論 文

# 既設鋼鈑桁橋の設計荷重相当載荷時の静的挙動に関する検討

#### Examination about the static behavior of the existing steel girder bridge under equivalent design load

〇山村 浩	一*    岩崎	正二**	大西	弘志***	出戸	秀明****	佐藤雄	£太****
Koichi YAMA	MURA Shoji	IWASAKI	Hirosh	ni ONISHI	Hidea	ki DETO	Yuta	SATO

**ABSTRACT** This research carried out the static loading test using 600kN equivalent to design live load to the steel composite girder bridge which passed after construction for 30 years in order to clarify the static behavior to the design live load of the existing steel composite girder. The influence of the support restraints exerted on the static behavior of an object bridge is investigated by reproducing loading test results using FEM analysis. From these results, in the state with an insufficient horizontal displacement function of movable shoe, it is shown clearly that the restricted situation of movable shoe changes with the sizes of the load.

Keywords: 2 連合成鋼鈑桁橋, 設計荷重相当, 静的載荷試驗, FEM 解析 Two span steel girder bridge, equivalent design load, static loading test, FEM analysis

## 1. まえがき

公共事業の予算縮小のため社会資本の新規更新は 難しくなり、既設橋梁を維持管理しながらいかに延 命化させるのかが問題となっている. そのため既設 橋梁の健全度評価が必要であり、調査方法のなかに 静的載荷試験がある.本研究では、岩手県紫波町に ある架設後 30 年経過した単純合成鋼鈑桁橋の下梅 田橋で, 設計荷重に相当する約60tf(25tf トラック 2 台+10tf ユニック車)を用いた静的載荷試験を実 施する. 載荷試験中は, 動ひずみや動たわみも同時 に計測し、拘束状態にある支点部が開放されるかど うかを検討する.また気温の異なる朝,昼,夕の3 回に分けて設計荷重相当載荷試験を行い、桁の静的 挙動に及ぼす温度の影響についても考察する. 最後 に、3次元 FEM 解析を用いて、設計荷重相当載荷時 の静的挙動を再現し、それらの解析結果と実橋載荷 試験結果を比較検討することにより、解析モデルの 妥当性を検証するとともに、対象橋梁の静的挙動に 及ぼす支点拘束の影響について解析的に検討する.

### 2. 実橋載荷試験方法

図-1 に示す試験対象橋梁は、支間長 27.75m,桁 高 1.5m の 2 等橋(TL-14)である. 主桁は 3 本,上部 工形式は 2 連単純合成鋼鈑桁橋,支承形式は BP-A で ある.図-2 に、ひずみゲージ、変位計の計測位置を 示す.ひずみゲージは、G2、G3 桁の両支点から 0.30m, 0.867m, 3.468m, 6.937m, 10.406m, 13.775m と、可 動支点から 0.60m の上下フランジに取付けたほか, 可動支点と支間中央点のウェブを計測位置とし、橋 軸方向にゲージを貼付けした.

変位計はG2,G3桁の両支点の水平方向と鉛直方向, 支間中央点の鉛直方向及び橋脚上部の水平方向に設 置した.また,載荷試験中は,動変位や動ひずみも 計測するため,G2,G3桁の両支点の水平方向,支間 中央点の鉛直方向に変位計を設置した.両支点近傍 や支間中央点には動ひずみ計を設置し,0.005秒間 隔でデータを記録した.表-1に計測機器の諸元,写 真-1に変位計の設置状況を示す.

静的載荷試験では残留ひずみと残留変位の影響を



確認するために、最初に初期設定を行った以外は測 定器をゼロクリアしていない.このため、荷重載荷 直前の残留値と荷重載荷直後の計測値を記録して、 両者の差を実測値としている.

設計荷重相当を載荷する試験では、図-3 に示す位 置に荷重車を載荷した.荷重車の総重量は 589.3kN で、この値は設計活荷重(L-14)の約 95%に相当 する.表-2 に各荷重車の実測重量を示す.



図-1 上部工断面図



写真-1 可動支承部の変位計設置状況

表-1 計測機器諸元

名 称	仕 様	性 能		
ひずみゲージ	防水型 ゲージ長6mm	1ゲージ3線式 自己温度補償ゲージ		
変位計	容量: 10mm, 25mm, 50mm	分解能:1/100mm		
データロガー	30チャンネル 10チャンネル	ひずみ : ±1×10-6		
スイッチボックス	50チャンネル	熱電対温度:0.1℃		

表-2 荷重車実測重量

市 活	1軸当	実測総重量		
平 1里	前輪 前後輪 後後輪	後後輪	(kN)	
25tfトラック	53.69	96.18	95.10	245.17
10tfユニック車	34.07	64.66	-	96.95



図-3 設計荷重相当試験の載荷位置



図-2 計測位置



### 3. FEM 静的解析方法

本研究では,汎用 FEM 解析ツール ANSYS を用い て静的解析を行った.解析モデルの諸元として,図 -4 にモデル図を,表-3 に要素モデル及び材料物性値 を示す.

目視点検によると対象橋梁の支承部では、支承本 体の腐食や一部の沓座モルタルに破損が見られたこ とから、可動支承が固着化していることが予想され た.このため、FEM 解析では可動支承を Solid 要素 でモデル化し、そのヤング係数を変化させることで、 可動支承の拘束状態を再現することとした.なお、 対象橋梁の床版や主桁には目立った損傷は見られず、 比較的健全な状態であった.

FEM 解析では、25tf トラック2台と10tf ユニック 車1台を載荷した場合(設計荷重相当,60tf 載荷) 及び20tf トラックを単独載荷した場合(図-5)につ いて,前輪タイヤ,後輪タイヤの荷重を集中荷重と して静的解析を行い、実測値と比較検討する.その 際,図-2に示す可動支点から0.3mと支間中央にお ける下フランジのひずみ、支間中央の垂直変位,橋 脚天端水平変位が実測値に近づくように、可動支承 のヤング係数を変化させて解析を行った.また,橋 脚を考慮しない単径間モデルでも解析を行い、全体 モデルの解析結果と比較検討した.単径間モデルの 支承条件としては、固定支承をピン、可動支承をロ ーラーとし、下フランジひずみの実測分布に一致す るように、任意の水平反力を可動支点に作用させて 解析を行った.



図-5 20tf トラック載荷位置



図-4 FEM 解析モデル

表3	要素モデル	材料物性值
1 0	女ボ ビノバ	1/1/11/201110

部材	材 料	要素モデル	ヤング係数 (N/m2)	ポアソン比	密度 (N・s2/m4)
床 版	RC	Solid	2.80 $\times$ 10 <sup>10</sup>	0.167	2.50 $\times 10^{-3}$
主桁,横桁	steel	Shell	2.10 $\times$ 10 $^{11}$	0.300	7.86 $ imes$ 10 $^3$
対傾構	steel	Beam	2.10 $\times$ 10 $^{11}$	0.300	7.86 $ imes$ 10 $^3$
支 承※1	steel	Solid	2.10 $\times$ 10 $^{11}$	0.300	7.86 $ imes$ 10 $^3$
橋脚	RC	Solid	2.35 $\times$ 10 $^{10}$	0.167	2.50 $ imes$ 10 $^3$
			※1:全体モデ <i>1</i>	・ レP1橋脚上の支	承モデル

### 4. 実橋載荷試験の結果と考察

図-6 は、静的試験における荷重車1台(25tf),2 台(25tf+25tf),3 台(25tf+25tf+10tf)載荷時の G3桁上下フランジの実測ひずみ分布を描いたもので ある.1台と2台の分布を比較すると、荷重をG3桁 側に載荷しているためひずみが大きな変化を示して いる.3台目の分布は、G1桁側に10tf載荷したこと から2台載荷時に比べて、G3桁のひずみは小さな変 化となっている.また、下フランジでは、両支点か ら0.867mまでの区間で圧縮ひずみが生じており、最 大圧縮ひずみは支間中央と同程度の値となっている. このようなひずみ分布は、両端固定桁で生じるひず み分布と同じであることから、本橋では可動支承が 拘束されて軸方向に水平反力が発生している状態と 考えられる.

図-7は、G3桁の支間中央点及び可動支承から橋軸 方向へ 0.3m 点の載荷試験中の動ひずみ応答曲線を 表している.図-6と同様に、1台から2台に載荷荷 重が増えた時に大きな変化を示している.図-6、7 は朝10時に行われた載荷試験であるが、同じ試験ケ ースを同日の昼(12時)と夕方(17時30分)にも行 っているが、得られた試験結果は、朝の試験結果と 同様であった.表-4に示すように、各試験時間帯で 外気温が変化するとともに、床版と主桁との間に温



度差が生じている.しかし,静的載荷試験は約5分 以内に行われる試験であり,部材温度差は短時間の ひずみ応答に影響を与えないようである.

図-8は、G3桁可動支承の載荷試験中の動変位を朝、 昼、夕方で比較したものである.可動支承部の変位 計は、橋脚天端を土台にしているため図-8の動変位 は、橋脚天端との相対変位を表わしている.

図-8を見ると,載荷荷重が大きくなるほど,桁が 伸びる方向(A1橋台方向)へ増加しているのが分か る.特に,朝の試験では、3台目の10tf車が進入し た時に変位が大きくなっている.これは,載荷荷重 が50tfから60tfへ増加した直後に,桁の水平力が 可動支承の拘束力を上回り,可動支承で滑り移動が 生じたためと考えられる.すなわち,可動支承が拘 束されている状態では,荷重載荷による水平力と温 度差による水平力が桁に作用する.G3桁の温度差が 朝6.1℃,昼2.5℃,夕方-2.8℃であったことから, 朝の試験では,桁の温度水平力がかなり大きかった ことが分かる.可動支承の変位が増加したのは,桁 に大きな温度水平力が生じたためである.なお,試 験開始直前の残留変位は,朝0.001mm,昼1.560mm, 夕方0.001mmであった.

表-5 は、荷重載荷直後の橋脚天端の水平変位(絶 対変位)を示したものである.50tf 載荷の変位と 60tf 載荷の変位の差は、朝 0.094mm,昼 0.187mm, 夕方 0.209mm の順に大きく、可動支承の変位挙動と 相反している.可動支承の変位が小さいときは、橋 脚に作用する水平力が大きくなり、橋脚天端の変位 が増加するようである.

表-4	各試験の外気温と部材温度	-
4X T		

				$(\mathbf{U})$
測定箇所時刻	外気	床版 下面	G2桁 ウェブ	G3桁 ウェブ
10:00(朝)	23.4	22.4	21.9	26.0
12:00 (昼)	27.0	25.3	26.9	28.5
17:30(夕)	23.5	32.5	26.7	25.7

#### 5. FEM 解析の結果と考察

表-6は、計測径間に生じる最大ひずみ、最大変位 及び橋脚天端の水平変位について実測値と計算値を 比較したものであり、誤差は2.7%から7.4%となっ ている.単径間モデル(ピン-ローラー支持)で20tf と60tfを載荷した場合は、ローラー支点に、それぞ れ約201kN、約468kNの水平反力を作用させた時、 実測値に近づいた.完全水平拘束を仮定したピン-ピン支持では、各載荷状態で337kN、960kNの水平反



図-8 G3 桁可動支承の動変位

表-5 各試験における橋脚天端の水平変位

			(mm)
載荷ケース	25+f	50tf	60tf
時刻	2011	(25tf+25tf)	(25tf+25tf+10tf)
10:00(朝)	0.499	0.979	1.073
12:00 (昼)	0.492	0.984	1.171
17:30 (夕)	0.498	1.010	1.219



		可動支点 下フランジひ	1支点より30cm 支間中央下フランジ √ジひずみ(×10-6) ひずみ(×10-6)		ドフランジ (×10-6)	支間中央垂直変位 (mm)		橋脚天端水平変位 (mm)
		全体モデル	単径間モデル	全体モデル	単径間モデル	全体モデル	単径間モデル	全体モデル
	実測値	-58	-58	63	63	3.455	3.455	0.404
20tf	計算值 (F-F)	-75	-104	55	44	2.918	2.178	0.421
載荷	計算值(F-M´)	-62	-54	60	60	3.205	3.202	0.418
	相対誤差	7.10%	6.12%	5.25%	5.53%	7.23%	7.33%	3. 37%
	実測値	-171	-171	200	200	12.02	12.02	1.073
60tf	計算值 (F-F)	-285	-375	169	134	9.44	7.27	1.235
載荷	計算值(F-M´)	-177	-162	195	194	11.44	11.13	1.131
	相対誤差	3.49%	5.49%	2.70%	2.79%	4.81%	7.39%	5. 42%

表-6 G3 桁におけるひずみ,垂直変位,橋脚天端水平変位の実測値と計算値

カが生じていたことより、支点拘束率(任意水平反 カ/ピン-ピン支持の水平反力)は、それぞれ約60%、 49%である.これらの結果より、可動支承の拘束状態 は、載荷荷重の影響を大きく受けることが明らかと なった.載荷荷重と支点拘束率の関係について、40tf 載荷、50tf 載荷の検討結果も含めて図-9に示す.

全体モデル(2 径間)においても、可動支承の Solid 要素のヤング係数 E を、初期状態 E=2.1×10<sup>11</sup>N/m<sup>2</sup>か ら 20tf 載荷の時は E=4.1×10<sup>9</sup>N/m<sup>2</sup>, 60tf 載荷の時 は E=1.65×10<sup>9</sup>N/m<sup>2</sup> に減少させたときに実測値に近 づく結果となり、単径間モデルと同様に、載荷荷重 の値が大きくなるにつれて可動支承の拘束状態が弱 まる傾向が認められた.

図-10は、G3桁下フランジの橋軸方向ひずみ分布 について、実測値と計算値を比較検討したものであ る.全体モデルの60tf 載荷において、固定-固定モ デルと固定-可動モデル(可動支承のEを減少)に大 きな差がでている以外は、各計算値と実測値はほぼ 一致しているようである.全体モデルの固定-可動モ デルが実測値の挙動を良く表している理由の一つと して、ヤング係数を疑似的に減少させたことで、可 動支承にわずかな回転角が発生したためと考えられ る.特に、可動支承の回転拘束の状態が主桁のひず みや垂直変位の挙動に幾分影響を与えていることが 推測される.また、ピン-ローラー支持の偏載荷にお いて、固定支承側に水平反力が発生し、下フランジ に圧縮ひずみが発生する解析事例があったので今後 の検討課題としたい.

図-11,12は、それぞれG3桁上フランジのひずみ 分布とG3桁支間中央ウェブのひずみ分布を示した ものである.載荷荷重は60tf,計算値は全体モデル での解析結果である.

上フランジのひずみ分布は、可動支点から10.406m と13.775m(支間中央)の2点において実測値と計 算値に多少の違いが認められるが、その他の点では、



図-9 単径間モデルにおける載荷荷重 と支点拘束率との関係



実測値と計算値がほぼ一致している.また、ウェブのひずみ分布は、主桁中央点で実測値と計算値に40 μ程度の差が生じるが、その他の点はほぼ一致する.

このように,設計荷重相当載荷時の上フランジと ウェブのひずみ挙動についても,FEM全体モデルを 用いて,比較的精度よく再現することが可能である.





図-11 G3 桁上フランジのひずみ分布



図-12 G3 桁支間中央ウェブのひずみ分布

### 6. 結論

既設鋼橋では,経年劣化などにより支承機能が低 下していることが多い.支承機能低下に関しては, これまで様々な研究<sup>1),2),3)</sup>がなされ,それらの成果が 支承部の構造改善に寄与している.その一方で,支 承の機能低下が主桁の挙動にどのような影響を及ぼ し,また,その影響が,橋の安全性を評価する上で, 無視できるレベルかどうかについては,必ずしも明 らかにはなっていない.

本研究では、市町村などで過去によく架設された2 等橋(TL-14)を対象にして、設計活荷重相当を載荷し た場合の主桁、支承及び橋脚の挙動について、実橋 載荷試験と数値解析を実施することにより、以下の ことが明らかとなった.

・2 連単純合成桁では,経年劣化などにより可動支 点が拘束されると水平反力が発生し,設計荷重相当 載荷時おいても桁と橋脚が一体となって変位してい ることが分かった. ・静的載荷試験において、車両の進入から停止およ び退出までの動的連続計測を実施することにより、 設計荷重相当載荷時の主桁や可動支承の静的および 動的挙動を明らかにすることができた.それによる と可動支承は、温度変化により変形するとともに、 設計荷重相当載荷時にもわずかに変動していること が明らかになった.

・2 連合成鋼鈑桁橋を FEM モデルで解析する際,下 部工を含めたモデル化を行うことで静的載荷試験の 再現が可能となった.

・FEM モデルによる解析的検討の結果,可動支承の 拘束状況は載荷荷重の大きさによって変化すること が明らかとなった.

【参考文献】

- 1)徳田浩一,岩崎雅紀:支承の活荷重挙動に関する 実験的研究,土木学会構造工学論文集,V01.41A, 1995.3
- 2)西川和廣,村越潤,広瀬隆広:鋼桁支承ソールプレート溶接部の疲労に関する検討-実橋載荷試験に基づくソールプレート周辺部の応力測定結果の報告-,土木技術資料,35-2,1993
- 3) 松本巧,谷口健男:鋼橋の支承取替えに着目した 支点近傍の応力集中に関する検討,土木学会論文 集F, Vol. 62No4, 609-671, 2006.10

