

鋼床版 SFRC 上の防水層に作用するせん断応力の推定

鹿島道路株式会社 正会員 〇一瀬 八洋

阪神高速道路株式会社 正会員 青木 康素, 足立 幸郎, 田畑 晶子

大阪大学名誉教授 フェロー会員 松井 繁之

1. はじめに

阪神高速道路における鋼床版SFRC舗装の防水層には、作業時間の制約などから加熱型As塗膜防水（以下、従来As塗膜）が用いられているが、耐久性を含めた十分な研究はなされていない。そこで、本研究では、SFRC舗装の耐久性向上を目的として、防水層の要求性能を明らかにするとともに、新たに提案された防水メーカー5社の防水層を用いて、各性能試験や数値解析を実施し、今後の実橋工事の基準となる性能照査方法ならびに照査値についての検討を行った。本稿では、それらの検討のうち、有限要素解析（以下、FEA）を用いて、輪荷重によって防水層に作用するせん断応力の推定を行った内容を報告する。

2. 舗装の弾性係数および防水層のばね定数

アスファルト舗装や防水層は、粘弾性体であるため温度や車両の速度によって、見かけの剛性が変化する。そのため、本検討では、動的な一軸圧縮試験にて求めたアスファルト舗装（密粒Ⅲ型）の等価弾性係数（表-1）と、水平ばね定数0.1, 1, 10, 100, 500, 1000, 10000N/mm³の7種類を用いてFEAを行った。なお、7種類の水平ばね定数は、動的な曲げ試験にて求めた各防水層の水平ばね定数（表-2）を基に予備検討を行い、指数関数による近似曲線で中間の計算していない水平ばね定数によるせん断応力を、精度良く求められることを確認したうえで決定した。

3. FEAの概要

FEAは、SFRC舗装を適用した実績のある上下線一体の支間長83.5m+95m の鋼2 径間連続鋼床版箱桁橋を対象に、支間中央付近の72m区間をモデル化したもので実施した。用いた要素諸元を表-3、解析モデルの鳥瞰図を図-1に示す。輪荷重は、図-2に示すように、ダンプトラックの車輪配置とし、後輪2軸はダブルタイヤ、前輪はシングルタイヤとした。また、輪荷重には、衝撃係数0.4を考慮した。輪荷重の載荷位置は、橋軸直角方向に5ケース、橋軸方向に6ケースの計30ケースの予備解析を行い、せん断応力が最大となる前輪が横リブの手前30mmの1ケース（図-3）を選定した。

表-1 アスファルトの等価弾性係数

温度 (°C)	載荷 周波数 (Hz)	密粒Ⅲ型の 等価弾性係数 (N/mm ²)
-10	20	24,500
	10	22,200
	5	20,000
23	20	3,200
	10	2,500
	5	1,900
50	20	400
	10	340
	5	270

表-2 防水層の水平ばね定数（表層：密粒Ⅲ型）

温度 (°C)	載荷 周波数 (Hz)	防水層の水平ばね定数 (N/mm ³)					
		従来 As 塗膜	A 社	B 社	C 社	D 社	E 社
-10	20	10,000	200	500	10	10	200
	10	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	5	〃	〃	〃	〃	〃	〃
23	20	50	50	10,000	1	0.1	50
	10	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	5	100	100	〃	〃	〃	100
50	20	2	4	10	0.1	0.1	0.1
	10	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	5	〃	〃	100	〃	〃	〃

表-3 FEA に用いた要素諸元

	要素 の種類	要素数 (個)	弾性係数 (N/mm ²)	ポア ソン比
アスファルト	ソリッド	53,244	表-1 参照	0.4
防水層	インターフ ェース	17,748	水平ばね定数 0.1,1,10,100, 500,1000,10000 N/mm ³	
SFRC	ソリッド	64,620	32,000	0.2
デッキプレート	ソリッド	45,360	200,000	0.3
主桁・横リブなど	シェル	112,159	200,000	0.3
モデル端部の主桁	ビーム	18	200,000	0.3

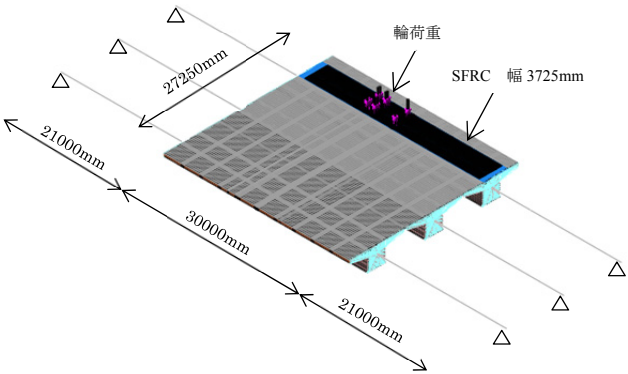


図-1 解析モデルの鳥瞰図

キーワード 鋼床版, SFRC, FEA, せん断応力, 防水層

連絡先 〒112-8566 東京都文京区後楽 1-7-27 鹿島道路(株)技術部 構造物解析・対策グループ TEL:03-5802-8014

3. FEAによるせん断応力の計算結果

荷重周波数 20Hz における, 温度-10℃, 23℃, 50℃の水平ばね定数とせん断応力の関係を図-4 に示す. 作用するせん断応力は, 防水層の水平ばね定数の大きさに比例して増加する傾向である. ただし, 水平ばね定数が 500~1000N/mm³ 程度では, ほとんど増加しなくなり, 温度 50℃においては, 500 N/mm³ 以上でせん断応力は 0.54N/mm² 一定となる. せん断応力は, 温度-10℃, 水平ばね定数 10000N/mm³ で最大の 0.98N/mm² となる. 低温時 (-10℃) に水平ばね定数 10000N/mm³ となる防水層は, 従来 As 塗膜 (表-2 参照) のみであり, 今回比較した防水層のなかでは最も作用するせん断応力が大きいと言える. 一方, 常温 (23℃) では, B 社の水平ばね定数が最も大きく, せん断応力は 0.56N/mm² となる. 従来 As 塗膜の水平ばね定数は, 50~100N/mm³ であるため, せん断応力は 0.40N/mm² 程度以下となる. 高温時 (50℃) では, ほとんどの防水層の水平ばね定数は 10N/mm³ 程度以下となり, せん断応力は 0.2N/mm² 程度以下となる. なお, 防水層の水平ばね定数が 1N/mm³ 程度以下であれば, 温度に関わらず, せん断応力は, ほとんど作用しない結果となった.

4. 車両速度 80km/h 時のせん断応力の推定

荷重周波数 20Hz は, 車輪の接地長さを 200mm と仮定すると, 車両速度 14.4km/h ($=200\text{mm}/10^6 \times 20\text{Hz} \times 60 \times 60$) に相当する. 同様に, 荷重周波数 10Hz, 5Hz では, 車両速度 7.2 km/h, 3.6 km/h となる. この 3 速度から, 車両速度 80km/h 時に作用するせん断応力を推定する. 推定は, 図-5 に示すように 3 点を通る指数関数による近似曲線にて行った. 温度-10, 23℃では, 水平ばね定数 100N/mm³ 以上になると, 車両速度の増加に伴い, 20Hz のせん断応力よりも値は大きくなる傾向である. 水平ばね定数 100N/mm³ 以下および 50℃では, 車両速度が増加しても, 20Hz のせん断応力と同程度の値となる.

5. まとめ

本研究の範囲内で得られた主な成果は以下のとおりである.

- ①防水層に作用するせん断応力を, アスファルト舗装の等価弾性係数 (荷重周波数 20, 10, 5Hz) と防水層の水平ばね定数 (7 種類) を用いた有限要素解析にて求めた.
- ②荷重周波数 20, 10, 5Hz のせん断応力から, 車両速度 80km/h のせん断応力を推定する方法を示した.

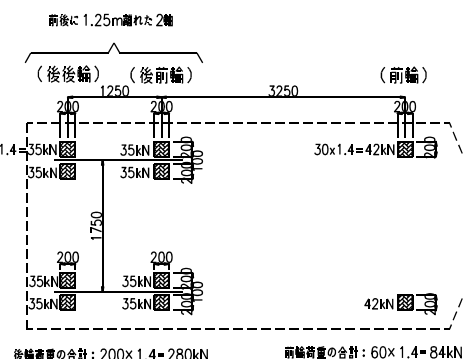


図-2 輪荷重平面図

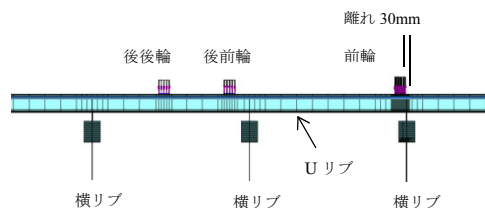


図-3 輪荷重の荷重側面図

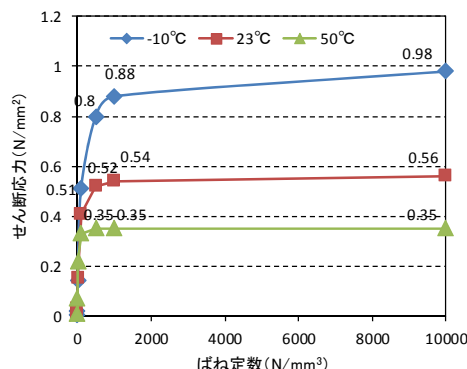


図-4 水平ばね定数とせん断応力 (20Hz)

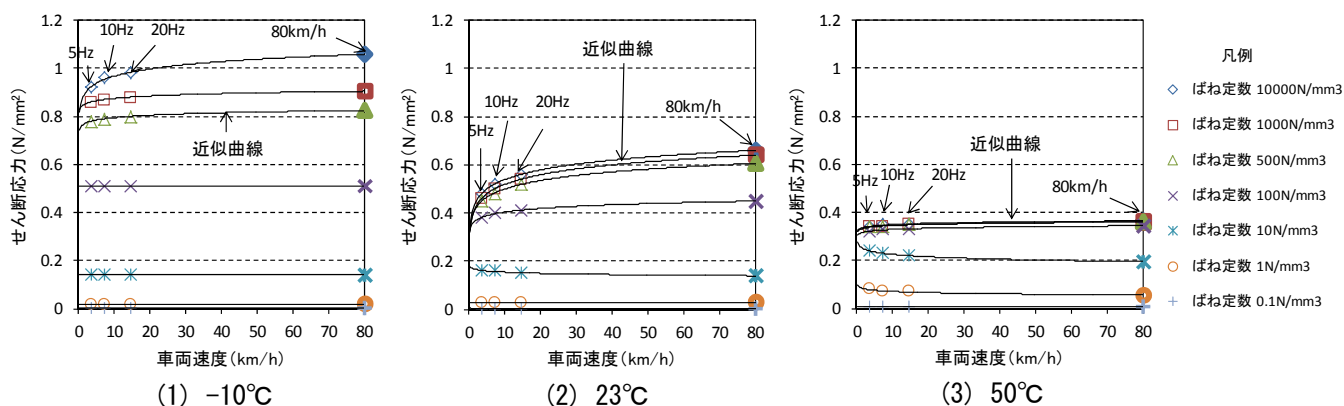


図-5 車両速度 80km/h 時のせん断応力