

硬質ウレタンを付着した鋼板の振動性状に関する研究

高松工業高等専門学校専攻科 学生会員 ○仙波 文裕
高松工業高等専門学校 正会員 太田 貞次

1. はじめに

鋼鉄道橋では、列車走行時に受ける衝撃荷重によって腹板に振動が発生し、騒音問題の原因となることがある。このような振動問題の低減方法として、鋼板に硬質ウレタンを付着することが挙げられる。

本研究では、付着する硬質ウレタン厚を変えた試験体について振動実験および固有振動解析を行い、鋼板の振動に及ぼす硬質ウレタンの影響を調べた。

2. 実験および解析の概要

2.1 実験概要

鋼板の四辺を単純支持した試験体の真上 80cm の高さから 3 種類のボール（ゴルフボール・テニスボール・ソフトボール）を自由落下させ、衝撃荷重により起振させた。試験体の形状寸法は次のとおりである。

- ・鋼板：500mm×400mm×3.2mm
- ・硬質ウレタン厚：なし，50mm，100mm，150mm

データは試験体中央に取り付けた小型加速度ピックアップを通して入力し、振動計を介して振動加速度としてデータレコーダに収録した。

実験で得られた振動加速度波形から FFT 解析によってスペクトル図を出力し、卓越振動数を固有振動数として選んだ。また、振動加速度波形から次式により減衰定数を求めた。

$$h = \frac{1}{2\pi} \ln \left| \frac{y_m}{y_{m+1}} \right|$$

ここで、 y_m および y_{m+1} は m 番目と $m+1$ 番目の振動加速度波形の振幅を表す。

2.2 解析概要

実験で用いたものと同じ試験体に対し、有限帯板法と有限プリズム法を併用して解析を行った。具体的には、対象とする鋼・硬質ウレタン複合板について、鋼板を帯板要素で、硬質ウレタンを 8 節線プリズム要素でそれぞれ離散化した。要素分割図を図-1 に示す。

解析に用いた材料定数は、鋼板を等方弾性体、硬質ウレタンを直交異方弾性体として表-1 に示す値を使用した。境界条件は鋼板を四辺単純支持として $y = 0$ ，400mm， $z = 0$ mm にて u ， $w = 0$ とした。

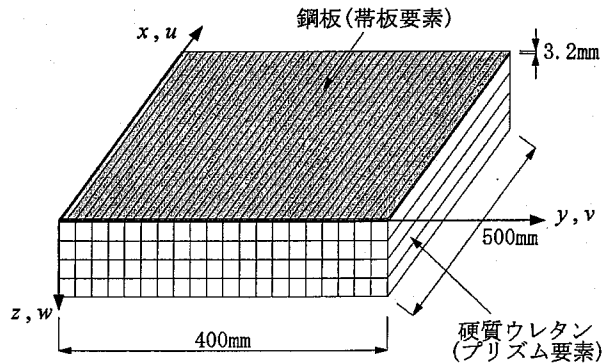


図-1 要素分割

表-1 材料定数

材料	鋼板	硬質ウレタン
密度 ρ (kg/m ³)	7700	35.0
ポアソン比 ν	0.3	0.0
弾性係数 (MPa)	$E_x = E_y$	200000
	E_z	200000
	G_{xz}	25000
		4.41

表-2 固有振動数およびパワースペクトル

モード		ゴルフボール		テニスボール		ソフトボール	
		(Hz)	(dB)	(Hz)	(dB)	(Hz)	(dB)
鋼板のみ	1	79	13.6	79	16.6	79	21.9
	3	202	29.6	—	—	—	—
	4	326	22.7	326	4.7	326	15.6
ウレタン厚 50(mm)	1	92	18.0	93	15.6	93	20.9
	2	171	27.3	—	—	—	—
	4	—	—	—	—	356	20.0
ウレタン厚 100(mm)	1	119	19.1	119	8.8	116	15.9
	2	228	14.8	—	—	—	—
	4	—	—	—	—	389	13.9
ウレタン厚 150(mm)	1	—	—	133	0.6	138	7.4
	2	—	—	—	—	287	6.0

3. 実験結果

衝撃荷重による振動実験で得られた固有振動数及びパワースペクトルの結果を表-2 に示す。表より、鋼板のみの試験体に衝撃荷重を加えた場合、ボールの種類によらず 1 次振動と 4 次振動が卓越していることがわかる。また、これらのパワースペクトルの比較から、ゴルフボールは 2 次と 4 次、テニスボールとソフトボールは 1 次の振動を発生させやすいことが確認できる。

これに対し、ゴルフボール、テニスボールを使用した場合はウレタンを 50mm，ソフトボールを使用した場合はウレタンを 150mm 付着することによって、鋼板だけの時に卓越していた 4 次振動が現れなくなった。これは、ウレタン厚が厚くなるに伴って高次の振動がウレタンにより吸収されたためだと考えられる。

そして、ウレタン厚が厚くなるほど荷重（ボール）の種類に関係なく極端に卓越した固有振動数は見られなくなった。

なお、ウレタン厚を増加させることにより固有振動数も増加するという傾向が見られた。これは、ウレタンを付着することで試験体の剛性が大きくなったためだと考えられる。

次に、振動の減衰について考察する。振動加速度波形の一例として、ゴルフボールを使用した場合の波形を図-2に、また3種類の衝撃荷重別のウレタン厚と減衰定数の関係を表-3にそれぞれ示す。

図-2から、鋼板のみの場合の振動は規則的に減衰するが、ウレタン厚が厚くなるにつれて不規則で急激な減衰となることが確認できる。また表-3より、ウレタン厚が増加するに伴って減衰定数が増加していくことが確認できる。特に、ゴルフボールを衝突させたケースでは、ウレタンを付着することによって減衰定数が大きく増加している。これは、ウレタンを付着することにより、鋼板のみの場合に卓越していた4次の振動が硬質ウレタンに吸収されたことによると思われる。逆に、ソフトボールによる衝撃では低次の振動が発生しやすいため、ウレタンを添加してもゴルフボールに比べて減衰定数が増加していない。

4. 解析結果

固有振動解析によって得られた15次モード以下の結果を表-4に示す。ここに、 (m, n) は (x, y) 方向の鋼板の半波数、 f (Hz)は固有振動数である。

実験結果(表-2)と解析結果(表-4)とを比較すると、誤差は約10%以内に収まっている。これにより、解析が実験結果を精度よく再現できたと言えよう。

次に解析結果について考察する。表-4を見ると、ウレタン厚100mmと150mmの場合には、同じ (m, n) モードに対して複数の固有振動が存在している。これは、鋼板とウレタンが一体となった曲げ振動モードと、鋼板はほとんど変形せずにウレタン独自の変形が卓越したモードが存在するためである。振動モードの例として、ウレタン厚150mm、(1, 2)モードの様子を図-3に示す。表-4のマーカ部分分は、このようなウレタン独自の変形が卓越したモードであることを表す。

また、表-4より硬質ウレタン独自の変形が卓越したモードは高次の振動に現れ、ウレタン厚が大きくなるにつれて低次の振動にも現れやすくなることがわかる。

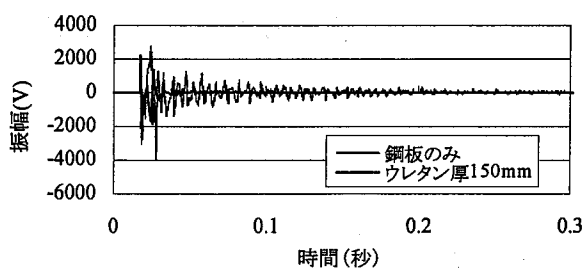


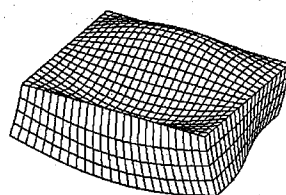
図-2 振動加速度波形(ゴルフボール)

表-3 減衰定数

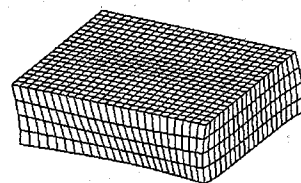
ウレタン厚(mm)	0	50	100	150
ゴルフボール	0.0189	0.0598	0.0665	0.0732
テニスボール	0.0226	0.0422	0.0603	0.0616
ソフトボール	0.0403	0.0463	0.0643	0.0813

表-4 解析結果

No.	鋼板のみ			ウレタン厚50mm			ウレタン厚100mm			ウレタン厚150mm		
	m	n	f(Hz)	m	n	f(Hz)	m	n	f(Hz)	m	n	f(Hz)
1	1	1	79.5	1	1	84.7	1	1	109.9	1	1	134.1
2	2	1	172.5	2	1	182.5	2	1	225.6	2	1	264.3
3	1	2	224.8	1	2	236.8	1	2	277.3	1	2	297.6
4	2	2	317.9	2	2	331.3	2	2	376.6	2	2	405.8
5	3	1	327.5	3	1	342.9	3	1	399.2	3	1	436.7
6	1	3	467.1	1	3	483.2	1	3	519.8	1	3	513.8
7	3	2	472.9	3	2	488.4	3	2	539.3	3	2	538.6
8	4	1	544.6	4	1	563.0	2	3	614.7	3	2	568.0
9	2	3	560.2	2	3	575.5	4	1	757.9	2	3	625.1
10	4	2	690.0	4	2	706.2	4	2	758.1	1	3	631.8
11	3	3	715.2	3	3	729.4	1	4	767.8	4	1	647.2
12	1	4	806.4	1	4	820.4	3	3	771.4	2	4	651.3
13	5	1	823.7	5	1	841.5	1	3	824.6	1	3	665.6
14	2	4	899.5	2	4	911.3	2	4	862.1	2	3	703.0
15	4	3	932.3	4	3	944.1	1	4	877.9	1	2	713.9



(a) No.3



(b) No.7

図-3 ウレタン厚150mm、(1, 2)モード

5. まとめ

鋼・硬質ウレタン複合板について、衝撃実験および固有振動解析を行い、次のような結論を得た。

- (1) 硬質ウレタン付着によって試験体の減衰定数が大きくなり振動は不規則に早い段階で収束する。
- (2) 硬質ウレタンは高次の振動を吸収する。
- (3) 衝撃荷重による鋼・硬質ウレタン複合板の振動解析結果の妥当性が実験により確認された。
- (3) 振動モードには鋼板と硬質ウレタンが一体となった曲げ振動とウレタン独自の変形が卓越したモードが存在する。
- (4) ウレタン独自の変形が卓越したモードは高次の振動に現れるが、ウレタン厚が大きくなるにつれて低次の振動にも現れるようになる。