鋼床版垂直補剛材上端部の応力性状に関する解析的検討

（一社）日本橋梁建設協会　正会員　○内田 大介　井口 進　小笠原 照夫
国立研究開発法人 土木研究所　正会員　村越 潤　佐藤 歩　原田 英明

１．はじめに　鋼床版のデッキプレート（以下，デッキ）と主桁の垂直補剛材（以下，補剛材）溶接部では 1980 年代からき裂発生の報告があり，発生メカニズムや補修方法に関した種々の検討が行われている [1)]．そして，新設橋に対しては補剛材上端部のカットや上端近傍への半円切り欠き構造等が提案され，採用された例もある．しかし，これらの提案構造は，耐荷性能への影響や疲労強度改善効果について、補剛材サイズ，鋼床版諸元，載荷位置等をパラメータとして，必ずしも網羅的に検討が行われているわけではない．ここでは，鋼道路橋の疲労設計指針において横リブ又は横桁の補剛材で標準とされる上端カット構造の主桁への適用に向けた局部応力性状と補剛機能の検討 [2)]のうち，前者の既往の上端溶接構造の応力性状に及ぼす構造パラメータの影響，及び，上端カットによる応力低減に関する解析的検討の一部を報告する．

２．解析モデル　解析対象は図 1 に示すように，閉断面縦リブを有する鋼床版パネルを抽出したモデルである．デッキ厚 td は 12mm あるいは 16mm とし，舗装厚は一般的な 80mm とした．補剛材の断面形状 br×tr（①150mm×12mm）と主桁腹板厚 tw（14mm）の組合せ，主桁腹板－第 1 縦リブ間の距離$\bar{b}$（250mm）は最近の鋼床版橋を調査した結果を参考に基本モデルに採用した．縦リブ支間長 l は閉断面リブの場合に一般的な 2,500mm である．補剛材の断面形状は②190mm×15mm（tw=14mm）と ③110mm×9mm（tw=9mm），$\bar{b}$ については 200mm と 300mm のケースの解析も実施した．また，基本モデルについては l=2,000mm と 3,000mm の解析も実施している．上端カットモデルで上端部に設けたギャップ量 g は 35mm である．解析は線形弾性解析とした．解析コードは MSC NASTRAN 2012，使用した要素は 6 節点，あるいは 8 節点 SOLID 要素である．鋼材の弾性係数は 200,000N/mm^2，ポアソン比は 0.3 とした．アスファルト舗装についても弾性体として扱い，弾性係数は夏場を想定した 500N/mm^2，ポアソン比は 0.35 とした．荷重条件を図 2 に示す．載荷荷重はシングルタイヤと比べて荷重が大きく，発生応力が大きくなると考えられるダブルタイヤ（50kN×2）を想定した．荷重ケースは橋軸方向には対称性を考慮して 7 ケース，橋軸直角方向は主桁腹板位置を基準とした 12 ケース（構造パラメータによっては適宜追加），合計 84 ケースである．拘束条件は腹板下端を完全拘束とし，橋軸直角方向に連続条件を定義した．なお，着目部近傍の要素サイズは約 1mm×1mm×1mm である．

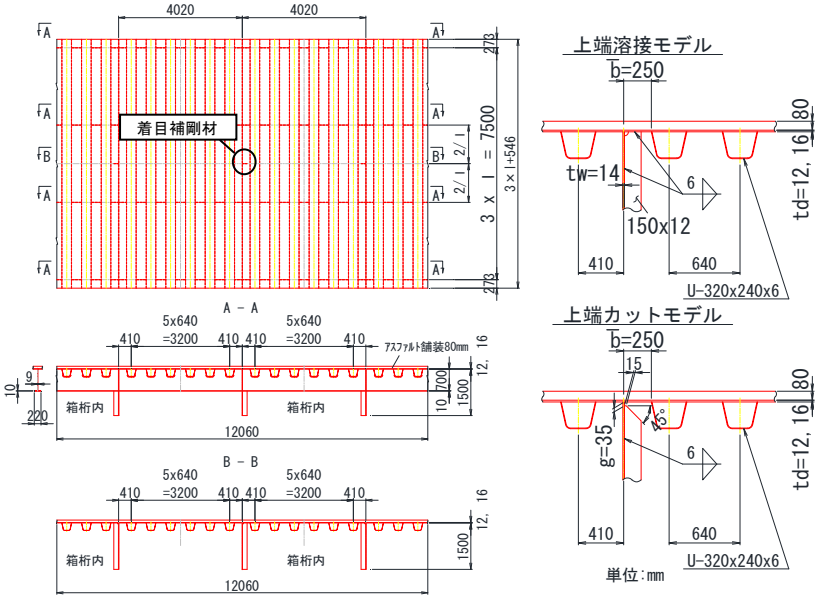
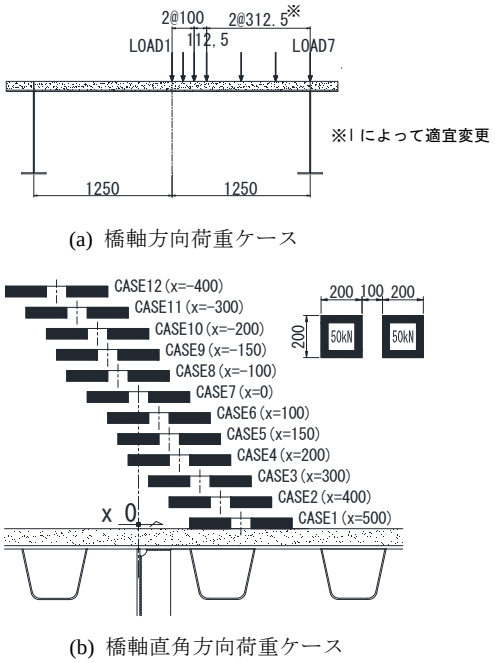


図 1 解析対象



(a) 橋軸方向荷重ケース

(b) 橋軸直角方向荷重ケース

図 2 荷重条件

キーワード　鋼床版，垂直補剛材，疲労損傷，上端カット
連絡先　（社）日本橋梁建設協会　鋼床版部会　〒105-0003　港区西新橋 1-6-11　TEL : 03-3507-5225　FAX : 03-3507-5235

3．各種構造パラメータの及ぼす影響　上端溶接モデルのデッキ側止端部と補剛材側止端部ではそれぞれ橋軸直角方向と鉛直方向の圧縮応力が卓越することが確認された．これらの卓越する方向の応力について，橋軸直角方向の荷重ケース毎に算出した応力範囲を図 3 に示す．応力を抽出した要素は発生応力が大きい要素，すなわちデッキ側では補剛材板厚中心，補剛材側では補剛材板厚端部（角部）である．補剛材の角部は特異点であり，デッキ側と単純な比較はできないが，全般的に補剛材側止端部の応力が大きい．両止端部共に左輪の側面が補剛材先端近傍となった場合に大きな応力が発生し，補剛材サイズの小さい③の場合では$\bar{b}$が大きくなると，右輪の側面が垂直補剛材先端近傍となった場合にも応力が大きくなる．また，補剛材サイズが大きく，$\bar{b}$が小さい場合に大きな応力が発生することがわかる，そして，荷重走行位置が箱桁外部となった場合にはほとんど応力が発生してない．図 3 はデッキ厚 12mm の結果であるが，16mm でも同様の傾向が確認された．なお，デッキ厚を 12mm から 16mm に増厚することによる最大応力範囲の低減は，デッキ側では 15～26%，補剛材側では 0～13%と，板曲げに対する効果が大きいことが確認された．図 4 は縦リブ支間長 l が各止端部の応力に及ぼす影響を示している．l が長くなると発生応力が大きくなる傾向にあり，l が 2000mm から 3000mm になると 50%前後発生応力が増加することが確認できる．

4．上端カットの効果　上端カットモデルの腹板側止端部と補剛材側止端部ではそれぞれ鉛直方向と橋軸直角方向の応力が卓越し，橋軸直角方向の荷重走行位置が箱桁内部の場合には圧縮応力，箱桁外部の場合には引張応力確認された．それぞれの卓越する方向の応力について，橋軸直角方向の荷重ケース毎に算出した応力範囲を図 5 に示す．応力を抽出した要素は腹板側では補剛材板厚中心，補剛材側では補剛材板厚端部（角部）である．橋軸直角方向荷重位置 x が±300mm の場合に大きな応力が発生し，箱桁内部を走行した方が箱桁外部と比較して発生応力が大きくなる傾向が確認できる．また，補剛材のサイズが大きいと発生応力が大きい．上端溶接モデルと比較して発生応力は大幅に低減されており，腹板側止端部の最大応力範囲は，同じ構造パラメータで上端溶接の場合のデッキ側の 35～74%，補剛材側の 20～33%であった．

4．まとめ　以上の結果を纏めると以下のようになる．

（1）上端溶接の場合には，補剛材サイズが大きく，補剛材先端部と閉断面リブと近いほど，また縦リブ支間が長いほど大きな応力が発生する傾向にある．

（2）上端カットにより大幅な応力低減効果が期待できる．

本研究は国立研究開発法人 土木研究所と（一社）日本橋梁建設協会の共同研究「鋼床版の疲労対策技術の信頼性向上に関する研究」の一環として実施したものである．

参考文献　1）土木学会：鋼床版の疲労，2010.12.
2）斎藤ら：鋼床版垂直補剛材上端部のギャップ量が腹板の補剛性能に与える影響，土木学会第 71 回年次学術講演概要集，2016.9.

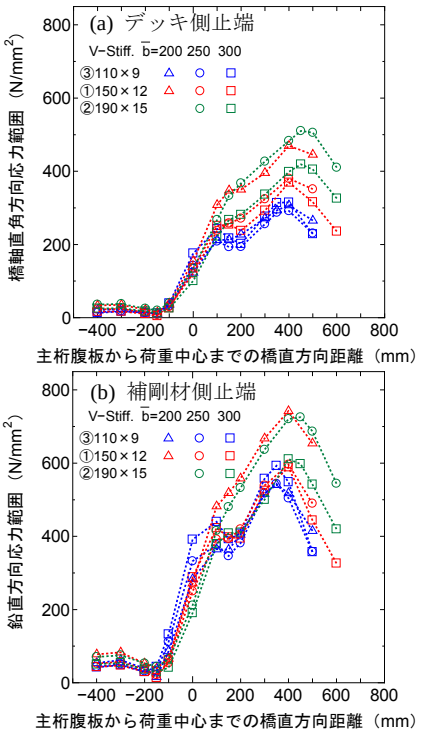


図 3 上端溶接モデル解析結果(td=12)

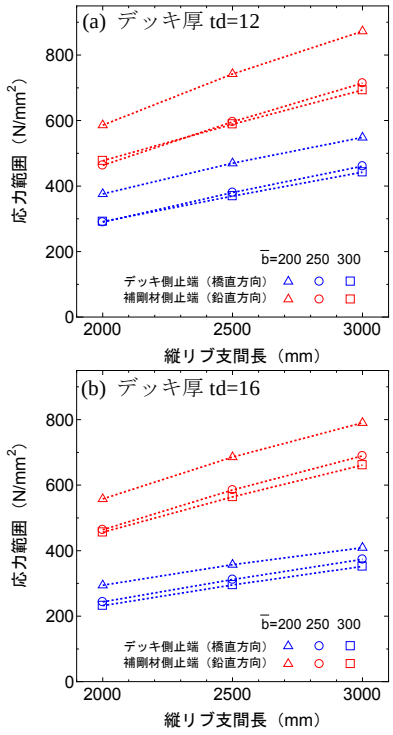


図 4 縦リブ支間長の影響

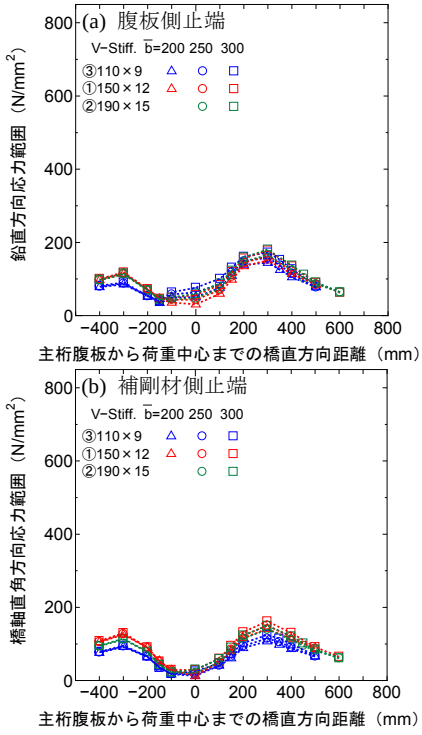


図 5 上端カットモデル解析結果(td=16)