

鉄道運行情報を活用した鉄道構造物の累積疲労損傷度の推定手法

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○徳永宗正 後藤恵一 曾我部正道

東日本旅客鉄道株式会社 築嶋大輔 杉田清隆

1. 目的 鉄道構造物には古いものも多く、在来線では 100 年の供用を超えるものも多数存在する。また、新幹線においても、供用期間は 50 年を超え、現在もなお高速化、増便が続いている。構造物は適切に維持管理されれば設計耐用年数を超えてもなお供用を続けることが可能であるが、供用期間中の疲労の累積は予測・発見が難しく、既設構造物の疲労累積度を評価するためには、現状では鉄筋などの部材を取り出し疲労試験を行う等の方法のみで、非破壊かつ定量的な評価手法の確立が望まれている。鉄道分野においては、一定期間毎に更新される標準ダイヤに基づき発車時刻、車両型式が規定されており、特に近年の新幹線においては乗車率等のデータベースも記録に残っている。これらの鉄道運行情報のビッグデータを活用し、支配因子を可能な限りモデル化することで、構造物が経験した荷重履歴をある程度の精度でモデル化できる可能性がある。本稿では、鉄道運行情報を活用した鉄道構造物の累積疲労損傷度の評価が可能なシミュレーション手法を開発し、既設新幹線構造物の累積疲労損傷度を評価した結果を示す。

2. 検討手法 図-1 に、本研究で開発したシミュレーションシステム全体構成概要を示す。CROSS においては、標準時刻表、標準ランカーブの情報を用いて、単線載荷、複線載荷となる編成を判定する。LOAD では、1 日の標準時刻表の中から、CROSS で判定された単線載荷、複線載荷それぞれに対し、実際の乗車率に基づき算出された軸重を用いて荷重列を作成する。この際に、実測に基づき、上下線駅の発車時刻を標準偏差 10 秒の正規分布による乱数にて、列車通過速度を標準偏差 15km/h の正規分布による乱数にてモデル化し、日々の運行のばらつきを考慮した。RESPONSE において、算出された荷重列を有限要素解析に導入し、構造物の動的応答を算出する。FATIGUE では、着目要素の応力の応答波形をレインフロー法にて応力範囲に分解し、図中の式で定義される累積疲労損傷度 $D^{3,4)}$ を評価する。

対象線区は、供用 19 年程度の既設新幹線の駅間 18420m 程度の線区とした。対象構造物は、支間 29.2m の標準 PRC 桁で、18420m の区間内に 1000m 毎に 19 基配置されていると仮定し、構造物の位置が疲労損傷度に及ぼす影響を調査した。構造物は、鉛直 1 次モード固有振動数が 2.8Hz、モード減衰比が 2% である線形梁要素を用いてモデル化した。

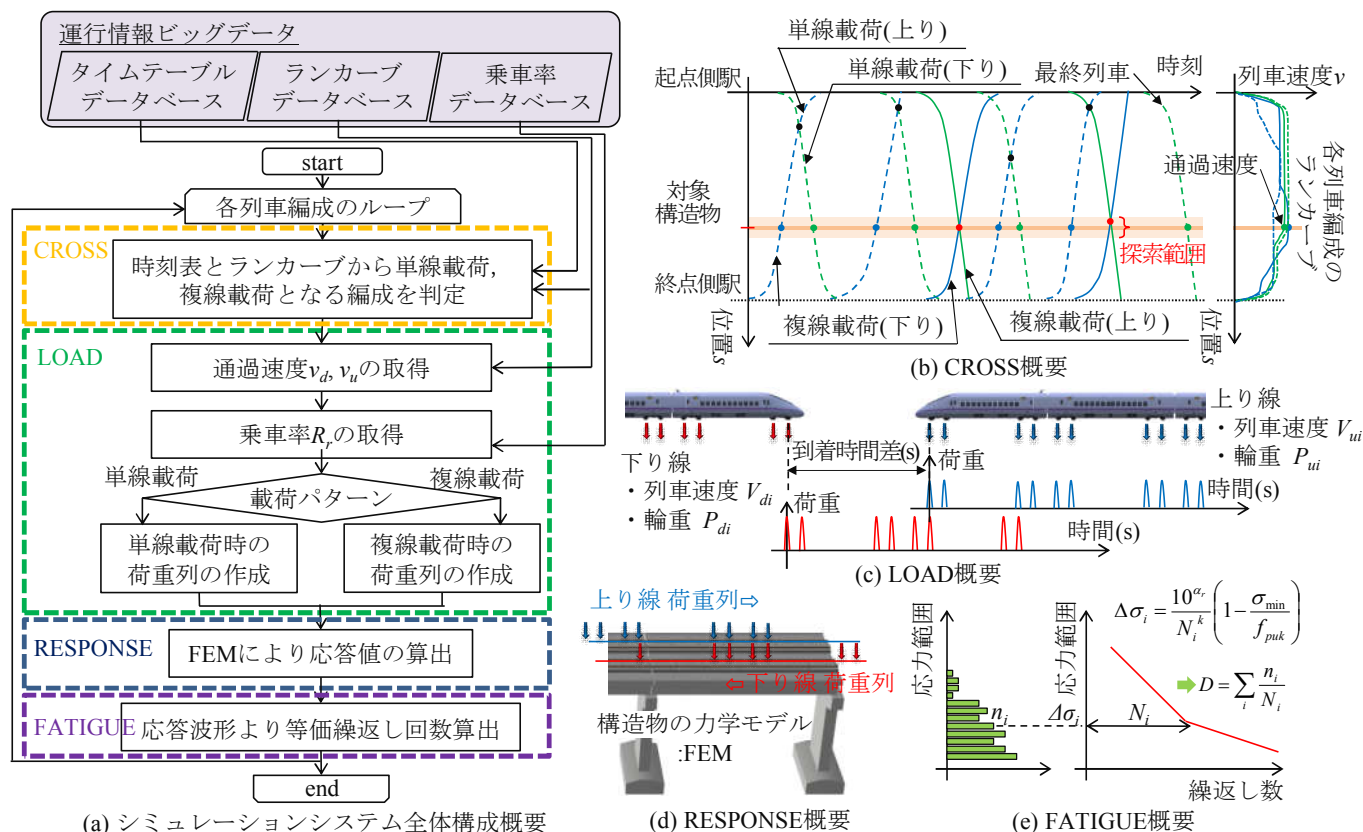


図-1 シミュレーションシステム全体構成

キーワード：鉄道運行情報、ビッグデータ、PRC 桁、累積疲労損傷度、共振、複線載荷

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 構造力学研究室 TEL:042-573-7290

累積疲労損傷度の算出にあたり、着目箇所は最下縁 PC 鋼材の応力度とし、設計値に基づき、PC 鋼材の引張強度 f_{pk} は 1900N/mm^2 、最小引張応力度 σ_{min} は 1100N/mm^2 、上下線の荷重分担率は7:3とした。累積疲労損傷度の推定値 D_r の算出にあたり、列車編成は供用期間に実際に適用された標準時刻表、標準ランカーブ、乗車率を用い、19年程度で48万編成のモデル化を行った。列車は上下各30~40本/日、編成数は8もしくは12両編成、乗車率は5~195%、列車の通過速度は20~260km/hであった。

3. 解析結果 図-2に、CROSSにより算出した上下線の列車の進入時間が一致し完全複線載荷となる交差回数を示す。交差回数は、19年の供用期間に30m毎の区間に発生した総回数である。図から、標準時刻表が改訂されると共に、交差が発生する位置が変化する傾向が確認できる。また、19年間の間に発生する交差回数は位置により明確に異なり50~400回程度、つまり年に3~20の間でばらつくことが分かる。両端に交差回数が多いのは、停車車のために低速度となり、滞在時間が長くなるためと考えられる。

図-3に、FATIGUEにより算出された対象線区の1000m毎の位置における累積疲労損傷度の推定値 D_r と位置の関係を示す。図から、距離程が5000~15000m程度の区間で D_r が17~19年にかけて急激に大きくなっていることが分かる。これはダイヤ改正により列車本数が大幅に増加したことが影響していると考えられる。また、位置に依存して D_r の値が0.0002~0.05の範囲で大きく変化し、13000m地点(A点)においては完全複線載荷の回数が少ないにも関わらず D_r が大きな値を示すことが分かる。設計手法¹⁾に基づく累積疲労損傷度の標準値 D_0 の算出にあたり、列車を上下各40本/日の12両編成、軸重を乗車率100%の仮定に基づき130kN、衝撃係数は設計速度である260km/hの一定値とする条件とした時、標準値 D_0 は0.23であり、 $D_r/D_0=0.01\sim0.20$ 程度であった。一般的には、実務設計ではより高頻度の列車通過、過大な軸重を設定する。

図-4に、A、B点における応力範囲および列車通過速度の発生頻度を示す。図から、A点においては、通過列車の速度分布が比較的高い領域にあり、複線載荷より発生する応力範囲も高い範囲に有ること分かる。一方、B点においては駅が近いことから通過速度が広範囲に分布しており、A点と比較して高い応力範囲の分布が少ないことが分かる。これらから、複線載荷が累積疲労損傷度に及ぼす影響は限定的で、列車通過速度の影響が大きいことが分かる。

4. まとめ 本稿では、鉄道運行情報を活用した鉄道構造物の疲労損傷度評価が可能なシミュレーション手法を開発し、新幹線実線区の構造物の累積疲労損傷度を評価した。開発した手法に基づき、対象線区について過去40万編成の列車走行を解析した結果、累積疲労損傷度は設計手法に基づいた標準値の0.01~0.20程度であること、上下線の列車の進入時間が一致する完全複線載荷が発生する回数は年に3~20回と、位置に依存して大きく変化するが複線載荷が累積疲労損傷度に及ぼす影響は限定的であること、列車通過速度が累積疲労損傷度に及ぼす影響が大きいことが明らかとなった。

参考文献 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）、丸善、2004。2) 後藤恵一ら：高速すれ違いを考慮した鉄道コンクリート構造物の疲労設計法、土木学会論文集 A2(応用力学)、Vol. 68, No. 2 (応用力学論文集 Vol. 15), I_741-I_750, 2012。3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（鋼・合成構造物）、丸善、2007。4) 小林裕介ら：鋼橋の複線同時載荷確率を考慮した疲労照査法、鉄道総研報告、Vol.23, No.5, pp.23-28, 2009。

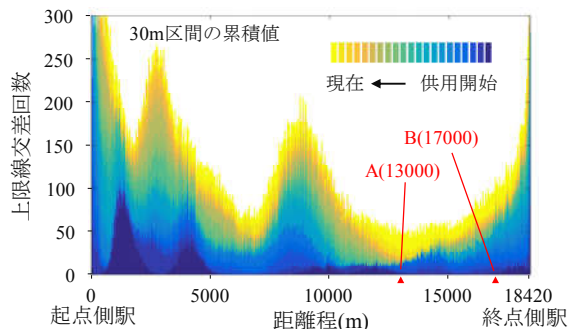


図-2 上下線の完全複線載荷の発生回数(総回数/19年)

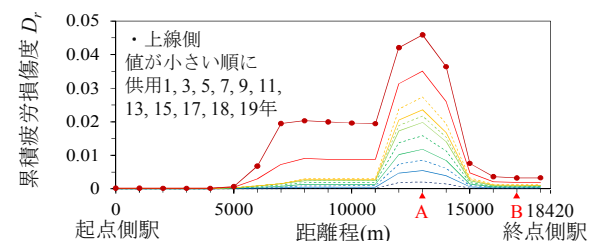


図-3 累積疲労損傷度の推定値 D_r と位置の関係

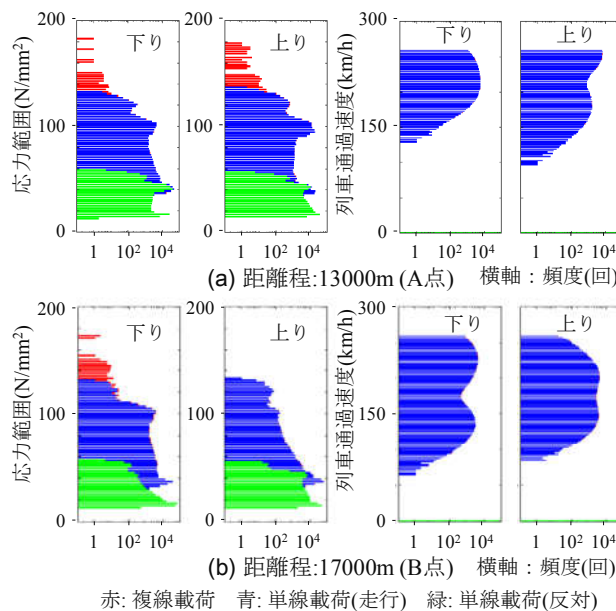


図-4 応力範囲および列車通過速度の発生頻度