

高速列車走行時における RC 単純梁の疲労に関する基礎的研究

法政大学 学生会員 ○山口 大地
法政大学 正会員 藤山知加子

1. 研究の目的

本研究の目的は、新幹線等の高速列車の繰返し走行が、鉄道構造物の疲労損傷に与える影響を3次元非線形 FEM 解析により明らかにすることである。既往の研究¹⁾でも、列車の繰返し走行が構造物の耐疲労性能に及ぼす影響が指摘されている。そこで、本研究では解析と実験の両面から高速列車走行が RC 梁の疲労寿命に与える影響について検討を行う。そのうち本稿では、解析のみ報告を行う。

2. 解析モデル

2.1 概要

本研究の解析で用いる RC 梁モデルの寸法を図-1 に示す。後日実験で破壊形態を確認するため、耐荷力が試験機的能力下回るように設計を行っている。荷重位置には荷重板、拘束位置に支え承板を設置した。

2.2 物性値および拘束条件

物性値はコンクリート標準示方書²⁾に基づき、コンクリート強度 27N/mm^2 、鉄筋およびスターラップの降伏強度を 345N/mm^2 とした。RC 梁モデル上面のコンクリート要素と荷重板の境界には境界面要素を用いた。拘束条件は単純支持とし、RC 梁モデル底面に支承板を配置し、モデル両端から 0.5m の位置にあたる上下の節点を鉛直方向のみ拘束した。

3. 静的解析

RC 梁モデルを用いた静的解析により変形挙動、破壊形態の確認を行った。荷重条件は、変位制御とし、30 秒ごとに 0.5mm ずつ、計 100mm 鉛直変位を与えた。解析で得られた荷重-変位関係と主ひずみ分布図を、図-2、図-3 に示す。図-3 の変形および主ひずみ分布より RC 梁モデルは曲げ先行後、斜めせん断破壊と判断された。

4. 動的解析

4.1 荷重条件

荷重は新幹線の軸重である 160kN を、RC 梁上面の 3 点に時間差で載荷することで、走行荷重を再現した(図-4)。なお、輪荷重ではなく 3 点のみに載荷を行ったのは、実験と比較を行うため、実験設備の載荷方法に合わせたためである。

4.2 固有値解析

固有値解析を行った。その結果、RC 梁モデルの固有振動数を 1 次振動モード、2 次振動モードそれぞれ 18.8Hz 、 75.1Hz となった。これより共振速度³⁾を式 $V = f \times L_v$ を用いて算出した。その結果、共振現象を考慮した速度を 288km/h 、 160km/h と設定した。また、新幹線走行速度と同様の 320km/h 、その $1/10$ の速度の 32km/h の 4 つの速度パターンよりその後の動的解析を行った。

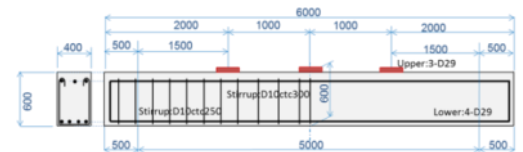


図-1 梁寸法

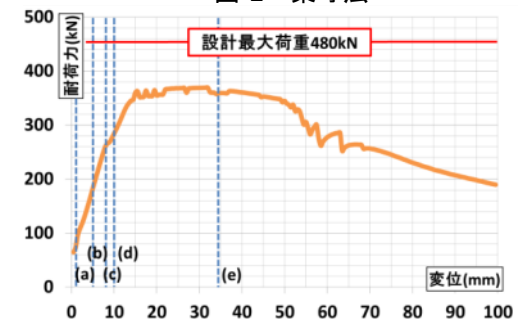


図-2 荷重-変位関係

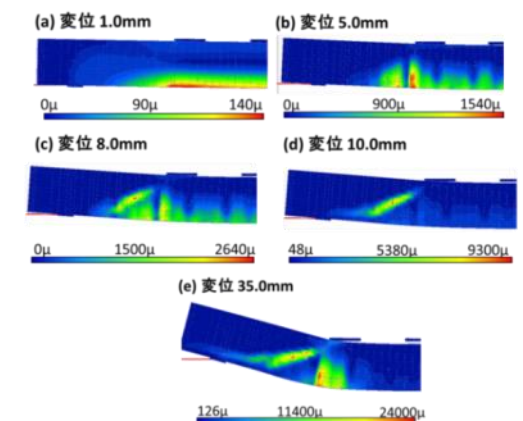


図-3 変形図(倍率 10 倍)、主ひずみ分布

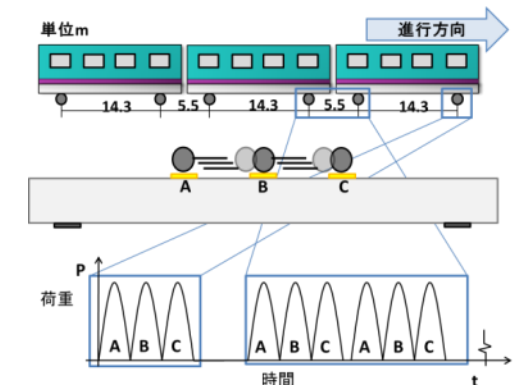


図-4 動的解析における荷重の概要

キーワード FEM 解析 高速列車走行 疲労解析 共振速度 動的載荷 応力振幅 疲労強度
連絡先 〒162-0843 東京都新宿区田町 2-33 TEL 03-5228-1406

4.3 材料強度に基づく疲労寿命の検討

疲労破壊に対する照査のため着目した要素を図-5に示す。疲労寿命はコンクリート標準示方書²⁾より、それぞれの着目要素に関し、圧縮応力、引張応力、スターラップの引張応力に着目して算出した。

図-6に、速度別の主応力-時間関係、図-7に材料強度より算出した疲労寿命と速度の関係を示す。図-6より速度が32km/hから320km/hに上昇すると応力の最大振幅が1.5倍に増加していることが分かる。これより速度の上昇が応力振幅の増加に影響しており、疲労寿命に影響を与えることが分かった。しかしながら、最も早く疲労破壊するのは288km/hであった。これは、共振現象の影響と考えられる。

4.4 構造解析に基づく疲労寿命の検討

図-8に速度別のたわみ-繰返し回数関係、図-9に構造解析より算出した疲労寿命と速度の関係を示す。疲労寿命は、梁中央底面・鉛直方向の変位が20mmに達した時の載荷回数とした。この判定基準のもとでは、32km/hでは10万回繰返し走行を行っても破壊に至らなかったのに対して、320km/hでは、繰返し走行18回目で破壊に至った。4.3と同様に速度が上昇するとともに疲労寿命が短くなることが分かった。

4.5 疲労破壊に対する照査手法の比較

材料強度に基づき算出した疲労寿命と構造解析に基づき算出した疲労寿命について比較検討を行った。速度-疲労寿命関係を図-10に示す。なお、図-10には4.4で破壊基準としたたわみ20mmに加えて50mmとした場合の結果も記載する。材料(要素)レベルでは、疲労寿命は最低でも 10^8 回の繰返し回数に達しているのに対して、構造全体で判断すると材料で判断した結果より早く疲労寿命を迎える傾向がある。これは、材料強度の照査で着目した材料以外の材料においてもひび割れ等の損傷が発生していたためと考えられる。

5. 結論

- (1) 列車走行の速度が高速になるにつれて、材料、構造解析のどちらにおいても、疲労寿命が短くなった。
- (2) 共振速度288km/hでは、材料強度に基づく照査、構造解析に基づく照査のどちらにおいても、最も疲労寿命が短くなった。
- (3) 疲労寿命算定法で求めた材料の疲労寿命に比べて、構造解析による疲労寿命は短くなる傾向にあることが分かった。

引き続き、実験により上記の知見の検証を行う予定である。

謝辞：本研究はJSPS科研費 No. 24686054の助成を受けた。また、本研究を進めるにあたり、Heriot-watt大学のSuryanto.Benny教授に貴重なご意見をいただいた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 曾我部ら：高速列車走行が構造物の耐疲労性能に及ぼす影響，鉄道総研報告，Vol.26，2012
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書・設計編，2007
- 3) 渡辺ら：RC ラーメン高架橋の衝撃係数に関する解析的検討，鉄道総研報告，Vol.24，2010



図-5 着目要素

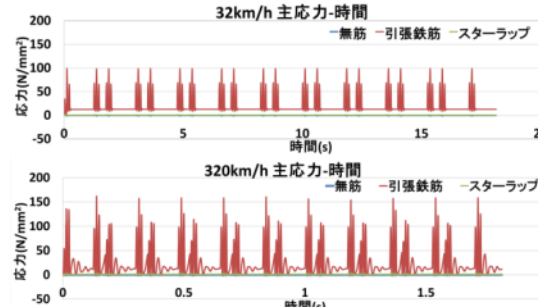


図-6 主応力-時間関係

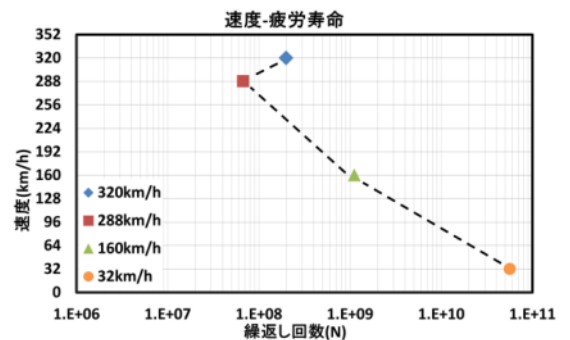


図-7 速度-疲労寿命関係(材料)

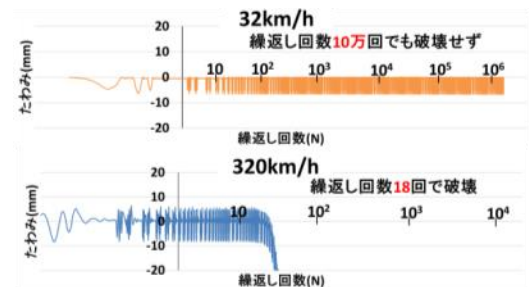


図-8 たわみ-繰返し回数関係

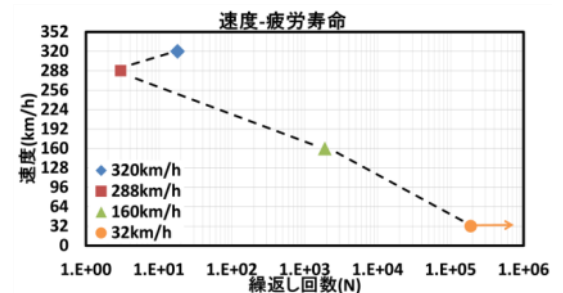


図-9 速度-疲労寿命関係(構造解析)

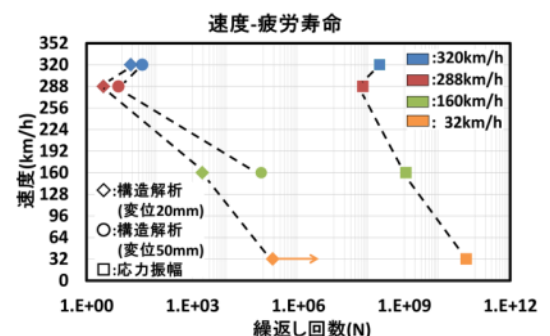


図-10 速度-疲労寿命(比較)