

VI-11

トラス橋の腐食変状とモルタル注入対策工の効果

東日本旅客鉄道(株) 仙台支社 仙台土木技術センター 正会員 ○井上英一
正会員 茂木初邦

1. はじめに

気仙沼線北上川橋りょうは、建設後 31 年を経過した三径間連続トラスである。このトラス桁の圧縮部材に当る下弦材の一部に腐食が発見された。この腐食は内部より下弦材 U F (9 mm) を貫通するまでに、著しく欠食が進行しており、通常の使用条件・環境下では、起こりえない変状と判断された。

本報告では、変状の原因推定、実車測定に基づいた耐力診断、及び変状程度に応じた対策工を述べる。

2. 変状原因

溶接橋桁における箱型断面の部材は、ダイヤフラムで閉合密封される構造となっている。当該橋りょうは、このダイヤフラムのシール溶接の隅角部に溶接欠陥のブローホールが存在し、ここから大気温度の上下降により結露水和塩分の蓄積がなされた。この物質補給と温度上昇からの加圧により、PH2 の酸性液体が形成され、下弦材内部の腐食に至ったと推定される。

3. 耐力診断項目および方法

(1) 診断システムの概要

当該橋りょうに於ける調査は、耐荷力や疲労診断に応力測定機能を備えた鋼橋総合診断システム（BMCシステム）を使用し、実測による診断評価を以下の項目について行った。

① BMCシステムによる耐荷力評価

損傷格点部材と周囲の健全部材について、図-1 に示す実車測定を行った。

② 設計活荷重による断面力照査

実車測定データをもとに設計活荷重を E A-15 として、断面力照査を行った。

なお、上フランジ部の腐食損傷が著しい保守限応力度は、箱型断面であるが計算上 U 型断面として評価した。

(2) 診断結果

実車測定および断面力照査結果一覧表を表-1 に示す。

実発生応力度に対する保守限応力度の比率である現有応力比率は、設計活荷重および営業列車に対して、当面の耐力に問題が無い結果を得た。

しかし、設計活荷重に対する健全度は、A2 ランクであり、腐食の進展が急激な座屈強度の低下となるため、早急に対策が必要であると判断した。

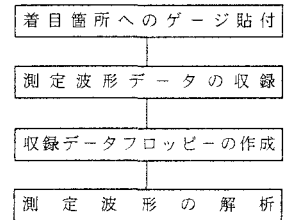


図-1 BMCシステムによる
実車測定の流れ

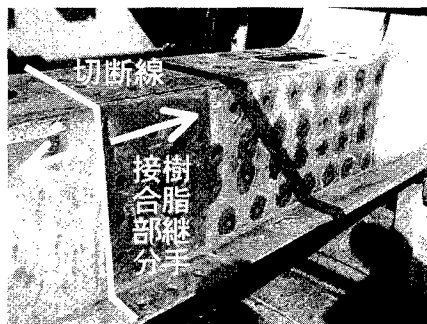
表-1 断面力照査結果一覧表

構造名：気仙沼線北上川橋りょう		支間長：150.05m		設計図面番号：A-NET8-90(3)		調査年月：平成13年10月(検査31回)	
構造形式：トラス橋		桁断面：C		設計基準：A15-90		調査日：平成12年10月27日	
桁形式：鋼梁式		設計速度：60km/h		設計断面：90mm		調査速度：60km/h	

標準設計活荷重時(EA15)									
キハ40-3両編成・営業車100%・60km/hの実測定値をもとにした設計荷重EA15-90km/hに対する健全度評価									
部材	位置	測定値	設計値	安全率	耐力	応力	耐力	応力	耐力
下弦材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
上弦材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
横梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
斜材	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%
縦梁	L12-L14	10.0	10.0	1.0	100%	10.0	10.0	1.0	100%



写真－１ 部材交換の作業風景



写真－２ 樹脂継手の導入箇所

４．対策計画及び施工

(１) 対策工

損傷が著しい部材は、切断撤去し新材へ交換すると共に、腐食程度が軽微な部材は、主構内部のグラウト注入とした。なお、切断除去し新たに設ける継手に樹脂継手を導入した（写真－１、写真－２）。

(２) 施工

①樹脂継手の導入（残存部材の再使用部位）

腐食部材の表面は、不陸が激しいことから、当板補強を行う際の不陸調整と腐食進行の抑止を目的として、超厚膜型エポキシ樹脂系塗料（3,500g/m²以上、膜厚：2,000μ）を使用した。

②腐食対策

欠食に至らなかった部材で、下弦材内に酸性液体が形成された部材には、腐食防止対策としてノンブリージングタイプのPCグラウト（表－２）とアクリル樹脂の注入を併用した。アクリル樹脂注入は、PCグラウト収縮後の微細な間隙を充填し、下弦材と一体化することを目的としている。

表－２ PCグラウト配合

水セメント比	配 合 (kg)			圧縮強度 (N/mm ²)	
w/c (%)	水(w)	セメント(c)	混和剤	7 日	28 日
45	587	1,305	13.05	46.8	60.0

セメント：普通ポルトランドセメント 混和剤：ボゾリスCF1700

５．モルタル注入の効果

グラウト注入前後の実測応力度をBMCシステムにより、下弦材の実車測定を実施した。

注入後は、25％程度の応力度軽減が確認されている（表－３）。モルタル注入部材には、内部腐食の監視点検用のハンドホールを設けている。

また、主構内部の圧力軽減を考慮し、下弦材下面に水抜き穴を設置した。

表－３ グラウト注入による活荷重応力度幅

	連続桁端部		連続桁中間支点部	
	左下弦材	右下弦材	左下弦材	右下弦材
注入前 (MPa)	5.8	8.6	8.4	7.3
注入後 (MPa)	4.4	5.8	6.5	7.9
注入後の応力の減少率	24%	33%	23%	—

- ・左側下弦材には、橋側歩道が設置されている。
- ・連続桁中間支点部右下弦材は新材交換によりグラウト注入はない。

６．まとめ

実測応力に基づき営業列車に対しての安全性を定量的に診断し、対策工までの安全安定輸送を確保できた。また、損傷部材交換の施工では、施工後の死荷重成分の応力配分を考慮し、部材交換前後における実車測定および水準測定のデータを収集した。その結果、施工期間中の格点移動は発生せず、各部材の応力バランスが維持されたことを確認できた。

今後は、今回の実車測定で着目した箇所や樹脂継手について性能確認を継続すると共に、モルタル注入が鋼鉄道橋における騒音軽減への可能性についても検証し、「部材補修法と効果」としてまとめていきたい。