鋼床版デッキ進展き裂・疲労耐久性に対する SFRC 舗装厚の影響に関する解析的検討

法政大学　学生会員　○金子　想，フェロー　森　猛
土木研究所　正会員　村越 潤，高橋 実，佐藤 歩，青木 康素，佐々木 寛幸
日本建設機械施工協会　正会員　小野 秀一

１．はじめに

2000 年頃より鋼床版の縦リブと横リブの交差部近傍において，デッキプレート・トラフリブ溶接部のルート先端から生じ，デッキプレートに進展するき裂（デッキ進展き裂）が問題となっている．このき裂の発生原因は，比較的薄いデッキプレートの面外曲げにあるとされている．それを改善するためにデッキプレート上面に SFRC 舗装を施すことが考えられ，多くの鋼床版橋梁において施工されている．SFRC 舗装の厚さは，首都高速道路では 50mm，国土交通省では 75mm を標準としている．それぞれの舗装厚に対して，SFRC がデッキプレートの面外変形を抑え，疲労き裂の起点となる溶接ルート部の局部応力を大幅に軽減できることが確かめられている．また，き裂が生じた場合においても，SFRC 舗装によりき裂の進展を抑えることができるという実験結果も示されている．しかし，舗装厚と疲労耐久性向上度との関係は明らかにされていない．

ここでは，実物大鋼床版の部分モデルを対象とし，SFRC 舗装厚と疲労き裂発生部の応力の関係，またデッキ進展き裂が生じた場合の応力拡大係数に対する SFRC 舗装の効果について解析的に検討する．

２．解析対象と解析方法

解析対象は，**図 1** に示す実物大鋼床版の部分モデルである．これは，デッキプレート・トラフリブ・横リブ交差部を模擬したものであり，トラフリブ 2 つと横リブ 1 つで構成されている．荷重は，同図に示すようにトラフリブ内上にシングルタイヤが載荷される場合を想定しており，載荷面積は 200mm×200mm としている．一つのシングルタイヤによる荷重は 50kN である．トラフリブの板厚は 6mm，横リブ及びデッキプレートの板厚は 12mm であり，デッキプレート・トラフリブ溶接の溶け込み深さはトラフリブ板厚の 75%としている．

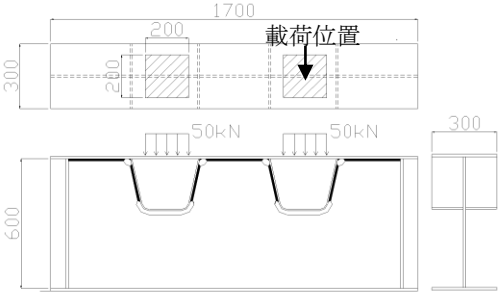


図 1　解析対象

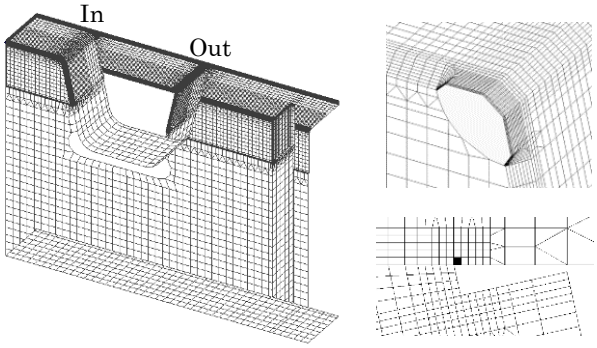
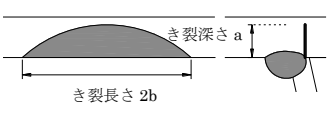


図 2　要素分割図の例

解析は解析対象の対称性を考慮し，1/4 モデルで行う．要素分割図の例を**図 2** に示す．デッキプレート・トラフリブ交差部近傍をソリッド要素，その他をシェル要素でモデル化したハイブリッドモデルとしている．解析には，汎用 FEM ソフト MD Nastran を用い，プリポストには FEMAP を使用した．図中の黒塗り部分が着目する要素である．き裂は，**図 3** に示すように，溶接ルート部からデッキプレート上面に向かって進展するものとし，その形状は半楕円形としている．き裂先端の応力拡大係数を求める際には変位法を用いる．このようなデッキプレートの上部に SFRC 舗装を施すものとし，その厚さは 0，25，50，75mm としている．SFRC 舗装のヤング率は 4.0×10^4N/mm^2，ポアソン比は 0.2 とした．



き裂深さa(mm)	き裂長さ2b(mm)
2	26.7
4	53.3
6	80.0
8	106.7

図 3　き裂寸法の定義と導入したき裂寸法

キーワード　鋼床版　デッキ進展き裂　SFRC　応力拡大係数
連絡先　〒184-0002 東京都小金井市梶野町 3-7-2　法政大学大学院デザイン工学研究科　TEL　042-387-6287

３．解析結果

解析より求めた溶接ルート部（**図 1** で示した黒塗りの要素，要素寸法 0.1 x 0.1 x 0.1mm）の最小主応力と SFRC 舗装厚との関係を**図 4** に示す．図中のマークは溶接ルートの位置（In，Out，**図 2** 参照）によって変えている．SFRC 舗装が厚いほど，ルート部の最小主応力は小さくなっている．SFRC 舗装がない場合と比べて，溶接ルート部の最小主応力の大きさは SFRC 舗装厚 25mm で 30%，50mm で 16%，75mm で 11%となっている．なお，いずれのモデルにおいても，溶接ルート部は 3 軸圧縮応力状態となっていた．

SFRC 舗装上面の最大主応力のコンター図を**図 5** に示す．いずれの舗装厚においてもトラフリブウェブ直上のデッキプレート（舗装）上面に引張応力が生じている．SFRC 舗装がない場合，その値は 300N/mm² 程度となっているが，25m 厚舗装では 14N/mm² 程度と，1/20 程度となっている．しかし，この程度の引張応力では，SFRC 舗装上面にひび割れが生じる可能性がある．この最大主応力は舗装厚が 50，75mm と厚くなるしたがって小さくなり（舗装厚 25mm の 30%，12%）となり，SFRC 舗装表面でのひび割れ発生の可能性は小さくなる．

鋼床版のルート部に**図 3** に示した疲労き裂を導入して，深さ方向のき裂先端近傍の開口変位を FEM 解析により求め，変位法によりモード I に対応する応力拡大係数を求めた．その際，き裂先端近傍の要素の大きさは 0.1mm としている．また，変位法では，深さ方向のき裂前縁より 0.1mm および 0.2mm 離れたき裂面での変位から，それぞれの応力拡大係数を求め，それらをき裂前縁に外挿することにより応力拡大係数を求めている．

以上のようにして求めた応力拡大係数と SFRC 舗装厚の関係を**図 6** に示す．図中のマークは，き裂深さ（2，4，6，8mm）と溶接ルートの位置(In,Out)によって変えている．いずれのき裂深さにおいても，舗装が厚くなるにしたがって，応力拡大係数は小さくなっている．SFRC 舗装がない場合と比べて，応力拡大係数は SFRC 舗装厚 25mm で 25%程度，50mm で 15%程度，75mm では 10%程度まで低下している．このような舗装を行うこと，また舗装厚による応力拡大係数の変化に比べて，き裂深さによる応力拡大係数の変化は小さい．

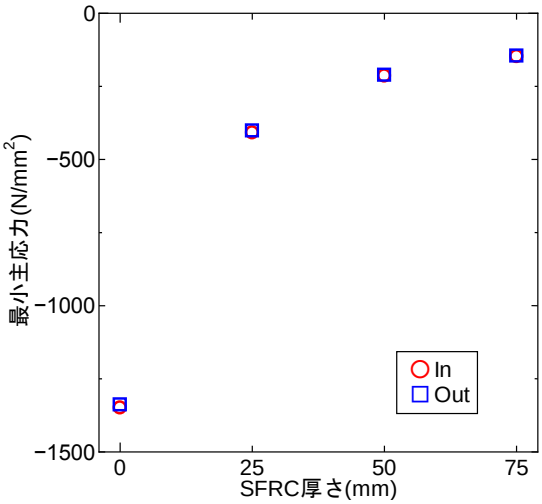


図 4　最小主応力と舗装厚の関係

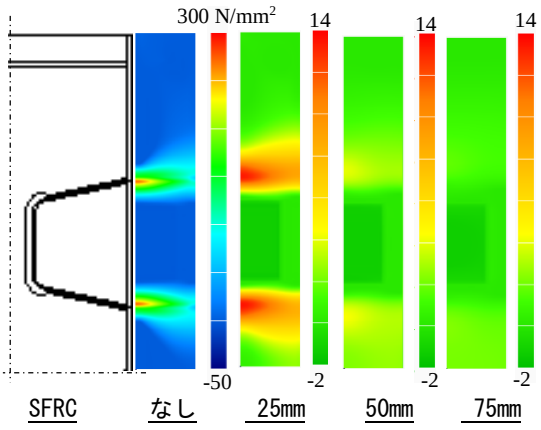


図 5　上面の最大主応力コンター図

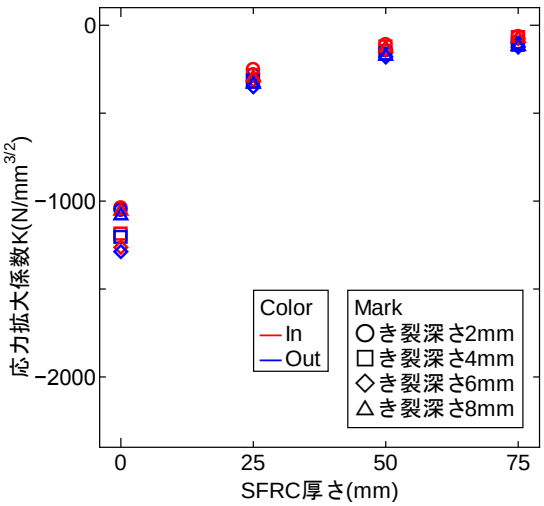


図 6　応力拡大係数と舗装厚の関係

４．まとめ

疲労き裂の起点となる溶接ルート先端の応力とき裂が生じた場合の応力拡大係数は，SFRC 舗装を施すことにより大幅に低下する．また，これらは SFRC 舗装が厚くなるにしたがって減少する．SFRC 舗装厚 75mm の場合のルート先端応力と応力拡大係数は，舗装なしの場合の 10%程度となる．以上のような検討により，SFRC 舗装の適切な厚さを決めることが可能になるものと考えられる．

謝辞：本研究は平成 27 年度建設技術研究開発費補助金「鋼床版の疲労損傷に対するコンクリート系舗装による補強技術の性能評価に関する研究」の一環として行ったものである．