

大阪大学大学院 正 員 川 谷 充 郎
大阪大学大学院 学生員○下 村 和 也

大阪大学大学院 正 員 小 林 義 和

1. まえがき 道路橋における振動使用性の問題は、①走行車両の走行安定性および乗り心地、②道路橋を渡る歩行者の振動感覚、の二つに大別される。本研究では、このうち中小の規模の道路橋において後者の問題について考える。道路橋の走行荷重による振動には路面凹凸の影響が大きい。路面凹凸は不規則であり、通常は定常確率過程と考えらる。しかるに、道路橋交通振動を考える場合には、そこを通る車両の移動に伴い橋梁の動的応答は非定常不規則振動となる。また、このような問題を考える場合、通常の2車線以上の橋梁においては、車両が偏心走行することにより、ねじり振動も励起し、幅員の端にある歩道上での振動が大きくなると考えられ、ねじり振動の影響も含めた解析で検討する必要がある。ここでは、非定常連成不規則振動解析を用い¹⁾、支間長 30~70m の一般的な単純桁橋について、振動使用性の確率論的な評価を行う。

2. 振動使用性の確率論的評価法 交通荷重による橋梁の振動によって心理的な限界状態が発生する確率(限界状態確率) P_d は次式で表される。

$$P_d = P(S > R) = \int_0^\infty f_S(x) \left\{ \int_0^x f_R(y) dy \right\} dx = \int_0^\infty f_S(x) F_R(x) dx \quad (1)$$

ここに、 $f_S(x)$: 振動刺激(桁振動速度)の確率密度関数、 $f_R(y)$: 振動に対する感覚反応の確率密度関数、 $F_R(x)$: 振動に対する感覚反応の確率分布関数。

振動に対する感覚反応の確率は正規分布になり²⁾、振動刺激の確率密度関数 $f_S(x)$ は Gumbel 分布となることが確かめられている³⁾。

3. 解析モデル 3.1 橋梁モデル 対象橋梁として、文献 4) を参照してモデル化した支間長 30~70m の単純桁橋を用いる。橋梁モデルの諸元を Table 1 に示す。ここでは、道路橋における歩行者の振動感覚を扱うため、車線の端の縁石位置を歩道部とし、スパン中央において内桁(せん断中心から 0.083m)、外桁(同 2.733m)、歩道位置(同 3.666m)に着目する。考慮するモード次数は曲げおよびねじり振動ともに3次とする。

3.2 車両モデル 走行車両は、前輪1軸、後輪2軸を有する2自由度振動系にモデル化し、設計活荷重に相当する196kN 車を考える。固有振動数は上下振動および回転に対し 3Hz、減衰定数は $h = 0.03$ とする。ここでは単一車両走行の場合のみを考える。本橋梁モデルは2車線橋であり、走行位置はせん断中心から 1.442m とする。なお、走行速度は 10m/sec および 20m/sec とする。

3.3 路面凹凸 路面凹凸はパワースペクトル密度関数 $S(\Omega) = \alpha / \Omega^n + \beta^n$ を用いる。パラメータは文献 5) にまとめられている確率分布の調査結果に基づ

き、10,000 種類の路面凹凸パワースペクトル密度関数について、非定常連成不規則振動解析を行い、路面平滑時のシミュレーション解析結果とあわせて、速度応答の RMS 値+期待値を求める。

4. 振動感覚の評価基準 振動感覚の評価基準として、ここでは、実橋における振動感覚と加速度測定の結果を用いる。測定は、大阪市内の橋梁で行う。測定位置を Fig.1 に示す。加速度のサンプリングは 50Hz とする。振動使用性は通常、速度応答で評価されるため、

Table 1 Structural properties of bridge

Span length	l (m)	30	40	50	60	70
Weight per unit length	mgA (tf/m)	5.17	5.34	5.44	5.53	5.55
Moment of inertia of area	I_z (m ⁴)	0.187	0.233	0.402	0.627	0.763
Polar moment of inertia	I_p (m ⁴)	11.673	22.941	39.656	61.815	75.315
Torsional constant	J (m ⁴)	0.018	0.036	0.059	0.085	0.086
Warping constant	C_w (m ⁶)	0.606	1.191	2.060	3.211	3.912
Damping constant	h	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
for 1st and 2nd modes						
Natural frequency						
Bending vibration	1st (Hz)	3.79	2.94	2.45	2.11	1.71
	2nd (Hz)	15.15	11.76	9.80	8.44	6.82
	3rd (Hz)	34.09	26.45	22.05	19.00	15.35
Torsional vibration	1st (Hz)	4.91	3.83	3.19	2.74	2.22
	2nd (Hz)	15.43	10.92	8.54	7.01	5.56
	3rd (Hz)	32.66	22.28	16.87	13.50	10.58

測定した加速度応答から速度応答を求める。さらに、トレンドを除くために、ハイパスフィルターをかけて、0.7Hz以下の低周波数を遮断する。速度応答の一例の10秒間をFig.2に示す。振動感覚の評価基準を求めるために、測定点毎にRMS値を求め、その平均値をTable 2に掲げる。その際、最大振幅から前後約1秒間ずつ、計2秒間でRMS値を求める。Table 2の最大速度応答1.7cm/secを現地における歩行時の振動感覚から「歩行時でも振動を感じ、不安感を覚える」基準値と定める。

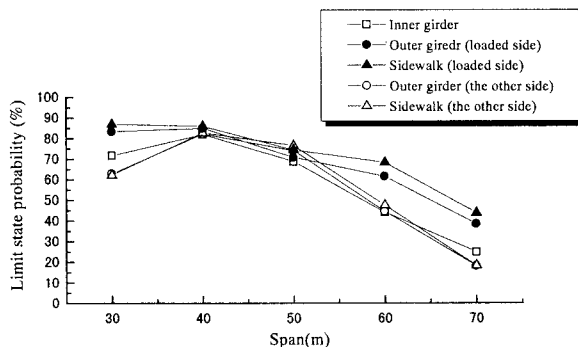
5. 限界状態超過確率と振動使用性 それぞれの橋梁について、求めた10,000個の速度応答最大値が振動感覚に関する使用限界状態を超過する確率を求める。ここで、限界状態超過確率とは橋梁上の支間中央を歩いている人のうち何%の人が「歩行時でも振動を感じ、不安感を覚える」ということとする。

車両が速度10m/secおよび20m/secで走行するとき、使用限界状態超過確率をFig.3に示す。支間長30mの橋梁では載荷側の歩道位置の超過確率がもっとも高く86.8%であり、支間長40m橋梁でも超過確率が81~86%程度である。支間50mの橋梁では、69~76%の間となり、支間長60m, 70mとなると超過確率は次第に低下する。

また、車両が速度20m/secで走行するときは、全体的に超過確率が高くなり、30m~60mの橋梁では90%近くになるが、支間長が70mの橋梁では明確に超過確率が低下している。

参考文献

- 川谷充郎・小林義和・高森和恵：曲げとねじりを考慮した単純桁橋の走行荷重による非定常連成不規則振動解析，土木学会論文集，No.570/I-40，pp.231-238，1997.7.
- 小堀為雄・梶川康男：橋梁振動の人間工学的評価法，土木学会論文報告集，No.230，pp.23~31，1974.10.
- 川谷充郎・今枝拓也・小林義和：道路橋の交通振動使用性の確率論的評価，土木学会 橋梁交通振動コロキウム'97論文集，pp.131-138，1997.10.
- 山田善一・小堀為雄：活荷重に対する道路橋の動的応答一衝撃係数一に関する考察，土木学会論文集，第148号，pp.40-50，1967.12.
- 本田秀行・城戸隆良・梶川康男・小堀為雄：道路橋の路面凹凸パワースペクトル密度に関する調査，土木学会論文報告集，No.315，pp.149-155，1981.11.



(1) Vehicle speed 10m/sec

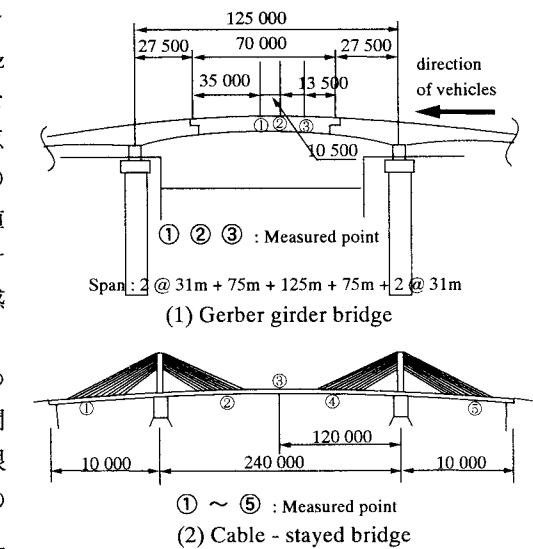
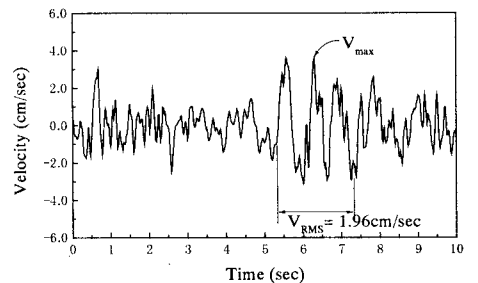


Fig.1 Points of measurements

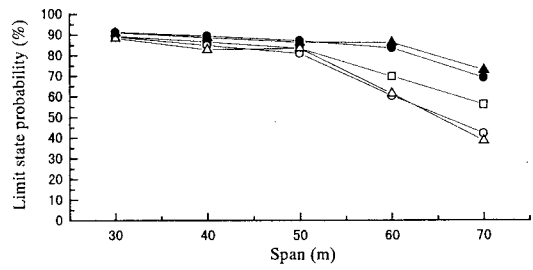


Measured point ② in Gerber girder bridge

Fig.2 Velocity response of bridge

Table 2 RMS of velocity

measured point	No. of measurements	Ave. of V_{RMS} (cm/sec)
Gerber girder bridge	1	1.31
	2	1.71
	3	1.48
Cable-stayed bridge	1	1.48
	2	0.85
	3	1.02
	4	1.00
	5	1.58



(2) Vehicle speed 20m/sec

Fig.3 Limit state probability