

鉄道ラーメン高架橋の疲労設計法に関する検討

鉄道総研 正○曾我部正道 鉄道総研 正 渡辺 勉 鉄道総研 正 徳永 宗正

1. 目的 現在のラーメン高架橋の疲労設計は、単純梁、片持ち梁、両端固定梁等の影響線を用いて簡易に評価する手法を用いている。しかしながら、各部材の断面力の影響線のスパンの考え方、各部材の振動特性の評価方法、各部材の動的応答の考慮方法等については、これまで十分な検討がなされていなかった。本研究では、複雑な部材構成となる鉄道ラーメン高架橋に対して、三次元有限要素法を用いて、疲労振幅や等価繰り返し回数の観点から解析的な検討を試みた。

2. 検討方法 (1)解析方法 表1に解析対象ラーメン高架橋の構造諸元を示す。図1に解析対象ラーメン高架橋の概念図を示す。対象はビームスラブ式3径間ラーメンとし、スパン長は採用実績から6, 8, 10, 12mの4種類とした。動的解析には、列車を非振動の定荷重列と見なす、線路構造物の汎用構造解析プログラムDIARIST(Dynamic and Impact Analysis for Railway Structure)を用いた。この解析手法は車両と構造物との相互作用を無視した手法であるが、既往の影響評価結果から、疲労の検討に関しては十分な精度であると判断した¹⁾。図2に構造物の解析モデルを示す。高欄、片持ちスラブ、中間スラブはシェル要素で、縦梁、横梁はソリッド要素で、柱は梁要素でそれぞれモデル化した。総節点数は、2524(6m)~3868(12m)である。付加死荷重としては、複線スラブ軌道の軌道重量を考慮した。本研究で用いたモデル化の手法の妥当性は、アレイ配置した加速度計によるモード同定や、列車走行試験により既に確認されている²⁾。列車は、標準的な25m新幹線車両の軸配置でモデル化し、16両編成とした。列車内の軸重は一定とした。数値計算法にはモーダル法(考慮モード数は100次)を用いた。減衰定数は短スパンの部材振動を取り扱うため、各モードに対し $\xi=5\%$ とした。

(2)鋼材の疲労強度の算出方法 設計標準では、列車通過時に構造物に発生する不規則振動を、レンジペア法とマイナー則により評価し、最大波とその繰り返し回数に換算する手法をとっている³⁾。本研究では、従来らの設計標準と同様に、断面力と鉄筋の応力度が比例関係にあるものと仮定し評価を行う。具体的には、コンクリートの各有限要素に働く応力度を評価することとなるが、疲労強度算出時には最大応力度で基準化するため、仮定の下ではこれが鋼材の疲労強度の算定と等価となる。

3. 解析結果 (1)時刻歴波形 図3に8mモデルにおける各着目点(図2参照)の時刻歴波形を示す。図から動的な波形は、静的な波形に動的な固有振動が重畳する形で生じていることが読み取れる。図3(a)の中間スラブは、動的な影響が若干みられるものの特異な挙動はみられない。第1波のピークの作用時間は0.09秒でこれは約8mに相当し、影響線長が概ね柱間隔で生じていると考えられる。図3(b)の片持ちスラブは、着目点の載荷時にアップリフトが生じている。これは、列車荷重の片持ちスラブ側への載荷割合が少ないためであり、厳密に言えば、部材を独立して取り扱うこと自体に無理があることを示している。このような応力発生メカニズムであるため、疲労の振幅は死荷重応力を基線とした両振りとなり、かつ固有振動数も低いため、動的な増幅が重畳する形となっている。図3(c)の縦梁については、隣接スパン載荷時に静的載荷のレベルでもアップリフトが生じる。この振幅増大の影響については、設計では慣例的に無視されてきた。図3(d)の横梁については、動的な振動成分

表-1 解析対象ラーメン高架橋の構造諸元

名称	スパン	中間スラブ		片持ちスラブ			縦梁			横梁			柱		高欄		ヤング係数
		厚さ	固有振動数	先端厚さ	基部厚さ	固有振動数	幅	高さ	固有振動数	幅	高さ	固有振動数	基面高さ	辺長	高さ	厚さ	
		(m)	(Hz)	(m)	(m)	(Hz)	(m)	(m)	(Hz)	(m)	(m)	(Hz)	(m)	(m)	(m)	(m)	
6m	3@6m	0.25	35.95	0.25	0.40	12.68	0.75	1.40	76.62	1.00	1.40	104.21	7.00	1.00	2.00	0.20	2.65.E+07
8m	3@8m		29.49						43.1			95.58					
10m	3@10m		27.38						27.58			88.79					
12m	3@12m		26.66						19.15			83.27					

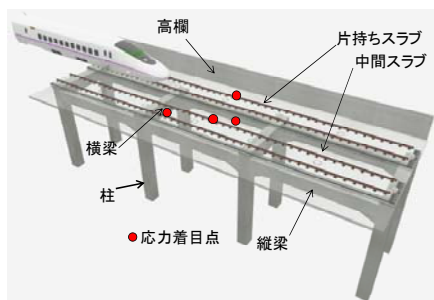


図1 解析対象ラーメン高架橋の概念図

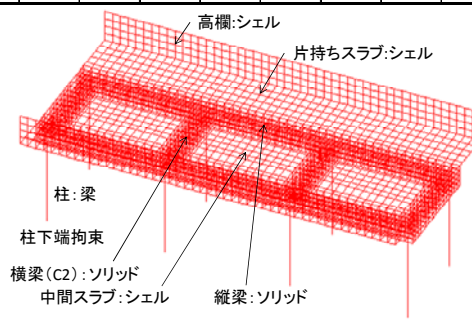


図2 構造物の解析モデル

キーワード 疲労, ラーメン高架橋, レンジペア法, マイナー則, 共振

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 公益財団法人 鉄道総合技術研究所 構造力学

TEL 042-573-7290

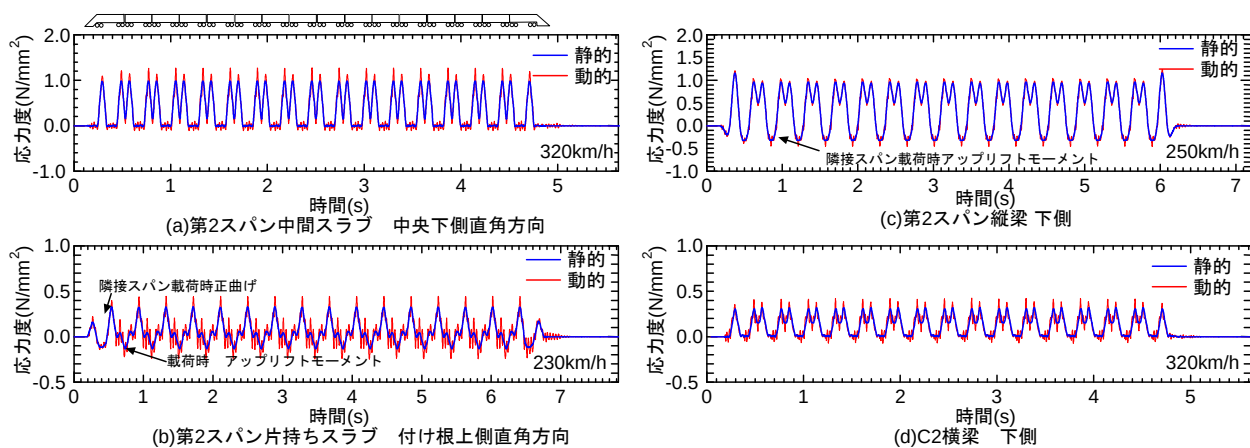


図3 時刻歴波形の例 (8m モデル)

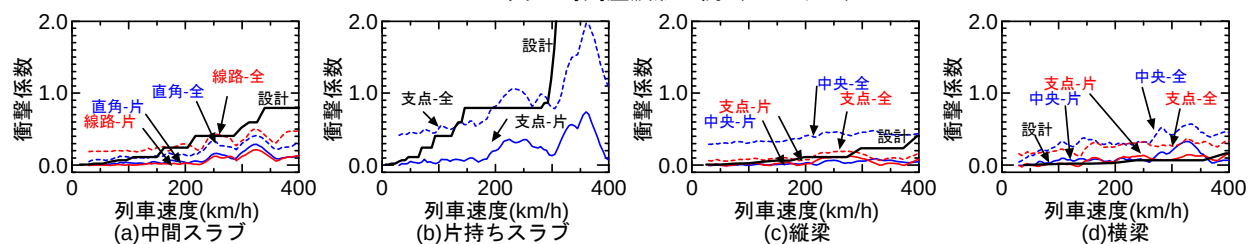


図4 列車速度が疲労振幅に及ぼす影響 (8m モデル)

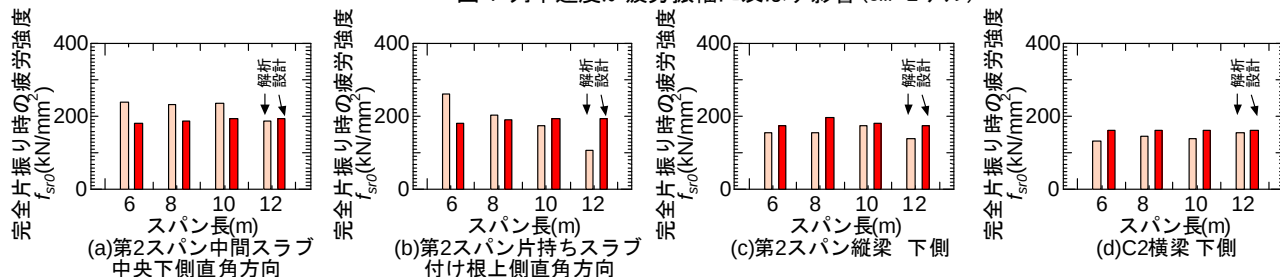


図5 各部材の完全片振り時の疲労強度に及ぼす影響 (最高列車速度 320km/h)

の影響がみられるが、横梁の固有振動数の高さ和他部材の振動波形から考えると、中間スラブや片持ちスラブなどの振動成分が、横梁に影響を及ぼしていると考えられる。

(2) 列車速度が及ぼす影響 図4に列車速度が疲労振幅に及ぼす影響を示す。図中の縦軸は設計標準における動的応答の評価方法と整合をとるために、衝撃係数 i で表している。図中の凡例「片」は通常の衝撃係数を、「全」は動的な応力全振幅を静的な応力片振幅で除して1を減じている。図中の片振幅についてみれば、いずれの応力成分も大きな共振増幅はみられない。ただし横梁においてのみ、微少な値ではあるが解析衝撃係数が設計衝撃係数を超えている。これは前述のように、中間スラブや片持ちスラブなどの振動成分が、横梁に影響を及ぼしていることが原因と推察される。図中の全振幅についてみれば、幾つかの応力成分で静的な列車速度レベルで既に大きな応答となっているものが見られる。これは図3でも述べたように、設計で慣用的に無視されてきたアップリフト成分による応力増である。

(3) 性能照査に及ぼす影響 図5に各部材の完全片振り時の疲労強度に及ぼす影響を示す。設計荷重と実車の軸重比は1.6、設計耐用期間は100年、列車本数は200本/日とした。使用鋼材は、スラブ D13、梁 D32と仮定した。同図は、応答値の差異を限界値の低減に換算して算出しているため、設計(赤棒)が解析(薄い赤)を下回っていれば安全側となる。中間スラブは何れの場合も設計が概ね安全側となった。片持ちスラブと縦梁では、設計では考慮していない静的なアップリフトにより完全片振り時の疲労強度 f_{s0} が低下した。横梁では、他部材からの動的な影響により完全片振り時の疲労強度 f_{s0} が若干低下した。

4. まとめ 限られた数値解析の範囲ではあるが、本研究では、ラーメン高架橋の各部材の疲労性状に関して俯瞰した。本研究の成果を踏まえより合理的な疲労照査法を構築していきたいと考えている。

参考文献 1)曾我部正道, 松本信之, 藤野陽三, 涌井一, 金森真, 宮本雅章: 共振領域におけるコンクリート鉄道橋の動的設計法に関する研究, 土木学会論文集, No.724/I-62, pp.83-102, 2003 2)松岡弘大, 貝戸清之, 渡辺勉, 曾我部正道: 走行列車荷重を利用した RC 鉄道高架橋の部材振動の同定と動的挙動の把握, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.67, No.3, pp.545-564, 2011 3)鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 (コンクリート構造物), 2004