

走行振動荷重を受けるRC床版の動的影響に関する実験研究

Experimental Dynamic Effect Coefficient of RC Slab Under Running Vibration-Load

阿部 忠*, 木田哲量**, 徐 銘謙*** 澤野利章*, 星埜正明****

Tadashi ABE, Tetsukazu KIDA, Ming-Chien HSU, Toshiaki SWANO and Toshiaki SWANO

*博士(工学) 日本大学助教授 生産工学部土木工学科(〒275-8575 習志野市泉町1-2-1)

** 工博 日本大学教授 生産工学部土木工学科(〒275-8575 習志野市泉町1-2-1)

***正会員 修士 日本大学大学院生産工学研究科(〒275-8575千葉県習志野市泉町1-2-1)

**** 工博 日本大学教授 理工学部社会交通工学科(〒274-8501千葉県船橋市習志野台7-24-1)

The authors conducted running constant-load and vibration-load tests on RC beams and slabs quantitatively to evaluate the experimental load-carrying capacity and the dynamic effect. The test results showed that the load-carrying capacities of the beams and slabs under the running vibration-load were nearly equal to the cases of both the maximum running constant-load and the upper limit running vibration-load. The dynamic effect of running vibration-load, also, was evaluated from the viewpoint of the experimental impact coefficient, which was obtained from the dynamic amplification factor based on deflections. The experimental impact coefficients of RC slabs under the running vibration-load having amplitudes of $\pm 20\%$ and $\pm 30\%$ were 0.382 and 0.485, respectively; so, the impact coefficients in any cases were larger than the amplitudes of working loads. Thus, the authors formularized a dynamic effect coefficient as a function of load amplitude

Key words : RC slabs, Running constant-load, Running vibration-load, Impact coefficient

1. はじめに

鋼道路橋鉄筋コンクリート床版(RC床版)のひび割れ損傷は、伸縮継手や路面の凹凸により発生する大型自動車の動的影響も大きな原因の一つであると考えられる。とくに、伸縮継手の段差部通過後は大きな荷重変動が生じ、橋梁の支点付近の床版にはひび割れ損傷が生じている。

そこで本研究は、伸縮継手の段差によって発生する荷重変動¹⁾²⁾に着目し、荷重変動が鋼道路橋RC床版に及ぼす動的影響を評価するための実験研究である。実験供試体には、2タイプのRC床版を用いて、両供試体に走行振動荷重が作用した場合のたわみによる動的増幅率から、実験衝撃係数を求め、動的影響係数を評価した。

2. 大型自動車の荷重変動およびひび割れ状況

(1) 大型自動車の荷重変動

独立行政法人土木研究所は、大型自動車が伸縮継手の段差部を走行する際に発生する荷重変動および衝撃力に関する実験を行い、大型自動車の荷重変動を図-1のように報告している¹⁾。これによると、タンデム式ダンプトラックの総重量は中軸で37.73kN、後軸で37.14kNであり、この軸重量に対して2.77倍~2.86倍の荷重変動となっている。また、この時の振動数は中軸で13Hz、後軸で18Hz程度となっている。

次に、タンデム式ダンプトラックが段差部通過後の荷

重分布および包絡線を図-2のように示している²⁾。これによるとタンデム式ダンプトラックの場合、段差部から2m、8mの位置で最大荷重が生じており、段差量20mmの場合の動的係数 $i=1.0$ をみると、動的係数が1.0以下に減衰される位置は段差部から14mに及んでいる。したがって、実橋の伸縮継手を通過する際に、その近傍の床版には大きな荷重変動が作用することになる。なお、図-2には本実験に作用する荷重振幅による動的係数 D_i を併記した。また、動的係数 i は道路橋示方書・同解説(以下、道示I)に規定する衝撃係数と同様であることから、本研究においては D_i とする。したがって、橋梁では車両が伸縮継手を通過する時に大きな荷重変動が生じていることから、鋼橋RC床版の長寿命化を図るためにも伸縮継手の段差によって発生する荷重変動、すなわち振動荷重による走行実験を行ってRC床版に対する動的影響を明確にする必要がある。

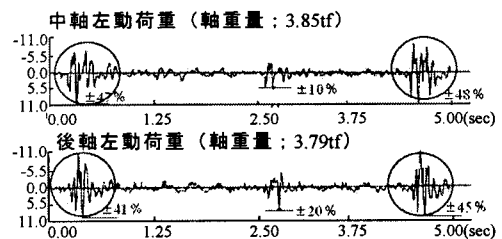


図-1 大型自動車の荷重変動¹⁾

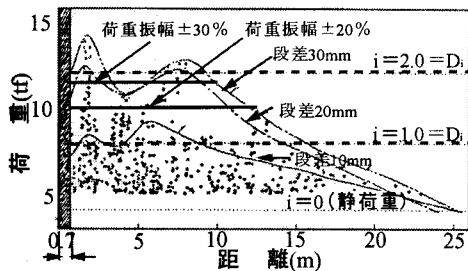


図-2 段差部通過後の荷重分布および包絡線²⁾

3. 衝撃係数の算定法

本研究では、RC床版の供試体に荷重変動を振動荷重として作用させた場合の衝撃係数を実験的に算定した（以下、実験衝撃係数と呼ぶ）。本実験では、たわみ応答値による動的増幅率より衝撃係数を得るものとする。なお、単純桁に走行荷重が作用した場合の支間中央における動的増幅率を図-3に示す。

動的増幅率は⁹⁾、図-3に示す最大静的たわみ値を基準に、その値と最大動的たわみ値の差を最大静的たわみで除したもとして定義し、式(1)で与えられる。なお、道路

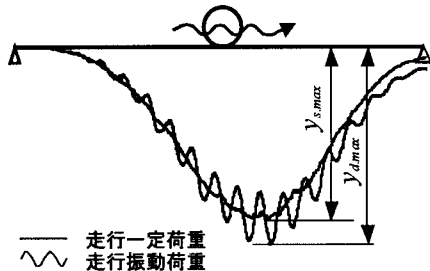
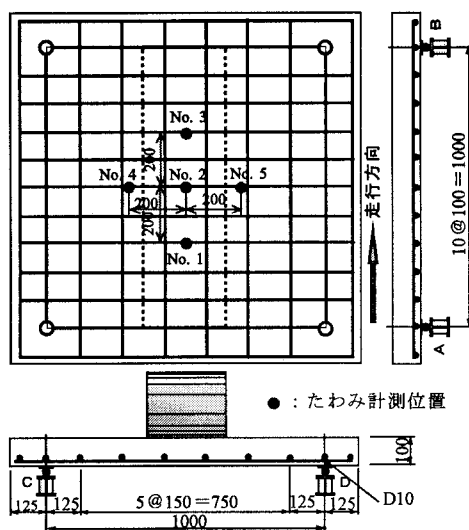
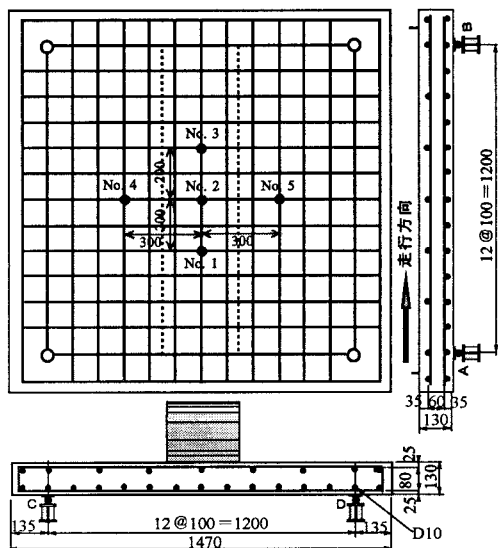


図-3 動的増幅率



(1) 100×10床版供試体



(2) 120×13床版供試体

図-4 RC床版供試体寸法および鉄筋配置

橋における動的増幅率から算出する衝撃係数は、走行実験による動的増幅率から1を引いた値と定義し、式(2)で与える。

$$DAF = 1 + \frac{y_{d,max} - y_{s,max}}{y_{s,max}} \quad (1)$$

$$I = DAF - 1 \quad (2)$$

ここに、 DAF ：動的増幅率、 $y_{d,max}$ ：最大動的たわみ、 $y_{s,max}$ ：最大静的たわみ、 I ：衝撃係数

本実験では基準となる最大静的たわみ $y_{s,max}$ を走行一定荷重より計測し、最大動的たわみ $y_{d,max}$ を走行振動荷重実験を行なって計測し、式(1)、(2)より、実験衝撃係数を得るものとする。

4. 供試体の材料および寸法

(1) 使用材料

供試体のコンクリートには普通ポルトランドセメント、粗骨材には栃木県栗野町産の最大寸法20mmの骨材を使用した。また、鉄筋はSD295A、D10を使用した。材料特性値を表-1に示す。

(2) 供試体寸法および鉄筋の配置

RC床版は、単鉄筋配置と複鉄筋配置とした2タイプを

表-1 供試体の材料特性値

供試体	コンクリート		鉄筋 (SD295A、D10)	
	圧縮強度 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	ヤング係数 kN/mm ²
100×10タイプ	30.0	370	511	200
120×13タイプ	32.0			

用い、4辺単純支持とする。なお、床版寸法は実験装置の車輪幅が道示 I⁴⁾に規定するT荷重の1/2モデルであることから、実橋RC床版寸法の1/2モデルとし、図-4に示す。

1) 100×10床版供試体 (供試体名称 ; 100×10)

供試体の支間長は100cmとした。供試体の張り出し部は12.5cmとし、全長は125cmである。鉄筋の配置は、単鉄筋とし、軸直角方向にD10を10cm間隔に配置し、有効高さを $d=7.5\text{cm}$ とした。また、軸方向筋は、D10を15cm間隔に配置し、有効高さを $d=6.5\text{cm}$ とした。供試体の寸法および鉄筋の配置を図-4(1)に示す。

2) 120×13床版供試体 (供試体名称 ; 120×13)

供試体の支間長を120cm、供試体の張り出し部は13.5cmとし、全長は147cmである。鉄筋の配置は複鉄筋配置とした。引張側の軸直角方向および軸方向にD10をともに10cm間隔で配置し、有効高さはそれぞれ10.5cm、9.5cmとする。また、圧縮側には引張鉄筋量の1/2を配置した。供試体寸法および鉄筋の配置を図-4(2)に示した。

(3) 測定位置および計測方法

本実験におけるたわみの計測位置は、軸方向3点、軸直角方向2点とする。計測位置を図-4(1)、(2)に併記した。また、本実験の計測には東京測器(株)の変位計(CDP-50、定格出力 ; $5\text{mV/V} \pm 0.1\%$ 、感度 ; $200 \times 10^{-6}/\text{mm}$)、およびデジタル動ひずみ測定器(DRA-101C、A/D変換内蔵)を用いた。

5. 実験装置の概要および実験方法

5.1 走行振動荷重装置の概要

本実験に用いた走行振動試験装置は、鋼製反力フレーム(400kN)のほかに、車輪(幅=25cm、直径=40cm)と油圧式の振動疲労試験機を固定し、供試体を設置した台車をモータとクランク・アームにより水平方向へ往復運動させて荷重の走行状態を実現するものである。走行振動試験装置を図-5に示す。

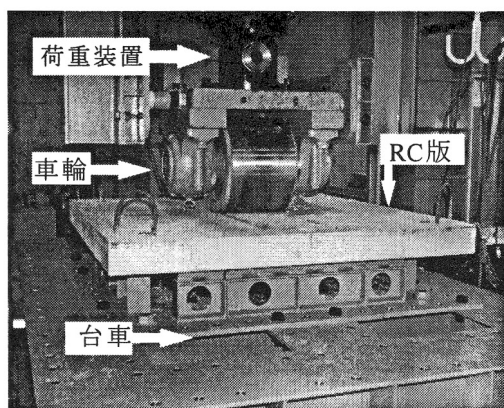


図-5 実験装置 (走行振動試験装置)

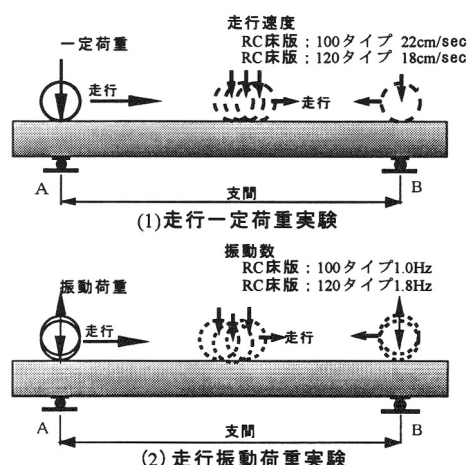


図-6 実験方法

5.2 実験方法

本実験は①走行一定荷重実験、②走行振動荷重実験を行い、実験耐力および動的影響を評価する。

走行振動荷重実験は、本実験装置の特徴である大型車両の荷重変動およびバネ下振動を想定した振動を伴う荷重が供試体の上面を連続走行するものであり、本実験では走行振動荷重実験と称したものである。実験方法を図-6に示す。

(1) 走行一定荷重実験(供試体名 : CR)

走行一定荷重実験では図-6(1)に示すように供試体の支点Aから荷重を走行させ、たわみを動的に計測する。本実験における走行速度は、100×10タイプは1往復2.0mを9.0secで走行する0.22m/s、120×13タイプは1往復2.4mを13.0secで走行する0.18m/sとした。本実験では走行振動荷重実験における振動数との関係から速度を決めたものである。荷重は1走行ごとに5.0kNずつ増加する段階状荷重とする。

(2) 走行振動荷重実験(供試体名 : V)

走行振動荷重実験は図-6(2)に示すように、荷重変動を想定した荷重、すなわち振動荷重が供試体の支点間を走行するものであり、走行一定荷重の場合と同様に一往復を走行させるものである。

1)作用荷重振幅

本実験の振動荷重は、大型車両が伸縮継手を通過した後の荷重変動をモデルとする。図-1に示す荷重変動は、軸重量に対して最大で約2.8倍生じているが、これはタンデム式の場合は中軸が最大荷重を示した時に、後軸は静荷重程度、すなわち軸重量程度になる応答を示している。したがって、荷重振幅は中軸の最大荷重を上限荷重、後軸の軸重量を下限荷重とすると、橋梁の両端部支点付近の荷重振幅は基準荷重に対して $\pm 45 \sim \pm 48\%$ とな

る。また、支間中央付近では、中軸で±10%、後軸で±20%程度生じている。

そこで、本実験の荷重振幅は、基準荷重に対して±20% (図-2に示した動的係数*i*は、論理の展開上*D_i*と称する。よって、*D_i*=1.50である。) ±30% (*D_i*=1.86)とした。これは、図-2に示した動的係数が1.0~2.0の範囲の荷重振幅であることから、段差10mm~20mmの範囲の荷重振幅を考慮したものである。

2)作用振動数

次に、図-1に示した大型自動車の荷重変動では、段差量20mm、支間45mの鋼合成桁橋をタンデム式ダンブトラックが時速40kmで通過した場合のバネ下振動数は13Hz~18Hzである。そこで、タンデム式車両の場合は中軸、後軸が交互に作用するものとして、橋梁の支間長を走行速度と振動数で除して、1mあたりの波長を求めて、実験供試体の支間長と走行速度から振動数を決定した。本実験では、100×10タイプでは、1往復2.0mを9.0secで走行し、振動数を1.0Hzとした。また、120×13タイプでは、1往復2.4mを13secで走行し、振動数を1.8Hzとした。なお、両供試体とも片振り荷重とする。

3)実験衝撃係数

荷重変動がRC床版に及ぼす動的影響は、たわみ応答による動的増幅率(DAF)から求めた実験衝撃係数で評価するものとする。したがって、走行振動荷重載荷時のたわみと一定荷重で走行した場合の最大静的たわみを実験から得るものとする。そこで、振動荷重による走行実験の過程で、走行一定荷重実験(図-6(1))を行い、両者のたわみの関係から実験衝撃係数を求める。

そこで、実験衝撃係数を求める荷重は、一定な荷重で走行することによる残留たわみを最小限にするために、走行一定荷重実験における引張鉄筋の荷重とひずみ関係から弾性域の荷重2点を設定し、衝撃係数を求めるものとする。したがって、供試体100×10は50kN、60kN、120×13では60kN、70kNとする。

6. 実験耐力および破壊モード

6.1 実験耐力

本実験で求めたRC床版の実験耐力を表-2に示す。本実験における耐力は走行一定荷重および走行振動荷重実験において、本実験の荷重載荷条件下で、1往復を維持した荷重とする。

供試体100×10タイプにおける走行一定荷重の場合の平均最大耐力は105.6kNであり、これに対して走行振動荷重±20%、±30%の場合の上限荷重は、それぞれ105.3kN、100.8kNである。走行一定荷重の場合と走行振動荷重の場合との耐力比(P_U/P_{CR})は、荷重振幅±20%の場合が1.00と近

表-2 RC床版の実験耐力

供試体	最大耐力(kN)			平均最大耐力(kN)			耐力比 P_U/P_{CR}
	上限荷重	軸重量	下限荷重	上限荷重	軸重量	下限荷重	
	P_U	P	P_L	P_U	P	P_L	
100×10-CR-1	—	109	—	—	105.6	—	—
100×10-CR-2	—	103	—	—	—	—	—
100×10-V20-1	108.6	90.9	73.1	105.3	88.2	71.2	1.00
100×10-V20-2	102.0	85.6	69.2	—	—	—	—
100×10-V30-1	97.1	75.4	53.6	100.8	77.9	54.9	0.95
100×10-V30-2	104.5	80.4	56.2	—	—	—	—
120×13-CR-1	—	184	—	—	183.1	—	—
120×13-CR-2	—	182	—	—	—	—	—
120×13-V20-1	186.1	154.7	123.2	183.0	151.9	120.9	1.00
120×13-V20-2	179.8	149	118.6	—	—	—	—
120×13-V30-1	181.6	140.5	99.3	178.1	137.4	96.7	0.97
120×13-V30-2	174.5	134	94.1	—	—	—	—

似した。また、荷重振幅±30%の場合の耐力比は0.95となり、走行一定荷重に対して5%の耐力低下がみられた。

次に、供試体120×13タイプにおける走行一定荷重の場合の平均最大耐力は、183.1kNであり、走行振動荷重の場合の上限荷重は荷重振幅±20%の場合で183.0kNであり、その耐力比(P_U/P_{CR})は1.00と、近似している。また、荷重振幅±30%の場合では178.1kNとなり、走行一定荷重との耐力比は0.97となり、ほぼ近似している。したがって、荷重振幅の大きさは耐力比に大きな影響を及ぼさない結果となった。

6.2 破壊モード

破壊モードは全て荷重の走行中に押し抜きせん断破壊となった。

7. 動的増幅率による実験衝撃係数

7.1 本実験における動的増幅率

実橋において動的増幅率(DAF)式(1)、(2)を適用する場合は、走行一定荷重の場合のたわみ応答値から最大静的たわみを決定するのが困難な場合も多く、この基準となる静的たわみにより衝撃係数も大きな影響を受ける。動的増幅率から衝撃係数を算出する場合、走行振動荷重の場合の最大たわみを最大動的たわみ($y_{d,max}$)とし、走行一定荷重の場合の最大たわみを最大静的たわみ($y_{s,max}$)とする。

7.2 RC床版の実験衝撃係数

本実験より得られた実験衝撃係数*I*を表-3に示す。また、弾性域の荷重時にロードセルより計測した荷重波形から軸重量*P*(基準荷重)と上限荷重 P_U から得られた、荷重振幅率($(P_U/P)-1.0$)を表-3に示した。この荷重振幅率が基準荷重に対する荷重変動率である。ここで、荷重変動率は与えた荷重振幅と多少異なっているが、これは車輪が供試体を走行するときに供試体凹凸により生じる荷重変動の影響によるものである。しかし、与えた荷重振幅と近似している。

100×10タイプの場合の平均値は、荷重振幅±20% (±20% : 0.200) の場合で0.396、±30% (±30% : 0.300)

表-3 RC床版の実験衝撃係数

供試体	計測荷重			実験衝撃係数					平均値	平均値
	P_u	P	$(P_u/P) - 1$	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5		
100×10-V20-1	59.82	50.13	0.193	0.386	0.348	0.349	0.386	0.356	0.384	0.396
	72.32	60.08	0.204	0.371	0.412	0.429	0.397	0.410		
100×10-V20-2	60.20	49.53	0.216	0.390	0.484	0.351	0.393	0.403	0.407	
	71.80	60.13	0.194	0.418	0.401	0.417	0.411	0.401		
100×10-V30-1	64.95	49.65	0.308	0.493	0.463	0.451	0.456	0.476	0.486	0.491
	76.95	59.65	0.290	0.490	0.510	0.518	0.505	0.495		
100×10-V30-2	62.84	48.16	0.305	0.484	0.500	0.493	0.461	0.481	0.496	
	79.18	61.14	0.295	0.518	0.518	0.508	0.508	0.489		
120×13-V20-1	72.32	60.08	0.204	0.365	0.417	0.352	0.413	0.373	0.377	0.368
	83.44	69.74	0.196	0.339	0.405	0.392	0.379	0.334		
120×13-V20-2	71.80	60.13	0.194	0.339	0.365	0.403	0.424	0.329	0.358	
	86.70	71.75	0.208	0.381	0.359	0.328	0.345	0.307		
120×13-V30-1	76.95	59.65	0.290	0.444	0.504	0.499	0.458	0.510	0.486	0.478
	92.10	70.73	0.302	0.436	0.469	0.428	0.426	0.439		
120×13-V30-2	78.54	60.16	0.306	0.424	0.464	0.427	0.472	0.447	0.469	
	90.98	69.84	0.303	0.533	0.533	0.451	0.455	0.461		

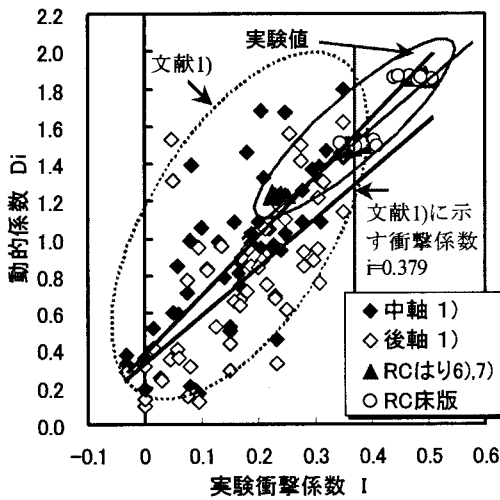


図-7 動的係数と実験衝撃係数との関係

の場合で0.491である。また、120×13タイプの場合は、荷重振幅±20%の場合で0.368、±30%の場合で0.478である。いずれの供試体も与えた荷重振幅に対して実験衝撃係数は大きく上回っている。これは、走行振動荷重が床版支間内を走行することにより発生するひび割れ位置と、振動数とが一致してたわみが増大したものと考えられる。

7.3 動的影響と実験衝撃係数との関係

本実験より得られた表-3に示す実験衝撃係数と文献1)に示す実橋床版から得た衝撃係数を動的係数と実験衝撃係数との関係として図-7に示す。また、筆者らがRCはりを用いた実験結果⁹⁾も併せて図-7に併記した。

文献1)の実橋床版の衝撃係数は、実験大型車両の軸重量に関する動的倍率を動的係数とし、床版の引張側主鉄筋のひずみ応答倍率を衝撃係数として求めた結果であ

る。また、RC床版の着目点上に作用したタンデム式の中軸、後軸の左側の最大動的係数と衝撃係数を対比させたものである。なお、文献2)に示している動的係数 D_i は、動的付加重重 P_d を軸重量 P_a で除することで得られる。

本実験の場合の動的係数は、表-3に示した上限荷重 P_u を動的付加重重、下限荷重 P_L を軸重量として算出した。

本実験による衝撃係数は、RC床版に対する荷重振幅±20%(動的係数 $D_i=1.50$)の場合は、文献5)に示す衝撃係数の範囲内であるが、荷重振幅±30%(動的係数 $D_i=1.86$)の場合は文献5)に示す衝撃係数を上回る結果となった。

次に、文献1)に示す実験橋梁の床版支間は2.8mであるから、道示Iに規定する衝撃係数 i ($i=20/50+L$:L床版設計支間⁹⁾)は0.379であり、動的係数 D_i が1.6付近で同等な衝撃係数となっている。また、本供試体の実験衝撃係数は動的係数 $D_i=1.50$ の場合では道示Iに規定する衝撃係数を上回っている。次に、動的係数 D_i が1.8の場合、すなわち荷重振幅±30%の場合の実験衝撃係数の平均は0.485であることから、約1.28倍(=0.485/0.379)生じることになる。したがって、図-2に示した段差部通過後の荷重分布の範囲は段差量20mmの場合で、伸縮継手から10mの範囲に及ぶ結果となった。

8. 変動荷重による動的影響係数

8.1 荷重変動率

本実験における実験衝撃係数は与えた荷重振幅以上の結果となった。文献1)では、動的係数と衝撃係数の関係として考慮しているが、この動的係数は段差量によって生じた軸重量に対する動的付加重量から得られたものである。本実験では軸重量(基準荷重)に対する荷重振幅を変数として作用させたことから、この実験の荷重振幅を荷重変動率と定義して評価するものである。なお、荷重変動率 R は、表-3に示した荷重振幅の上限荷重 P_u と軸重

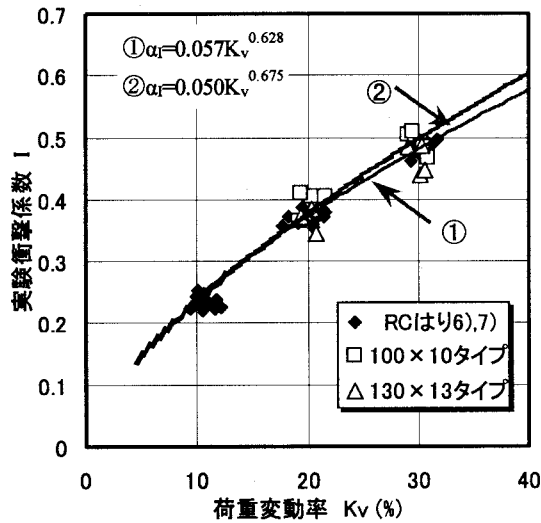


図-8 実験衝撃係数と荷重変動率の関係

量 P から、式(3)より算出する。

$$V_k = \{(P_u/P) - 1\} \times 100 \quad (3)$$

ここで、 V_k : 荷重変動率(%), P_u : 上限荷重(kN), P : 軸重量(kN)

実験衝撃係数 I と荷重変動率 V_k の関係を図-8に示す。なお、文献(6,7)に示すRCはりの場合の実験衝撃係数も図-8に併記した。

本実験で得た実験衝撃係数 I と荷重変動率 V_k の関係から荷重変動率を関数とした実験衝撃係数 I を定式化すると、式(4)として与えられる。

①RC床版の実験衝撃係数 I

$$I = 0.057 V_k^{0.628} \quad (4)$$

②RC床版およびRCはりの実験衝撃係数 I

$$I = 0.050 V_k^{0.675} \quad (5)$$

ここに、 I : 実験衝撃係数, V_k : 荷重変動率(%)

なお、相関係数は $r^2=0.987$ であり、極めて良好な結果である。RCはりのみの場合は $I=0.055 V_k^{0.649}$ である²³⁾。

本実験供試体RC床版の実験衝撃係数 I と荷重変動率 V_k の関係から、文献7)に示すRCはりと比較すると、やや下回る結果となった。これは、RC床版の120×13タイプの主鉄筋と配力筋の鉄筋量を同等に配置したために、衝撃係数が下回ったものである。

現行示方書の規定する衝撃係数 i は、床版支間長2.0mの場合 $i=0.385$ 、支間長が2.4mの場合 $i=0.386$ である。本実験の場合は荷重振幅が±20%以上になると現行示方書の規定する衝撃係数を上回ることになる。したがって、図-2に示した、段差部通過後の荷重分布および包絡線によると、段差量20mmで荷重振幅が20%の場合は、支点から12m付近までは、曲げモーメントの割り増しが必

要であると考えられる。なお、段差量が10mm以下の場合は、現行示方書に規定する衝撃係数を下回る結果となった。

9. まとめ

本研究は、大型車両の荷重変動が及ぼす動的影響を定量的に評価するため、RC床版供試体を用いて実験を行った結果、以下の結論を得た。

①走行振動荷重に対するRC床版の最大耐力は、走行一定荷重の場合の最大耐力と走行振動荷重の場合の上限荷重に近似している。したがって、本研究の範囲内では荷重振幅の大きさは耐力に大きな影響を及ぼさない結果となった。

②本実験で得た実験衝撃係数 I と荷重変動率 V_k の関係から荷重変動率を関数とした実験衝撃係数 I より、荷重振幅の大きさより衝撃係数の推定が可能である。

③荷重とたわみの関係、すなわちたわみによる動的増幅率から得た実験衝撃係数 I は、荷重振幅に対して1.3倍～1.6倍生じていることから、伸縮装置の段差量を10mm以下にするなどの維持管理を行なうことでライフサイクルコスト低減が可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所構造研究室：橋梁設計動荷重に関する試験調査報告書(VII-1985), 土木研究所資料, No.2258, 1985
- 2) 建設省土木研究所構造研究室：橋の衝撃荷重に関する試験調査報告書(I-1987), 土木研究所資料, No.2426, 1987
- 3) 建設省土木研究所構造研究室：橋の衝撃荷重に関する試験調査報告書(I-1987), 土木研究所資料, No.2508, 1987
- 4) 日本道路橋会：道路橋示方書・同解説 I, II, III, 2002.3
- 5) Bakht, B. and Pinjarkar, S.G.: Review of Dynamic Testing of Highway Bridges, the Research and Development Branch, Ministry of Transportation of Ontario (OTM), TRB 880532, SPR-89-01, January 1989
- 6) 阿部 忠, 木田哲量, 澤野利章, 星埜正明, 加藤清志：走行荷重および変動荷重を受けるRCはりの耐荷力と動的影響, 構造工学論文集, Vol.47A, pp.313～320, 2001
- 7) 阿部 忠, 木田哲量, 澤野利章, 星埜正明, 加藤清志：走行振動荷重を受けるRCはりの動的影響に関する実験研究, 第6回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, 土木学会, 構造工学技術シリーズ No.26, pp.7-12, 2002.7