車種を考慮した道路橋の活荷重シミュレーション

中央大学　学生会員　○宮本　祥佳　中央大学　正会員　佐藤　尚次

1. はじめに

我が国では，高速道路の整備が高度経済成長期に集中的に行われてきた．平成 25 年度末における供用 30 年以上の路線の割合は約 4 割を占める．橋梁についても，供用開始から約 4 割が 30 年以上経過しており [1], 2030 年には 8 割まで増えると予測されている．特に，首都高速道路においては約 2 割の路線が供用開始から 50 年以上経過している．更に，これらの道路は設計当初に予想されていたよりも過酷な使用条件のもとで長期に渡り使用されているため，経年劣化・損傷が顕在化している．

中でも、近年は大型車交通量、車両総重量の増加や総重量超過の法令違反車両により，活荷重の繰り返し荷重による疲労は深刻な問題になっている．2006 年 10 月に三重県亀山市～奈良県天理市の一般国道 25 号の山添橋において，点検時に主桁に 1m におよぶ亀裂が発見された [2]．安全確保のために通行止めと応急対策が実施された．定期点検により亀裂は発見されたものの，発見が遅ければ亀裂進行により疲労破壊に至った可能性も考えられる．日本では大事故に至った例はないが，平成 14 年 3 月の道路橋示方書改正まで，鋼床版以外の直接荷重を受けない部位の疲労については未考慮であったため，局部的には数多くの疲労亀裂が報告されている．

2. 研究目的

様々な疲労損傷の事例が報告されるなか，鋼道路橋の疲労損傷については交通条件，構造条件などにより損傷傾向，原因及び対策方法が異なる場合が多い．これらの事例に対する調査・診断・対策技術の体系化を図ることが重要と考えられる．

中でも，国土交通省で実施された定期点検において，亀裂を有する橋梁のうち，鋼 I 桁橋・箱桁橋が 88%と最も多い．本研究では鋼 I 桁橋を対象とし，実際に発生する応力をかけた時にどの部材にどのような影響を及ぼすのか，解析を行う．実際に発生する応力として，特定のレーンに大型車が集中した場合を考える．高速道路において，大型車の制限速度・スピードリミッターの上限は共に乗用車より遅いため，左車線に大型車が多くなる傾向がある．そこでこの時，左車線と右車線の重量の違いが部材の疲労度に及ぼす影響を分析する．

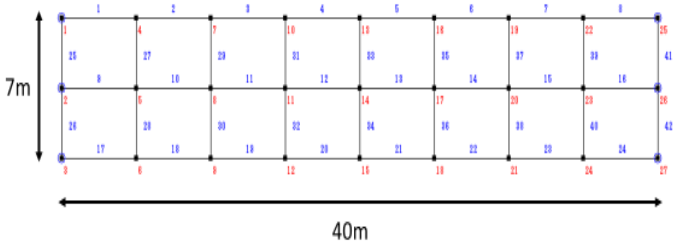

図-1　橋梁モデルの骨組図

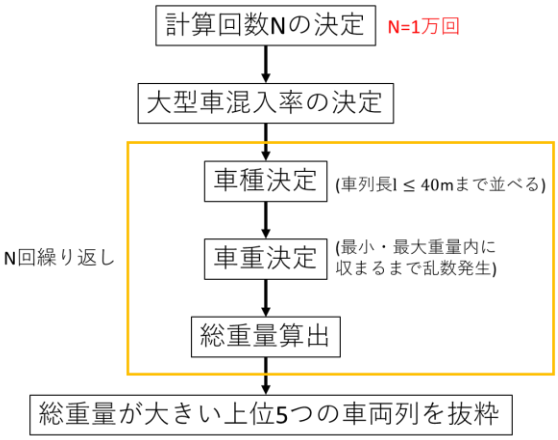

図-2　シミュレーションフロー図

表-1　自動車荷重モデル

車種		車両特性	軸重分布
乗用車		全長(m) 4.4 平均重量(t) 1.30 標準偏差 0.36	1軸目 50.2% 2軸目 49.8%
小型トラック		全長(m) 4.4 平均重量(t) 3.52 標準偏差 1.31	1軸目 23.9% 2軸目 76.1%
中型トラック		全長(m) 5.0 平均重量(t) 5.19 標準偏差 2.50	1軸目 19.6% 2軸目 80.4%
大型トラック		全長(m) 8.5 平均重量(t) 16.75 標準偏差 6.29	1軸目 14.1% 2軸目 54.8% 3軸目 31.1%
大型ダンプ		全長(m) 7.5 平均重量(t) 19.52 標準偏差 9.54	1軸目 11.7% 2軸目 44.3% 3軸目 44.0%
タンクローリー		全長(m) 8.0 平均重量(t) 13.82 標準偏差 8.31	1軸目 13.7% 2軸目 54.2% 3軸目 32.1%
セミトレーラー		全長(m) 14.0 平均重量(t) 24.78 標準偏差 12.92	1軸目 6.4% 4軸目 29.4% 2軸目 18.5% 5軸目 27.4% 3軸目 18.3%
大型バス		全長(m) 10.5 平均重量(t) 13.84 標準偏差 2.41	1軸目 50.2% 2軸目 49.8%

キーワード　活荷重シミュレーション，疲労寿命，格子解析

連絡先　〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27　中央大学　TEL：03-3817-1816

3. 解析方法

本研究では，対象とする橋梁モデルをスパン長40m，主桁が3本，横桁が9本の格子桁とする．梁のイメージ図を**図-1**に示す．今回は標準的な鋼I桁橋として，首都高速6号向島線の堤通付近の断面を採用する．構造解析では，川田テクノシステム株式会社の格子計算ソフトを用いる．本ソフトは平面格子構造物を変形法により解析し，影響線を用いて任意の着目点での橋面荷重による断面力・変位・支点反力を求めることができる．

3.1 活荷重シミュレーション

図-2に示すフロー図に従ってプログラムを組む．確率分布に従う乱数の発生により多数の車両列を生成して橋梁モデルに配置する．不規則要因は，車種・車長，車重とし，これらの条件は**表-1**および**表-2**に示す秋山らの研究[3)]から得られた数値を採用する．車種は乗用車，小型トラック，中型トラック，大型トラック，大型ダンプ，タンクローリー，セミトレーラー，大型バスの8種類を使用する．車重は**表-1**に示す車両特性データに従って，対数正規分布によりランダムに決定する．本研究では，渋滞時を想定しているため車間距離は1mとしている．今回は計算回数Nを1万回とする．例として大型車混入率60%の総重量分布を**図-3**に示す．また，総重量が大きい上位5つの車両列を抜粋し，その結果を**表-3**に示す．

3.2 構造解析

活荷重シミュレーションの結果より，総重量が大きい上位5つの車両列に注目し，単位荷重法による構造解析を行う．

3.3 レインフロー法

疲労寿命を評価するためにレインフロー法を採用する．レインフロー法とは，**図-4**に示すように横軸に応力，縦軸に時間をとる時系列波形を用いて，応力の発生回数をカウントするアルゴリズムである．大小さまざまな大きさで発生する応力振幅であるが，小さい応力は大きい応力に吸収して考えられるサイクルカウント法である．

3.4 疲労寿命評価

構造解析で得た曲げモーメントから応力を，レインフロー法より応力の振幅範囲と繰り返し回数を算出し，応力頻度解析と疲労損傷解析を行う．

4. おわりに

現時点では，疲労寿命評価にレインフロー法を採用する予定だが，ピーク法についても検討する．また，車線の問題を入れた複雑化を図るため，主桁と車線の位置関係や主桁の本数・車線数を増やした場合の解析も進める．

表-2 車種構成比

		大型車混入率				
		5%	20%	32.5%	40%	60%
小型車	乗用車	0.776	0.653	0.551	0.490	0.327
	小型トラック	0.174	0.147	0.124	0.110	0.073
大型車	中型トラック	0.020	0.081	0.131	0.161	0.242
	大型トラック	0.016	0.063	0.103	0.127	0.190
	大型ダンプ	0.005	0.018	0.030	0.037	0.056
	タンクローリー	0.003	0.011	0.017	0.021	0.032
	セミトレーラー	0.005	0.021	0.034	0.042	0.063
	大型バス	0.001	0.006	0.010	0.012	0.017

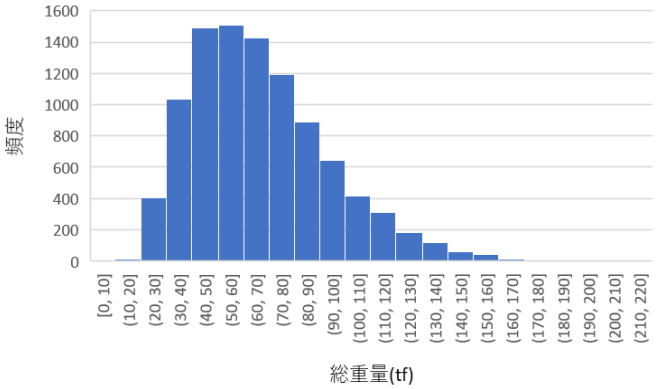

図-3 大型車混入率60%の総重量分布

表-3 総重量上位5つの車両列

大型車率	5%	20%	32.5%	40%	60%
総重量(tf)	135.2	157.6	174.7	179.2	213.5
	134.1	154.5	174.7	169.3	198.6
	128.6	148.8	171.1	167.5	193.3
	128.0	147.2	163.6	166.9	192.5
	126.6	144.6	162.4	166.4	185.2

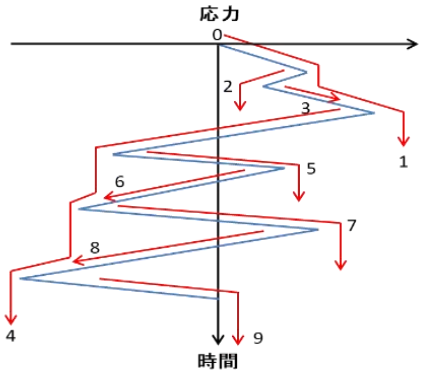

図-4 レインフロー法

参考文献・出典

1) NEXCO 東・中・西日本高速道路の更新計画について
2) 土木技術資料 51-10(2009)：鋼部材の疲労亀裂について -道路橋の主桁-
3) 秋山慎一郎，森猛：交通渋滞が疲労設計荷重・同時載荷係数に及ぼす影響，法政大学大学院デザイン工学研究科都市環境デザイン工学専攻修士課程，2012.3