

高速鉄道における複線すれ違いを考慮したコンクリート構造物の疲労設計法

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○後藤 恵一

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 曾我部 正道

1. 目的 現行の設計では、駅部を除く複線構造物に対しては、上下線で単線載荷のみが生じるものとして鋼材の引張疲労強度を算出しているが、列車ダイヤの交差部の構造物については、実際には複線すれ違いが発生し、それに起因して鋼材の引張疲労強度が低下することが懸念される。そこで本研究では、動的な複線すれ違いが鉄道コンクリート構造物の耐疲労性能に及ぼす影響を数値解析により検討した。

2. 検討方法 図-1 に複線すれ違いの影響を考慮した鋼材の完全片振り時の引張疲労強度の算定フローを示す。まず、現行設計¹⁾で用いられる構造物の動的な応答を無視した影響線、または構造物の動的応答を考慮した動的解析により得られる応答波形を基に、図-2 に示すように基準時間となる列車ダイヤからのシフト量と荷重分担率に応じた複線すれ違い波形を算出する。次に、図-3 に示すように列車ダイヤからのシフト量を正規分布と仮定し、これを着目側線と非着目側線の列車について掛け合わせることで、図-4 に示す列車ダイヤ交差部における複線すれ違いの確率密度曲線を算出する。最後に、算出した複線すれ違い波形と複線すれ違いの確率密度曲線を組み合わせることで、複線すれ違いを考慮した鋼材の完全片振り時の引張疲労強度を算出する。

ここで、動的解析には、列車を非振動の定荷重とみなす線路構造物の汎用解析構造解析プログラム DIARIST²⁾を用いた。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。また、列車速度は新幹線の一般的な設計速度である 260km/h とした。構造物はスパンを 5m~50m とし、FEM 梁要素によりモデル化した。各構造物の固有振動数については、共振時を検討するために 260km/h で極力低次の共振速度となるように設定した。数値解析法はモーダル法(考慮モード数 40 次)を用い、減衰定数 ξ は 2%とした。本検討では、応答波形として各構造物のスパン中央の曲げモーメントに着目した。なお、ここで用いた数値解析法は、詳細な時刻歴波形レベルに至るまで十分な精度を有することを、実測との対比において既に確認している²⁾。また、列車ダイヤからのシフト量に対する確率密度は、新幹線の駅通過時の許容誤差が一般的に 15 秒程度であることから、これを参考に標準偏差 σ が 15 秒の正規分布とした。

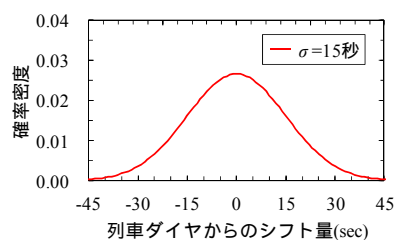
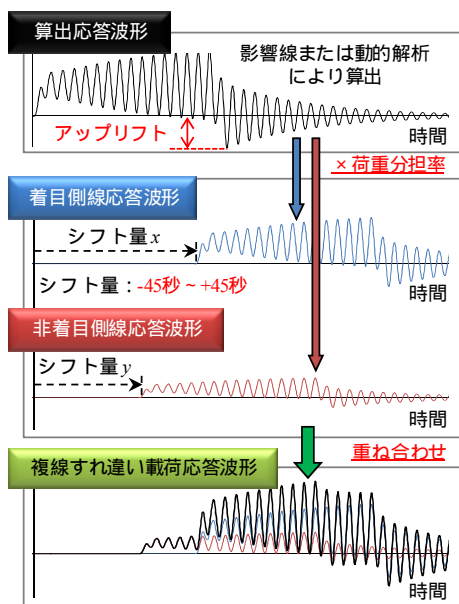
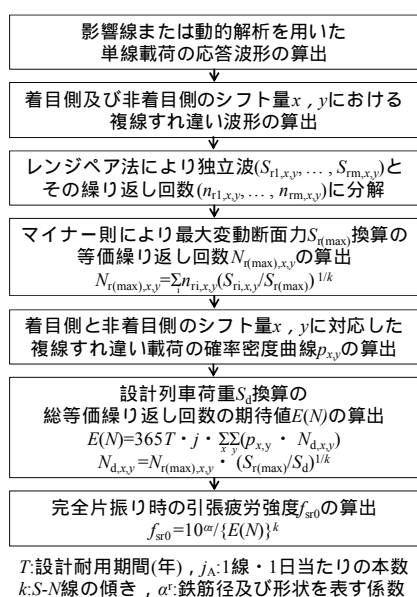


図-3 シフト量と確率密度の関係

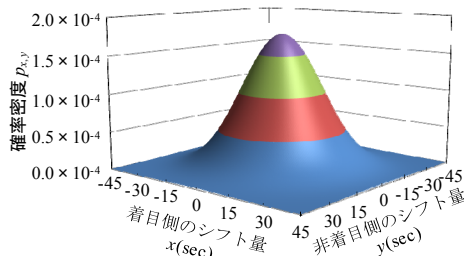


図-4 複線すれ違いの確率密度

図-1 引張疲労強度の算定フロー

図-2 複線すれ違い波形の算出概念図

キーワード：疲労設計，高速鉄道，共振，複線すれ違い載荷，数値解析，複線同時載荷確率

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部 構造力学 TEL:042-573-7290

3. 検討結果 図-5 に複線すれ違いの時刻歴波形の例として、スパン L_b が 5m 及び 25m, 基準時間からのシフト量 x と y がともに 0 となる場合を示す。同図は、影響線と動的解析を比較する形で示し、疲労振幅比及び繰返し回数も併せて示す。ここで、疲労振幅比とは、アップリフトによる最大変動断面力の増加率を表す。図-5(a)(b)にスパン $L_b=5\text{m}$ の場合を示す。影響線は台車の通過時間に支配される波形、動的解析は 4 次共振波形である。疲労振幅比に関して、動的解析ではアップリフトにより 1.7 に増加した。鉄筋($k=0.12$)での繰返し回数に関して、影響線では 25.4 回、動的解析ではアップリフトの影響により 11.3 回に半減した。図-5(c)(d)にスパン $L_b=25\text{m}$ の場合を示す。影響線は連結器をまたぐ 2 台車の通過時間に支配される波形、動的解析は 1 次共振波形である。疲労振幅比に関しては、動的解析では 1.8 となり両振りに近い結果となった。鉄筋の繰返し回数に関して、影響線では 1.13 回、動的解析では固有振動の重畳により 4.46 回に増加した。

図-6 に複線すれ違いが完全片振り時の引張疲労強度に及ぼす影響に関して、影響線と動的解析の結果を示す。同図には比較対象として、現行設計において単線载荷のみが生じる場合(複線同時载荷確率 $b=0$)、及び複線同時同方向载荷のみが生じる場合(複線同時载荷確率 $b=1$)の結果も示す¹⁾。図より、複線すれ違いの結果が、単線载荷と複線同時同方向载荷の間に位置していることが分かる。単線载荷に対する複線すれ違いの疲労強度の低下率は、動的解析よりも影響線の場合に大きくなり、動的解析ではスパンに対してほぼ一定の低下率であるが、影響線ではスパンが長くなるほど低下率は大きくなった。また、動的解析では、共振の影響が大きくなる無次元化スパンの整数位置で疲労強度が大きく低下しており、疲労強度に対しては複線すれ違いの影響よりも共振の影響、つまりアップリフトの影響が支配的であることが分かった。

図-7 に複線同時载荷確率 b を調整することにより複線すれ違い考慮した完全片振り時の引張疲労強度にフィッティングを行った結果とその b の値を示す。動的解析の場合、全スパンにおいて複線同時载荷確率 b は 2% 程度であった。よって、衝撃係数を考慮するなど、動的解析の影響を加味できる適切な手法を用いた場合には、複線同時载荷確率 b は一般的に 0 としてよいと判断される。

4. まとめ 複線すれ違いの影響は、動的解析よりも影響線を用いた場合に大きく表れた。完全片振り時の引張疲労強度は複線すれ違いの影響よりも、アップリフトの影響が支配的であった。衝撃係数を考慮するなど、動的解析の影響を加味できる適切な手法を用いた場合には、複線同時载荷確率 b は一般的に 0 としてよい。

参考文献 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・解説(コンクリート構造物)，丸善，2004。2) 曽我部ほか：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。

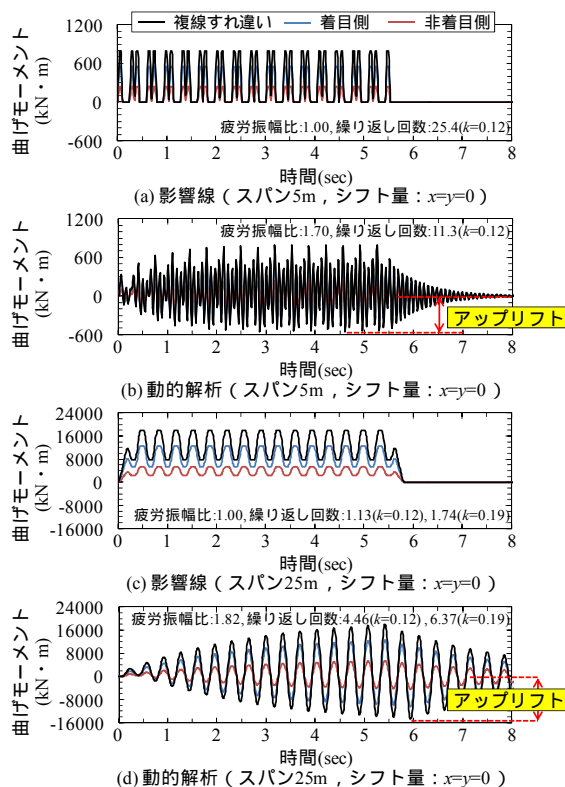


図-5 複線すれ違いの時刻歴波形の例

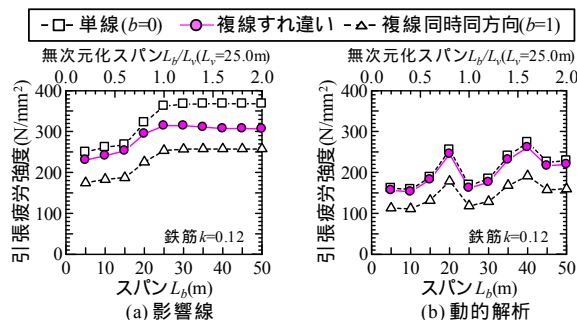


図-6 複線すれ違い，算出法が完全片振り時の引張疲労強度に及ぼす影響

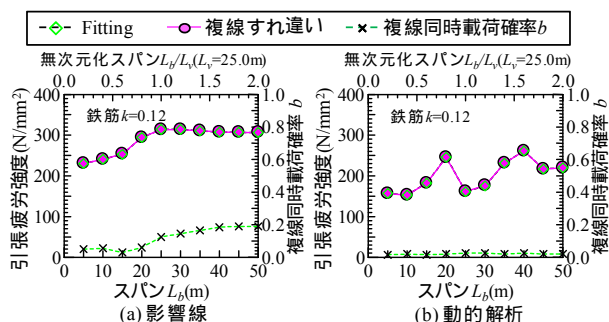


図-7 フィッティングした完全片振り時の引張疲労強度と逆算した複線同時载荷確率