

自動車荷重の渋滞時および発進時における道路橋の動的挙動について

金沢大学工学部 正 梶川 康 男
同 上 学 中 新 光 俊

1. ま え が き 道路橋の衝撃問題が、信頼性や疲労の問題と異なる荷重レベルで議論されている傾向がある。衝撃問題は図-1の(a)に示したような走行状態を対象として衝撃係数が検討されている。一方、活荷重による道路橋の安全性が議論されるときには、図-1の(b)、(c)に示したような大型車の渋滞状態が対象となっている。このような荷重満載時には動的な影響は少ないものと一般に考えられている。ところが、(b)では走行車線の動的な影響があり、また、(b)、(c)では渋滞後につぎつぎと発進する大型車のピッチング挙動によって、橋梁は大きな動的外力を受けることがある。満載に近いために各部材は静的にも大きな応力状態にあり、これに加えて大きな動的応力を受けることとなる。このような荷重レベルでの動的応答解析を行うことによって、信頼性や疲労と衝撃係数の議論が橋梁設計上の問題として初めてがみ合うこととなろう。そこで、本研究では活荷重合成単純桁橋(支間長30m,幅員7.5m,総重量23t,基本振動数3.45Hz)を対象に、図-2の荷重状態を想定して動的応答解析を行った。

2. 自動車-橋梁系の運動方程式

自動車のモデル化において、より実際に近いものとして図-3に示したようなピッチングを認める4自由度モデルを考えた。このようなモデルがランダムな路面凹凸を有する単純桁橋上を走行あるいは停車・発進したときの動的応答を求めることとした。ある振動モードに対する橋梁の運動方程式はつぎのように表わされる。

$$\ddot{g}_n + 2\zeta_n \dot{g}_n + \rho_n^2 g_n = \sum_{veh} \{ \{ G_{TR}(\ddot{z}_{TR} - \ddot{y}_{VR}) + k_{TR}(z_{TR} - y_{VR}) - (M_{SR} + M_{TR})g \} \varphi_n(Vt) + \{ G_{TR}(\ddot{z}_{TR} - \ddot{y}_{VR}) + k_{TR}(z_{TR} - y_{VR}) - (M_{SR} + M_{TR})g \} \varphi_n(Vt - l) \} \quad (1)$$

また、各車両の運動方程式はそれぞれつぎのようになる。

$$M_S \ddot{z}_S + C_{SF}(\ddot{z}_S + k_\theta \ddot{\theta} - \ddot{z}_{TR}) + k_{SF}(z_S + k_\theta \theta - z_{TR}) + C_{SR}(\ddot{z}_S - k_\theta \ddot{\theta} - \ddot{z}_{TR}) + k_{SR}(z_S - k_\theta \theta - z_{TR}) = 0 \quad (2)$$

$$M_{TR} \ddot{z}_{TR} + C_{SF}(\ddot{z}_{TR} - \ddot{z}_S + k_\theta \ddot{\theta}) + k_{SF}(z_{TR} - z_S + k_\theta \theta) + C_{TR}(\ddot{z}_{TR} - \ddot{y}_{VR}) + k_{TR}(z_{TR} - y_{VR}) = 0 \quad (3)$$

$$M_{TR} \ddot{z}_{TR} + C_{SR}(\ddot{z}_{TR} - \ddot{z}_S + k_\theta \ddot{\theta}) + k_{SR}(z_{TR} - z_S + k_\theta \theta) + G_{TR}(\ddot{z}_{TR} - \ddot{y}_{VR}) + k_{TR}(z_{TR} - y_{VR}) = 0 \quad (4)$$

$$I \ddot{\theta} + k_F \{ C_{SF}(\ddot{z}_S + k_\theta \ddot{\theta} - \ddot{z}_{TR}) + k_{SF}(z_S + k_\theta \theta - z_{TR}) - k_R \{ C_{SR}(\ddot{z}_S - k_\theta \ddot{\theta} - \ddot{z}_{TR}) + k_{SR}(z_S - k_\theta \theta - z_{TR}) \} = 0 \quad (5)$$

ここで、 $M_{SF} = (M_S l_R^2 + I) / l^2$, $M_{SR} = (M_S l_F^2 + I) / l^2$ であり、バネ上質量 M_S を振分けた質量である。また、橋梁の変位は $y(t, x) = \sum g_n(t) \varphi_n(x)$ で表わされ、曲げモーメントは $-EI g \sum g_n(t) \varphi_n''(x)$ となる。

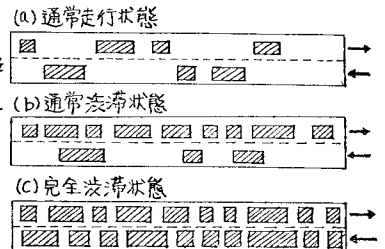


図-1 各種の状態における車両配列

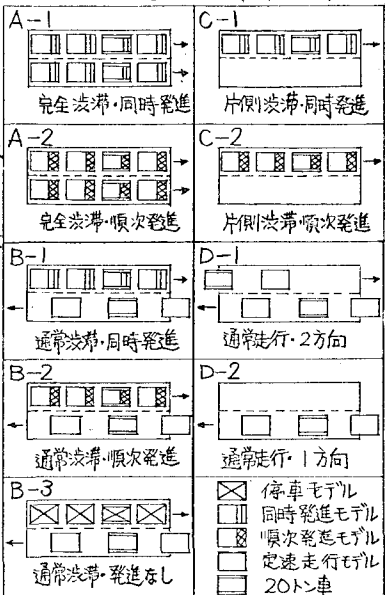


図-2 渋滞時・発進時の載荷状態

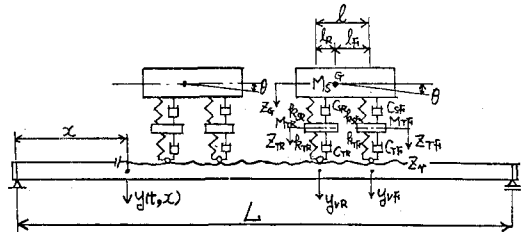


図-3 自動車-橋梁系の振動解析モデル

3. 渋滞時・発進時の荷重列

本解析で用いた車線ごとの荷重列は図-4に示すような20t車1台と15t車3台である。渋滞停車時にはこれらの車両を純間隔1mで配列し、定速(10%)走行時には車頭間隔1.4秒(純間隔7m)を保つものとした。渋滞後の発進時にはつぎのような動き方をするものとした。まず、発進開始時刻(t_0)から図-5に示すように強制的にピッチング角(θ)を最大0.02radを与え、 t_2 (0.2秒)後は自由振動させた。また、発進時の走行速度は図-6に示すように徐々に速度を上げ、 t_1 (4秒)後には定速(10%)になるようにした。そして、発進を全車両が全く同時に行う場合と順次に発進する場合とを考えた。順次に発進する場合には、前の車両が発進した時刻から0.5~1.5秒遅れて次の車両が発進するものとして、この間で一様乱数を発生させ、ランダムに発進開始時刻を求めた。

4. 数値計算と考察

動的応答の数値計算例として、図-7にA-2とB-2の場合を、また全載荷ケースの結果(最大たわみと最大曲げモーメント)を表-1に示した。表-1の結果の範囲では完全渋滞・全車同時発進以外に設計値を越える載荷状態はなく、十分な安全度を有していることがわかる。しかし、許容応力レベルの80%に達するものもあり、その発生頻度を考え疲労に対する照査が必要となろう。

表-1 各載荷状態での最大たわみと曲げモーメント

荷重載荷状態	最大たわみ	$M_{0,MAX}$	$M_{S,MAX}$	M_S/M_0	$M_D/M_{0,MAX}$	M_D/M_0	
完全渋滞	A-1	2.78cm	310tm	164tm	0.91	1.38	1.72
	A-2	1.89	212	164	0.91	0.94	1.18
通常渋滞	B-1	1.81	202	132	0.73	0.91	1.12
	B-2	1.53	171	118	0.66	0.76	0.95
	B-3	1.38	154	132	0.73	0.68	0.86
	C-1	1.64	184	82	0.46	0.82	1.02
	C-2	1.17	131	82	0.46	0.58	0.73
	D-1	0.99	111	96	0.53	0.49	0.62
通常走行	D-2	0.51	57	49	0.27	0.25	0.32

M_0 : 活荷重による設計曲げモーメント(180tm)

$M_{0,MAX}$: 設計衝撃係数を考慮した設計曲げモーメント(225tm)

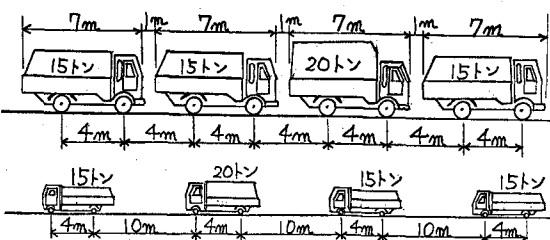


図-4 渋滞時と走行時の荷重列

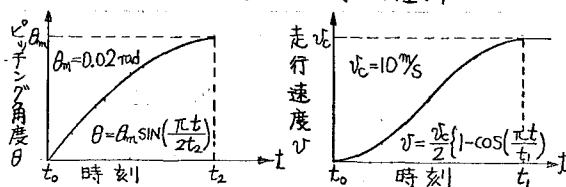


図-5 発進時のピッチング角

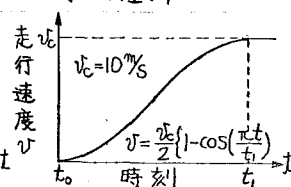


図-6 発進時の走行速度

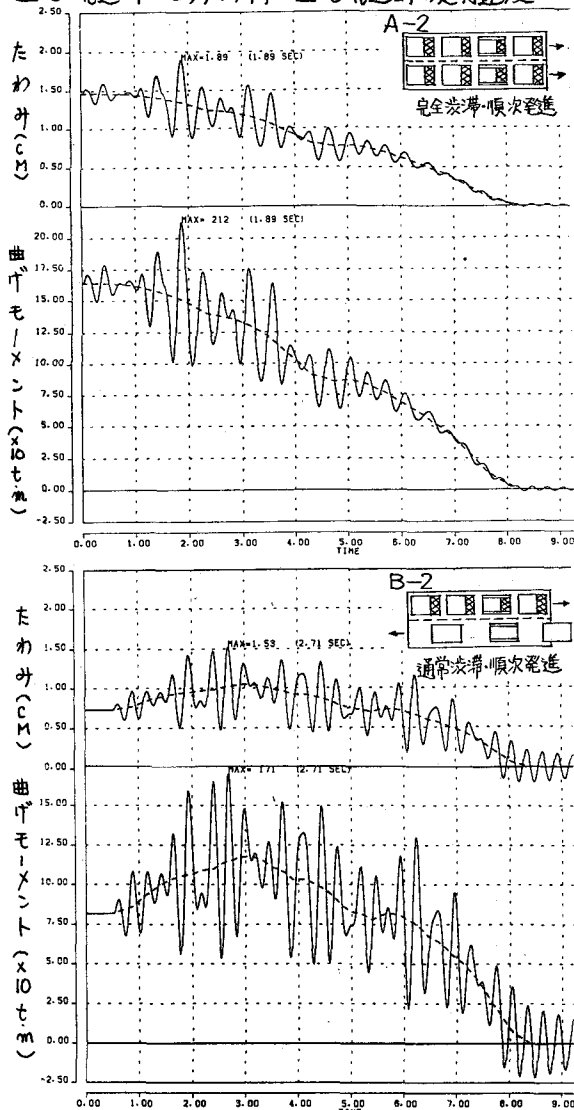


図-7 動的応答計算結果の例