

### 既設鋼床版のアスファルト舗装の剛性変化およびSFRCによる応力性状分析

阪神高速道路管理技術センター 正会員 ○高田 佳彦 阪神高速道路(株) 正会員 田畑 晶子  
京都大学大学院 正会員 橋本 国太郎 正会員 杉浦 邦征 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

#### 1. はじめに

鋼床版の発生応力に影響を与える主要因として、舗装剛性の温度依存性が挙げられる。アスファルトの弾性係数は高音では減少し、曲げ剛性が低下する。鋼床版の設計においては、道示<sup>1)</sup>では舗装の荷重分散効果を考慮していない。しかしながら、既設鋼床版の疲労評価を行うには、舗装剛性の変化に起因する鋼床版の応力性状を考慮する必要がある。また、近年鋼床版の疲労対策としてアスファルト舗装に替えてSFRC (Steel Fiber Reinforced Concrete) が提唱されており、その効果、特にルート部における応力低減効果を明らかにする必要がある。そこで、全橋 FEM 解析を実施するとともに、実橋の載荷試験結果と照合した。

#### 2. 対象橋梁と解析モデル

SFRC を施工した阪神高速道路湾岸線の 2 径間連続鋼床版 3 箱桁を対象にした。同橋の舗装構成を図-1 に示す。図-2 に示す重量調整した試験車で静的載荷試験が行われている。

FEM 解析には、汎用の有限要素解析コード ABAQUS を用い、本橋を解析した文献<sup>2)</sup> で使用した解析モデルを用いた。着目部は、図-3 に示すように、箱桁内における横リブ間の中間断面 (以下、支間部という)、および、U リブと横リブ交差部断面 (以下、交差部という) とした。評価対象の溶接継手は、U7 リブの左側のデッキプレート (以下、デッキという) と U リブとの溶接部 (以下、縦溶接部という) とした。発生応力は、デッキ側については、デッキ側の止端部近傍 (DTG) およびルート部 (DR) は水平方向 (橋軸直角方向)、U リブ側については、U リブ側の止端部近傍 (UTG) は表面の接線方向、ルート部 (UR) は鉛直方向、を算出した。

デッキ側および U リブ側止端部はいずれも溶接止端から 5 mm 離れた位置として、実測のひずみゲージ貼付位置に対応している。載荷は実橋載荷に用いた図-2 に示す車両を、輪重を等分布荷重で載荷している。載荷ケースは図-4 に示すとおり、発生応力が高い、後輪 (前側) の直上載荷、および、

後軸 2 軸の軸間載荷とし、横断方向に影響線載荷した。舗装剛性は、夏場を想定した  $E=0, 100\text{MPa}$ 、春秋の  $E=1500, 3500\text{MPa}$ 、冬場の  $5000\text{MPa}$ 、とした。SFRC モデルは、図-1 の実橋の夏場に対応し、表層は  $100\text{MPa}$ 、基層 (SFRC) は  $35,000\text{MPa}$  と設定した。実橋の計測は、平成 21 年 7 月の夜間に行い、舗装表面およびデッキ下面とも  $30^\circ\text{C}$  程度であった。

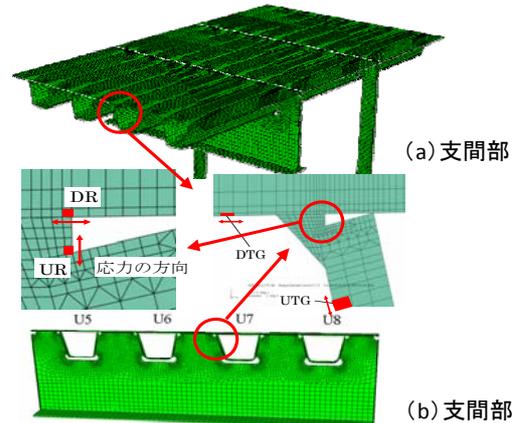


図-3 FEM 解析モデルと応力評価箇所



(a) 支間部の後輪直上 (b) 支間部の軸間中央 (c) 交差部の後輪直上

図-4 実測および FEM 解析における載荷位置

#### 3. 解析結果

##### (1) デッキ側

図-5 は、解析 (DTG, DR) と実測 (SFRC 施工前: 実測 As (Asphalt), 施工後: 実測 SFRC) の結果を表す。(a) 支間部の直上載荷では DTG, DR とも、圧縮応力が卓越し舗装剛性が下がると応力が高くなる傾向が見られる。縦溶接部の直上 (0 点) の発生応力は、DTG では、 $E=3,500$  で  $-11.3\text{MPa}$  に対し、 $E=5,000$  の  $-7.0\text{MPa}$  で 62%,  $E=1,500$  の  $-24.5\text{MPa}$  で 217%,  $E=100$  の  $-66.7\text{MPa}$  で 590% と、舗装剛性の低下に伴い発生応力が大幅に上昇する。SFRC は  $0.1\text{MPa}$  と応力の絶対値は極めて小さい。実測 AS も直上 (0 点) で  $-5.4\text{MPa}$  と  $E=1,500\text{MPa}$  と  $3500\text{MPa}$  のほぼ中央に位置し、実測 SFRC は  $2.7\text{MPa}$  と発生応力は解析と極めて近い。DR では、直上 (0 点) で、 $E=3,500$  に対して  $E=5,000$  では 82%,  $E=1,500$  で 150%,  $E=100$  で 299% と舗装剛性による応力の影響は DTG ほど顕著でない。DR でも SFRC の応力は、 $E=5,000$  に対し 78%,  $E=100$  に対し 19% に低減する。

(b) 支間部の軸間載荷では引張応力が支配的で、最大と最小 (SFRC) 応力の比は、DTG で 19%~59%, DR は、 $-70\text{mm}$  位置で引張応力が高く、図心上では低くなり、それらの応力比は



図-1 実橋の舗装構成

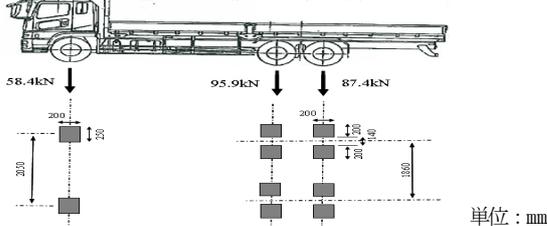


図-2 載荷荷重の形状と大きさ

キーワード 鋼床版, 疲労評価, SFRC, 舗装剛性, FEM 解析

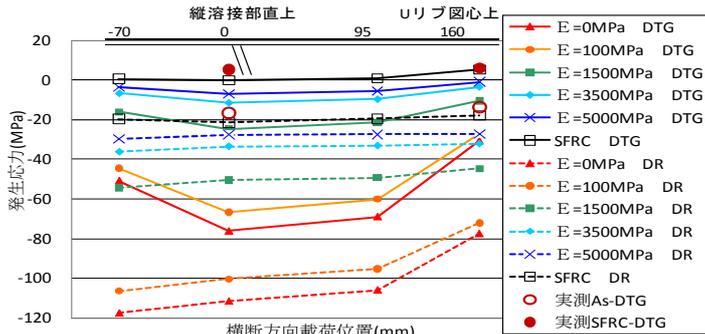
連絡先 〒541-0054 大阪市中央区南本町 4-5-7

財団法人阪神高速道路管理技術センター企画研究部 TEL06-6244-6031

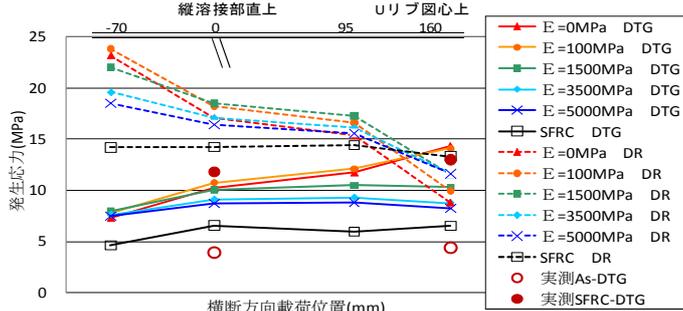
54%~134%と DTG より較差が大きい。

(c)交差部において、直上(0点)の発生応力は、DTG では、E=3,500 で-16.1MPa に対し、E=5,000 の-12.9MPa で 80%、E=1,500 の-24.5MPa で 164%、E=100 の-60.3MPa で 375%と、支間部より舗装剛性の影響は小さい。SFRC は-6.5MPa と、E=5,000 に対し 51%と応力低減効果は高い。実測 AS は直上(0点)で-16.9MPa と支間部と同様 E=1,500MPa と 3500MPa のほぼ中央に位置し、実測 SFRC も 4.6MPa とは解析に極めて近い。

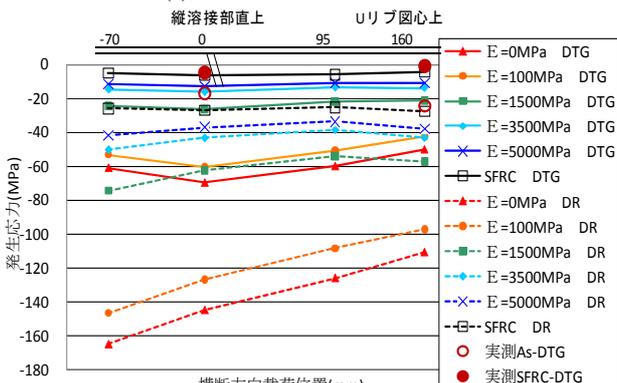
DR は、直上(0点)で、E=3,500 に対して E=5000 では 85%、E=1,500 で 144%、E=100 で 290%とそれらの比率も支間部とほぼ同じである。SFRC は、DR でも応力が E=5,000 に対し 72%、E=100 に対し 21%に低減する。



(a)支間部における後輪直上載荷



(b)支間部における軸間中央載荷



(c)交差部における後輪直上載荷

図-5 デッキ側の舗装剛性の変化による応力比較

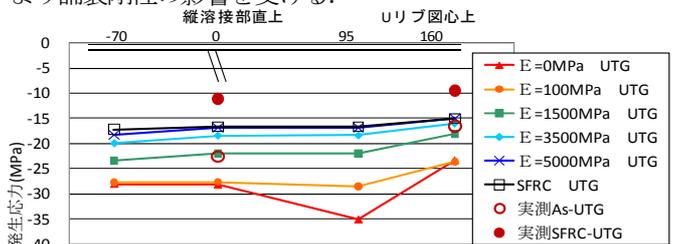
(2)Uリブ側

図-6 は、図-5 と同様に整理した Uリブ側の応力結果を示す。(a)支間部の直上載荷では、UTG は荷重位置による発生応力の差は小さく、直上(0点)では、E=3,500 で-18.4MPa に対し、E=5,000 の-16.8MPa で 91%、E=1,500 の-21.9MPa で 119%、E=100 の-27.6MPa で 150%、SFRC の-16.6MPa で 90%と舗装剛性の発生応力に与える影響は DTG に比べて小さく、SFRC の効果も低い。実測 AS は直上(0点)で-22.6MPa と E=1,500MPa と

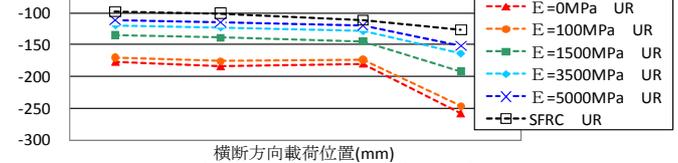
ほぼ等しく、実測 SFRC は-11.1MPa と解析と極めて近い。UR は圧縮応力のレベルが高い図心上(160 mm)で、E=3,500 に対して E=5,000 では 92%、E=1,500 で 117%、E=100 で 150%、SFRC で 70%と、DTG と同様、舗装剛性による差は少ない。

(b)軸間中央載荷では、UTG は舗装剛性、荷重位置にかかわらず、応力はほとんど発生していない。一方、UR は、-70 mm位置で引張応力が、図心上で圧縮応力が発生し、舗装剛性が低いほど応力レベルは高い。これは図-5(b)の DR と同じ傾向で、デッキの板曲げの影響を受けていると推察される。

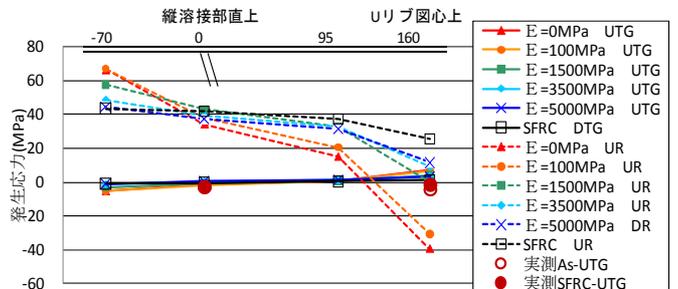
(c)の交差部では、直上(0点)の UTG の発生応力は、E=3,500 で-12.5MPa に対し、E=1,500 の-14.8MPa で 118%、E=100 の-24.6MPa で 197%、SFRC の-11.4MPa で 91%と SFRC の効果も低い。UR では、直上(0点)で、E=3,500 に対して E=5000 では 91%、E=1,500 で 144%、E=100 で 239%、SFRC で 78%と UTG より舗装剛性の影響を受ける。



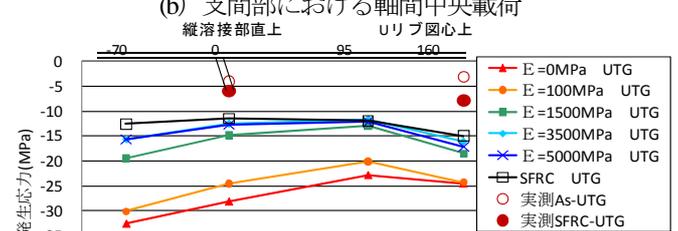
(a)支間部における後輪直上載荷



(b)支間部における軸間中央載荷



(c)交差部における後輪直上載荷 (L3ライン)



(c)交差部における後輪直上載荷 (L3ライン)

図-6 Uリブ側の舗装剛性の変化による応力比較

参考文献: 1)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 鋼橋編, 2002.3, 2)高田佳彦, 田畑晶子, 橋本国太郎, 杉浦邦征, 山口隆司: ルートを起点に発生進展するき裂に着目した既設鋼床版の応力解析, 土木学会構造工学論文集, Vol.56A, pp. 766-778, 2010.3.