

トラック隊列走行による車間距離の違いが橋梁振動に及ぼす影響

筑波大学大学院 システム情報工学研究群 学生会員 ○佐久間 活機
筑波大学大学院 システム情報工学研究群 学生会員 金子 直樹
筑波大学大学院 システム情報工学研究群 学生会員 秦 涼太
筑波大学 システム情報系・助教 正会員 山本 亨輔

1. 研究背景

近年、数台のトラックを電子的に連結し、隊列走行車群を構成する技術¹⁾が開発中である。国土交通省は、2台目以降を無人とする3台以上の隊列走行を目指している。この取り組みによって、物流業界における深刻なドライバー不足の緩和・解決が期待される。加えて、省エネ効果²⁾もあるとされる。一方、トラックなどの重量車両は、一般車両と比べて、軸重が大きく、舗装や橋梁など道路構造物の疲労損傷を進行させやすい。特に、隊列走行によって、重量車両が集中的に走行する場合、橋梁の疲労蓄積速度がどのような影響を受けるか、検討する必要がある。

ここで、電子連結は、物理的連結よりも車間距離の調整が容易である。よって、車間距離を調整しながら、橋梁の疲労蓄積を遅らせる方策が考えられる。

そこで、本研究では、隊列走行車群と橋梁の数値計算モデルを作成し、隊列走行車群の車間距離が橋梁の動的応答に及ぼす影響を明らかにする。

2. 数値シミュレーション

車両と橋梁の数値計算モデルを図1に示す。この計算モデルでは、路面凹凸を考慮する。また、走行車両にはハーフカーモデルを採用した。隊列走行車群は、等しい力学パラメータを有するトラック3台または5台で構成されるものとする。速度・車間距離は共通である。車両と橋梁の力学パラメータを表1、表2に示す²⁾。

本研究では、既往の研究^{3)~6)}と同様の方法で数値シミュレーションを実施した。開始時刻は、先頭車両の前輪が橋の手前10mにある時点に設定し、12秒間の計算を行った。隊列車群が3台、5台のいずれの場合でも、すべての車両が橋梁を通過する。

表1 車両パラメータ

パラメータ名称	記号	値	単位
車両質量	m_s	1.620×10^4	kg
前輪ばね下質量	m_{u1}	7.000×10^2	kg
後輪ばね下質量	m_{u2}	1.100×10^3	kg
前輪ばね減衰	c_{s1}	1.000×10^4	kg/s
後輪ばね減衰	c_{s2}	2.000×10^4	kg/s
前輪ばね剛性	k_{s1}	4.000×10^5	N/m
後輪ばね剛性	k_{s2}	1.000×10^6	N/m
前輪タイヤ剛性	k_{u1}	1.750×10^6	N/m
後輪タイヤ剛性	k_{u2}	3.500×10^6	N/m
慣性モーメント	I	9.346×10^4	kg・m ²
ホイールベース長	D	4.750	m
重心と前軸との距離	d_1	2.375	m
重心と後軸との距離	d_2	2.375	m
総質量	M_{total}	1.800×10^4	kg

表2 橋梁パラメータ

パラメータ名称	記号	値	単位
スパン長	L	35	m
単位長さ当たり質量	ρA	2.175×10^4	kg/m
ヤング係数	E	35×10^9	N/m ²
断面二次モーメント	I	3.416	m ⁴
レイリー減衰 (質量比)	α	0.9067	
レイリー減衰 (剛性比)	β	6.353×10^{-3}	
要素数		20	

3. 結果と考察

本研究では車両台数3、5台、車間距離 d_v は5、8、10mとして、走行速度は10m/sとした。

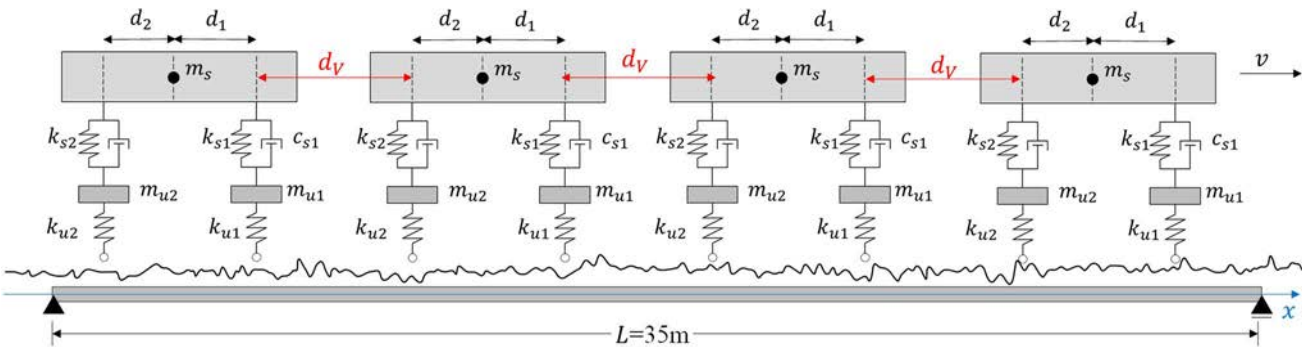


図1 車両 - 橋梁相互作用モデルの概略図

キーワード structure health monitoring, vehicle-bridge interaction, 橋梁振動, 隊列走行, 車間距離

連絡先 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

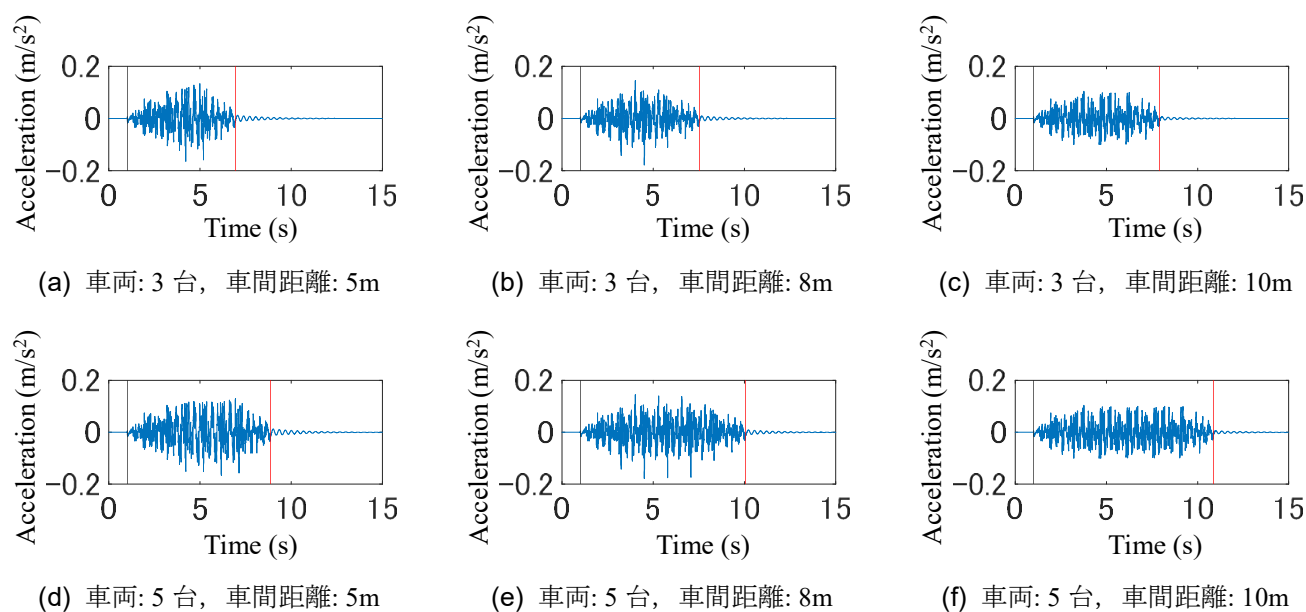


図 2 隊列車群によって励起された橋梁振動

表 4 1 台走行時に対する橋梁の最大たわみ比

最大たわみ比	5m	8m	10m
3 台	2.232	1.774	1.558
5 台	2.366	1.774	1.558

表 5 1 台走行時に対する橋梁の最大加速度比

最大たわみ比	5m	8m	10m
3 台	1.957	2.114	1.231
5 台	1.969	2.114	1.231

数値シミュレーションによって得られた橋梁支間中央部の加速度振動波形を図 2 に示す。黒線は 1 台目の前輪が橋梁に進入した時間、赤線は最後尾車両の後輪が橋梁を退出した時間を示す。全車両が橋梁を退出後、自由減衰振動が確認できる。

表 3、4 に橋梁の最大たわみ比と最大加速度比（絶対値）の結果を示した。これは、同条件で車両 1 台が橋梁を通過した際の最大たわみ、最大加速度をそれぞれ 1 とし、比を求めたものである。

表 3 より、車間距離が小さいほど、橋梁中央部のたわみは大きくなった。これは、車間距離が小さければ、同時により多くの車両が橋梁上を通過するようになるためである。また、各車軸から支間中央部への距離も短くなり、軸重荷重の集中的な作用が生じることも原因として挙げられる。隊列車両数が 5 台の場合、車間距離を 5m から 10m に変えることで、35%程度最大たわみが軽減される。一方、表 4 より、橋梁中央部の加速度振動は、車間距離が 8m の場合に最大となった。

最大たわみおよび最大加速度は、ともに車間距離の影響が大きく、車両台数の影響は少なかった。これは、同時に橋梁上に存在できる車両数には限界があるためだと考えられる。

4. まとめ

- 本研究で得られた知見を以下にまとめる。
- (1) 隊列走行の車間距離を大きくすることで、橋梁中央部に生じる最大たわみを抑制できる。
 - (2) 隊列走行の車間距離を大きくしても、橋梁の最大

加速度が、必ずしも小さくなるわけではない。

- (3) 橋梁に同時に進入できる車両数には限りがあるため、車両台数は最大たわみ、最大加速度にそれほど影響を与えない。

ただし、橋長とホイールベースDを変化させて、より一般的な検討が必要である。

5. 参考文献

- 1) 小川博:トラック隊列走行への取り組み, 国土交通省, 第 2 回新しい物流システムに対応した高速道路路インフラの活用に関する検討会, 資料 5, 2019.
- 2) McGetrick, P., Kim, G.W., González, A., O'Brien, E.J.: Dynamic Axle Force and Road Profile Identification Using a Moving Vehicle, International Association for Sustainable Development and Management, 2013.
- 3) 秦涼太, 岡田幸彦, 山本亨輔: 移動センシングを用いたシステム同定におけるパラメータ推定精度の数値的検討, 構造工学論文集, 68A, 2022.
- 4) 塚田健人, 秦涼太, 山本亨輔: 複数回走行時の車両振動データを用いた VBI システム同定の適用性に関する数値的検討, 土木学会論文集, 79, 2023.
- 5) Yamamoto, K., Shin, R., Mudaheureka, E.: Numerical Verification of the Drive-By Monitoring Method for Identifying Vehicle and Bridge Mechanical Parameters, Applied Sciences, 13(5), 3049, 2023.
- 6) 岡林隆敏, 山口実浩: 連行車両による道路橋の二乗平均応答解析, 土木学会論文報告書, 334, pp.1-11, 1983.