

鋼桁における実橋応力測定と3次元FEM解析についての事例報告

On measured stress of existing bridge and 3-D analyses of steel bridges by FEM

(株) 帝国設計事務所 ○ 正員 坂田 浩一 (Kouichi Sakata)
 (株) 帝国設計事務所 正員 山口 昌克 (Masakatsu Yamaguchi)
 (株) BMC 正員 石井 秀和 (Hidekazu Ishii)
 北海学園大学 正員 杉本 博之 (Hiroyuki Sugimoto)

1. まえがき

橋梁の健全性を定量的に診断することは維持管理を行う上できわめて重要である。従来、橋梁の架換えおよび補修・補強の程度の判断は目視検査にて老朽程度を判断していた場合が多かった。しかし、近年においては橋梁の健全性を実橋応力測定により定量化し、維持管理基準および補修・補強の優先順位の判断基準を整備する手法が多数報告されている。

また、著者らは北海道においては実橋測定による鋼桁10数橋の診断実績があり、適切な部材に適切な補修・補強を行うことで現基準の活荷重下で、既設橋を継続利用すなわち長寿命化することに寄与している。

著者らは橋梁、特に鋼桁の維持管理方法の一手法として、耐荷力の定量的診断方法について検討し、実施してきた。これまでに10数橋分の定量的診断を実施したが、その中で、特にH鋼桁の実橋応力測定結果と、3次元FEM解析結果を報告する。

また、将来的には実橋応力測定の蓄積されたデータを活用することで、H鋼桁橋梁の実橋測定を簡素化し、実橋測定費用のコストダウンを目的にしている。

2. 実橋応力測定による定量的診断方法

ここでは、実橋応力測定と3次元FEM解析の手順、および実橋応力測定結果と3次元FEM解析結果の相関性について説明する。実橋の劣化状況の違いによる構造的特性については後述する。

2. 1. 実橋応力測定

以下の手順により応力測定を行う。

- ①鋼桁各部にひずみゲージを設置する。検討位置は応力度が大きく3次元FEM解析との比較が容易な鋼桁の支間中央とする。
- ②ひずみゲージから延長ケーブルを介して応力測定システムに接続する。応力測定システムはBMC社が開発した診断システム(橋守)を使用する。
- ③着目した主桁に対して最大曲げ応力度が検出できるように、また、車輪の載荷軸重が既知である4軸の25tラフタークレーン車を使用する。
- ④写真-1に示すようにラフタークレーン車を予め設定した位置に車輪が載荷されるように走行させる。
- ⑤図-1および写真-2に示すようにリアルタイムでラフタークレーンの走行時または停車時の応力波形を記録する。
- ⑥記録した応力波形よりラフタークレーン車載荷時の主桁の曲げ応力度の値を得る。



写真-1 25tラフタークレーン載荷状況

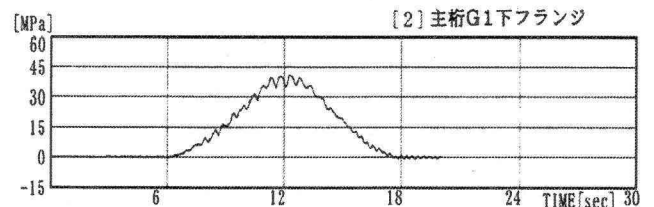


図-1 応力波形

2. 2. 3次元FEM解析

図-2に示すように、実橋にラフタークレーン車の軸重配置状況を3次元FEM解析にて再現する。このとき3次元FEMモデルに載荷する荷重は軸重、車輪位置ともに実橋と同じ条件とする。ここでモデル作成上留意する項目を下記に示す。

- ①可動支承に腐食が見受けられた場合、3次元FEMモデルにて腐食による可動障害を評価することが重要である。具体的には支承部において実測した水平変位値に近くなるように3次元FEMモデルの可動支承をバネモデル化し、バネ定数を変化させることで半可動支承としてモデル化する。
- ②実橋が非合成桁であっても3次元FEMモデルは合成桁として作成する。ただし、コンクリート床版と主桁上フランジ間が分離し錆汁が観測される等、コンクリートと主桁との付着性に問題がある考えられる場合、実橋測定結果を考慮して3次元FEMモデルでコンクリート床版と主桁上フランジ間の付着力を調整する。付着力の調整はモデル上のハンチ剛性値を変更するなどの工夫が必要である。
- ③コンクリート床版に二方向割れ等があり、劣化が著しい場合は、床版コンクリート剛性値を低く評価しモデル作成を行うなどの工夫が必要である。ただし、剛性値の評価方法については今後の検討課題である。

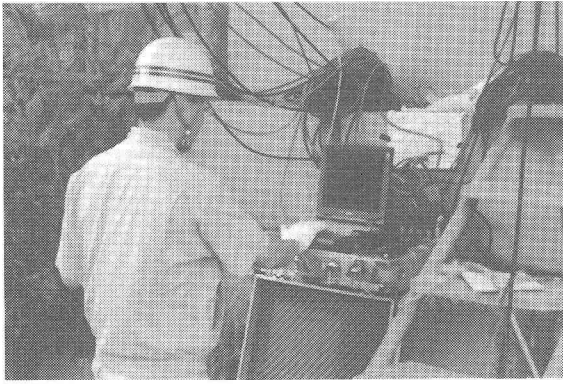


写真-2 診断システム（橋守）による実橋測定

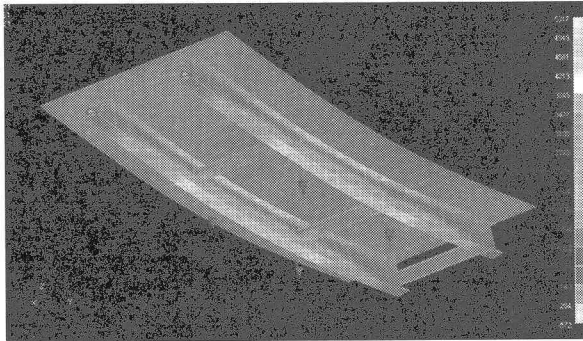


図-2 3次元FEMモデル

表-1 実橋測定値と3次元FEM解析値の相関性

		A橋	B橋	
構造形式		単純非合成H鋼桁	単純合成H鋼桁	
経年(年)		33	23	
支間長(m)		13.6	25.0	
幅員(m)		4.0	3.6	
主桁本数		2	2	
杓		鋼製	ゴム製	
設計活荷重		TL-14	TL-14	
支間中央応力度	実橋測定	28.0	41.5	
	N/mm ²	25.0	40.7	
		30.0	41.1	
	平均値 ①	27.7	41.1	
	FEM解析	支承条件	50.0	39.1
		F-M ②		
N/mm ²	支承条件	31.0	-	
	F-バネ ③			
応力比 ①/②		0.55	1.05	
応力比 ①/③		0.89	-	

3. 実橋応力測定と3次元FEM解析の応力比

著者らが平成12年度～15年度に実施したA橋、B橋の定量的診断の実橋応力測定結果と、3次元FEM解析結果との相関性を表-1に示す。なお、着目した部材位置は主桁下フランジ中央である。

いずれの橋梁も実橋応力測定値と3次元FEM解析値応力比が89%～105%であることから、相関性があると判断できる。ここで、A橋は鋼製支承の腐食が著しかったため、支承の水平方向にバネを設定することで、半固定モデル化して応力解析を行っている。

4. 考察

- 1) 実橋測定結果より主桁上フランジと下フランジの応力度が大きく違っていたことから、非合成桁でも十分な合成効果があると判断できる。
- 2) H鋼桁は主桁、横桁、床版コンクリートで構成され、鋼桁に比べて構造がシンプルであるため、実橋応力測定結果と3次元FEM解析結果とでは近い値を示す。
- 3) 可動支承が腐食していると可動支承の活荷重による水平変位が生じない。このため3次元FEMモデルでは可動支承をバネモデル化し、バネ定数を変化させることで半固定として支点条件を設定すると、3次元FEM解析結果と近い値を示す。
- 4) 目視検査の結果、A橋、B橋の床版コンクリートは健全であったため、3次元FEMモデルでの床版コンクリートの定数は一般的な数値を使用した。

5. 今後の課題と展望

- 1) 実橋測定による2主桁H鋼桁の耐荷力評価を測定のための多数のひずみゲージおよび広範囲な足場工を設置せず3次元FEM解析と併用して診断することは、今後コスト負担を軽減できる可能性がある。
- 2) 支承の腐食程度に応じて3次元FEMモデルの水平方向バネ剛性の評価を定量化することで、後は支承の劣化状態を定量的に評価できる。ただし、具体的な手法は現在検討中である。
- 3) H鋼桁の実橋応力測定値と3次元FEM解析値の比である応力比は89%～105%であったが、後はH鋼多種桁の鋼鋼桁についてもデータを蓄積し3次元FEMモデル作成の基準等を整備することが重要である。
- 4) 定量的診断による鋼桁の耐荷力評価の実施後、設置したひずみゲージおよび配線等を利用して、一般車輛の実交通下での応力頻度測定を72時間行った。この結果、主桁などの断面力で部材寸法が決定する主要部材よりも垂直補剛材上端溶接部など計算上で部材寸法が決まらない二次部材の方が大きな応力頻度および応力振幅を示した。すなわち二次部材の方が主要部材よりも疲労の蓄積が大きいと見られる。疲労の見地からの部材の余寿命は二次部材に着目することが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 坂田, 竹島, 小芝, 杉本: 鋼道路橋の定量的診断の実橋への適用, 土木学会北海道支部論文報告集第56号(A), pp166～171, 2000.2
- 2) 阿部, 杉館, 小芝: 橋梁の点検・診断システムと機器, 橋梁と基礎, pp173～179, 1997.8
- 3) 鋼橋技術研究会: 維持管理部会報告書, 平成8年11月