

腐食損傷を受けた開運橋の構造安全性に関する調査検討

工藤一彦* 河原木英貴** 中野正則*** 安波博道**** 中島和俊*****

1. はじめに

開運橋は、青森県の太平洋側沿岸（奥入瀬川河口から約700m付近）に建設された橋梁である。本橋は上流側橋梁と下流側橋梁に分けられ、上流側は1996年に建設された5径間連続非合成鋼桁橋+4径間連続非合成鋼桁橋、下流側は1979年7月に建設された鋼単純合成鋼桁橋9連（橋長304m、代表支間長34.8m）である。図-1に構造一般図を示す。下流側上部工は建設時の塗装のまま約31年が経過しているため、全体的に塗膜劣化が進行し、外桁外面を除く各部で腐食損傷が生じている（写真-1,2）。

本稿は、腐食損傷を受けた開運橋下流側上部工において、補修補強の要否を橋梁詳細調査および荷重載荷試験によって検討した結果を報告するものである。検討にあたっては、当該橋梁の実耐荷力および実作用力を精度よく把握することを目的として、腐食状況詳細調査、および実橋トラック載荷試験を実施し、構造安全性の評価を行った。なお、図-1に赤色で示した範囲が橋梁詳細調査を実施した部位である。



写真-1 上部工腐食状況



写真-2 上部工腐食状況

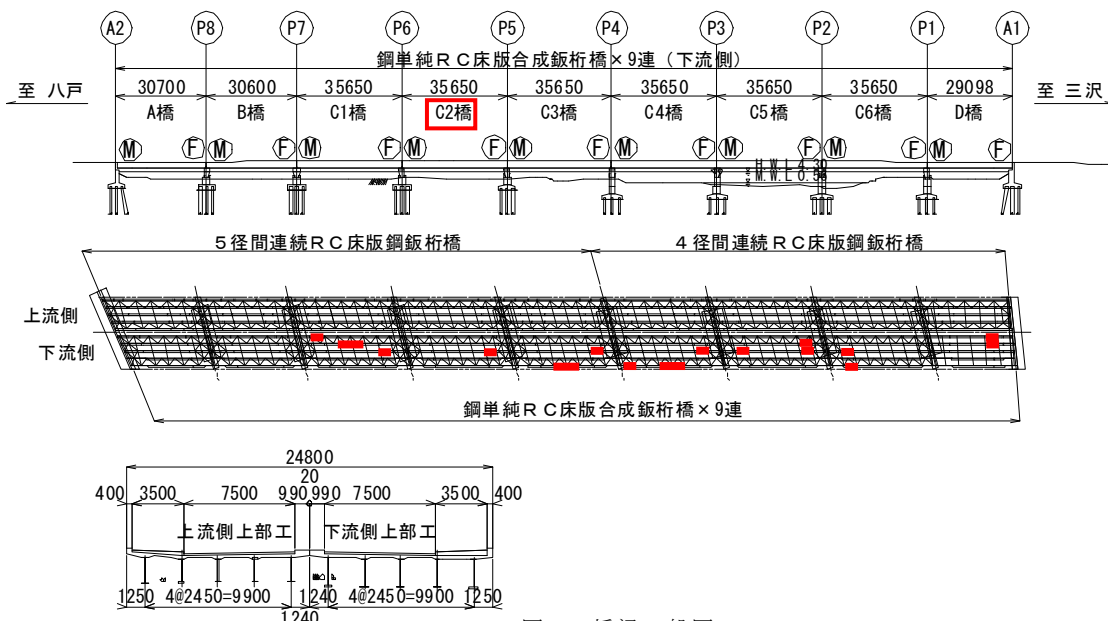


図-1 橋梁一般図

2. 腐食量詳細調査

2.1 腐食量の現地計測

事前に行われた橋梁全体調査によって腐食損傷が著しいと判断された箇所について、下フランジの詳細調査を実施した。腐食部の詳細調査に当たっては、一般には超音波板厚さ計を用いた残存板厚の計測が行われているが、本橋のように腐食損傷が進行した鋼材の板厚を精確に計測する場合には、入射面・反射面の整形や、熟練した調査員が波形表示を伴う超音波板厚さ計を用いて計測を行う必要がある。このため、多数の箇所を精度よく計測するには費用の面で適当ではない。

ここでは、簡便でかつ計測誤差が極力少なくなるよう、主に写真-3に示すキャリパーを用いた残存板厚の計測を行った。概要を以下に示す。

- ・懐深さ：25cm程度
- ・計測範囲：0mm～300mm
- ・計測精度（読取り精度）：±0.5mm程度
- ・先端サイズ：板厚2.6mm×0.8mm



キャリパー全体



目盛拡大



先端拡大

写真-3 キャリパー概要

キャリパーの計測機構は、ノギスなどのように対象物を直接挟み込み目盛を読み取るものである。計測対象の損傷状況から計測値の妥当性を直ちに確認できるため、大きな計測誤差が生じにくい器具である。また、計測作業は比較的高速に行え、本詳細調査では約4600点の計測を5日間で実施している。

詳細調査は、過去の調査で補強が必要と判断された箇所のうち、橋梁点検車等により近接可能な16箇所に対して行った（図-1参照）。計測に当たっては、計測対象箇所に対して、最大断面力が発生する位置、および目視により腐食が最大と判断された位置の2カ所を選定し、それぞれフランジの幅方向に10mmピッチ×長手方向に50mmピッチの格子状に計測を行った。計測箇所の模式図を図-2に、実際の計測例を写真-4、図-3に示す。

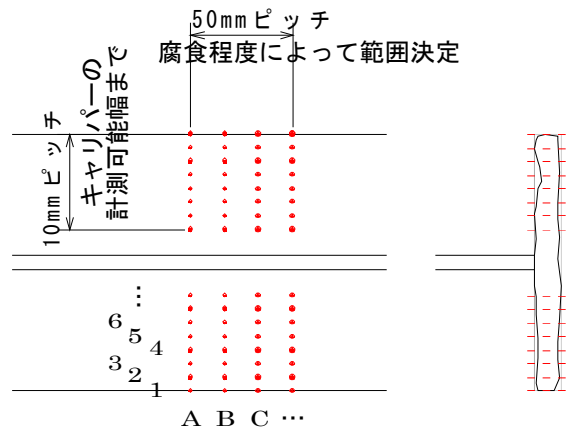


図-2 下フランジ板厚の計測要領



写真-4 キャリパーによる板厚計測例

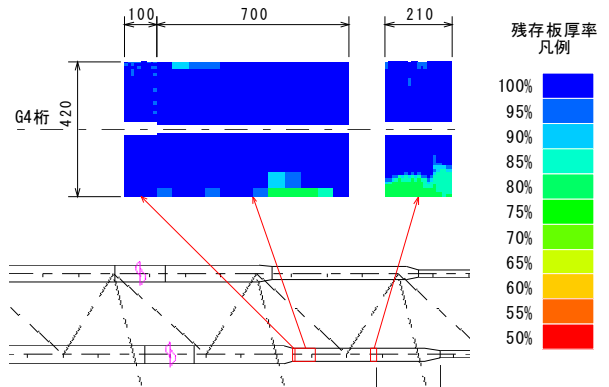


図-3 計測結果例

2.2 健全性の評価

耐荷力評価に用いる下フランジの残存板厚は、図-2に示すA,B,C各ライン毎に計測した板厚の平均をとり、その中で最小となる平均板厚を採用し

土研センター

た。表-1に計測された最大腐食量、平均腐食量、および腐食率の一覧を示す。

表-1 下フランジの腐食量一覧

	設計板厚(mm)	腐食量(mm)		腐食率(%)
		最大値	平均値	
C1橋	19	4	1.0	5.3%
	25	2	0.3	1.2%
	25	4	1.0	4.0%
C2橋	19	3	0.8	4.2%
	19	3	0.6	2.1%
C3橋	28	3	0.6	2.1%
	19	4	1.1	5.8%
C4橋	15	4	0.9	6.0%
	28	4	0.3	1.1%
	19	3	1.0	5.3%
C5橋	19	5	0.6	3.2%
	19	4	0.8	4.2%
	19	4	0.8	4.2%
C6橋	25	3	0.3	1.2%
	19	4	0.6	3.2%

このように、局所的に大きな腐食量が計測された箇所においても、平均板厚による応力照査の結果すべて許容応力度以下に収まることが明らかとなった。

3. トラック荷重載荷試験

3.1 現地載荷試験

一般に、道路橋の鋼プレートガーダー橋では設計時の応力度と実構造物の応力度には乖離があり、設計時応力度に対する実応力度の比（実応力比）は0.6倍～0.8倍程度であることが知られている^{1),2)}。これは、設計時の格子モデルは分配横桁による荷重分配のみを考慮していることに対し、実構造物では床版自体の荷重分配作用が働くことなどが主な要因である。なお、活荷重合成桁では主桁剛性に床版剛性を見込むため、実応力比は1に近づく傾向がある。

ここでは、腐食に対する補修補強の要否検討に際して構造系の実態を把握することを目的として、実橋に対して20tfトラック車を静的に載荷するトラック荷重載荷試験を実施した。併せて、本載荷試験による実応力と格子モデルに同荷重を載荷して求める設計応力から実応力比を算定し、構造安全性の検討を行った。

トラック荷重載荷試験の主な条件を以下に示す。

- ・対象橋梁 : 下流側 C2橋 (1経間)
- ・載荷トラック : 20tf×5台
- ・ひずみ計測点 : 58点、G3・G4・G5桁を計測

載荷ケースの例を図-4に、載荷試験の状況を写真-5に示す。

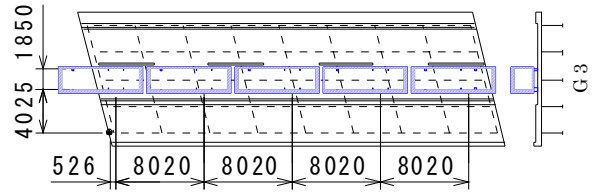


図-4(1) 載荷ケース2

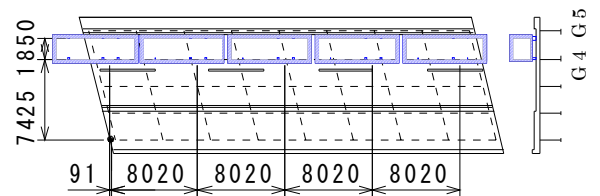


図-4(2) 載荷ケース5



写真-5 載荷試験状況

3.2 試験結果の評価

載荷試験によって得られたひずみから各部位における曲げモーメントを算定し、グラフ化した結果の例を図-5に示す。同図には検証として格子解析による曲げモーメントも併記する。格子解析は、設計時の格子モデル(両端ピン)と支点条件を変更した格子モデル(両端固定)の2モデルとした。

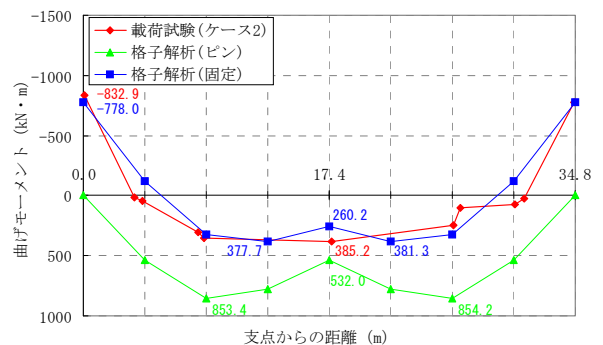


図-5(1) G3桁曲げモーメント図 (ケース2)

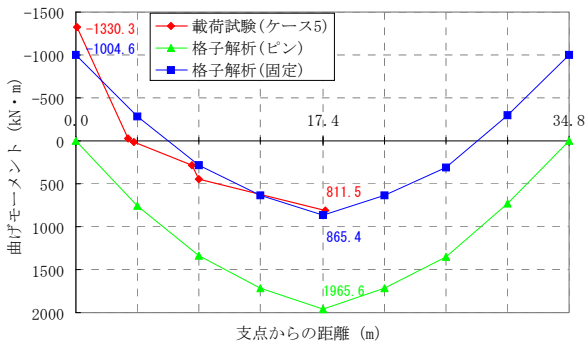


図-5(2) G5桁曲げモーメント図 (ケース5)

図-5に示すように、載荷試験による曲げモーメントと格子解析(両端固定)による曲げモーメントは良く一致し、載荷試験による実応力と格子解析(両端固定)による設計応力の比はほぼ1であることがわかった。なお、図-5(1)に示すG3桁の格子解析結果は、支間中央のみに設けられた荷重分配横桁によって隣接桁から擬似的な支持を受けるため、W型の曲げモーメントを生じていると考えられる。一方、載荷試験結果では床版や対傾構など、その他の荷重分配効果によりなだらかな曲げモーメントが得られていることがわかる。

本橋は単純合成鉄桁橋であり、本来は桁端に曲げモーメントが生じる構造ではない。桁端部の回転拘束の要因として、耐震連結板の想定外挙動(写真-6、常時の変形挙動を拘束)、支承の機能劣化(可動支承の固定化、回転性能の劣化など)、伸縮装置の異常(衝突や変形による拘束など)などが考えられる。特に耐震連結板は、主桁の回転を拘束しやすい構造であるため、最大の要因であると推察される。



写真-6 耐震連結板

活荷重に対して連続桁に似た挙動を示す現況は、支間中央に対しては設計時の応力を大幅に低下させるため、同部位の構造安全性に問題は生じない。また、桁端部に対しては設計時に想定していない負の曲げモーメントが生じるが、活荷重のみであることから応力的に問題とはならなかった。

一方、地震などの外的作用や今後の更なる腐食損傷などによって両桁端の回転拘束が解かれて本来の単純桁構造へ急激に移行した場合には、支承付近の主桁の破損や、主桁の支承からの脱落による段差(伸縮装置のフィンガープレート破損)など構造安全性・走行安全性を損なうことが考えられ、対策の検討が必要である。

4. まとめ

本調査検討によって下記事項が明らかとなった。

- (1) 橋梁詳細調査を実施し、適切な調査器具の選定、腐食量評価、および腐食を考慮した耐荷力の評価を行った結果、腐食損傷後においても許容応力度以下に収まることわかった。
- (2) トラック荷重載荷試験の結果、本橋の実応力比はほぼ1であった。また、単純桁である本橋の桁端部に大きな曲げモーメントが生じていることが判明した。主桁端部の回転を拘束する耐震連結板の構造が主因であると推察される。
- (3) 主桁の連続化挙動に対しては、設計時単純桁構造への復元、あるいは積極的な主桁連続化への構造改善が考えられる。構造的・経済的得失を勘案し、今後さらなる検討を行うことが必要である。

参考文献

- 1) 藤原稔・村越潤・鹿嶋久義：鋼プレートガードー橋における応力測定結果に関する報告、構造工学論文集、Vol.37A、1991
- 2) 鈴木博之：道路橋の実応力比に関する調査報告、鋼構造年次論文報告集、第3巻、pp155~162、1995

工藤一彦*



青森県上北地域県民局
地域整備部 道路施設課
主査
Kazuhiko KUDO

河原木英貴**



青森県下北地域県民局
地域整備部 道路施設課
技師 (前 青森県県土整備部 道路課 橋梁・アセット推進グループ 技師)
Hidetaka KAWARAGI

中野正則***



財団法人土木研究センター
審議役
Masanori NAKANO

安波博道****



財団法人土木研究センター
材料・構造研究部長
工博
Dr.Hiromichi YASUNAMI

中島和俊*****



財団法人土木研究センター
材料・構造研究部
研究員
Kazutoshi NAKASHIMA