

HLAコンクリートを用いたPC橋の車両走行による動的特性

金沢大学工学部 正会員 ○深田 幸史
金沢大学大学院 正会員 梶川 康男
ドービー建設工業（株） 正会員 立神 久雄

1. まえがき

コスト縮減をめざした省力化の流れを受けて、複合橋梁が脚光を浴び、自重の軽減やプレストレスの導入効率を向上させている。このような橋梁構造形式からの軽量化に対して、近年では材料分野から高性能軽量骨材コンクリート（以下、HLA コンクリートと称す）が開発され、さらなる軽量化が考えられている。このHLAコンクリートをPC箱桁橋（以下、PC橋と称す）に適用した場合、その死荷重は約25%軽減することができる。そのため、基礎や下部構造に対する負担も飛躍的に低減され、下部構造の建設コストを縮減することができる。しかしながら、死荷重の軽減に伴い、車両走行により励起されるコンクリート床版の振動、動的増幅率および低周波空気振動などの橋梁振動が通常のPC橋に比べて大きくなる可能性がある。また、将来HLAコンクリートを複合橋梁にも適用する可能性がある。

そこで本研究では、PC橋に対してHLAコンクリートを適用した場合を対象として、車両が走行した場合の動的特性を検討した。

2. モデル橋梁

本研究では、上述した振動問題を把握するため、支間長45mを有するPC橋を試設計し、それぞれの橋梁上を車両が走行したときの動的特性を比較することにした。主桁高は、普通骨材コンクリートを用いたPC橋の場合、桁高比1/17(2.6m)とし、HLAコンクリートを用いた場合には桁高比1/20(2.3m)とした。ウェブ厚の決定にあたっては、鋼材の配置間隔および最小かぶり厚より決定した。標準断面を図-1に示す。使用材料の物性値と試設計の結果を合わせて表-1に示す。

解析モデルは、上床版、下床版およびウェブをシェル要素にモデル化した。境界条件としては、橋軸方向には一端固定、他端可動とし、橋軸直角および鉛直まわりの回転は両端ともに自由としている。また、橋面荷重としての舗装重量（舗装厚8cm）、地覆重量および高欄重量を考慮している。

3. 固有振動特性

固有振動特性を比較するために固有値解析を行った。固有振動数を表-2に、振動モード図を図-2に示す。

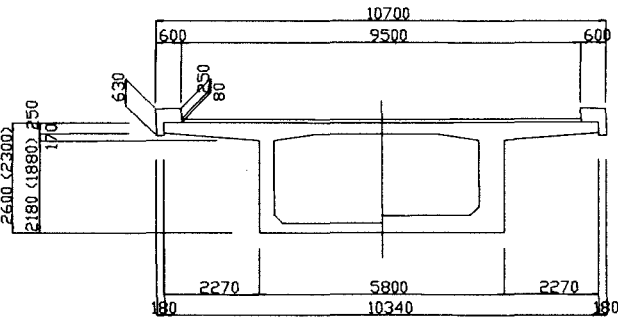


図-1 標準断面

表-1 物性値と試設計の結果

	普通骨材	
	NPC 45①	HLA LPC 45②
支間長 (m)	45.0	45.0
桁高 (m)	2.6	2.3
桁高比	1/17	1/20
設計基準強度 (MPa)	49	49
単位体積重量 (kN/m³)	24.50	18.13
弾性係数 (GPa)	32.34	20.58
クリープ係数	2.6	2.0
乾燥収縮度	200×10 ⁻⁶	200×10 ⁻⁶
支間中央応力度 設計時	上縁(MPa)	8.3
	下縁(MPa)	0.5
内ケール本数	12s15.2	12
外ケール本数	19S15.2	6
反力(kN) (1橋台当たり)	主桁	3874.8
	橋面	685.3
	死荷重合計	4560.1
	活荷重	1557.5
	合計	6117.6
	①/①	②/①
死荷重合計比率	1.000	0.749

表-2 固有振動数 (Hz)

次数	モード形状	普通骨材	HLA
1	たわみ対称1次	2.49	1.99
2	面外1次	7.33	6.63
3	たわみ逆対称1次	8.62	7.02
4	ねじれ1次	9.7	7.94
5	たわみ対称2次	13.52	11.83

これより、HLA コンクリートを用いた場合には、普通骨材コンクリートを用いた場合と比較すると、各振動数は2割程度小さくなった。これは、死荷重が小さくなったことより、HLA コンクリートの剛性が小さいことが大きく影響した結果といえる。

4. 車両走行時の振動特性（音圧の放射エネルギー）

HLA コンクリートが複合構造に適用された場合、車両走行により橋梁から放射される音圧は普通骨材コンクリートのPC橋と比較してどの程度異なるのか解析上で検討することが必要となってくる。本解析はその前段階として、普通骨材コンクリートとHLA コンクリートのPC橋に車両が走行したときの床版、下床版、ウェブから放射される音圧の放射エネルギーを比較することにした。

車両走行による動的応答解析では、総重量 196kN の 3 軸車両をモデル化した 8 自由度系の車両モデルを用いて、車両と橋梁系の運動方程式を直接積分法 (Newmark β 法、時間間隔 0.01 秒、 $\beta=1/4$) により逐次積分して応答値を求めた。減衰は、各振動モードのモード減衰をひずみエネルギー比例減衰により求め、そこから得られた任意の 2 つのモード減衰を用いて Layleigh 減衰により減衰マトリックスを作成した。

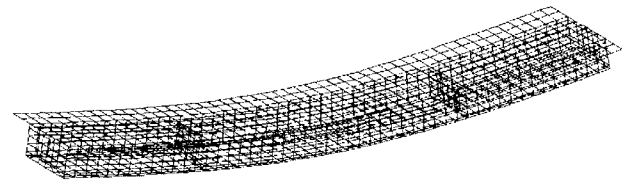
車両 1 台 (196kN) が高速自動車道を考慮した 80km/h で幅員中央を走行したときの音圧の放射エネルギー w を (1) 式より求めた。上床版、下床版、ウェブの各構成部材からの音圧の放射エネルギーを図-3 に示す。横軸は、車両が走行している各時間ステップを表している。ここで、ウェブについては、橋軸直角方向とした。

$$w = \frac{1}{\rho c} \sum_i p_i^2 S_i \quad (1)$$

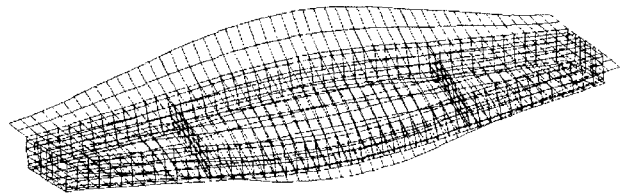
ここに、 ρc : 空気の固有インピーダンス、 p : S 面上の音圧 ($p = \rho c v$)、 v : S 面での速度振幅、 S : 要素面積
通常、 p は実効音圧を用いるが、ここでは各時間ステップの速度振幅から求まる音圧を用いた。

これより、上床版では HLA コンクリートを用いた PC 橋の方が大きく振動している。しかし、下床版ではそれらの大きさはかなり小さくなっており、HLA コンクリートでは、放射エネルギーが一様に大きくなっている。ウェブでは、上床版に対応した形状分布を示しているが、上床版および下床版に比較してかなり小さな値となっている。

今後は、複合構造 (鋼トラスウェブ橋や波形鋼板ウェブ PC 橋) に対しても同様な解析を行い、車両走行による振動問題を検討していきたい。

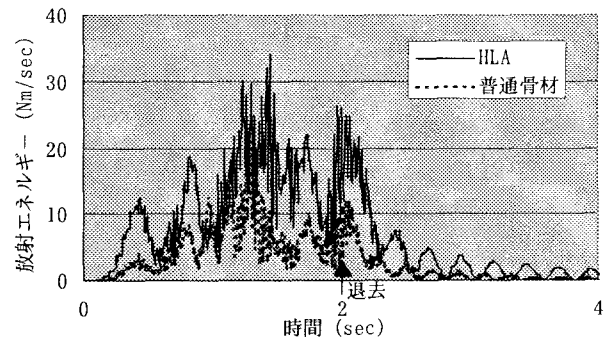


(a) たわみ 1 次振動

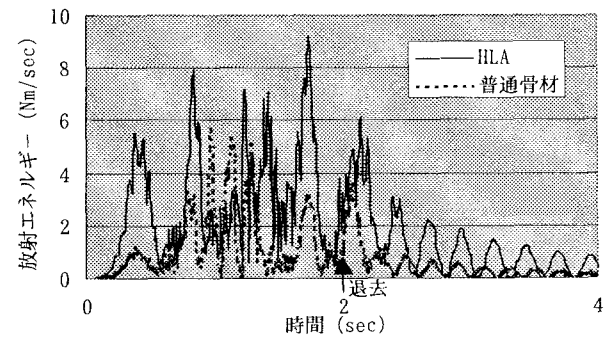


(b) ねじれ 1 次振動

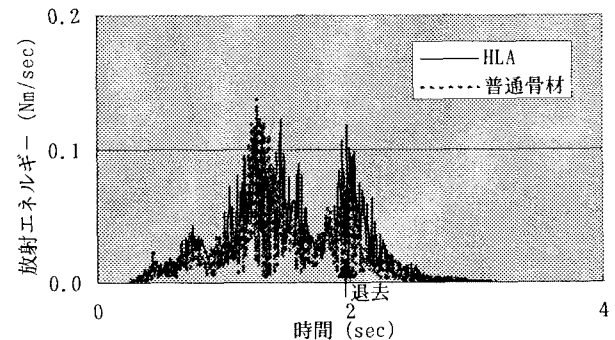
図-2 振動モード図



(a) 上床版 (鉛直方向)



(b) 下床版 (鉛直方向)



(c) ウェブ (橋軸直角方向)

図-3 音圧の放射エネルギー