

荷重変動を受ける RC 床版の衝撃係数に関する実験研究

日大生産工(院) ○木内彬喬 日大生産工(非常勤) 阿部忠 日大生産工 澤野利章 水口和彦

1. はじめに

高度経済成長期に建設された橋梁は、建設後 50 年以上が経過し老朽化した RC 床版が増大している。また、近年では大型車両の交通量増大に伴う疲労損傷もみられ、とくに、損傷事例の中で、抜け落ちた箇所の多くは伸縮継手付近であるとの報告がなされている。これは、伸縮継手の段差を大型車両が通過した際に発生する荷重変動に起因したものと考えられており、各研究機関で研究^{1)~4)}が行われてきた。しかし、疲労実験による荷重変動の影響についてはあまり行われていないのが現状である。そこで本研究は、RC 床版供試体を用いて走行一定荷重および荷重変動による輪荷重走行疲労実験を行い、荷重変動が耐疲労性に及ぼす影響およびたわみと走行時刻の関係より算出した動的増幅率から衝撃係数を検証する。

2. 既往の研究

2.1 大型自動車の荷重変動

土木研究所¹⁾では、橋梁支間が 45m の合成桁橋に設けた 20mm の段差を、総重量 205kN のタンデム式ダンプトラックが通過した際に発生する中軸・後軸の荷重変動について図-1のように報告している。図-1によると、中軸左重量は軸重量 37.73kN に対して最大荷重 107.8kN、後軸左重量も軸重量 37.14kN に対して 102.9kN とそれぞれ基準荷重に対して 2.77 倍、2.88 倍の荷重が作用している。

2.2 荷重変動が作用するRC床版の衝撃係数

阿部ら⁴⁾は、伸縮継手を大型車両が通過する際に発生する荷重変動が RC 床版に作用した場合の衝撃係数についての実験研究を行い、その成果を報告している(以下、文献4)とする)。文献4)では、荷重変動が作用した場合の衝撃係数の評価式として、実験時の荷重変動率を関数とした衝撃係数と、支間 L を関数とした道示 I⁵⁾に規定する衝撃係数を考慮した衝撃係数を動的影響係数 α_i と定義して、式[1]を提案している。

$$K_v \leq K_i : \alpha_i = i$$

$$K_i < K_v : \alpha_i = 0.050K_v^{0.675} \quad [1]$$

ただし、 $K_i = -0.20L + 20.8$

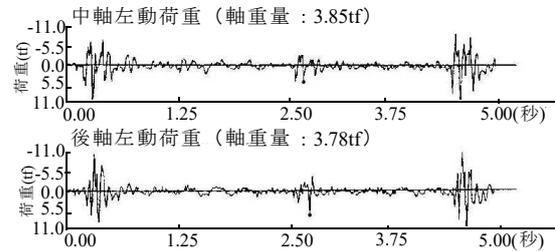


図-1 大型車両の荷重変動

表-1 材料特性値

供試体	コンクリートの 圧縮強度 (N/mm ²)	鉄筋 (SD295A)			
		使用 鉄筋	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
RC30	30.0	D13	355	498	200
RC30-V20					
RC30-V30					
RC35	35.0				
RC35-V20		33.0			
RC35-V30					

$$i = 20 / (50 + L)$$

ここで、 α_i : 動的影響係数, K_v : 荷重変動率(%), K_i : 基準荷重振幅, i : 道示 I に規定する衝撃係数, L : 支間 (m)

また、文献4)では支間 2.0m の RC 床版について、道示 I の規定による衝撃係数は $i = 0.385$ であるが、荷重変動率が 20.4%以上作用した場合、道示の衝撃係数を上回るとの報告がなされている。しかし、式[1]は、1 走行ごとに荷重を増加させる段階荷重載荷試験から得た結果であり、走行疲労の影響を受けた場合の衝撃係数については評価されていないのが現状である。

3. 供試体の使用材料・寸法

3.1 使用材料

RC 床版供試体のコンクリートには、普通セメントと 5mm 以下の砕砂および 5mm ~ 20mm の砕石を使用した。本供試体の配合条件は、道示⁶⁾に規定されているコンクリートの設計基準強度 24N/mm²以上を目標とした。また、鉄筋には SD295A, D13 を配置した。ここで、本実験に用いる供試体の材料特性値を表-1に示す。表-1より、コンクリートの圧縮強度が 30.0N/mm² の供試体名称を RC30, 33.0N/mm², 35.0N/mm² 供試体名称を RC35 とする。

Experimental Study on Impact Coefficient of RC slabs act on load fluctuation

Akitaka KIUCHI, Tadashi ABE and Toshiaki SAWANO, Kazuhiko MINAKUCHI

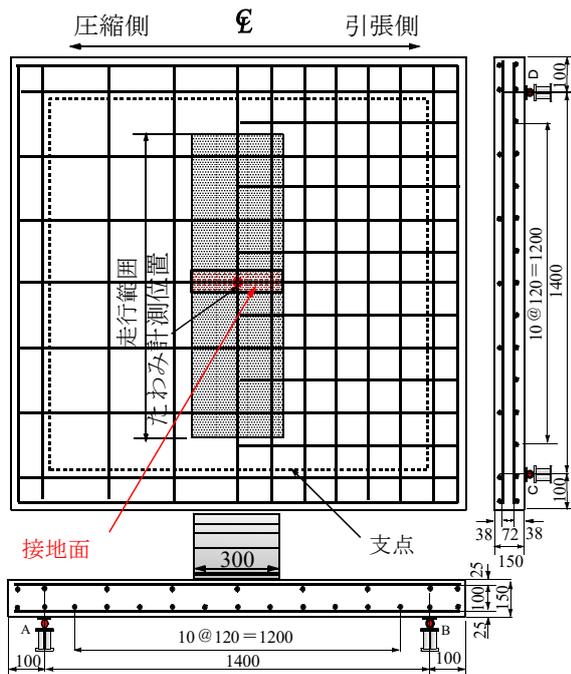


図-2 供試体寸法および鉄筋配置

3.2 供試体寸法および鉄筋の配置

RC 床版供試体は、1994 年以降改定の道示⁶⁾の基準に準拠して製作し、その 3/5 モデルとした。よって、供試体の寸法は図-2 に示すように、全長 1,600mm、支間 1,400mm、床版厚 150mm の等方性版とした。鉄筋は複鉄筋配置とし、引張側の軸直角方向および軸方向に D13 を 120mm 間隔で配置した。引張主鉄筋の有効高 125mm、配力筋の有効高さは 112mm である。また、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した。

4. 実験方法

4.1 走行一定荷重による疲労実験

走行一定荷重による疲労実験は、RC 床版の中央から両支点方向に 450mm の範囲 (900mm) を荷重 100kN で供試体が破壊するまで連続走行させる実験である。ここで、一定荷重で 1 走行した場合の荷重波形を図-3 に示す。計測項目は、走行回数が 1, 10, 100, 1,000, 5,000 回および 5,000 回以降は 5,000 回走行ごとに床版中央のたわみを動的に計測する。

4.2 走行振動荷重による疲労実験

走行振動荷重による疲労実験は、一定荷重 100kN に対して荷重振幅が $\pm 20\%$ (上限荷重 120kN, 下限荷重 80kN) および $\pm 30\%$ (上限荷重 130kN, 下限荷重 70kN) の荷重変動とし、それぞれ V20, V30 と表記する。振動数は 1.0Hz の正弦波形の片振り荷重で走行させる。よって、供試体 RC30 に荷重振幅 $\pm 20\%$, $\pm 30\%$ を作用させた供試体の名称はそれぞれ RC30-V20, RC30-V30 とし、各 2 体用いる。また、

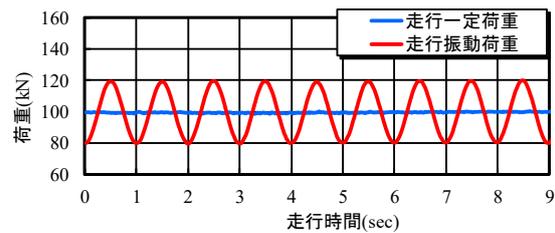


図-3 荷重波形の一例

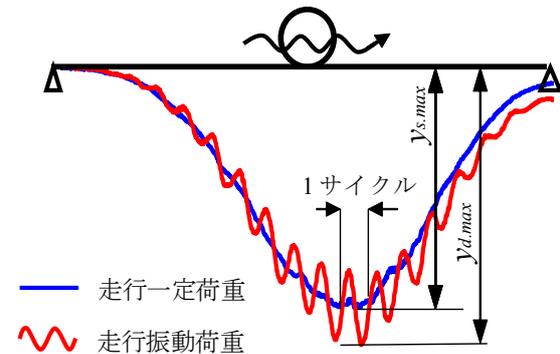


図-4 支間中央における DAF

供試体 RC35 はそれぞれ RC35-V20, RC35-V30 とする。ここで、荷重振幅 $\pm 20\%$ の荷重波形の一例を図-3 に併記した。なお、走行範囲および計測項目は走行一定荷重による疲労実験と同様とする。

5. 等価走行回数および衝撃係数の算出方法

5.1 等価走行回数の算出方法

実験荷重下における疲労破壊までの走行回数を基準荷重の繰り返し数に換算した等価走行回数は、マイナー則 (線形累積損傷則) に従うものと仮定し、式[2]より算出する。

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^n (P_i/P)^m \times n_i \quad [2]$$

ここで、 N_{eq} : 等価走行回数 (回), P_i : 載荷荷重 (kN), P : 基準荷重 (72kN), n_i : 実験走行回数 (回), m : S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 (12.76)⁶⁾

5.2 衝撃係数の算出方法⁷⁾

本研究では、荷重変動が作用した場合の動的影響を衝撃係数として評価する。衝撃係数は、たわみ応答値による動的増幅率 (以下、DAF とする) より得るものとし、支間中央における DAF を図-4 に示す。DAF は最大動的たわみ値 ($y_{d,max}$) と最大静的たわみ値 ($y_{s,max}$) の差を最大静的たわみ値 ($y_{s,max}$) で除したものとして定義され、式[3]で与えられる。また、道路橋における衝撃係数を DAF から算出する場合、式[4]として与えられる。本実験では、走行一定荷重を作用させた疲労実験による最大静的た

わみ ($y_{s,max}$) と走行振動荷重を作用させた疲労実験による最大動的たわみ ($y_{d,max}$) の関係から実験衝撃係数 I を式[4]より求める。

$$DAF = 1 + \frac{y_{d,max} - y_{s,max}}{y_{s,max}} \quad [3]$$

$$I = DAF - 1 \quad [4]$$

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

6. 結果および考察

6. 1 等価走行回数

各供試体における等価走行回数を表-2に示す。

(1) 供試体RC30

供試体 RC30 の等価走行回数は 9.045×10^6 回である。次に、供試体 RC30-V20-1, 2 の等価走行回数はそれぞれ 3.876×10^6 回、 3.248×10^6 回であり、供試体 RC30 との等価走行回数比は 0.429, 0.359 である。また、供試体 RC30-V30-1, 2 の等価走行回数はそれぞれ 1.167×10^6 回、 0.920×10^6 回であり、供試体 RC-30 との等価走行回数比はそれぞれ 0.129, 0.102 である。よって、走行振動荷重が作用した場合には耐疲労性が大幅に低下している。

(2) 供試体RC35

供試体 RC35 の等価走行回数は 24.563×10^6 回である。次に、供試体 RC35-V20, V30 の等価走行回数はそれぞれ 6.743×10^6 回、 2.075×10^6 回であり、供試体 RC35 との等価走行回数比は 0.275, 0.084 である。

以上の結果より、走行振動荷重載荷においては圧縮強度の差異に関わらず耐疲労性は大幅に低下しており、荷重変動が耐疲労性に及ぼす影響は非常に大きい。

6. 2 衝撃係数

衝撃係数の算定では、V30 による供試体のたわみの増加が著しいことから統一性を評価するために実験走行回数 10,000 回までとし、とくにたわみの増加が著しい供試体 RC30-V30-1, -2 は走行回数 10,000 回についても、評価対象外とした。ここで、走行一定荷重および走行振動荷重におけるたわみと走行時刻の関係の一例を図-5, 6に示す。なお走行一定荷重によるたわみは黒線、V20, V30 によるたわみをそれぞれ赤線、青線で表記した。また、各供試体の走行回数ごとにおける最大静的たわみ、最大動的たわみおよび式[3], [4]より算定した衝撃係数を表-3に示す。なお、文献4)式[1]より算出した衝撃係数は 0.378, 0.499 である。

(1) 供試体RC30

各供試体の実験走行回数 1 回、10000 回時にお

表-2 等価走行回数

供試体	実験走行回数	等価走行回数	回数比 (RC-V/RC)
RC30	139,500	9,045,895	-
RC30-V20-1	59,780	3,876,442	0.429
RC30-V20-2	50,100	3,248,741	0.359
RC30-V30-1	18,001	1,167,278	0.129
RC30-V20-2	14,200	920,802	0.102
RC35	378,800	24,563,332	-
RC35-V20	104,000	6,743,893	0.275
RC35-V30	32,000	2,075,045	0.084

るたわみと走行時刻の関係を図-5(1), (2)に示す。供試体 RC30 における 1 走行後の最大静的たわみは 1.210mm, 供試体 RC30-V20-1 による最大動的たわみは 1.725mm であり、衝撃係数を式[3], [4]より算定すると $I = 0.426$ となる。10,000 回走行時における衝撃係数 I は 0.564 である。また、供試体 RC30-V20-2 も同程度の値を示している。

次に、供試体 RC30-V30-1, -2 は供試体 RC30-V20 に比して上限荷重が大きいことからたわみも大きくなっている。供試体 RC30-V30-1 の最大動的たわみは 1.924mm で、衝撃係数 I は 0.590 である。走行回数 5,000 回時の最大動的たわみは 3.759mm であり、衝撃係数 $I = 0.748$ である。また、供試体 RC30-V30-2 も同程度の値を示している。

等価走行回数と衝撃係数の関係は、全ての供試体において走行回数の増加に伴い衝撃係数 I も増加している。これは、同一荷重下での載荷ではあるが走行回数の増加に伴いひび割れが進展することで、たわみが増加したためと推察される。また、文献4)式[1]より算出した衝撃係数を 1 回走行時点で上回っている。これは荷重変動率は同一条件としたが、上限荷重値が 33.50kN ~ 90.98kN であるのに対して、本実験では 120kN (V20), 130kN (V30) と載荷荷重レベルが異なるためである。

(2) 供試体RC35

各供試体の実験走行回数 1 回、10000 回時におけるたわみと走行時刻の関係を図-6(1), (2)に示す。供試体 RC35 における 1 回、10000 回走行後の最大静的たわみは 1.106mm, 1.910mm である。一方、供試体 RC35-V20 による 1 回、10000 回走行後の最大動的たわみはそれぞれ 1.561mm, 1.752mm であり、衝撃係数 I は 0.412, 0.585 となる。また、供試体 RC35-V30 の 1 回、10000 回走行後の最大動的たわみはそれぞれ 1.752mm, 3.361mm であり、衝撃係数 I は 0.548, 0.760 である。

等価走行回数と衝撃係数の関係は、供試体 RC30 と同様の増加傾向を示している。しかしながら、各

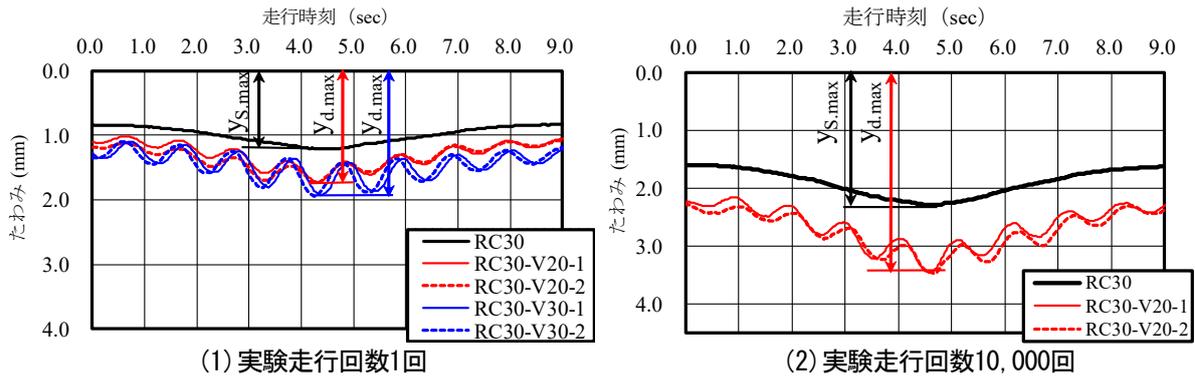


図-5 供試体RC30のたわみと走行時刻の一例

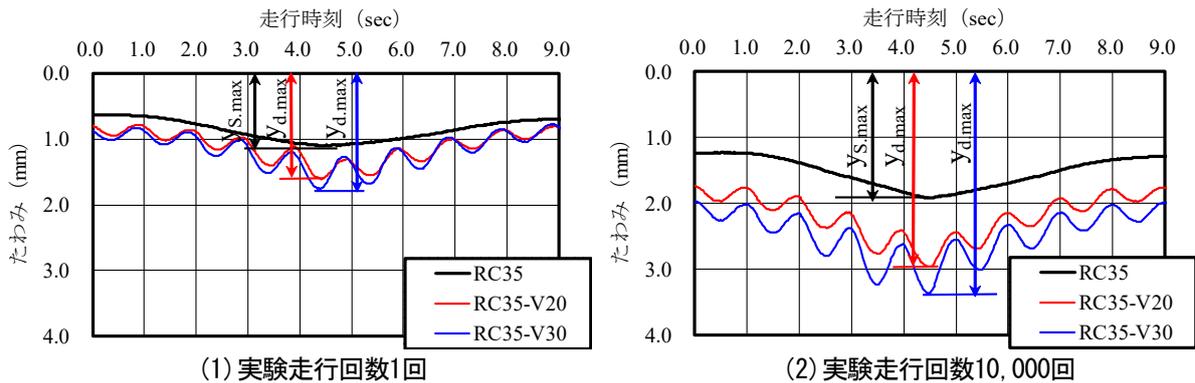


図-6 供試体RC35のたわみと走行時刻の一例

表-3 最大静的たわみ, 最大動的たわみおよび衝撃係数

実験走行回数	等価走行回数	RC-30		RC30-V20-1		RC30-V20-2		RC30-V30-1		RC30-V30-2		RC-35		RC35-V20		RC35-V30	
		$y_{s,max}$	$y_{d,max}$	I	$y_{d,max}$	I	$y_{d,max}$	I	$y_{s,max}$	$y_{d,max}$	I	$y_{d,max}$	I	$y_{d,max}$	I		
1	66	1.210	1.725	0.426	1.734	0.433	1.924	0.590	1.932	0.596	1.106	1.561	0.412	1.752	0.585		
10	649	1.400	2.037	0.455	2.072	0.480	2.285	0.632	2.296	0.640	1.276	1.868	0.464	2.065	0.619		
100	6,486	1.660	2.484	0.496	2.500	0.506	2.776	0.672	2.776	0.672	1.490	2.202	0.478	2.449	0.643		
1,000	64,846	1.940	2.974	0.533	3.021	0.557	3.305	0.704	3.338	0.720	1.670	2.535	0.518	2.828	0.694		
5,000	324,277	2.150	3.327	0.547	3.382	0.573	3.759	0.748	3.778	0.757	1.810	2.778	0.535	3.129	0.729		
10,000	648,452	2.290	3.582	0.564	3.635	0.587	—	—	—	—	1.910	2.957	0.548	3.361	0.760		

走行回数ごとの衝撃係数を比較すると、供試体 RC35 の衝撃係数 I は供試体 RC30 を下回っている。これは圧縮強度を高くすることで、ひび割れの進展が抑制され、衝撃係数が低減されるためと考えられる。

7. まとめ

- (1) 伸縮継手の段差などによって発生する荷重変動を模擬した走行振動荷重を作用させた場合、一定荷重で走行した場合の等価走行回数と比較して耐疲労性は荷重振幅が $\pm 20\%$ で 40%、荷重振幅が $\pm 30\%$ で 10% に低下する結果となった。よって、走行振動荷重が耐疲労性の与える影響は大きい。
- (2) 等価走行回数と衝撃係数の関係では走行回数の増加に伴い、ひび割れが進展し剛性が低下することから衝撃係数が増大する結果となった。
- (3) 供試体 RC30 と比して供試体 RC35 はコンクリートの圧縮強度が高く、たわみも抑制されることから、衝撃係数は低減する。

参考文献：

- 1) 建設省土木研究所構造研究室：橋の衝撃荷重に関する実験調査報告書 (I-1987), 土木研究所資料, No.2508 (1987)
- 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) 横山功一ほか：道路橋床版の衝撃係数に関する実験, 構造工学論文集, Vol.35A, pp.749-756, (1989)
- 4) 阿部忠ほか：走行振動荷重を受ける RC はり・床版の耐力および動的影響に関する実験研究, 土木学会論文集, No.808/I-74, pp.33-45 (2006)
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I, II (1994)
- 6) 松井繁之：道路橋床版設計・施工と維持管理, 森北出版 (2007)
- 7) 橋梁振動研究会：橋梁振動の計測と解析, 技報堂出版 (1993)