

福井工業大学 正会員 ○梶 川 康 男
金沢大学 正会員 小 堀 熟 雄

1 ま え が き 構造物は安全であるとともに、その利用者に対して快適な利用を保障しなければならない。限界状態設計法においては終局限界状態で安全性を、使用限界状態で使用性を考えることになった。従来、許容応力度の概念の陰となっていた多くの限界状態を明確にすることによって、使用性もまた再認識されるようになってきた。著者は、橋梁振動が歩行者に及ぼす心理的な影響を使用性問題の一つとしてとらえ、実橋の振動測定¹⁾や振動感覚実験に基づく評価尺度の確立²⁾³⁾、歩道橋に対する確率論的考察⁴⁾⁵⁾などを行ってきた。また、単支間の道路橋については単一走行荷重に対する考察⁶⁾⁷⁾を行ってきたが、支間長が大きくなると、やはり確率論的な考察をしなければ日常の使用状態を把握したことにはならない。そこで、本文では道路橋の使用性を確率論的に把握するための調査とその評価方法について考える。

2 交通流調査と振動測定 道路橋への大型車の載荷状態を把握するために、交通流調査を実施した。その配置図を図-1に示した。測定線を通過する自動車の車種(乗用車、小型貨物、中型貨物やバス、大型貨物やトレーラーの4種)を分類しながら、車頭時間間隔、走行速度などを求めた。調査結果をすべて電子計算機に入力させ、車頭時間間隔を車頭距離に直して、計算機内である長さの橋梁を想定し、橋上に同時に大型車が載荷する確率を求めた。想定した各支間長をもつ橋梁に対する載荷確率は表-1のような結果となった。

なお、計算値はその地点での平均速度(約50km/h)を用いて、大型車はポアソン到着をするものとして求めた確率である。

表-1において実測値と計算値には大きな差がなく、載荷台数はポアソン分布を用いて推定できるものと思われる。ただし、表-1に示してないが波間の結果では大型車が車群となって走行するために、ポアソン型の到着とはみなせないことがわかった。

つぎに、約70mのワレントラス橋において、振動・たわみ・交通流(載荷状態)を同時に測定した。その結果を図-2に示した。図-2より、静たわみが大きくなっても変位振幅はそれほど大きくならないことがわかる。なお図中のIは空車の中大型車がそれぞれ単独に載荷したときであり、IIは中型の積載車、IIIは大型の積載車、IVは積載した大型車が2台載ったときを示している。これらと比較すると、空車と積載車でははっきりと差が認められるが、積載車では中型と大型あるいは2台の大型車などの間には、静たわみで差はあるが、変位振幅にはあまり差がないことがわかる。このことは、中型と大型を分けて考える必要はあまりなく両者を一緒に考えても差し

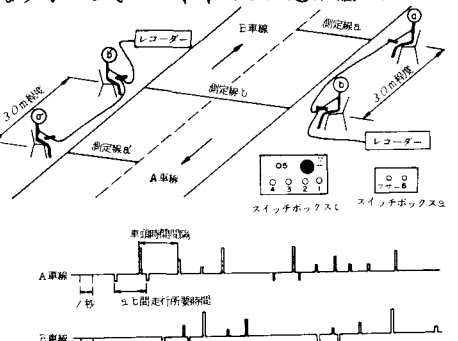


図-1 交通流測定配置図と記録例

表-1 載荷確率の実測値(M)と計算値(C)

支間長	実計	(F市) 中・大型車の載荷台数					(T市) 中・大型車の載荷台数				
		0	1	2	3	4~	0	1	2	3	4~
40m	M	85.22	13.57	1.15	0.06		78.85	17.86	3.19	0.10	
	C	86.59	12.47	0.90	0.04		82.45	15.91	1.54	0.10	
80m	M	75.99	19.07	4.36	0.58		66.68	26.38	5.73	1.15	0.06
	C	74.98	21.59	3.11	0.30		67.78	26.24	5.06	0.65	0.06
120m	M	66.20	24.68	7.21	1.84	0.07	50.39	37.16	8.06	2.99	0.60
	C	64.92	28.05	6.06	0.87	0.09	56.05	32.45	9.39	1.81	0.26
150m	M	58.76	28.62	8.67	3.44	0.51	48.98	32.09	12.99	5.00	0.94
	C	58.27	31.47	8.50	1.53	0.20	48.48	35.10	12.71	3.07	0.64

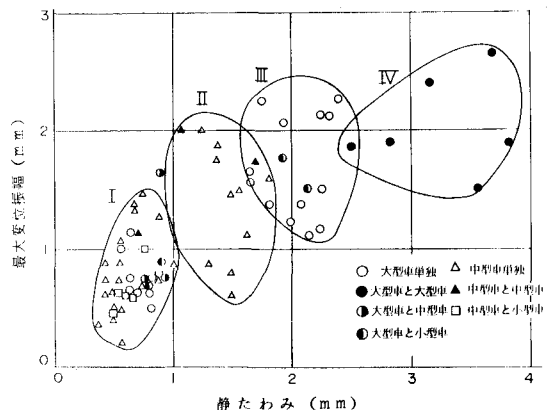


図-2 静たわみと最大変位振幅

つかえないことを示している。また、複数の大型車が同時に載荷されても1台の大型車が走行したときと振幅に大差がなければ、単独載荷の際の使用性を検討しておけば短支間橋梁では十分であることになる。

3 道路橋における非使用性確率 単独載荷のみの検討では支間長が大きくなると十分ではない。そこで、歩道橋と同様に歩行者が心理的限界を起こす確率（非使用性確率）を定める必要がある⁴⁾。本文では、まず大型車の標準車両として10トン車を選び、凹凸のパワースペクトル密度が指数関数で表わされる路面を走行したときの橋面への外力スペクトルを計算すると、20トン車のときの約半分である。そこで、単一走行荷重による動的応答スペクトル⁶⁾を基礎にして、 n 台の大型車が載ったとき、有帯域スペクトルの強度が n 倍になるものとした。一方、ポアソン到着をする歩行者が橋梁上のどこに居るかの確率はすべての点で同じであるのでモード級数の二乗の平均を求めると最大モード値の半分となることから、10トンの単一走行荷重によって歩行者の受ける平均的な刺激は20トン車の応答スペクトル値の $1/4$ とみなすことができる。これを γ_v とすると大型車が n 台載荷したときは $n\gamma_v$ となる。したがって、歩行者の平均到着率を λ_p 、渡橋所要時間を T_p とすると、刺激が $\sqrt{n\gamma_v}$ となる確率は $(1 - e^{-\lambda_p T_p}) P_r(n)$ となる。ここで、 $P_r(n)$ は T （橋長/走行速度）内に大型車が n 台居る確率であり、ポアソン分布から求められる確率である。そして、その刺激によって歩行者が望ましくなり反応を生ずる確率を $F_R(x)$ とすると非使用性確率は $\gamma_d = (1 - e^{-\lambda_p T_p}) \sum_{n=1}^{\infty} P_r(n) F_R(x)$ となる。ここで、 $F_R(x)$ としては歩行者の歩きにくさを考えるものとして平均 1.7 cm/sec 、標準偏差 0.6 cm/sec の正規確率分布関数を用いる⁴⁾。

代表的なランガー桁橋⁶⁾に対する数値計算結果を図-3に示した。これより、同じ交通量に対しては短支間の橋梁の方が使用性は悪く、60～80m級では150～250台/時程度で5%となっている。実橋の振動調査³⁾や単一走行荷重に対する検討でも60～80m級のランガー桁橋は大きな振動をしていたことから、この範囲で特に使用性が問題となると思われる。また、確率的な制限と振動制限が問題となる範囲を検討するために動的応答量と非使用性確率との関係を大型車の平均載荷台数をパラメーターとして図-4に示した。その結果、つぎのことが明らかになった。（1）大型車（平均重量10トン）による振動刺激の基準値が $0.1 \text{ cm}^2/\text{sec}^2$ 以下では、使用性が問題になることはほとんどない。（2）基準値が $0.7 \text{ cm}^2/\text{sec}^2$ 以上では確率論的な検討に加えて、20トンの単一走行荷重に対する動的応答計算も必要となり、場合によっては防振対策を考えねばならない。（3）基準値が $0.1 \sim 0.7 \text{ cm}^2/\text{sec}^2$ において、平均載荷台数が0.5台以下では非使用性確率が許容確率（5%）以下であり、使用性はあまり問題とならない。また、0.5台以上では非使用性確率を求めて確率論的な検討が必要となる。（4）大型車や歩行者の通行が非常に少ない場合には、20トン車が単独に走行したときの応答速度の実効値を 1.7 cm/sec 以下にするのがよい。

〈参考文献〉

- 1) 道路橋の振動測定法とその特性，「道路」401号
- 2) 道路橋の振動とその振動感覚，土木学会論文報告集 222号
- 3) 橋梁振動の人間工学的評価法，〃 230号
- 4) 動的応答から見た歩道橋の使用性に関する確率論的考察，〃 266号
- 5) 振動感覚を考慮した歩道橋の確率論的設計，〃 285号
- 6) 単一動荷重に対する道路橋の振動感覚，〃 248号
- 7) 振動感覚を評価するためのアーチ橋の動的応答スペクトル，〃 251号

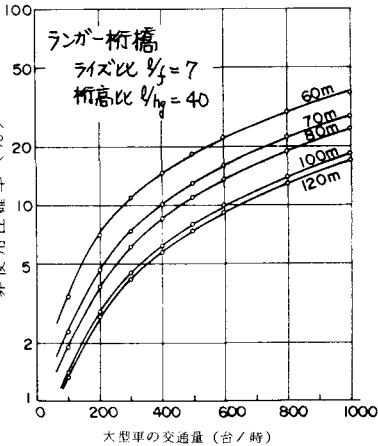


図-3 大型車の交通量と非使用性確率

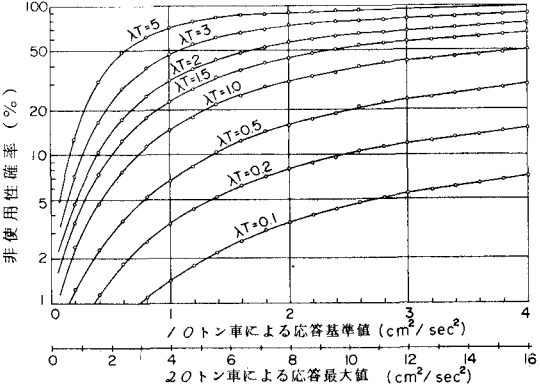


図-4 大型車による刺激基準値と非使用性確率