デッキ進展き裂を有する鋼床版の疲労耐久性に対する SFRC 舗装の効果

法政大学　フェロー　○森　猛　　首都大学東京　正会員　村越　潤
土木研究所　正会員　佐藤　歩　　施工技術総合研究所　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，**図 1** に示すように，デッキプレート・トラフリブの溶接ルートから生じ，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変形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 50mm，国土交通省では 75mm～80mm を標準としている．SFRC 舗装はデッキプレートの面外曲げ変形を抑え，デッキプレートに生じる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が，疲労破面を暴露して観察するなど，詳細な検討は行われていない．

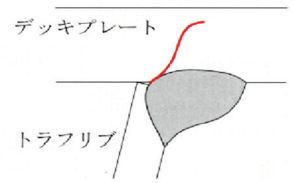

図 1　溶接ルートからのき裂

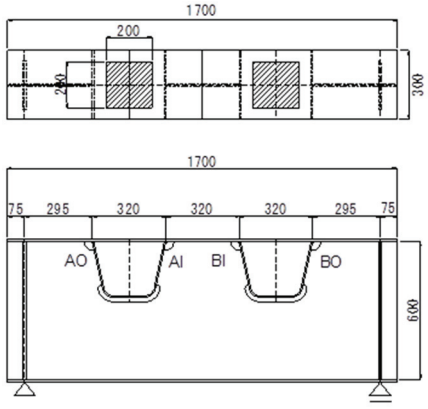

図 2　試験体

本研究では，予き裂を導入した鋼床版試験体に SFRC 舗装を施した状態で疲労試験を行い，SFRC 舗装によるき裂進展抑制効果について実験的に検討する．また，疲労き裂の進展を支配するとされる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．予き裂導入試験

試験体は，**図 2** 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．トラフリブの板厚は 6mm，横リブと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込み深さはトラフリブ厚の 75%としている．疲労き裂が生じる溶接ルート部は，1 つの試験体で 4 箇所あるが，それらは**図 2** に示すように AO，AI，BI，BO と区別している．荷重は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．1 つのシングルタイヤによる荷重は 50kN である．疲労試験に用いた試験体は 4 体である．各試験体に対して，**表 1** に示す回数の繰り返し荷重を与えた．表中には，き裂導入試験後にデッキプレート上面から行った超音波探傷試験により推定したき裂の寸法も示している．

表 1　試験条件とき裂寸法の測定結果定結果

試験体	部位	荷重繰返し回数（万回）	超音波探傷試験き裂深さ-長さ	破面を暴露して測定き裂深さ-長さ
2T-1	AO	100	5.4mm-60mm	6.7mm-45mm
	AI		4.6mm-66mm	7.4mm-47mm
	BI		4.4mm-57mm	5.9mm-41mm
	BO		6.7mm-86mm	8.5mm-67mm
2T-2	AO	140	6.8mm-111mm	8.9mm-96mm
	AI		6.9mm-111mm	8.5mm-90mm
	BI		8.7mm-74mm	7.4mm-56mm
	BO		8.0mm-113mm	9.2mm-104mm
2T-3	AO	140	6.8mm-54mm	5.9mm-38mm
	AI		6.9mm-90mm	8.5mm-89mm
	BI		7.3mm-64mm	6.7mm-49mm
	BO		8.2mm-111mm	8.9mm-95mm
2T-4	AO	300	8.7mm-173mm	10.0mm-160mm
	AI		10.5mm-176mm	10.5mm-157mm
	BI		10.0mm-202mm	10.8mm-186mm
	BO		10.9mm-235mm	貫通き裂-217mm

3．SFRC 舗装の効果確認試験

疲労き裂導入後，各試験体に SFRC 舗装を施し，予き裂導入試験と同じ条件で疲労試験を行った．荷重繰り返し回数はいずれの試験体についても 1000 万回である．SFRC 舗装厚は，試験体 2T-1，2T-2，2T-4 で 75mm，試験体 2T-3 では 50mm である．疲労試験終了後，疲労破面を観察する目的で，すべての箇所のき裂を暴露した．暴露後に測定した疲労き裂の寸法も**表 1** に示している．暴露した破面の例を**写真 1** に示す．2T-1 試験体・BI では 100 万回の荷重繰返しにより，深さ 5.9mm，全幅 41mm のき裂が生じている．300 万回の荷重繰返しを

キーワード　鋼床版，デッキ進展き裂，SFRC 舗装，応力拡大係数
連絡先　〒160-0004 東京都新宿区市谷田町 2-33　法政大学都市環境デザイン工学科　ＴＥＬ03-5228-1453

与えた 2T-4 試験体・AO では深さ 10.0mm，全幅 160mm のき裂が観察される．このように，SFRC 舗装前には，荷重繰返しに伴いき裂は成長する．しかし，2T-1 試験体・BI では SFRC 舗装を行って同じ条件で 1000 万回の荷重繰返しを与えてもき裂は小さいままであり，SFRC 舗装により少なくとも疲労き裂の進展は遅くなったものと判断される．また，SFRC 舗装によりデッキプレートに作用する応力は低減するため，舗装後にき裂が進展したとすれば，破面にその跡が残ると考えられる．しかし，そのような跡はいずれの破面においても観察されなかった．したがって，SFRC 舗装によりき裂の進展はすべての試験体，すべての箇所において停止したと判断される．

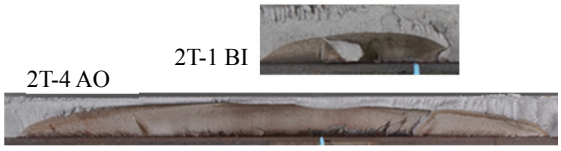

写真 1　暴露した疲労破面の例

４．応力拡大係数の解析

疲労き裂を有する試験体を対象として，き裂先端の応力拡大係数を求めるための FEM 解析を行った．解析では，舗装なし，アスファルト舗装（舗装厚 75mm），SFRC 舗装（舗装厚 25mm，50mm，75mm）を対象とした．さらに，SFRC 舗装については，厚さ 1mm の接着層を考慮した場合，接着層が剥離した場合についても解析を行った．解析に用いたヤング率とポアソン比は，鋼で 2.0×10^5N/mm^2 と 0.3，SFRC で 4.0×10^4 N/mm^2 と 0.2，アスファルトで 1500 N/mm^2 と 0.2（春・秋期を想定），接着層で 2000 N/mm^2 と 0.2，剥離を模擬する場合には 10 N/mm^2 と 0.2 である．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．応力拡大係数は，深さ方向のき裂先端近傍の開口変位を用いて，変位法により求めた．要素分割図の例を**図 3** に示す．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．き裂は（深さ 2mm，全幅 26.7mm），(4mm，53.3mm)，(6mm，80.0mm)，(8mm，106.7mm) の 4 ケースを設定した．なお，これらの解析は試験体･試験条件の対称性を考慮して，1/4 モデルで行っている．

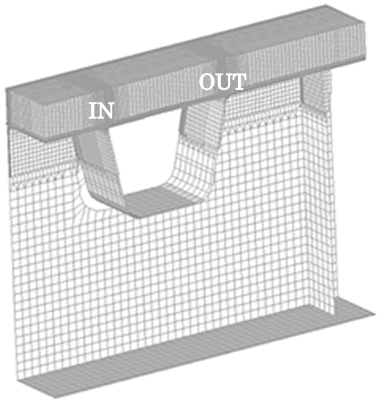

図 3　要素分割図

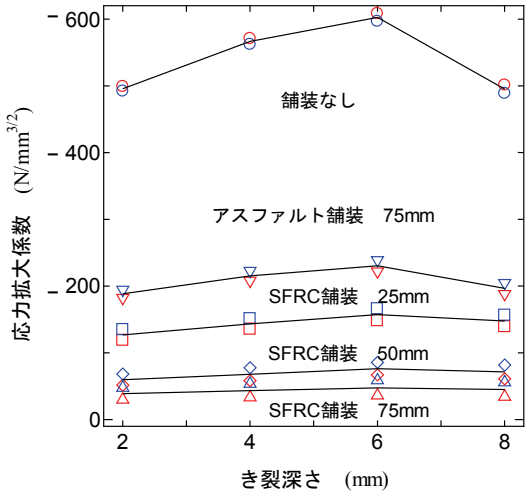

図 4　応力拡大係数（SFRC 舗装の効果）

図 4 に応力拡大係数とき裂深さの関係を示す．図中のマークの色はトラフリブの IN(赤)と OUT(青)で分けている．き裂が深くなるにしたがって，応力拡大係数も大きくなっているが，き裂深さ 8mm では 6mm よりも小さくなっている．これは，板曲げの影響によるものと考えられる．舗装がない場合に比べてアスファルト舗装だけでも応力拡大係数は半分以下となっている．SFRC 舗装の効果は，舗装厚が増すにしたがって高くなっており，舗装厚 75mm の場合には，舗装なしの 10%以下，またアスファルト舗装と比べても 30%以下となっている．

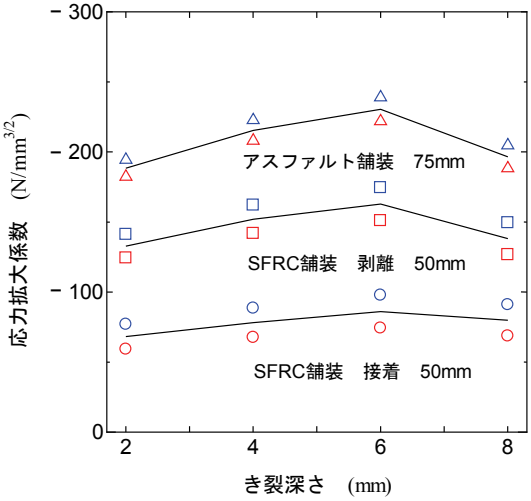

図 5　応力拡大係数（接着層の影響）

図 5 は，接着層の存在を考慮した場合，またその剥離が生じた場合の応力拡大係数の解析結果を示している．剥離が生じた場合には応力拡大係数は大きくなるものの，アスファルト舗装の場合よりも小さい．

５．まとめ

デッキ進展き裂の進展に対して SFRC 舗装が高い効果を有することを実験と解析により明らかにした．