

鋼 I 桁橋面外ガセット溶接継手の疲労損傷位置の解析的検討

首都高速道路技術センター 正会員 ○大住 圭太
J I P テクノサイエンス 大川原 千明
オリエンタルコンサルタンツ 岡本 亮

1. 目的

鋼 I 桁橋の主桁ウェブに取り付けられた面外ガセット溶接継手の疲労き裂は、主桁の一次応力により進展する可能性がある主部材のき裂であることから、橋梁の安全性に係わる注意すべき損傷である。点検では、発生から早期の段階で確実に発見し、その後の適切な処置に繋げる必要があり、点検の実施にあたって、き裂がどの位置に発生しやすいかを把握しておくことは、見逃し等を防ぐうえでも有効と考えられる。

本検討では、支間の異なる単純合成鋼 I 桁橋の横桁下フランジと横構ガセット PL を対象に FE 解析を実施し、同一橋梁に取り付けられた複数の面外ガセットのうち、どの位置にき裂が発生しやすいかを検討した。

2. 解析モデル

解析対象は図 1 に示す 4 主桁で有効幅員 9.5m の単純合成鋼 I 桁橋で、昭和 39 年の道路橋示方書により設計した支間 30m, 40m の 2 橋とした。横桁下フランジおよび横構ガセット PL の設置高さは主桁下フランジから 270mm とした。

解析モデルは、鋼部材すべてを PLATE 要素でモデル化した PLATE モデルで、支間 40m の橋梁では着目部を SOLID 要素でモデル化した SOLID モデルも作成した。図 2 に各モデルの着目部の要素分割を示す。面外ガセットの両端部を詳細に分割しており、横構ガセット PL のスリットは省略している。各面外ガセットの両端部は始点側を〇〇-1、終点側を〇〇-2 として区別している。なお、RC 床版と As 舗装は SOLID 要素とした。荷重は T 荷重で、図 1 の走行・追越車線それぞれを橋軸方向に 2.5m ピッチで移動載荷した。

3. FE 解析による検討

支間 30m, 40m の橋梁において、走行車線の支間中央に T 荷重を載荷した際の主桁下フランジ応力の比較を図 3 に示す。支間 30m のほうが応力が大きく、死荷重が小さく断面剛性が低いことに起因するものと考えられる。G1, G2 の支間中央においては 2 割以上の差が生じている。

PLATE モデルより求めた面外ガセット取付部の応力範囲を図 4 に示す。応力範囲は走行車線と追越車線それぞれに T 荷重を移動載荷させた際の最大応力と最小応力から算出したもので、それらの応力はガセット端部から 0.5t と 1.5t (t=板厚) 離れた位置の主桁ウェブ表面の応力から外挿して求めた。2 橋とも、応力範囲は端部付近で比較

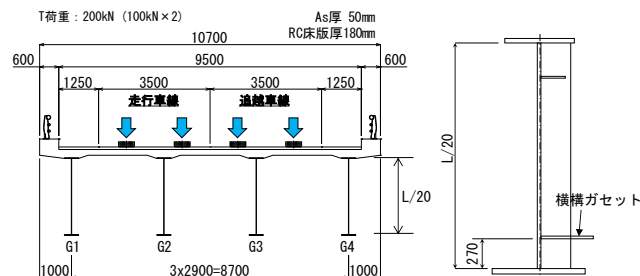


図 1 対象橋梁の断面図

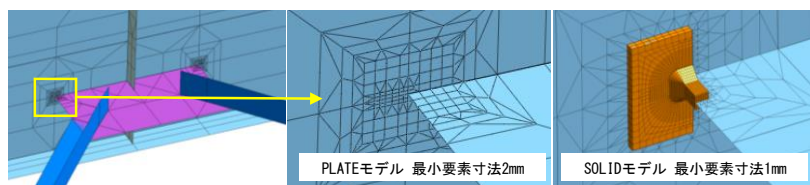


図 2 着目部のモデル化

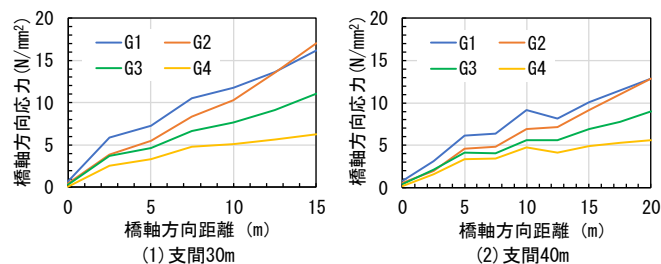


図 3 主桁下フランジ応力の比較

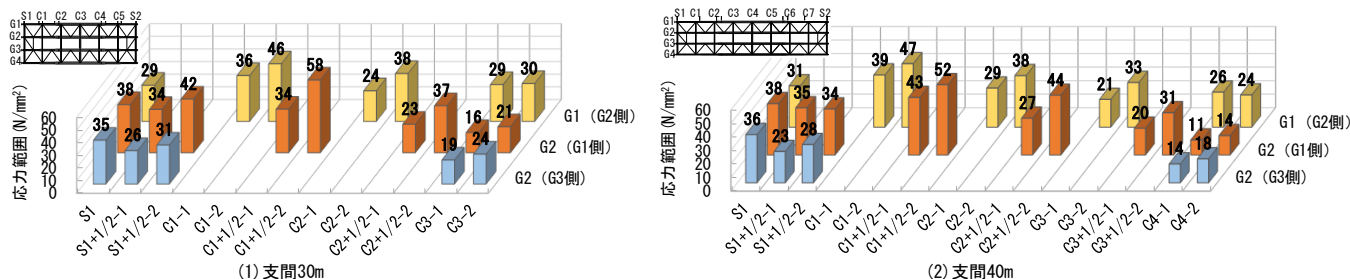
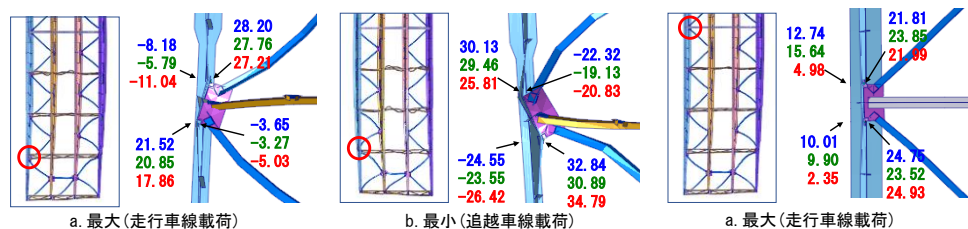


図 4 0.5t-1.5t ホットスポット応力より算出した面外ガセットの応力範囲

キーワード 鋼 I 桁橋, 面外ガセット, 疲労, 応力範囲, ホットスポット応力

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-10-11 (一財) 首都高速道路技術センター 企画課 TEL 03-3578-5769



(1) 着目部 G1C1-2の最大と最小応力

(2) 着目部 G1C4-1の最大応力

青字: PLATE(0.4-1.0 HSS), 緑字: PLATE(0.5-1.5 HSS), 赤字: SOLID(0.4-1.5 HSS) 単位: N/mm²

図5 端部付近と支間中央の面外ガセットの応力および変形図

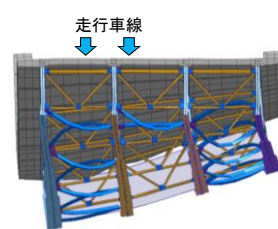


図6 全体の変形図

的大きく、支間中央付近で小さい。2橋の応力範囲を比較すると、主桁下フランジ応力と同様に支間30mで若干大きい傾向である。

SOLIDモデルでは、端部付近のG1C1, G2C1+1/2, 支間中央のG1C4, G2C4の4箇所をSOLID要素でモデル化した。図5にG1C1-2の最大、最小応力、G1C4-1の最大応力およびそれらの変形図(倍率800倍)を示す。なお、応力は主桁ウェブの表裏面において、前述のPLATEモデル0.5t-1.5tによるホットスポット応力に加えて、PLATEモデル0.4t-1.0t, SOLIDモデル0.4t-1.0tによるホットスポット応力も算出している。端部付近のG1C1では走行車線載荷と追越車線載荷で変形モードが異なり、面外ガセットの両端部には横構や対傾構の影響によると考えられる面外曲げで正負交番応力が生じており、応力範囲が大きくなっている。一方、支間中央のC4では面外曲げが小さく、応力範囲も小さい。なお、このような傾向は6主桁、7主桁の橋梁を対象とした既往の検討¹⁾と同様の傾向である。

橋軸方向から見た橋梁の変形図の例を図6に示す。支間中央付近では断面が保持された状態で沈み込むように変形するが、端部付近ではねじれが生じ、主桁間を拘束する横部材の取付け部で主桁ウェブに面外変形が生じると考えられる。

図5には3つの方法で算出したホットスポット応力も示している。全体的には、PLATEモデルのいずれの方法でもSOLIDモデルのホットスポット応力と同程度であったが、一部の箇所ではPLATEモデルの0.4t-1.0tにおいてSOLIDモデルと大きく異なる箇所が見られた。

鋼構造物の疲労設計指針・同解説(2012改訂版)において、面外曲げが生じる場合は、曲げ応力を4/5として直応力範囲を算出してよいとされている。本検討ではPLATEモデル0.5t-1.5tによる応力範囲を用いて、面外曲げの影響を考慮した応力範囲を算出した。表1に支間30m, 40mの各着目位置の応力範囲を示す。両橋梁とも面外曲げの影響は同程度で、端部付近において応力範囲は2割程度小さくなっている。なお、曲げを考慮することで差は小さくなるものの、考慮する前と同様に応力範囲は支間中央で小さく、端部付近で比較的大きい傾向である。

4. まとめ

- ・活荷重による面外ガセットの応力は、主桁下フランジ応力と同様に支間40mより30mで若干大きい傾向である。
- ・端部付近に取り付けられた面外ガセットは板曲げの影響が大きく、応力範囲も比較的大きい。
- ・支間中央付近に取り付けられた面外ガセットへの板曲げの影響は小さく、応力範囲も小さい。

本検討は、鋼橋技術研究会 鋼橋の劣化機構検討部会(部会長:ものづくり大学・大垣賀津雄教授)WG2の活動内容であり、関係各位からご指導いただきましたことに感謝いたします。

参考文献 1) 内田ら: 鋼I桁橋の横構ガセット取付部の応力性状と疲労強度改善に関する解析的検討, 構造工学論文集 Vol. 61A, pp. 650-661, 2015. 3.

表1 応力範囲の補正

(1) 支間30m

着目位置	応力範囲(N/mm²)		補正後 /補正前	最大応力 範囲に 対する比
	膜+曲げ	膜+ 曲げ×4/5		
G1 (G2側)	S1	28.63	22.67	0.79
	C1-1	36.29	28.85	0.79
	C1-2	45.56	38.54	0.85
	C2-1	24.26	20.63	0.85
	C2-2	37.91	32.85	0.87
	C3-1	29.20	26.64	0.91
	C3-2	30.00	28.81	0.96
G2 (G1側)	S1	38.09	30.85	0.81
	S1+1/2-1	34.24	29.02	0.85
	S1+1/2-2	42.45	38.09	0.90
	C1+1/2-1	34.47	28.63	0.83
	C1+1/2-2	57.52	49.43	0.86
	C2+1/2-1	22.54	19.88	0.88
	C2+1/2-2	37.18	31.93	0.86
	C3-1	15.99	16.29	1.02
	C3-2	20.50	20.81	1.02
G2 (G3側)	S1	34.68	27.47	0.79
	S1+1/2-1	26.48	23.26	0.88
	S1+1/2-2	30.79	26.81	0.87
	C3-1	18.95	18.66	0.98
	C3-2	23.64	23.32	0.99

(2) 支間40m

着目位置	応力範囲(N/mm²)		補正後 /補正前	最大応力 範囲に 対する比
	膜+曲げ	膜+ 曲げ×4/5		
G1 (G2側)	S1	30.61	24.30	0.79
	C1-1	38.59	30.56	0.79
	C1-2	46.89	38.72	0.83
	C2-1	28.89	23.31	0.81
	C2-2	38.16	32.49	0.85
	C3-1	20.52	17.63	0.86
	C3-2	33.08	28.68	0.87
	C4-1	25.89	23.30	0.90
	C4-2	23.85	23.03	0.97
G2 (G1側)	S1	37.96	30.61	0.81
	S1+1/2-1	34.89	29.11	0.83
	S1+1/2-2	34.04	28.75	0.84
	C1+1/2-1	42.55	34.90	0.82
	C1+1/2-2	51.93	44.07	0.85
	C2+1/2-1	27.16	22.52	0.83
	C2+1/2-2	44.19	37.73	0.85
	C3+1/2-1	19.78	16.71	0.84
	C3+1/2-2	31.22	27.22	0.87
	C4-1	11.13	11.42	1.03
	C4-2	14.37	14.70	1.02
G2 (G3側)	S1	35.70	28.38	0.79
	S1+1/2-1	23.11	18.16	0.79
	S1+1/2-2	28.22	22.17	0.79
	C4-1	13.95	13.67	0.98
	C4-2	17.69	17.36	0.98

・膜応力、曲げ応力は着目部表裏の応力から算出

膜応力 $\sigma_m = (\sigma_{表側} + \sigma_{裏側}) / 2$, 曲げ応力 $\sigma_b = (\sigma_{表側} - \sigma_{裏側}) / 2$

・補正前後の応力範囲は以下の応力の最大値と最小値から算出

補正前の直応力 $\sigma = \sigma_m + \sigma_b$, 補正後の直応力 $\sigma = \sigma_m + \sigma_b \times (4/5)$