

CS-83 ウレタン等を充填した鋼箱桁の波動伝播特性

山梨大学工学部 正会員 岡村 美好
 山梨大学工学部 正会員 深澤 泰晴
 宮地鐵工所 正会員 太田 貞次

1. まえがき 近年、土木構造物の軽量化や衝撃吸収性等の向上を目的として、従来の土木材料と発泡スチロールやウレタンフォームのような高分子材料とを組み合わせた各種の複合構造物が開発されてきている。本研究では、ウレタンを鋼箱桁の内部に充填した複合桁について、有限帯板法と有限ブリズム法を併用した離散化モデルを用いて位相速度を求め、その波動伝播に与えるウレタンの影響について検討した。

2. 解析の概要 本解析で対象とする複合桁の断面を図-1に示す。複合桁は鋼箱桁の内部にウレタン等を充填して一体化したものであり、ウレタンはポアソン比 $\nu=0.0$ の等方性材料で、鋼箱桁とは強く密着しているものと仮定する。解析には、鋼箱桁を帯板要素で、ウレタンをアイソパラメトリック要素を適用した8節線ブリズム要素で離散化したモデルを用いる。これらの要素に対する剛性マトリクスおよび質量マトリクスを重ね合わせて系全体に対する固有方程式を誘導し、これを解いて位相速度を求める。

3. 数値解析精度の検討 ウレタンの離散化に用いた8節線ブリズム要素の解析精度について検討するため、岸ら¹⁾が行った解析手法の違いによる位相速度分散特性の比較結果と8節線ブリズム要素による結果とを比較した。表-1は、ポアソン比 $\nu=0.3$ の正方形部材における縦波動の位相速度について比較したものであり、表中のKishiは、岸らによる4節線ブリズム要素法の結果を表している。また、位相速度はせん断波速度で無次元化したものであり、 r は $2\pi/\lambda$ （ λ は波長）、 b は断面の高さを表す。8節線ブリズム要素では、大きい値から収斂し、他の結果とはほぼ一致している。また、 4×4 分割と 8×8 分割の差は $rb < 5.0$ で1%以下であり、 $rb=14$ の 8×8 分割は岸らの 48×48 分割と比較して1.5%増加となり少ない要素数で高精度の結果が得られていることがわかる。

以上の結果および岸らの結果を参考にして、図-1の解析断面について、ウレタンを8節線有限ブリズム要素 4×8 分割、鋼箱桁を有限帯板要素48分割でモデル化して解析を行った。

4. 波動伝播特性 横曲げ波動の第1次および第2次モードの位相速度に与えるウレタンの弾性係数の違いの影響を図-3に示す。横軸は波長 a に対する桁高 h の比 $\alpha (=h/a)$ 、縦軸は鋼箱桁のせん断波速度 c_s に対する位相速度 c の比 c/c_s である。複合桁は、ウレタンの弾性係数を E_u 、鋼箱桁の弾性係数を E としたときの弾性係数比 $E/E_u=5, 10, 20, 40 \times 10^3$ の4種類とし、図中の $A_u=0$ はウレタンを充填していない鋼箱桁の結果を表す。

いずれにおいても波長によってウレタンの影響が異なるのがわかる。第1次モードでは、 $\alpha < 0.1$ では複合桁と鋼箱桁の位相速度分散曲線はほぼ一致し、ウレタンの影響はほとんど現れていない。波長の領域が $0.1 < \alpha < 2.0$ では、複合桁の位相速度は鋼箱桁よりも大きくなり、弾性係数比が小さいほどその差は大きくなっている。さらに波長が短くなると複合桁の位相速度はそ

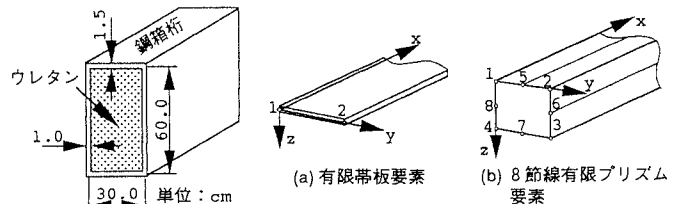


図-1 解析断面

図-2 離散化要素

表-1 位相速度の分散特性の比較；縦波動（ $\nu=0.3$ ）

rb	Fraser				Nigro				Tanaka				Oshima				Kishi				author
	second	48div.	24div.	8div.	second	48div.	24div.	8div.	second	48div.	24div.	8div.	second	48div.	24div.	8div.	second	48div.	24div.	8div.	
0.1	1.6120	1.6120	-----	1.6112	1.6120	1.6150	1.6120	1.6120	1.6120	1.6120	1.6120	1.6120	1.6120	1.6120	1.6120	1.6120	1.6122	1.6122	1.6122	1.6122	
0.5	1.5996	1.5996	1.5997	1.6003	1.6010	1.6044	1.5996	1.5996	1.5993	1.5999	1.5999	1.5999	1.5999	1.5999	1.5999	1.5999	1.5999	1.5999	1.5999	1.5999	
1.2	1.5150	-----	1.5149	1.5155	1.5163	1.5208	1.5149	1.5147	1.5122	1.5152	1.5152	1.5152	1.5152	1.5152	1.5152	1.5152	1.5152	1.5152	1.5152	1.5153	
1.6	1.4048	-----	1.4049	1.4055	-----	1.4046	1.4041	1.3989	1.3929	1.3935	1.3935	1.3935	1.3935	1.3935	1.3935	1.3935	1.3935	1.3935	1.3935	1.3935	
2.0	1.2743	1.274	1.2743	1.2738	1.2740	1.2823	1.2741	1.2734	1.2661	1.2745	1.2749	1.2749	1.2749	1.2749	1.2749	1.2749	1.2749	1.2749	1.2749	1.2749	
2.6	1.1285	-----	1.1285	1.1275	1.1274	1.1360	1.1283	1.1275	1.1196	1.1288	1.1294	1.1294	1.1294	1.1294	1.1294	1.1294	1.1294	1.1294	1.1294	1.1294	
3.2	-----	-----	1.0469	1.0457	1.0457	1.0551	1.0466	1.0459	1.0384	1.0471	1.0483	1.0483	1.0483	1.0483	1.0483	1.0483	1.0483	1.0483	1.0483	1.0483	
3.8	-----	-----	1.0022	1.0011	1.0014	1.0124	1.0019	1.0013	0.9945	1.0025	1.0048	1.0048	1.0048	1.0048	1.0048	1.0048	1.0048	1.0048	1.0048	1.0048	
5.0	0.962	0.962	0.9619	0.9613	0.9623	0.9776	0.9617	0.9612	0.9563	0.9625	0.9681	0.9681	0.9681	0.9681	0.9681	0.9681	0.9681	0.9681	0.9681	0.9681	
7.0	0.942	0.942	0.9418	0.9419	0.9448	-----	0.9416	0.9416	0.9394	0.9438	0.9561	0.9561	0.9561	0.9561	0.9561	0.9561	0.9561	0.9561	0.9561	0.9561	
10.0	0.934	0.936	0.9345	0.9362	0.9423	-----	0.9345	0.9350	0.8494	0.9405	0.9618	0.9618	0.9618	0.9618	0.9618	0.9618	0.9618	0.9618	0.9618	0.9618	
14.0	0.931	0.939	0.9316	0.9366	0.9467	-----	0.9318	0.9330	0.6942	0.9460	0.9728	0.9728	0.9728	0.9728	0.9728	0.9728	0.9728	0.9728	0.9728	0.9728	

れぞれほぼ一定値を示し、弾性係数比が大きいほど一定値を示し始める波長は長く、位相速度の値は小さくなっている。第2次モードでは、長い波長では複合桁の位相速度は鋼箱桁よりもわずかに大きく、波長が短くなると第1次モードと同様にほぼ一定値を示すようになる。しかし、 $E/E_u = 40 \times 10^3$ の複合桁では、他の複合桁よりも長い波長で位相速度の低下を示している。

曲げ波動の第1次および第2次モードの位相速度分散曲線に与えるウレタンの密度の違いの影響を図-4に示す。複合桁は、ウレタンの密度を ρ_u 、鋼箱桁の密度を ρ としたときの、密度比 $\rho/\rho_u = 100, 200, 300$ の3種類である。図-3と同様に波長によってウレタンの影響は異なり、波長が短い領域での鋼箱桁との差は密度比が小さいほど顕著になっている。

なお、他の波動パターンの位相速度分散曲線についても検討を行ったが、ほぼ同様の結果が得られた。

$\alpha = 1.0$ のときの複合桁と鋼箱桁の波動モードの比較を図-5に示す。図中の c_c/c

は、鋼箱桁の位相速度 c に対する複合桁の位相速度 c_c の比を表す。第1～第4次モードは、複合化によって変形パターンの順序は入れ替わっているが変形モードに大きな違いはなく、位相速度は0.7～4.7%の増加となっている。一方、第5次モード以上の複合桁ではウレタン部分の変形が顕著であり、位相速度も低下している。図-3、4において、波長が短く位相速度が低下するモードは、このようなウレタンの変形が顕著なモードに対応していることがわかる。

5. まとめ ウレタン等を充填した鋼箱桁の位相速度分散曲線に与えるウレタンの影響は波長によって異なり、つぎの3領域に分けることができる。

- (1) 波長が大きい領域では、複合桁の位相速度および変形モードは鋼箱桁とほぼ一致する。
- (2) 中間の波長領域では、複合桁の位相速度は鋼箱桁よりも大きくなり、その差は鋼箱桁とウレタンの弾性係数比が小さいほど大きくなる。
- (3) 波長の短い領域では、複合桁の位相速度は鋼箱桁よりも小さくほぼ一定となり、複合桁のウレタンは顕著な変形を示す。この傾向は、鋼箱桁とウレタンの弾性係数比が大きく、密度比が小さいほど顕著になる。

【参考文献】1) 岸徳光, 松岡健一, 能町純雄: 有限プリズム要素法を用いた単鉄筋RC梁の位相速度分散曲線とモード分布, 構造工学論文集, Vol.35A, pp.785～793, 1989.

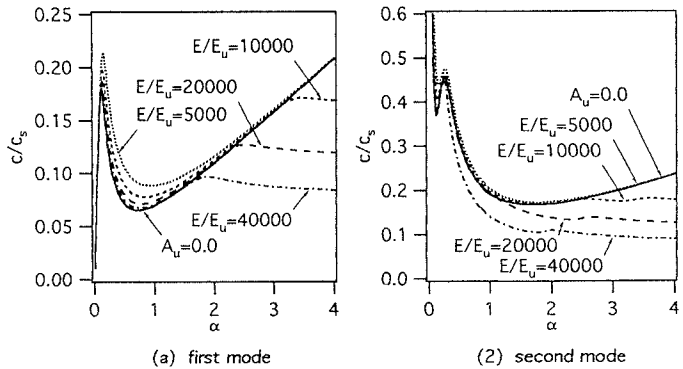


図-3 横曲げ波動の位相速度に及ぼす弾性定数比の影響 ($\rho/\rho_u = 200$)

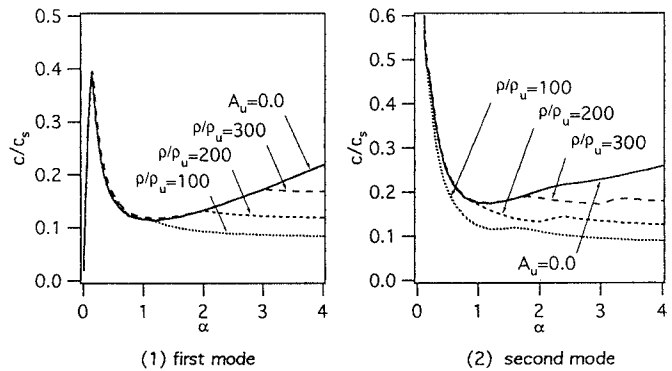


図-4 曲げ波動の位相速度に及ぼす密度比の影響 ($E/E_u = 20000$)

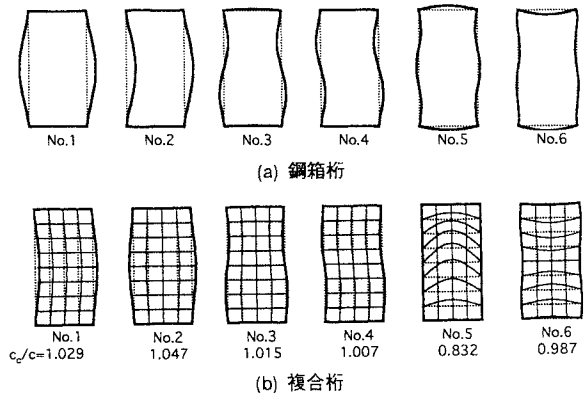


図-5 波動モードの比較
($\alpha = 1.0, E/E_u = 35722, \rho/\rho_u = 200$)