

鋼製ラーメン橋における隅角部疲労設計

首都高速道路公団 正会員 ○内海 和仁，鈴木 裕介，木下 琢雄
日立造船株式会社 三木 俊二

1．はじめに

近年，都市内高速道路の鋼製ラーメン橋脚隅角部において，疲労亀裂が報告されている．橋脚は構造的なりダンダンシーが低く，また疲労亀裂がある程度進展すると脆性破壊に移行して橋梁全体の崩壊につながる恐れがあり，これらの亀裂は今まで橋梁構造に発見された疲労損傷の中でも極めて重大な損傷といえる．このため，このような損傷には火急の対応が求められている．また，鋼製ラ－メン橋脚隅角部の設計については奥村・石沢の研究 1)によるシアラグ応力推定式により局部的な応力集中を計算する方法が一般的に用いられているが，近年施工されているような複雑化した構造に対応しているとは言い難い．さらに，疲労については亀裂などの損傷が報告されているものの，その原因究明や対応策等，課題が多く残されている．

そこで本報告では，現在建設中である首都高速道路川崎縦貫線における大師 JCT 高架部の詳細設計にて鋼製ラーメン橋脚隅角部の FEM 解析を実施し，隅角部の応力状態による疲労照査および応力集中の緩和を目的とした構造詳細の検討結果について述べる．

2．大師 JCT 上部構造と応力集中低減策

大師 JCT 内の上部工は連結路およびランプ共に狭幅員であるため 1 主桁形式としている．また，橋脚は局部座屈およびねじれ抵抗，断面特性の方向性等の理由から円形橋脚としており，主桁と橋脚との接合は剛結構造としている．なお，1 主桁と円柱を組み合わせる隅角部には，横梁構造および内腹板構造が考えられるが，比較設計の結果，構造の簡素化およびメンテナンス時の箱桁内の通行性にも優れた横梁形式を採用した．本検討では，脚柱と横梁との交差部に生じる応力集中を緩和させるためのフィレット(図-1)を設置した時の応力性状と構造の妥当性の検証を行った．

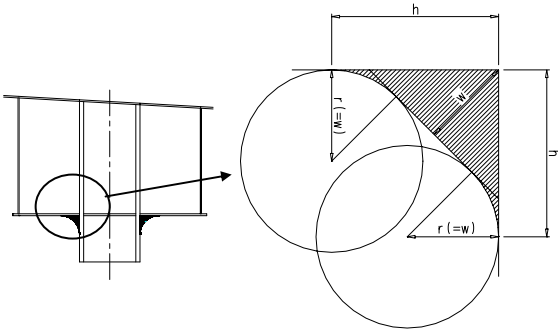


図-1 フィレット形状

3．FEM 解析

この横梁形式の剛結構造を対象とした FEM 解析では，板曲げ剛性を有する要素を用いることとした．また，隅角部の部材交差部およびスカラップ，開口部付近，フィレットに関しては，メッシュ分割を 25mm ピッチ程度と細かくした(図-2 参照)．入力する荷重は，橋脚上の主桁系断面力における最大および最小断面力に着目し，公称応力(骨組解析より求まる断面力に基づく応力)と FEM 解析結果(主応力)との比較および応力集中部の検討に対しては L 荷重を，また，隅角部の疲労照査に対しては T 荷重を使用した．

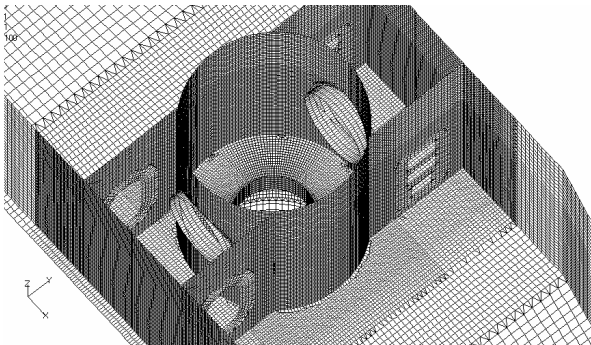


図-2 FEM 解析モデル

(1)フィレット形状の検討

FEM 解析により主桁方向の下フランジにおける脚柱と横梁との交差部で応力集中が生じることを確認し，その応力集中は公称応力を大きく越える値となった．検討の結果，フィレットを図-1 に示すような形状とし，表-1 に示すようにパラメータWを 150, 200, 250 として応力集中の低減具合を比較した．

表-1 解析モデルのパラメータ

	梁フランジ幅 B(mm)	梁ウェブ高 D(mm)	フィレット形状(mm)			W/D (%)
			W	r	h	
フィレットW=150	1400	2000	150	150	274.3	7.5
フィレットW=200			200	200	365.7	10.0
フィレットW=250			250	250	457.1	12.5

キーワード 隅角部，疲労，FEM，フィレット

連絡先 〒221-0011 横浜市神奈川区新子安 1-2-4 首都高速道路公団神奈川建設局建設第二部設計第二課 tel:045-439-0755

図-3 に示すような溶接線上を応力の比較位置として得られた結果を図-4 に示す．これによりフィレット設置により下フランジの交差部に生じる応力集中を低減できることがわかり，W=200 タイプで 49%の応力集中低減効果を確認した．また，応力集中部が溶接線より 50mm の位置では公称応力内とすることができた．フィレットは大きいほど低減効果があるものの，現場継手などの構造的な制約があるため大師 JCT の高架部では W=200 タイプの設置を基本とした．

(2)隅角部疲労照査

箱桁断面が直交する鋼製ラーメン橋脚隅角部における疲労強度については，以下の報告がなされている．²⁾

- ・角部の疲労強度はシアラグの影響を加えた応力を用いて S-N 線として整理すると H 等級を満たさない．
- ・角部のフランジ端部付近では，設計で採用されているシアラグを考慮した算定式よりも高い応力が発生しうる．
- ・隅角部の固有欠陥ともいえる三角柱状の不溶着部の存在と応力集中が重なることが，隅角部の疲労強度上の弱点となっている．

上記の報告は角型橋脚であるが，隅角部の疲労照査を目的とした場合，円形橋脚への適用も可能であると判断し，隅角部の疲労強度を鋼道路橋の疲労設計指針による打ち切り限界の H' 等級として照査を行った．照査ではフィレット無しの場合の応力値を用い，照査ポイントを支点部の主桁および隅角部(横梁)とし，溶接線より 50mm の位置の要素に着目した．

なお，最大応力範囲は T 荷重で算出し，BS 5400 ³⁾にて定義されている主平面から 45° 以内に生じる最大代数差を応力範囲として算出した．図-5 および表-2 には隅角部(横梁)に着目した結果を，図-6 および表-3 には支点部主

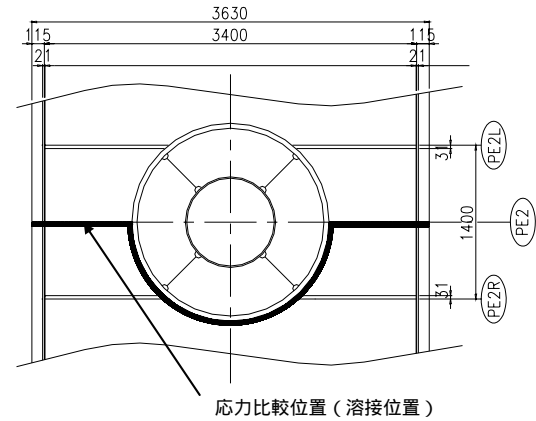


図-3 応力比較位置

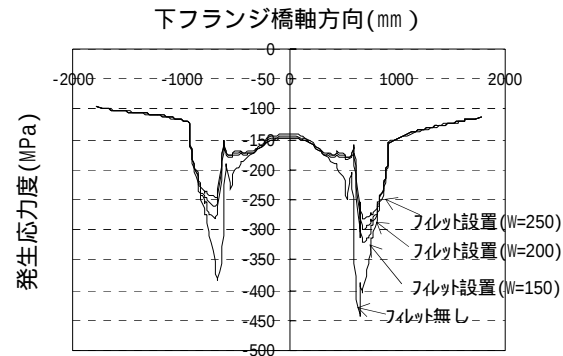


図-4 脚柱と横梁との交差部の応力

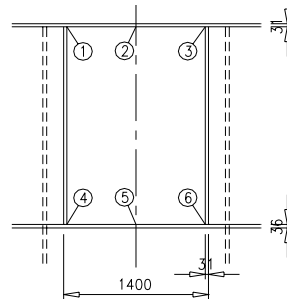


図-5 隅角部(横梁)照査位置

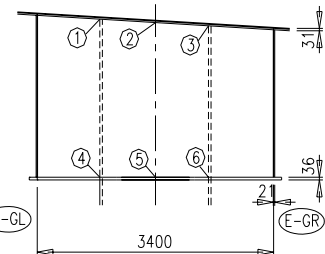


図-6 支点部主桁照査位置

桁に着目した結果を示す．これにより，隅角部に着目した応力範囲は T 荷重で最大 15.3MPa となり，一定振幅の打ち切り限界値における H' 等級 16MPa 以内であることがわかる．よって，大師 JCT 高架部の隅角構造は疲労強度を確保していることが確認できた．

4．おわりに

現在，大師 JCT の隅角部詳細設計が完了し，隅角部の溶接施工試験を実施しているところである．今後は溶接施工試験を踏まえて施工要領をまとめる予定である．

参考文献

1)薄板構造ラーメン隅角部の応力について：土木学会論文集 pp1-18, 1968.5
2)鋼製箱形断面ラーメン橋脚隅角部の疲労特性：土木学会論文集 No.710/I-60, pp361-371, 2002.7
3)BS 5400：Part 10, Code of practice for fatigue, 1980

表-2 隅角部(横梁)最大応力範囲

・右側横梁		(応力の単位MPa)					
疲労照査位置	疲労強度等級	H'	H'	H'	H'	H'	H'
応力σ	σmax	9.8	56.2	55.8	-58.0	-63.1	-49.5
	σmin	12.0	68.4	68.2	-72.0	-77.6	-61.9
最大応力範囲		σmax	2.2	12.2	12.5	14.0	14.5

表-3 支点部主桁最大応力範囲

・起点側		(応力の単位MPa)					
疲労照査位置	疲労強度等級	H'	H'	H'	H'	H'	H'
応力σ	σmax	48.6	63.7	63.4	-59.3	-57.9	-60.5
	σmin	60.3	78.3	78.0	-74.5	-71.2	-75.9
最大応力範囲		σmax	11.7	14.6	14.6	15.2	13.4