

車両の走行振動が道路橋RC床版に及ぼす動的影響係数に関する研究

日大生産工（院） ○西村 昌宏 日大生産工 木田 哲量
日大生産工 阿部 忠 日大生産工（院） 徐 銘謙

1. はじめに

鋼道路橋鉄筋コンクリート床版(RC床版)の損傷は、大型自動車伸縮継手の段差部を走行した際に生じる荷重変動による走行振動荷重も原因の一つであると考えられている。しかし、大型自動車の振動荷重を想定した荷重による実験装置は少なく、その動的影響は明確にされていないのが現状である。そこで、本研究では走行振動試験装置¹⁾を用いて①走行一定荷重実験、②走行振動荷重実験を行い、RC床版の実験耐力および走行荷重による荷重変動がRC床版に及ぼす動的影響をたわみ・ひずみによる動的応答倍率から実験衝撃係数を求め、両者の関係より動的影響係数を評価する。

2. 大型自動車の荷重変動およびひび割れ状況

2.1 大型自動車の荷重変動

独立行政法人土木研究所では、大型自動車伸縮継手の段差部を走行した場合に生じる荷重変動および衝撃力についての実験・研究を行なっている²⁾。それによると、図-1に示すように、橋長45mの鋼合成桁橋を総重量21.0tfのダンデム式ダンブトラックが時速40km/hで段差20mmの伸縮継手を通過した時、中軸・後軸の軸重量に対し、±41～48%の荷重変動が生じている。また、この時のバネ下振動数は中軸で13Hz、後軸で18Hz程度生じている。

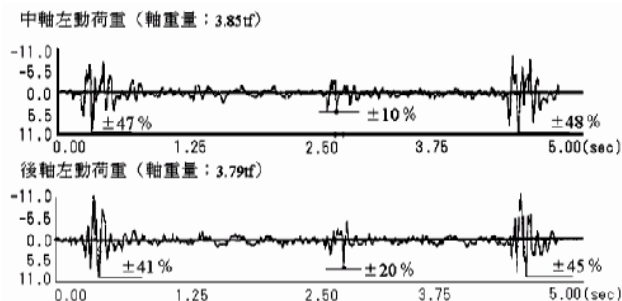


図-1 大型自動車の荷重変動

2.2 鋼合成桁橋RC床版の損傷状況

鋼合成桁橋RC床版の損傷状況の一例を図-2に示す。このひび割れ損傷は荷重変動の著しい伸縮継手部を通過した後の衝撃の影響が最も大きい走行レーンの入口付近の状況である。この床版のひび割れ間隔は15～30cm程であり、主桁付近まで進展していることから、すでにはり状化しているものと推測される。

3. 実験概要および実験方法

3.1 使用材料

供試体のコンクリートは普通ポルトランドセメント、粗骨材は栃木県栗野町産の最大寸法20mmの骨材を使用した。コンクリートの圧縮強度は32.0N/mm²、弾性係数は27.2kN/mm²である。また、鉄筋はD10を用いた。鉄筋の降伏強度は370N/mm²、弾性係数は200kN/mm²である。

3.2 供試体の寸法および鉄筋の配置

供試体は支間120cm、全長147cm、厚さ13cmとする。鉄筋の配置は複鉄筋とし、引張側の鉄筋を軸直角方向と軸方向に10cm間隔に配置し、有効高さはそれぞれ10.5cm、9.5cmとする。また、圧縮鉄筋量は引張鉄筋量の1/2を配置する。供試体寸法および鉄筋の配置を図-3に示す。なお、本実験におけ

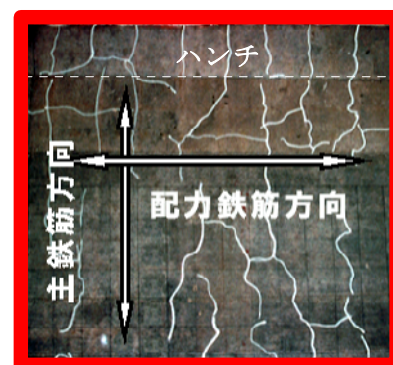


図-2 鋼合成桁橋RC床版の損傷状況

Dynamic Effect Coefficient of Highway bridge RC Slab
under Running Vibration of Vehicle
by Masahiro NISHIMURA
Tetukazu KIDA, Tadashi ABE and Ming - chien.Hsu

る各供試体のたわみ(No.1～No.5)・軸直角方向鉄筋ひずみ(No.A～No.E)の計測位置を図-3に併記した。

3.3 実験方法

走行振動試験装置は、鋼製の反力フレームのほりに鋼製の車輪を取り付けた油圧式の構造物振動疲労試験機を固定し、供試体を取り付けた台車をクランクアームとモーターにより水平方向へ往復運動させ、車両の走行状態を再現するものである。実験方法を図-4に示す。

(1) 走行一定荷重実験 (CR)

走行一定荷重実験では供試体の左支点Aに荷重を載荷させ、左支点Aから右支点Bまで1往復走行させる。走行速度は1往復 2.4m を 13sec で走行する 0.18m/s とした。載荷方法は、1 走行ごとに 5.0kN ずつ増加する段階荷重とした。

(2) 走行振動荷重実験 (V)

走行振動荷重実験は、基準荷重に対して荷重振幅 $\pm 20\%$ 、 $\pm 30\%$ の変動荷重を供試体の支点間を走行させた。作用振動数が 1.8Hz の正弦波形による片振り荷重とし、走行速度および載荷方法は走行一定荷重実験と同様とした。なお、作用振動数はダンデム式ダンブトラックが伸縮継手の段差部 20mm を通過した際に生じるバネ下振動数 13Hz～18Hz を実験供試体の支間長と走行速度の関係から算出したものである。本実験の振動荷重 $\pm 20\%$ の作用荷重状態を図-5に示す。なお、最大荷重 11.0tf の点における変動荷重は車両の不陸の問題、すなわち衝撃力となるので、この荷重は本実験では考慮しないこととする。

3.4 動的影響の評価方法³⁾

道路橋に作用する活荷重は、伸縮継手の段差、橋面の凹凸、車両の加速・減速、前後車両との協同作用等の要因によって静的に作用した場合よりも大きな影響を与える。そこで、道路橋示方書ではこれを衝撃と称し、衝撃の度合いを衝撃係数と定義し、活荷重曲げモーメントに割り増ししている⁴⁾。したがって、衝撃係数は、応力ないし曲げモーメント応答を基にした動的応答倍率で評価することが望ましい。

本研究では、走行振動荷重実験の過程で走行一定荷重実験を行い、両者のたわみ・ひずみにおける動的応答波形図から、最大応答値を求め、式(1)、(2)より走行振動荷重が及ぼす動的影響をたわみ、ひずみにおける実験衝撃係数 α_{ld} 、 α_{le} として評価する。ここで、動的応答波形の概念図を図-6に示す。

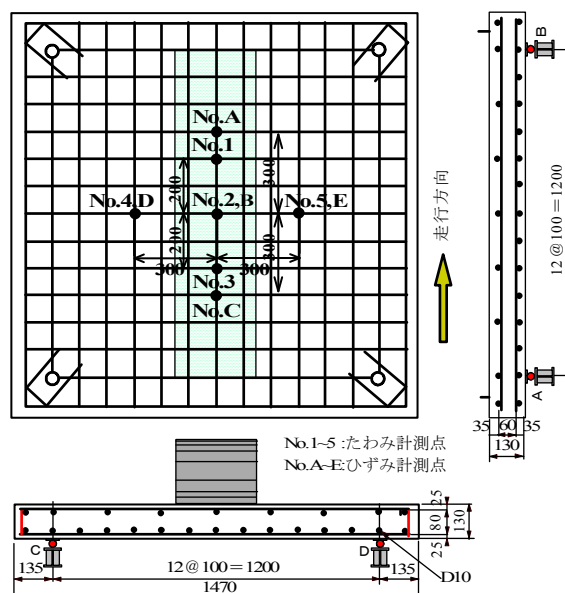


図-3 供試体寸法および鉄筋配置

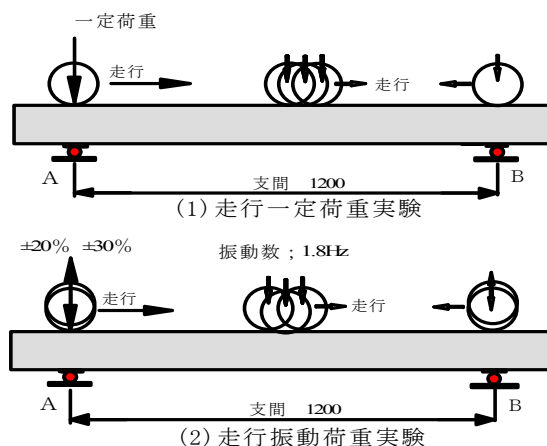


図-4 実験方法

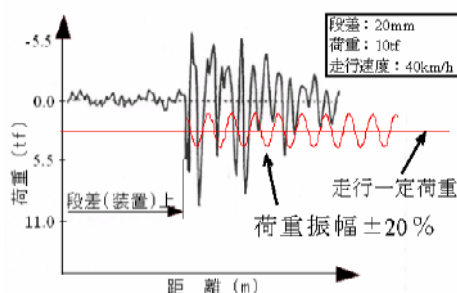


図-5 作用荷重状態

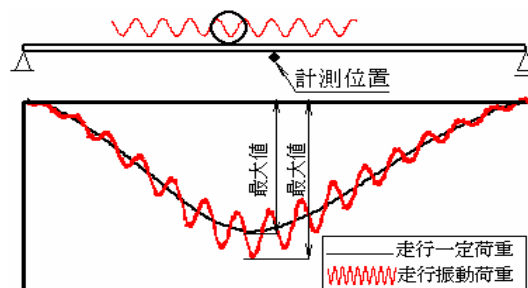


図-6 動的応答波形の概念図

なお、実験衝撃係数を求める荷重は、残留値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の関係から得られる弾性域の荷重 60kN、70kN とする。

$$\alpha_{ld} = \frac{\text{走行振動荷重によるたわみの最大値}}{\text{走行一定荷重によるたわみの最大値}} - 1 \quad (1)$$

$$\alpha_{le} = \frac{\text{走行振動荷重によるひずみの最大値}}{\text{走行一定荷重によるひずみの最大値}} - 1 \quad (2)$$

ここで、 α_{ld} ：たわみによる実験衝撃係数、 α_{le} ：ひずみによる実験衝撃係数

4. 実験結果および考察

4. 1 実験耐力および破壊モード

本実験の各供試体の実験耐力を表-1に示す。

走行一定荷重実験の場合の平均最大耐力と走行振動荷重実験の平均最大耐力を比較すると、各供試体ともに±20%の場合は、荷重振幅の上限値 P_u で走行一定荷重実験の平均最大耐力と近似している。しかし、荷重振幅±30%の場合は耐力比 V/CR が 0.97 となり、耐力が 3%低下した。破壊モードは各供試体ともに押抜きせん断破壊となった。

4. 2 動的応答倍率による実験衝撃係数

各測点のたわみ、ひずみの動的応答倍率から得られた結果を式(1)、(2)に適用し、解析した結果を表-2に示す。

実験衝撃係数 α_{ld} の平均値は荷重振幅±20%で

0.368、±30%で 0.478 であり、与えた荷重振幅に対して、それぞれ 1.84 倍(=0.368/0.200)、1.59 倍(=0.478/0.300)となった。次に、実験衝撃係数 α_{le} の平均値は荷重振幅±20%で 0.347、±30%で 0.513 であり、与えた荷重振幅に対して、それぞれ 1.74 倍(=0.347/0.200)、1.71 倍(=0.513/0.300)となった。また、ひずみにおける各計測点の実験衝撃係数は、たわみによる解析結果と比較すると値のばらつきが多く、最大値では 0.678、最小値では 0.355 を示している。

しかし、いずれの場合も与えた荷重振幅(V-20 の場合、0.200、V-30 の場合、0.300)以上の衝撃係数である。これは、振動荷重の影響によって発生したひび割れに伴う曲げ剛性の低下が要因であると推測される。

4. 3 実験衝撃係数の評価式

本実験における実験衝撃係数は、たわみ・ひずみともに与えた荷重振幅(±20%:0.200、±30%:0.300)以上の結果となった。そこで、軸重量(基準荷重:P)

表-1 実験耐力

供試体	最大耐力(kN)			平均値	耐力比 V/CR
	上限荷重 P_u	軸重量 P	下限荷重 P_L		
120×13-CR-1	-	184.3	-	183.1	-
120×13-CR-2	-	181.9	-		
120×13-V20-1	186.1	154.7	123.2	183.0	1.00
120×13-V20-2	179.8	149.2	118.6		
120×13-V30-1	181.6	140.5	99.3	178.1	0.97
120×13-V30-2	174.5	134.3	94.1		

表-2 実験衝撃係数

(1) たわみにおける実験衝撃係数

供試体	荷重変動率				実験衝撃係数					平均値	平均値	
	Pu(kN)	P(kN)	(Pu/P-1)	V _k (%)	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5			
120×13-V20-1	72.32	60.08	0.204	20.4	0.365	0.417	0.352	0.413	0.373	0.377	0.368	
	83.44	69.74	0.196	19.6	0.339	0.405	0.392	0.379	0.334			
120×13-V20-2	71.80	60.13	0.194	19.4	0.339	0.365	0.403	0.424	0.329	0.358		0.368
	86.70	71.75	0.208	20.8	0.381	0.359	0.328	0.345	0.307			
120×13-V30-1	76.95	59.65	0.290	29.0	0.444	0.504	0.499	0.458	0.510	0.461	0.478	
	92.10	70.73	0.302	30.2	0.436	0.469	0.428	0.426	0.439			
120×13-V30-2	78.54	60.16	0.306	30.6	0.424	0.464	0.427	0.472	0.447	0.467		0.478
	90.98	69.84	0.303	30.3	0.533	0.533	0.451	0.455	0.461			

(2) ひずみにおける実験衝撃係数

供試体	荷重変動率				実験衝撃係数					平均値	平均値	
	Pu(kN)	P(kN)	(Pu/P-1)	V _k (%)	No.A	No.B	No.C	No.D	No.E			
120×13-V20-1	72.32	60.08	0.204	20.4	0.333	0.327	0.389	0.289	0.379	0.340	0.347	
	83.44	69.74	0.196	19.6	0.299	0.373	0.399	0.268	0.344			
120×13-V20-2	71.80	60.13	0.194	19.4	0.289	0.391	0.343	0.445	0.424	0.353		0.513
	86.70	71.75	0.208	20.8	0.300	0.410	0.289	0.368	0.272			
120×13-V30-1	76.95	59.65	0.290	29.0	0.453	0.678	0.369	0.528	0.539	0.504	0.513	
	92.10	70.73	0.302	30.2	0.375	0.656	0.355	0.539	0.549			
120×13-V30-2	78.54	60.16	0.306	30.6	0.481	0.510	0.682	0.529	0.379	0.522		0.513
	90.98	69.84	0.303	30.3	0.650	0.444	0.630	0.527	0.387			

に対する荷重振幅を変数として作用させたことから、本実験の荷重振幅を荷重変動率 V_k と定義する。なお、荷重変動率 V_k は表-2 に示した荷重振幅の上限荷重 P_u と軸重量 P から、式(3)より算出した。

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

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

本実験における作用荷重振幅が $\pm 20\%$ 、 $\pm 30\%$ であるのに対して、荷重変動率をみると約 $\pm 1.0\%$ の差異が生じている。これは供試体の表面の凹凸によるものでと推測される。ここで、たわみ、ひずみにおける実験衝撃係数 α_{ld} 、 α_{le} と荷重変動率 V_k の関係を図-7 に示す。

(1) たわみによる実験衝撃係数： α_{ld}

図-7 より、荷重変動率 V_k を関数とした、たわみによる実験衝撃係数 α_{ld} を定式化すると式(4)として与えられる。

$$\alpha_{ld} = 0.054 V_k^{0.644} \quad (4)$$

ここに、 α_{ld} ：たわみによる実験衝撃係数、 V_k ：荷重変動率(%)

(2) ひずみによる実験衝撃係数： α_{le}

図-7 より、荷重変動率 V_k を関数とした、ひずみによる実験衝撃係数 α_{le} を定式化すると式(5)として与えられる。

$$\alpha_{le} = 0.018 V_k^{0.980} \quad (5)$$

ここに、 α_{le} ：ひずみによる実験衝撃係数、 V_k ：荷重変動率(%)

なお、相関関係はたわみおよびひずみでそれぞれ $\gamma = 0.979$ 、 0.997 であり、極めて良好な結果である。

4. 4 荷重変動を考慮した衝撃係数の適用

大型自動車が伸縮継手の段差部を通過するとき発生する荷重変動は、橋梁の両支点部付近で軸重量に対して $\pm 41\% \sim 48\%$ 生じている。したがって、この付近の床版は大きな荷重変動による動的影響を受けている。そこで、この区間の損傷問題の解決策の一つとして、本実験より得られた実験衝撃係数を動的影響係数と定義し、道示Ⅱ⁴⁾に規定する活荷重曲げモーメントに割り増しすることを提案する。

ここで、本実験で用いた RC 床版の支間は 1.2m であることから、支間 1.2m を道示Ⅰに規定される衝撃係数 $i (=20/(50+L), L$ ：支間)に適用した場合、衝撃係数は 0.391 となる。そこで、本実験で得られた実験衝撃係数 α_{ld} および α_{le} と道示Ⅰに規定される衝撃係数 i の境界線を求めるため、式(4)、(5)に衝撃

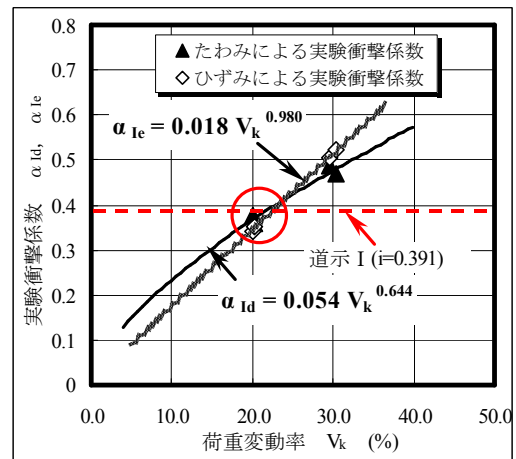


図-7 実験衝撃係数と荷重変動率との関係

係数 0.391 を代入すると、たわみの場合は、荷重変動率 $V_k = 21.6\%$ 、ひずみの場合は、荷重変動率 $V_k = 23.1\%$ で道示Ⅰに規定される衝撃係数 i を上回る結果となる。

したがって、RC 床版の設計では伸縮継手近傍でこの荷重変動率 V_k を上回る荷重変動が生じる場合、本実験で得られた動的影響係数を考慮した活荷重曲げモーメント式を適用する必要があると考えられる。

5. まとめ

- ① 走行振動荷重実験の平均最大耐力を走行一定荷重載荷実験の場合と比較すると、荷重振幅 $\pm 20\%$ の場合は近似するが、 $\pm 30\%$ の場合はやや低下する結果となった。
- ② 本実験による実験衝撃係数は、たわみ、ひずみともに与えた荷重振幅($\pm 20\%$ の場合 0.200、 $\pm 30\%$ の場合 0.300)に対して衝撃係数は大きく上回る結果となった。これは、振動荷重の影響によるひび割れが曲げ剛性を低下させたためである。
- ③ RC 床版の設計においては、伸縮継手の段差によって発生する荷重変動の影響を考慮した設計を行う必要がある。

「参考文献」

- 1) 木田哲量、阿部 忠、西村昌宏、澤野利章、徐銘謙：走行振動荷重を受ける RC 床版の実験耐力および衝撃係数、構造工学論文集、Vol.50A、pp.1287-1294、2004。
- 2) 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(Ⅷ-1985)、土木研究所資料、No.2258、1985。
- 3) 梶川康男：橋梁振動の計測と解析、橋梁振動研究会、1993。
- 4) 日本道路協会：道路橋仕方書・同解説Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、2002。