

## 走行車両による直線二主桁橋の動的応答解析

Dynamic response analysis of simply supported straight twin I-girder bridges subjected to moving vehicles

北海道大学工学部環境社会工学科	学生員	太田慎也	(Shinya Ohta)
北海道大学大学院工学研究科	F 会員	林川俊郎	(Toshiro Hayashikawa)
北海道大学大学院工学研究科	正会員	松本高志	(Takashi Matsumoto)
北海道大学大学院工学研究科	正会員	何 興文	(Xingwen HE)

### 1.はじめに

走行車両による橋の動的応答についての理論的な調査は100年以上も前からなされている。近年までは質量や路面粗さのような影響を与える多くの要素を無視した単純モデルで行われていた。しかし近年ではコンピューターテクノロジーや解析理論の発展により、有限要素のような相互に区別された解析方法が構造解析に導入され、そして橋の応答への研究に対する主な解析方法となった。このため、橋 車両による相互作用が以前より現実的なものとなった。<sup>1),2),3)</sup>

橋 車両の相互作用に対する数値解析を扱った研究がある。<sup>4)</sup>この研究では、解析コストの減少への単純な数値解析のみならず、実質的に複雑さのレベルに限界なく橋 車両の応答を扱うことのできる手法を用いて動的相互作用が求められていた。また複数の桁を有する橋の動的応答についての他の論文では、異なったスパン長における重要な要因について述べられていた。<sup>3),5)</sup>この研究では、橋を格子状の梁と理想化し、車両は米国全州道路交通運輸行政官協会 (AASHTO)における活荷重であるHS20-44 車両を12自由度の非線形車両モデルとしていた。なお AASHTO とは、高速道路の規格に関する基準設定機関であり、アメリカ合衆国の高速道路はすべてこの協会が設定する規格に則って設計及び建設されている。さらにこの協会は、高速道路だけでなく、航空、鉄道、海上、その他あらゆる公共交通機関に関する規格の設定も行っている機関である。

これらのような多くの研究は橋 車両の相互作用への問題に対する理解に貢献をもたらした。

しかしながら、研究を第一の目的としたあまり進展のしていなかったプログラムを使用したこれらの研究のほとんどの解析は、それゆえ、橋のエンジニアに対して実用性を制限することとなった。

本研究では精巧な3次元有限要素モデルにANSYSを導入することでより精密な解析をする。このモデルは実質的に橋と車両の複雑さにかかわらず橋 車両の応答を考察することができる。図1のように車両走行位置(中央部から右へ2.1m)を決定、路面状態を4段階(very good, good, average, poor)に分類し、車両速度(30, 60, 90, 120km/h)を様々に変化させ、解析することを本研究の目的とする。

### 2. 対象橋梁と車両、解析ソフト

本研究で対象とする橋梁は全長50mであり、図1の通りである。また本研究では直線二主桁橋上で発進は

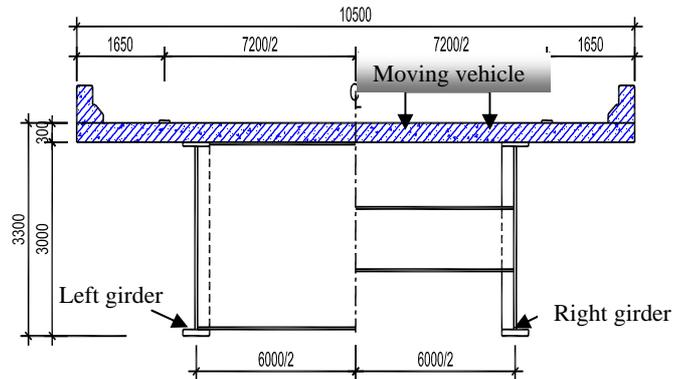


図 1 対象とする橋梁と車両走行位置

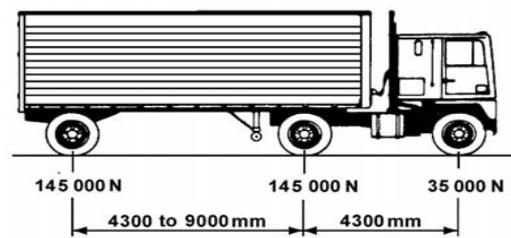


図 - 2 対象とする車両 (HS 荷重)

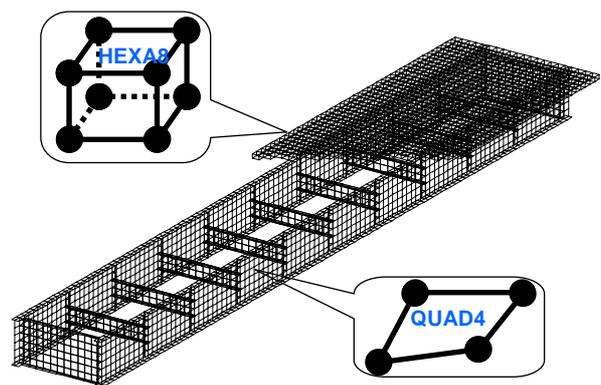
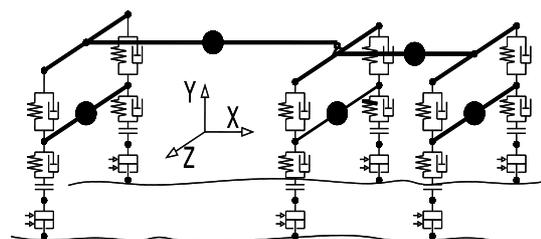


図 3 直線二主桁橋モデル



Finite element model  
図 - 4 車両モデル

しないという仮定なので、目的とする速度に達するために加速するための approach road を 40m とする。

米国全州道路交通運輸行政官協会 (AASHTO) により道路橋の活荷重が規定されており、H 荷重 (トラックを想定)、HS 荷重 (トレーラを想定) の二種類が設定されている。本研究では図 2 に示す HS 荷重を用いる。

これらの車両を図 3、図 4 のようにモデル化し、有限要素法を中心とする解析ソフト ANSYS を用いて図 1 における right girder 部、left girder 部の振動応答の解析を進める。

### 3. 動的増加率

動的増加率 (Dynamic Amplification Factor: 以下 DAF と略す) であり、動的たわみの振幅の度合いを表す。DAF は次式 で表される。

$$DAF (\%) = \left( \frac{R_{Dyn} - R_{Sta}}{R_{Sta}} \right) \times 100\% \quad \dots$$

本研究では  $R_{Dyn}$  を最大動的たわみ、 $R_{Sta}$  を最大静的たわみとし、DAF を利用して変数 (路面の粗さ、車両速度) における応答特性を検討する。

## 4. 解析結果

### 4.1 路面状態による応答

ここでは粗さによる影響について着目する。速度については最も速い 120km/h での結果を代表例とし、表面粗さを変化させた結果が図 5 (very good)、図 6 (good)、図 7 (average)、図 8 (poor) である。なお全長の 1/2 (25m 地点) におけるたわみである。

最大動的たわみを有する線が図 1 における right girder 部、もう一方を left girder 部であり、最大静的たわみを有する線が right girder、もう一方は left girder 部でのたわみ線である。

これらの結果から路面状態が悪いほど高次振動数が現れ、最大動的たわみについても大きくなるのがわかる。

### 4.2 速さによる応答

ここでは車両速度について着目する。路面状態については最も粗い poor での結果を代表例とし、速度を変化させた結果が図 9 (30km/h)、図 10 (60km/h)、図 11 (90km/h)、図 12 (120km/h) である。なお全長の 1/2 (25m 地点) におけるたわみである。

これらの結果からわかることは速度が遅いほど高次振動数が現れる。これは速度が遅いほうが橋を遅く渡るからである。また、速度が速いほど振幅が大きいと予想していたが、30km/h における振幅のほうが 60km/h、90km/h よりも大きい結果となった。これは橋と共振することによる結果と考えられる。

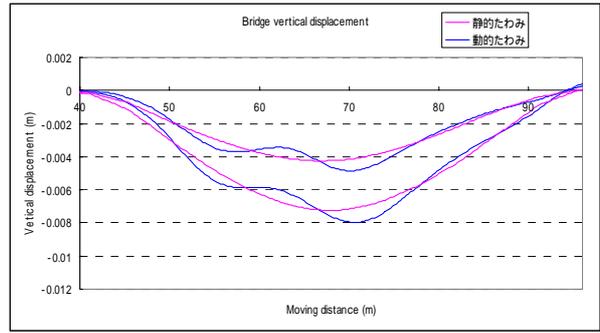


図 - 5 路面状態 very good 時での振動応答

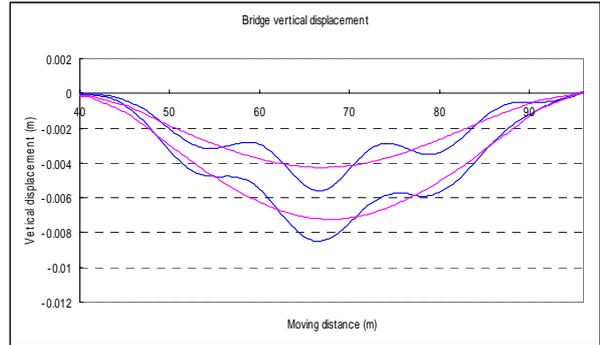


図 - 6 路面状態 good 時での振動応答

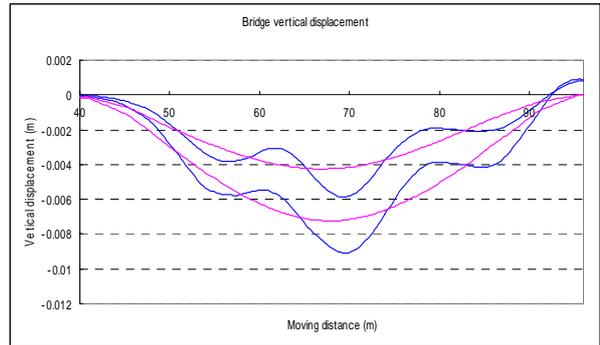


図 7 路面状態 average 時での振動応答

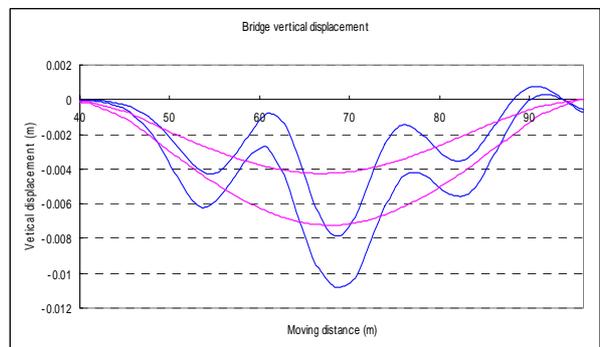


図 - 8 路面状態 poor 時での振動応答

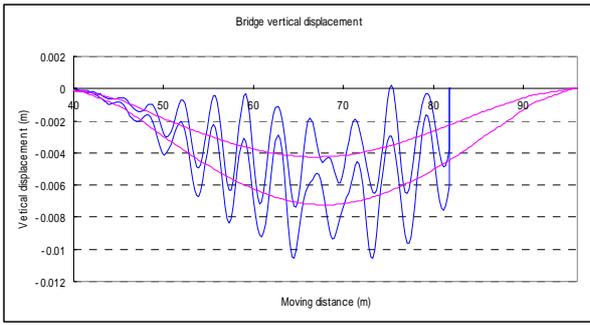


図 9 30km/h での振動応答

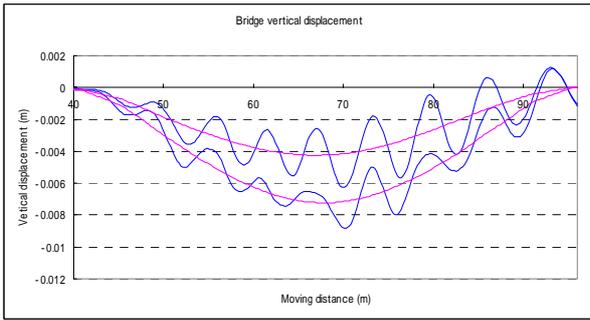


図 10 60km/h での振動応答

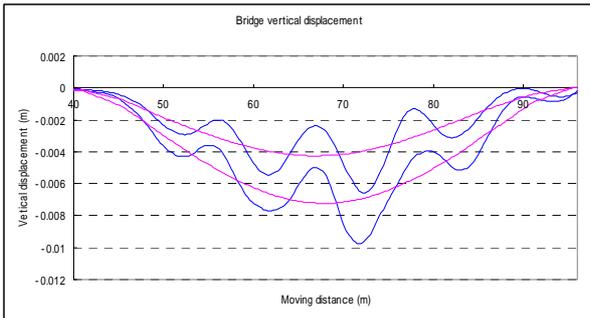


図 11 90km/h での振動応答

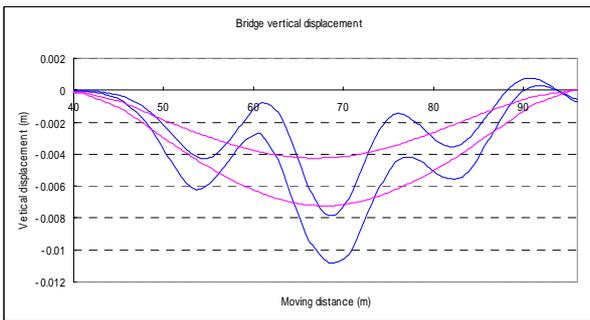


図 12 120km/h での振動応答

#### 4.3 路面状態、速度と DAF 値

得られた全てのデータから得られるそれぞれの最大動的たわみ、最大静的たわみを式に代入し、得られた DAF 値を表 - 1 に示す。表 1 の結果を用いて、横軸を路面状態、縦軸を DAF 値にとった、全ての速度における DAF の変化を表したグラフが図 - 13 である。

表 1 路面状態と速度における DAF 値

	30km/h	60km/h	90km/h	120km/h
Poor	46.1	31.9	21.9	48.0
Average	36.7	7.5	17.4	25.6
Good	13.6	13.8	4.4	17.1
Very good	5.5	2.3	10.3	9.9

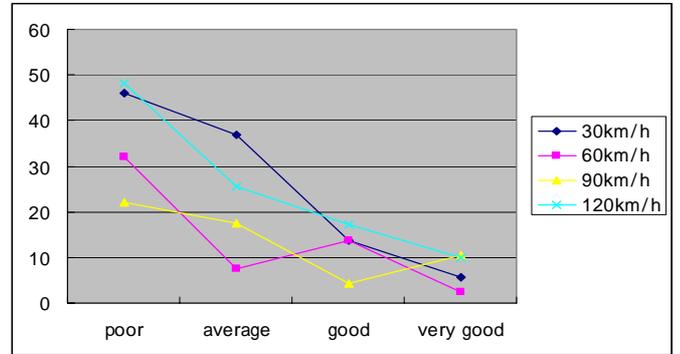


図 - 13 路面状態変化における DAF の変化

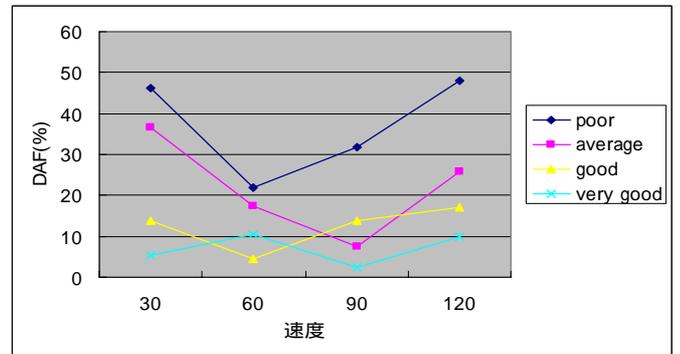


図 14 速度変化における DAF の変化

さらに得られたデータ(表 1)を元に横軸に車両速度、縦軸に DAF 値をとった、全ての路面状態における DAF の変化を表したグラフが図 14 である。

図 13、図 14 から比較的低速である 30km/h、60km/h における DAF グラフ波形、高速である 90km/h、120km/h における波形が似ており、さらに高速である 120km/h と低速である 30km/h における DAF 値は近似している。路面状態が良いときはあまり差異はないが、路面状態が悪いほど DAF 値も高くなる。

DAF は最大動的たわみの度合いを表しているので、図 5 ~ 12 までの動的応答の結果と対応できていた。

#### 5 まとめ

本研究では代表的な直線二主桁橋における解析結果を述べた。本研究におけるまとめを以下に示す。

- 1) 路面状態が悪いほど高次振動数が現れ、動的たわみも大きくなる。また路面状態が良いほど動的たわみが静的たわみに近づく。111111111
- 2) 速度が遅いほど高次振動数が現れ、動的たわみが静的たわみに近づく。
- 3) 高速である 120km/h での最大たわみはどの速度よ

りも大きかったが、低速である速度 30km/h のほうが中速である速度 60km/h、90km/h よりも最大動的たわみが大きくなった。

- 4) DAF グラフにおいて数値に隔たりはあるが、30km/h、60km/h における DAF グラフ波形、高速である 90km/h、120km/h における波形が似ており、さらに高速である 120km/h と低速である 30km/h における DAF 値は比較的近似している。
- 5) 路面状態が良いときはあまり差異はないが、路面状態が悪いほど DAF 値も高くなる。

今後は低速である 30km/h のほうが 60km/h、90km/h よりも振幅が大きい理由が共振であることを確認し、車両位置を変化させたり、曲線二主桁橋における動的応答特性を調べ、直線二主桁橋の結果と比較していく予定である。

#### 参考文献

- 1) Trong Le NGO-TRAN: Dynamic Response of simply supported twin I-girder bridges subjected to moving vehicles, Hokkaido University, 2009.
- 2) Hayashikawa, T., and Watanabe, N., Suspension bridge response to moving loads. Journal of Engineering Mechanics Division(ASCE), Vol.108 (6), pp. 1051-1066, 1982.
- 3) Wang, T.L., Huang, D., and Shahawy, M., Dynamic response of multigirder bridges. Journal of Structural Engineering, Vol. 118 (8), pp. 2222-2238, 1992.
- 4) Yang, Y. B., and Lin, B. H., Vehicle-bridge interaction analysis by dynamic condensation method. Journal of Structural Engineering, Vol. 121 (11), pp. 1636-1643, 1995.
- 5) Huang, D., Wang, T. L., and Shahawy, M., Impact analysis of continuous multigirder bridges due to moving vehicles. Journal of Structural Engineering, Vol.118 (12), pp. 3427-3443, 1992.