部の作用応力度
- ②耐荷力照査のための部材作用力
- ③応力度の頻度測定
- ④主桁のたわみ

応力度の頻度測定は実交通直下で48時間行い、作用応力度の特性を把握する目的で行った。それ以外には20tダンプによる載荷走行試験で橋梁各部の実応力度を把握するとともに、設計計算(ここでは格子計算)を行って、実応力比(実働応力度/設計計算応力度)を求め、標準耐荷力照査手法における高精度の評価を行った。

実交通下で応力度の頻度測定を行うことにより着目箇所における疲労被害の程度を認識し、その結果より橋梁の余寿命を判定する。また、応力度の頻度測定は平日において実交通下で48時間行い、レインフロー法およびピークバレー法を用いた。

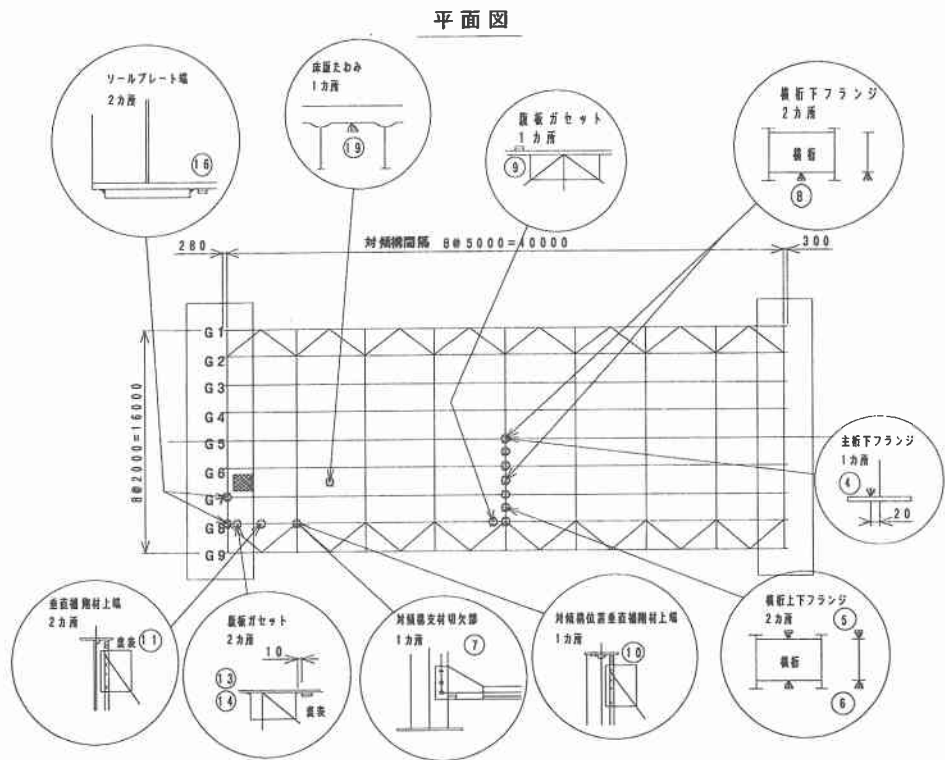
ここで、レインフロー法(Method of Rain flow)²⁾とは雨垂れ法とも呼ばれ、応力-ひずみ曲線の閉じたループに着目し、その応力度の振幅頻度を数える方法である。この方法は主に疲労損傷評価を行う時に用いられている。また、ピークバレー法(Method of peak valley)²⁾とは極大極小法とも呼ばれ、車両通過時に生じる応力度の波形の最大値(Peak)および極小値(Valley)の発生する頻度をその応力度レベル毎にカウントする方法である。主に部材に作用する引張、圧縮それぞれの応力度の最大値を知るものである。一般的には補強等の前後で効果の確認を行う時や、その期間における最大荷重を知る場合に用いられる。

実橋測定に用いる測定機器の一覧を表-1に示す。

表-1 測定機器一覧表

品名	製作所	型式	記事
橋梁診断システム	BMC	BMCシステム	測点数: 16ch
頻度計	共和電業	RHS-500C	測点数: 8ch
光学式変位測定システム	BMC	BMCシステム	測点数: 2ch
パソコン	NEC	PC-9821 Ne3, NS/A	3.5FDD, 540MBHDD
ひずみゲージ	共和電業	KFW-5-120-C1-11L1M2R	ゲージ長: 5mm
		KFS-5-120-J1-11	抗磁性、ゲージ長: 5mm
ブリッジボックス	BMC		
延長ケーブル	BMC		

(3) 測定の着目箇所
 応力度の頻度測定の着目箇所を図－2に示す。



図－2 応力度の頻度測定の着目箇所

4．調査結果および診断

(1) 目視検査

溶接部において亀裂の確認はされなかった。また、支承のアンカーボルトに多少の緩みがみられたが、他部材への影響は見受けられなかった。

(2) 実応力度の測定

ダンプの実車載荷試験時の活荷重曲げ応力度と、格子計算時によるダンプの実載荷と同じモデルの活荷重曲げ応力度をそれぞれ解析した。

その結果を表－2に示す。なお、曲げ応力度の値は支間中央部でのものである。

表－2 曲げ応力度比較表 単位 (k N/mm²)

	ダンプを実載荷	格子計算結果
G5 下フランジ	4.9	6.7

(3) 定量的な橋梁の余寿命の判定

応力度頻度測定の結果をレインフロー法にて解析を行い、解析結果から疲労亀裂の発生の予測を行った。実交通の活荷重による応力度の振幅と発生頻度から余寿命を推定する。

ここに、

$$D = \sum (n_i / N_i) \quad (D = 1 \text{ となると疲労限界となり寿命の達する。})^{3)}$$

N_i : ある応力 σ の繰返し数 n_i : その応力範囲

表-3 データ整理一覧表（応力度の頻度測定）

測定位置		測 定	ゲージ	単 位	応力度の頻度測定結果	
部材	部位	項目	NO		レインフロー法(RF)	
					継手強度	D ₄₈ (×10 ⁻⁶)
主 桁	下フランジ G5	応力度	④	kN/mm ²	80	* 0
横 桁	下フランジ G7-8	〃	⑥	〃	100	0.048
対傾構	支材切欠部	〃	⑦	〃	65	20.42
横 桁	下フランジ G5-6	〃	⑧	〃	100	* 0
主 桁	腹板ガセット端	〃	⑨	〃	65	* 0
補剛材	上端(対傾構位置)	〃	⑩	〃	80	0.278
補剛材	上端(表)	〃	⑪	〃	80	* 0
主 桁	腹板ガセット端(表)	〃	⑬	〃	65	0.164
主 桁	腹板ガセット端(裏)	〃	⑭	〃	65	0.017
主 桁	ソールプレート 端	〃	⑮	〃	80	* 0
床 版	下 面	たわみ	⑰	mm	—	—

*印の0は発生応力度が疲労限以下²⁾のため、集計していない

なお、疲労の評価は「鋼構造物の疲労設計指針・同解説(社)日本鋼構造協会(1993年4月)」によることとした。次に、表-3の累積損傷度 D_{48} より最も疲労の損傷度が大きいクリティカルメンバーとなる部材の対傾構⑦の寿命を概略計算すると次のようになる。48時間(2日間)で蓄積された累積損傷度 D_{48} は 20.42×10^{-6} であるので、この部材が疲労限界に達するために要する日数、つまり $D=1$ となる日数は $1/D_{48}=1/(20.42 \times 10^{-6}/2日)=97943日=268年$ となる。

従って、疲労による余寿命の詳細計算は測定時と将来の予測および過去の交通量と累積損傷度 D_{48} からの結果より200年以上と推定した。

(4) 現状での主桁耐荷力について

表-4よりTL-20にて設計された主桁応力度に対して、48時間実橋測定時の応力度は低いものとなっていた。さらに、B活荷重に対しても同様であり、現時点において当橋は十分に耐荷力を保有していることが明らかとなった。また、荷重車載荷試験による実応力比を考慮した場合の耐荷力はB活荷重に対して十分な耐荷力を期待できることが分かった。この結果より今後の既設橋梁の補修・補強の開始時期、および維持管理の手法に関して有効な判断材料となった。

表-4 活荷重曲げ応力度の比較表 単位(kN/mm^2)

	48時間実橋測定	格子計算結果(TL-20)	格子計算結果(B活荷重)
G5 下フランジ	36.0	63.1	76.0

(5) 床版のたわみについて

20t ダンプの実載荷試験を行ったが、床版のたわみは $\pm 0.2\text{mm}$ と非常に小さな値を示した。また主桁間の床版について異常は見受けられなかった。

(6) 応力度の頻度測定についての考察(表-3) 実橋測定結果の概要を以下に示す。

1) 主桁下フランジの公称応力度は、2日間における応力度の頻度測定(PV)で 36kN/mm^2 の範囲であり、小さいものである。(許容応力度 $=210\text{kN/mm}^2$)

2) 横桁上フランジの応力度は、頻度測定(PV)で $15 \sim 15\text{kN/mm}^2$ と、小さいものである。(許容応力度

=140kN/mm²)

3) 腹板ガセットに作用する応力度は、頻度測定(PV)で 21～20kN/mm²となっており、大きくないが、面外方向の応力度を受けていると思われる。

4) 対傾構支材の切欠部に働く応力度は、頻度測定(PV)で 72～21kN/mm²とかなり大きな値となっている。また、荷重の載荷位置(追い越し車線や反対車線に載荷された場合)では圧縮応力度も受けている。

5) 対傾構取付け部の垂直補剛材上端の応力度は、頻度測定(PV)では 31～21kN/mm²kN/mm²で大きいものである。また、この位置でも荷重の載荷位置では引張応力度となっており、ガセットの払込による曲げにより引張応力度を受けているものと思われる。

6) 中間の補剛材上端の応力度は、頻度測定(PV)で 10～15kN/mm²となっており、小さいものである。

7) ソールプレート端の応力度は、頻度測定(PV)で 10kN/mm²の圧縮応力度を受けている。これは、可動支承の可動機能が若干低下しているためと考えられる

8) 応力度の頻度測定において負の応力度の発生原因は自動車が通過する際のたわみ振動や温度応力度の影響も考えられる。

5. まとめ

本業務にて下記のことが明らかになった。

(1) ダンプ実車による実載荷の応力度は、同モデルの下で行った格子計算の応力度の 6 割から 7 割程度となっている。本橋は合成桁であるにも関わらず載荷試験による実応力度は計算値よりも小さかった。これは、グレーチング床版が大きな剛性を保有しているためであると思われる。

(2) 繰り返し活荷重による累積損傷度(D48)は主要部材である主桁よりも二次部材である対傾構で著しく高い値を示している。また、この二次部材の累積損傷度より本橋梁のクリティカルメンバーは対傾構部⑦で、その余寿命は 200 年以上と判定できる。他の部材はいずれも半永久的な寿命であると判断できる。このように余寿命が大きくなったのは、当橋への大型車の混入率が小さいためであると推測できる。

(3) 通常、二次部材である対傾構は風荷重や地震荷重⁴⁾といった横方向の外力によって設計を行うが、今回の業務から活荷重による応力度の影響が大きく関係してくるということが明らかになった。道路橋では風荷重の外力として 50 年確率で風速 40m/s、また地震荷重として自重の 20%程度の横方向荷重を想定して設計を行っている。当橋の診断時には暴風や地震といった横荷重は作用しておらず活荷重の影響のみが対傾構の応力度として測定されたものと判断できる。

(4) TL-20 で設計された当橋は B 活荷重に対しても現状では十分な耐荷力を期待できることが明らかとなった。

本橋梁は応力度測定の結果、耐荷力と耐久性は健全であると定量的に診断されたため、今後の保守点検は鋼桁に腐食がないか、伸縮装置、排水装置及びシューに変状はないか、床版コンクリートに亀裂等が発生していないかなどの目視点検のみでよく、また、部材についても重点的に点検すべき箇所が明らかになった。

よって、今後の維持管理に関する投資計画の算出に寄与できるものである。

参考文献

- 1) 阿部、杉館、小芝：橋梁の点検・診断用システムと機器、橋梁と基礎、1994.8
- 2) (社)日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説、技報堂出版
- 3) (社)日本道路協会：鋼橋の疲労、平成9年5月
- 4) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編、平成8年12月