# 走行振動疲労荷重を受ける道路橋 RC 床版の動的影響

日大生産工 木田哲量 阿部忠 澤野利章 日大生産工(P.D) 水口和彦

#### 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1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<sup>1), 2)</sup>を想定した走行振動荷重による疲労を受けた場 合、すなわち、RC 床版が耐用年数内に走行振動荷重に よって受ける動的影響を評価するものである。実験では、 走行振動荷重による 40,000 回走行による疲労損傷を与 え、設計荷重と作用荷重との関係から松井ら<sup>3</sup>が提案して いる等価繰り返し回数をもとに実験衝撃係数を評価した。 また、40,000 回走行を履歴した供試体に対する段階荷重 実験を行い、残存耐力についても評価した。

# 2. 供試体の材料および寸法

# 2.1 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。供試 体に用いた材料の特性値を**表-1**に示す。

# 2.2 供試体寸法および鉄筋の配置

供試体寸法および鉄筋の配置を図ー1に示す。

供試体の寸法は、支間長を 120cm とし、供試体の張り 出し部は 13.5cm とする全長 147cm である。鉄筋の配置 は複鉄筋配置とし、引張側の主鉄筋(軸直角方向)の鉄 筋には D10 を 10cm 間隔で配置し、有効高さはそれぞれ 10.5cm とした。また、配力筋(軸方向)には D10 を 10cm 間隔で配置し、有効高さは 9.5cm とした。また、圧縮側 の鉄筋配置は、軸直角方向および軸方向ともに引張鉄筋 量の 1/2 を配置した。

# 3.実験装置の概要および実験方法

3.1 走行一定荷重による疲労実験および段階荷重実験

表-1 供試体の材料特性値

	コンクリート	鉄 筋 (SD295A、D16)		
供試体	圧縮強度	降伏強度	引張強度	ヤング係数
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>
RC床版	35.0	370	511	200



図-1 RC床版供試体寸法および鉄筋配置

### (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,荷重 60kN を載荷 して,輪荷重が床版支間に分布するように,供試体中 央から左右40cmを連続走行させる。すなわち,1 往復 1.6m (片側 80cm)を 9.0sec で走行した。走行範囲を 図-1 に併記した。本実験は疲労寿命の推定を行う実 験ではないことから,走行回数は 40,000 回(= 0.80m×40,000 = 32,000m)までとし,実験は1,10,100, 1,000, 5,000 回,および 5,000 回以降は 5,000 回ごと に最大荷重から最小荷重までの除荷と,最大荷重まで 増加する漸増荷重実験を行う。

## (2) 走行一定荷重による段階荷重実験

走行一定荷重による 40,000 走行疲労実験後,走行 一定荷重による段階荷重実験を行い,残存耐力を評価

Dynamic Effect and Residual Punching Shear Load Carrying Capacitu of RC Slab Under Running Viblation Fatigue Load

by

Tadashi ABE, Tetsukazu KIDA, Toshiaki SWANO and Kazuhiko MINAKUCHI

する。各荷重載荷方法は,荷重 0.0kN から1走行ごと に 5.0kN ずつ増加し,段階荷重実験における走行方法 は,荷重増加中に破壊することを考慮して支点上で荷 重を載荷させ,走行せたものである。したがって,支 点 A から支点 B を折り返す1往復とし,走行時間一 往復 2.4m (片側 1.2m)を 14sec で走行させた。

# 3.2 走行振動荷重による疲労試験および段階荷重実験 (1) 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,基準荷重 60kN (現 行示方書に規定する T 荷重の 1.2 倍) に対して荷重振 幅は± 20 %と± 30 %の2タイプとする。振動数は 1.8Hz の正弦波形による片振り荷重とする。走行速度 は,走行一定荷重の場合と同様に 1 往復 1.6m (片側 80cm)を 9.0sec で走行する。走行回数は 40,000 回(振 動数 324,000,走行距離 32,000m)までとする。実験 は 1, 10, 100, 1,000, 5,000 回および 5,000 回以降は 5,000 回ごとに走行一定荷重の場合と同様に漸増荷重 実験を行う。計測は各走行回数ごとに、荷重およびた わみとする。

#### (2) 走行振動荷重による段階荷重実験

本実験は走行振動荷重で 40,000 回走行させた場合の衝撃係数Lを評価するとともに、疲労実験後に、走行振動荷重による段階荷重実験を行い、各荷重ごとの荷重とたわみの関係および終局耐力を計測する。載荷方法は、荷重 0.0kN から1 走行ごとに 5.0kN ずつ増加とし、走行方法は支点 A から支点 B を折り返す1 往復 2.4m(片側 1.2m)とする。また、走行時間は一往復 13sec とした。

## 4. 実験耐力および破壊モード

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

走行一定荷重による 40000 走行後の平均耐力は 182.5kN, これに対して走行振動荷重 ±20 %および ±30 %の場合の正弦波形の上限荷重は, それぞれ 172.9kN,

表-2 RC 床版の実験耐力

供試体	最大耐力	平均最 大耐力	耐力比 V/CR	最大たわみ	破壊モード
	(kN)	(kN)	(kN)	(mm)	
120-CR-F-1	180.0	182.5		10.6(残留值0.763)	押し抜きせん断破壊
120-CR-F-2	185.0	102.5		12.8(残留値0.833)	押し抜きせん断破壊
120-V20-F-1	174.6	172.0	0.947	9.4(残留値1.111)	押し抜きせん断破壊
120-V20-F-2	171.2	1/2.9		12.2(残留値1.242)	押し抜きせん断破壊
120-V30-F-1	161.8	166.4	0.912	11.7(残留値1.434)	押し抜きせん断破壊
120-V30-F-2	170.9	100.4		12.6(残留值1.324)	押し抜きせん断破壊

166.3kN であり,走行一定荷重による耐力との比は, それぞれ 0.947, 0.912 となり,5%,9%耐力が低下 した。走行一定荷重および走行振動荷重による段階荷 重実験の耐力は,振動荷重の荷重振幅の上限値と近似 するとの結果が報告<sup>2)</sup>されているが,走行振動荷重に よる疲労試験で 40,000 回走行したことによるひび割 れの増大に起因し,耐力の低下率が大きくなったもの と考えられる。

なお,破壊モードは全ての供試体で,走行中に押抜 きせん断破壊となった。

#### 5. たわみと等価繰り返し回数の関係

**S-N** 曲線を用いた寿命の推定式として,松井らは次 式を用いている<sup>4</sup>。

$$log(P/P_{sx}) = -0.07835 \cdot logN + log1.520$$
(1)

ここで, *P*:輪荷重(kNtf), *P*<sub>x</sub>:床版の押抜きせん 断荷重(tf), *N*:輪荷重の走行回数

この式を基に,輪荷重が走行した等価繰り返し回数は式(2)として与えられている。

$$N_{ep.i} = (P_i/P_0)^{12.76} \times N_i$$
 (2)

ここで、 $N_{epi}$ :基準輪荷重、 $P_{\theta}$ に変換された等価繰 り返し回数、 $P_i$ :輪荷重(kN)、 $P_{\theta}$ :基準輪荷重(kN)、 $N_i$ :輪荷重 $P_i$ の走行回数

本実験の床版モデルは,現行示方書の規定に基づい て,床版支間 2.4m の場合の床版厚さ,鉄筋量を配置 したものである。また,実験装置においても輪荷重の 幅が 50cm の 1/2 モデル,すなわち 25cm である。し たがって,基準輪荷重 P<sub>0</sub> は現行示方書に規定する T 荷重 100kN の 1/2 の,50kN として等価繰り返し回数 を評価する。なお,等価繰り返し回数算出における基 準輪荷重は動的影響を基準荷重に対する荷重振幅の大 きさとして評価することから,設計荷重には安全率, 衝撃係数は考慮しないものとする。

本実験における等価繰り返し回数を式(2)より算出 すると、走行一定荷重による疲労試験における 40000 走行時の等価繰り返し回数は 402,983 回,走行振動 荷重 ±20 %の場合は 4,059,876 回,走行振動荷重 ±30 %の場合が 11,193,055 回である。

本実験における40000 走行時の,設計荷重と載荷荷 重による等価繰り返し回数を式(1)より算出し,たわ みの等価繰り返し回数の関係として図-4に示す。

図-4(3)に示した活荷重たわみを等価繰り返し回数





(2)残留たわみと走行回数の関係





で示すと、走行一定荷重による等価繰り返し回数のた わみの増加傾向と走行振動荷重 20 %および ±30 %の 等価繰り返し回数換算した場合のたわみはほぼ同程 度の増加傾向を示している。また、残留たわみ、活荷 重たわみも同様な傾向で増加している。

## 6. 実験衝撃係数

### 6.1 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結果から算定し 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**図ー6**に示す。

動的増幅率は<sup>®</sup>, 図ー6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



図-5 動的増幅率

除したものとして定義され,道路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を引いた値とされている。

本実験では、基準となる走行一定荷重による最大たわ みを静的たわみ  $y_{Ls.max}$  とし、走行振動荷重実験による動 的たわみ  $y_{Ld.max}$  とすると、実験衝撃係数は式(3)として与 えられる。

$$I_L = \frac{y_{Ld.max} - y_{Ls.max}}{y_{Ls.max}}$$
(3)

活荷重たわみによる実験衝撃係数(式(3))は、V-20の供試体で 0.410、V30の供試体で 0.554 となった。

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. 走行振動疲労実験による動的影響

実験衝撃係数 L と基準荷重振幅 V<sub>k</sub>の関係を図-6に 示す。なお、筆者らは、3タイプの RC はりおよび2 タイプの RC 床版を用いて、走行一定荷重および走行 振動荷重による段階荷重実験の過程で、弾性域の荷重 2 点を設定(本実験の走行一定荷重および走行振動荷 重における基準荷重程度の荷重)して実験衝撃係数を 評価している 6),7)。これらの結果も図-6に併記した。

本実験による疲労損傷を受けた RC 床版の実験衝撃 係数 L と基準荷重振幅 Kr の関係から,基準荷重振幅 を関数とした実験衝撃係数 L を定式化すると,式(4) として与えられる。

(1)疲労損傷を受けた場合の RC 床版の実験衝撃係数 L

$$I_{L}=0.044K_{v}^{0.743} \tag{4}$$



図-6 実験衝撃係数と荷重変動率の関係

ここに、*L*:実験衝撃係数,*K*<sub>V</sub>:荷重変動率(%) (2)RC はりおよび RC 床版の実験衝撃係数 *I* 

また,筆者<sup>5),6)</sup>らが走行振動荷重による段階載荷実 験による RC はりおよび RC 床版の実験衝撃係数 I は 式(5)として与えられている。

$$I = 0.050 K_v^{0.743} \tag{5}$$

なお,相関係数は $\gamma^2=0.999$ であり,極めて良好な結果である。

本実験供試体 RC はりおよび RC 床版の実験衝撃係 数 I と比較すると,振動荷重 ±20 %,±30 %で大幅に 上回っている。特に,荷重振幅が ±30 %の走行振動 荷重の場合の増加が著しく,走行振動疲労による損傷 度が大きくなり、活荷重たわみが増加したためである。

現行示方書<sup>n</sup>の規定する衝撃係数 i(i = 20/(50 + L), L:床版設計支間(m))は、床版支間長 1.20m の場合 i= 0.390、支間長が 2.4m の場合は 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、段差部通過後の荷重分布および包絡線<sup>21</sup>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

①走行一定荷重および走行振動荷重による 40000 走行

後の終局耐力は,静的実験の最大耐力に比して,走行 一定荷重で 26 %,走行振動荷重で ±20 %,±30 で, それぞれ 28 %,30 %の耐力が低下した。これは,40000 走行による疲労損傷によるものである。

 ②走行一定荷重の最大耐力に比して、走行振動荷重 ±20%の場合は5%、±30の場合は9%耐力が低下した。したがって、荷重振幅が大きくなることにより、 疲労強度が低下する結果となった。

③本実験で得た 40000 走行時の実験衝撃係数は,走行 振動荷重 ±20 %の場合は 0.441,±30 の場合は,0.556 となり,与えた荷重振幅に対して走行振動荷重 ±20 %は 2.05 倍,走行振動荷重 ±30 の場合は 1.85 倍のと なり,大幅に上回る結果となった

④走行振動荷重 ±20 %, ±30 によって 40000 走行の疲 労損傷を受け後の動的影響は式(4)より推定すること が可能である。

⑤本実験の40000 走行時における実験衝撃係数は,現 行示方書に規定する衝撃係数を上回ることから,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

- 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
- 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) 松井繁之:橋梁の寿命予測,安全工学 Vol.30, No.6, pp. 432-440, 1991
- Bakht, B. and Pinjarkar, S.G.: Review of Dynamic Testing of Highway Bridges, the Research and Developement Branch, Ministry of Transportation of Ontario (OTM), TRB 880532, SPR-89-01, January 1989
- 5) 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
- 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,造工学論文集(土木学会), Vol. 50A, pp. 1287-1294, 2004
- 7) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ, 2002.3