

# 応力度測定結果を踏まえた鋼合成鉄桁橋の耐荷性能評価

中央復建コンサルタンツ株式会社 ○門 田 拓 樹  
中央復建コンサルタンツ株式会社 森 彩  
中央復建コンサルタンツ株式会社 白 谷 昌 也  
中央復建コンサルタンツ株式会社 大 橋 晃 平

## 論文要旨

対象橋梁は、昭和40年代後半に建設された都市内高架橋の鋼単純合成鉄桁橋（支間長L=34m, RC床版）であり、昭和60年代前半に床版が鋼板接着と縦桁増設により補強されている。現行基準（B活荷重）による照査の結果、主桁の発生応力度が許容値を20%程度超過していたため、鋼床版への取替えによる補強が検討されていた。しかしながら、対策を行う場合、補強工事に伴う通行止めが必要となることから、周辺交通への影響が懸念された。

本稿では、大型車交通量が減少傾向にある交通状況を考慮した上で、補強対策自体が必要かどうかを判断するために実施した二つの耐荷性能検証「応力度測定を用いた実際の交通量を反映した耐荷性能評価」、実構造における主桁と床版（鉄筋コンクリート）の合成作用を考慮した耐荷性能評価」についての検討内容を報告する。

キーワード：鋼合成鉄桁橋、耐荷性能照査、応力度測定、中立軸、鋼と床版コンクリートのヤング係数比n

## まえがき

近年、高度経済成長期に建設された橋梁の耐荷力不足や老朽化対策のため、床版取替えや架替えなどの更新事業が多く進められている。しかしながら、対策を行う場合、通行止めが伴う工事になることから、周辺交通への影響（工事期間の長期化）や膨大な費用の発生が問題となっている。

一方、道路網の整備により、都市部への交通集中を避けるためのバイパス機能を有する高速道路等の建設が進められ、一般道の大型車交通量は減少傾向にある。特に、都市部の大型車交通量は、大幅に減少している（図-1）。

本稿では、これらの交通状況を踏まえた上で、補強対策自体の要否を判断することを視野に入れ、検討を行った。

### 1. 対象橋梁の概要

対象橋梁の概要を表-1に示す。対象橋梁は片側2車線の道路橋（図-2）である。また、下部工は耐震補強済みである（図-3）。

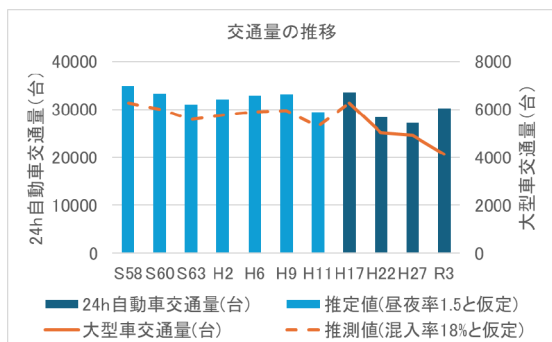


図-1 近隣交差点の交通量の推移（センサス<sup>1)</sup>より）

表-1 対象橋梁の概要

竣工年	昭和40年代後半	
上部工形式	鋼単純合成鉄桁橋（支間長34.0m）	
上部工の補強履歴	昭和60年代前半 床版補強（鋼板接着工・増し桁取付工）	
下部工の補強履歴	耐震補強（RC巻立て工、鋼板巻立て工）	
適用基準	竣工時	昭和39年 鋼道路橋設計示方書・鋼道路橋製作示方書 昭和40年 鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針
	上部工補強時	昭和55年 道路橋示方書・同解説
	下部工補強時	平成8年 耐震設計・施工要領（案）
使用材料	鋼材（主構造）	SM50（ $\sigma_{sca}=1800\text{kg}/\text{cm}^2$ , $\sigma_{sta}=1900\text{kg}/\text{cm}^2$ ） SS41（ $\sigma_{sca}=1300\text{kg}/\text{cm}^2$ , $\sigma_{sta}=1400\text{kg}/\text{cm}^2$ ）
	コンクリート（床版）	$\sigma_{ck}=280\text{kg}/\text{cm}^2$ , $\sigma_{ca}=80\text{kg}/\text{cm}^2$
活荷重	竣工時：TL-20	

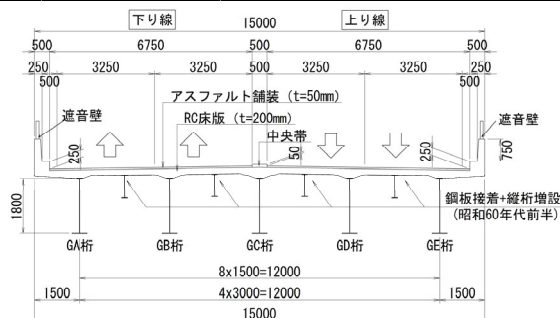


図-2 上部工断面図

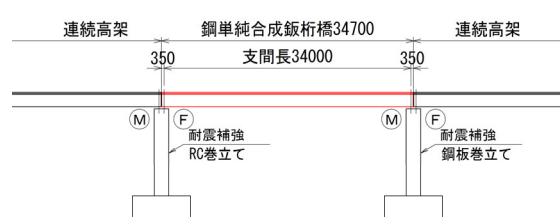


図-3 側面図

## 2. B活荷重載荷による現況照査

現行基準(B活荷重)による照査結果を表-2に示す。

下フランジで発生応力度が許容応力度を10~19%超過することを確認した。これはTL-20で設計された橋梁のため、B活荷重への設計荷重の増加により、許容応力度を超過している。

表-2 B活荷重載荷による現況照査結果

	GA桁	GB桁	GC桁	
UF1g	①前死荷重	-170.3	-162.5	-160.3
	②後死荷重	-4.2	-2.6	-2.1
	③死荷重(①+②)	-174.5	-165.1	-162.4
	④クリープ	-9.3	-7.3	-6.7
	⑤乾燥収縮	-10.7	-10.6	-10.3
	⑥B活荷重	-16.8	-9.9	-7.6
	$\sigma_{su}(B活)$ (③+④+⑤+⑥)	<b>-211.3</b>	<b>-192.9</b>	<b>-187.0</b>
	$\sigma_a$	212.7	212.7	212.7
LF1g	①前死荷重	98.3	103.6	108.1
	②後死荷重	23.6	20.8	19.4
	③死荷重(①+②)	121.9	124.4	127.5
	④クリープ	1.5	1.4	1.4
	⑤乾燥収縮	1.8	2.1	2.2
	⑥B活荷重	94.9	79.2	71.7
	$\sigma_{su}(B活)$ (③+④+⑤+⑥)	<b>220.1</b>	<b>207.1</b>	<b>202.8</b>
	$\sigma_a$	185.0	185.0	185.0
Web	①前死荷重	-7.1	5.1	-6.8
	②後死荷重	-3.2	1.0	-1.7
	③死荷重(①+②)	-10.3	6.1	-8.4
	⑥B活荷重	-18.3	15.4	-15.2
	$\tau(B活)$ (③+⑥)	-28.6	21.5	-23.6
	$\tau_a$	105.0	105.0	105.0
	$\tau_a/\tau_{su}(B活)$	0.27	0.20	0.22
	合成 応力度	B活荷重 安全率	<b>1.43</b> 1.20	<b>1.27</b> 1.20

単位: N/mm<sup>2</sup>, +: 引張応力, -: 圧縮応力  
【凡例】 青字: 発生応力度<許容応力度,  
赤字: 発生応力度>許容応力度

## 3. 実車両荷重による応力度の測定

応力度の測定は、実車両荷重により発生する応力度(以下、測定応力度)を把握するために実施した。

### 3.1 測定手法

本測定では、応力頻度測定要領(案)<sup>2)</sup>を参照し、ひずみゲージを用いて連続した72時間(平日の3日間)の実車両による主桁のひずみ $\epsilon$ から、測定応力度( $\sigma = E\epsilon$ )を確認した。断面力が最も大きい支間中央の主桁の応力度を

測定する。なお、計測は、交通量が多い下り線で実施した。ひずみゲージの貼り付け位置を図-4に示す。

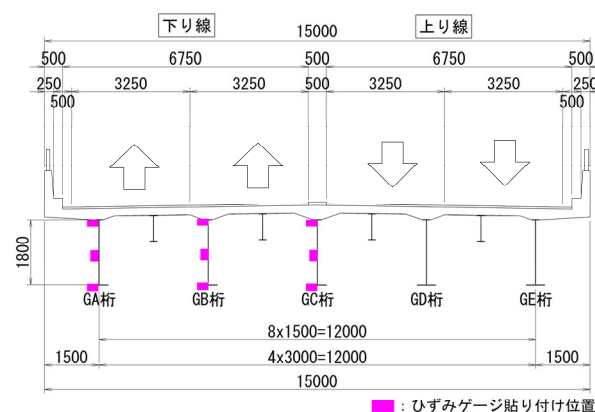


図-4 ひずみゲージ貼り付け位置

## 3.2 測定結果

各主桁で上フランジ圧縮最大時、下フランジ引張最大時の上フランジ、ウェブ、下フランジの測定応力度を表-3に示す。

上フランジ、ウェブ、下フランジで計測した測定応力度の分布を図-5に示す。応力度が概ね直線に分布しており、計測されたひずみ分布に異常はないことを確認した。

表-3 各桁の測定応力度

		UF1g圧縮最大時	LF1g引張最大時
		GA桁	UF1g Web LF1g
GB桁	UF1g	-3.4	-1.4
	Web	3.6	6.6
	LF1g	9.0	14.1
GC桁	UF1g	-6.6	-6.4
	Web	2.2	2.5
	LF1g	11.4	12.7

単位: N/mm<sup>2</sup>, +: 引張応力, -: 圧縮応力

本橋は、主桁と床版(鉄筋コンクリート)の合成桁であり、両者の合成断面で抵抗するため、支間中央の上フランジの圧縮応力度は小さく、下フランジの引張応力度は大きい応力状態になる。計測した測定応力度を確認すると、上フランジの圧縮応力度は3.4~6.6N/mm<sup>2</sup>、下フランジの引

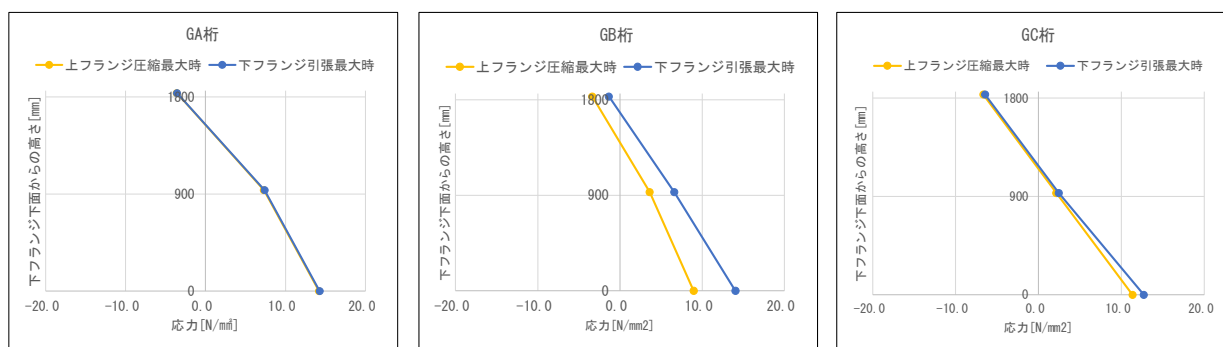


図-5 各桁の測定応力度分布

張応力度は 12.7~14.3N/mm<sup>2</sup> となり、実構造でも主桁と床版の合成作用の効果があることを確認した。

横断方向の応力度分布を図-6に示す。外桁(GA桁)の「測定応力度/B活荷重による応力度」は0.16であり、GB桁、GC桁と比べ比率が小さいことを確認した。実車両の主桁ごとの断面力比率は設計上(B活荷重)の比率よりも外桁に転載される割合が小さいことを確認した。

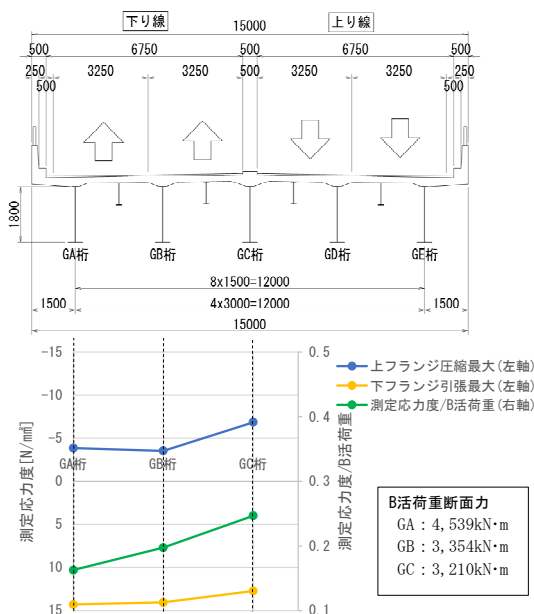


図-6 横断方向の測定応力度分布

#### 4. 測定応力度結果による検証

##### 4.1 測定応力度を用いた現況照査

B活荷重による発生応力度を測定応力度に置き換えて上部工の耐荷性能の照査を行った。支間中央における照査結果を表-4に示す。実際の通行車両の測定応力度を用いた照査の結果、B活荷重による照査で満足しなかった下フランジの発生応力度が許容応力度以下となる結果を得た。実際に通行している車両の荷重であれば、補強対策を行わなくても問題がないことを確認した。

##### 4.2 実構造の合成作用の影響

###### (1) 上下フランジの測定応力の割合

設計で想定した合成作用が得られているかどうかを確認するため、主桁断面に発生している応力度の合計(上フランジと下フランジの応力度の差)に対する上フランジと下フランジの応力度の割合を指標として用いる検証を行った。

測定応力度の割合をB活荷重の割合で除した割合比率を確認した結果(表-5)、下フランジは、0.73~0.94と8~9割前後の比率であるが、上フランジは1.33~3.58倍の比率となっている。設計で想定している床版の合成作用の

表-4 測定応力度を踏まえた照査結果

		GA桁	GB桁	GC桁
UF1g	①前死荷重	-170.3	-162.5	-160.3
	②後死荷重	-4.2	-2.6	-2.1
	③死荷重(①+②)	-174.5	-165.1	-162.4
	④クリープ	-9.3	-7.3	-6.7
	⑤乾燥収縮	-10.7	-10.6	-10.3
	活荷重			
	⑥B活荷重	-16.8	-9.9	-7.6
	⑦測定応力度	-3.9	-3.5	-6.9
	$\sigma_{su}(B活)$ (③+④+⑤+⑥)	-211.3	-192.9	-187.0
	$\sigma_{su}(測定)$ (③+④+⑤+⑦)	-198.4	-186.5	-186.3
$\sigma_a$	212.7	212.7	212.7	
$\sigma_a / \sigma_{su}(測定)$	0.93	0.88	0.88	
LF1g	①前死荷重	98.3	103.6	108.1
	②後死荷重	23.6	20.8	19.4
	③死荷重(①+②)	121.9	124.4	127.5
	④クリープ	1.5	1.4	1.4
	⑤乾燥収縮	1.8	2.1	2.2
	活荷重			
	⑥B活荷重	94.9	79.2	71.7
	⑦測定応力度	14.3	14.1	12.7
	$\sigma_{su}(B活)$ (③+④+⑤+⑥)	220.1	207.1	202.8
	$\sigma_{su}(測定)$ (③+④+⑤+⑦)	139.5	142.0	143.8
$\sigma_a$	185.0	185.0	185.0	
$\sigma_a / \sigma_{su}(測定)$	0.75	0.77	0.78	
Web	①前死荷重	-7.1	5.1	-6.8
	②後死荷重	-3.2	1.0	-1.7
	③死荷重(①+②)	-10.3	6.1	-8.4
	活荷重			
	⑥B活荷重	-18.3	15.4	-15.2
	⑦測定応力度	-3.0	3.0	-3.7
	$\tau(B活)$ (③+⑥)	-28.6	21.5	-23.6
	$\tau(測定)$ (③+⑦)	-13.2	9.1	-12.2
	$\tau_a$	105.0	105.0	105.0
	$\tau_a / \tau_{su}(測定)$	0.13	0.09	0.12
合成 応力度	B活荷重	1.43	1.27	1.21
	測定応力度	0.89	0.78	0.78
	安全率	1.20	1.20	1.20

単位: N/mm<sup>2</sup>, +: 引張応力, -: 圧縮応力

【凡例】青字: 発生応力度<許容応力度,

赤字: 発生応力度>許容応力度

効果があれば、上フランジの応力度の割合比率はB活荷重と同等(割合比率)になると想定されるが、下フランジは1.0を少し下回り、上フランジは1.0を大幅に超える値となった。

以上のように、割合比率で上フランジの比率が下フランジより大きいことを踏まえると、設計で想定した合成作用は実構造で得られず、図-7のように実構造の中立軸位置が設計で想定している位置よりも下がっていると推測される。

表-5 測定応力度とB活荷重による応力度の比率

桁	位置 (下面)	測定応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		B活荷重による 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		割合※1 比率 (測定値/ 計算値)
		測定値	割合※1	計算値	割合※1	
GA桁	UF1g	-3.59	0.20	-16.8	0.15	1.33
	LF1g	14.29	0.80	94.9	0.85	0.94
	差※2	17.88	—	111.7	—	—
GB桁	UF1g	-3.36	0.19	-9.9	0.11	1.74
	LF1g	14.05	0.81	79.2	0.89	0.91
	差※2	17.41	—	89.1	—	—
GC桁	UF1g	-6.64	0.34	-7.6	0.10	3.58
	LF1g	12.70	0.66	71.7	0.90	0.73
	差※2	19.34	—	79.3	—	—

+ : 引張応力, - : 圧縮応力

※1 応力度/差の値: UF1gとLF1gの測定応力度の割合

※2 UF1gとLF1gの応力度の差

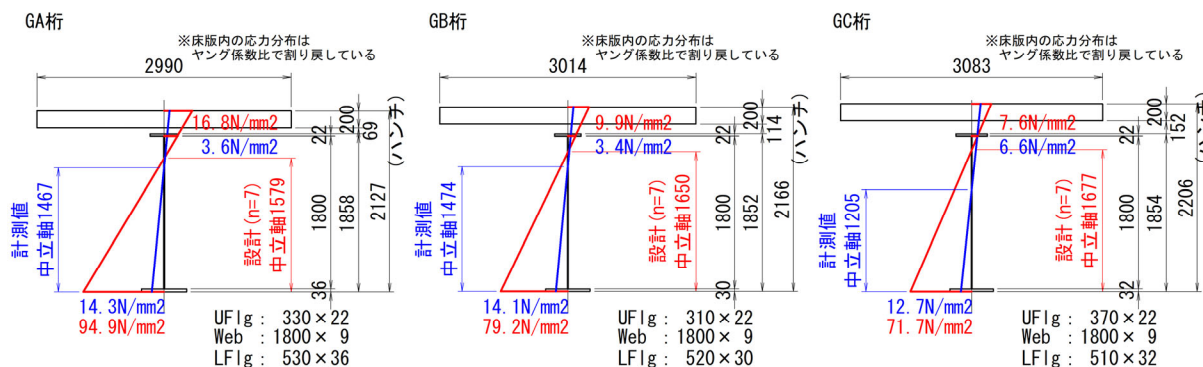


図-7 各桁の実構造の中立軸高さ

表-6 実構造の合成作用を考慮した照査結果

		GA桁		GB桁		GC桁	
		設計上(n=7)	実構造(n=10)	設計上(n=7)	実構造(n=13)	設計上(n=7)	実構造(n=30)
UF1g	①前死荷重	-170.3	-170.3	-162.5	-162.5	-160.3	-160.3
	②後死荷重	-4.2	-6.4	-2.6	-5.9	-2.1	-11.6
	③死荷重 (①+②)	-174.5	-176.7	-165.1	-168.4	-162.4	-171.9
	④クリープ	-9.3	-10.8	-7.3	-9.9	-6.7	-12.6
	⑤乾燥収縮	-10.7	-9.6	-10.6	-8.9	-10.3	-5.7
	⑦測定応力度	-3.9	-3.9	-3.5	-3.5	-6.9	-6.9
	$\sigma_{su}$ (測定) (③+④+⑤+⑦)	<b>-198.4</b>	<b>-200.9</b>	<b>-186.5</b>	<b>-190.7</b>	<b>-186.3</b>	<b>-197.1</b>
	$\sigma_a$	212.7	212.7	212.7	212.7	212.7	212.7
	$\sigma_a / \sigma_{su}$ (測定)	<b>0.93</b>	<b>0.94</b>	<b>0.88</b>	<b>0.90</b>	<b>0.88</b>	<b>0.93</b>
LF1g	①前死荷重	98.3	98.3	103.6	103.6	108.1	108.1
	②後死荷重	23.6	24.0	20.8	21.4	19.4	21.5
	③死荷重 (①+②)	121.9	122.3	124.4	125.0	127.5	129.6
	④クリープ	1.5	1.9	1.4	2.0	1.4	2.7
	⑤乾燥収縮	1.8	1.6	2.1	1.8	2.2	1.2
	⑦測定応力度	14.3	14.3	14.1	14.1	12.7	12.7
	$\sigma_{su}$ (測定) (③+④+⑤+⑦)	<b>139.5</b>	<b>140.1</b>	<b>142.0</b>	<b>142.9</b>	<b>143.8</b>	<b>146.2</b>
	$\sigma_a$	185.0	185.0	185.0	185.0	185.0	185.0
	$\sigma_a / \sigma_{su}$ (測定)	<b>0.75</b>	<b>0.76</b>	<b>0.77</b>	<b>0.77</b>	<b>0.78</b>	<b>0.79</b>

単位:  $N/mm^2$ , +: 引張応力, -: 圧縮応力  
ハッチング部が合成後に作用する荷重による応力度

(2) 実構造におけるヤング係数比 n の検証

実構造における合成作用の効果を確認するため、測定応力度分布から得た実構造の中立軸の高さから合成作用の目安となる主桁とコンクリートのヤング係数比 n と設計で使用した n=7 との比率を算出した。算出の結果、GA 桁は 0.7(n=10)、GB 桁は 0.54(n=13)、GC 桁は 0.23(n=30)となり、設計で想定した合成作用に比べ2割~7割程度の作用、ハンチ高が高い中桁ほど作用が小さいことを確認した。合成作用が小さい要因として、建設時の基準で床版と主桁の接合部付近の配筋細目が規定されておらず、ハンチ高が高いほどずれ止めの効果が低く、主桁と床版の合成作用が小さくなっていると想定される。

ここで、主桁とコンクリートの合成作用が小さい場合、発生応力度が増加するため、算出したヤング係数比 n を使用して、合成後の作用荷重に対し、支間中央における耐荷性能照査を実施した結果を表-6に示す。実構造の合成作用を考慮した場合でも下フランジの発生応力度が許容応力度以下となることを確認した。

あとがき

測定応力度を用いた上部工耐荷性能照査では、発生応力度が許容応力度以下となることを確認した。また、主桁と床版の合成作用の効果を検証した結果、実構造では設計で想定した合成作用より低いことを確認した。合成後の作用荷重に対し、実構造の合成作用を考慮した場合でも下フランジの発生応力度が許容応力度以下となることを確認した。

以上の応力度測定結果による検証から、発生応力度が許容応力度以下であり、過去の橋梁点検で床板や桁の損傷がないこと、現在の大型車混入率が増大せず、今後、大型車交通量が更に減少する可能性が大きいことを踏まえ、現時点での補強は実施せず経過観察していくこととした。

参考文献

- 1) 全国道路・街路交通情勢調査一般交通量調査結果
- 2) 応力頻度測定要領(案), 道路保全技術センター, H.8.3