# 走行車両の変動荷重が道路橋RC床版の耐疲労性に及ぼす影響

日大生産工(院)

○佐藤浩弥 日

日大生産工 阿部 忠,澤野利章

# 1. はじめに

道路橋 RC 床版は、大型自動車が伸縮継手の段差 部を通過する際に発生する変動荷重、すなわち走 行振動荷重の影響を受けることにより損傷が著し い。また、積雪寒冷地域に建設された橋梁の RC 床 版は遊離石灰の沈着が著しく発生し、セメント成 分が溶出していることからコンクリートの圧縮強 度(以下、圧縮強度)が低下する事例が報告され ている。そこで本研究は、圧縮強度が異なる2タ イプの RC 床版供試体を製作し、走行一定荷重およ び走行振動荷重(荷重振幅 ±20%、±30%)による輪 荷重走行疲労実験を行い、走行振動荷重および圧 縮強度が耐疲労性に及ぼす影響について検証する。

# 2. 伸縮継手付近の損傷状況

伸縮継手を通過した付近の RC 床版の損傷状況を 写真-1 に示す。写真-1(1)は、重交通路線に建 設された道路橋であり、主筋方向のひび割れが等 間隔で主桁付近にまで発生していることから、は り状化しているものと考えられる。また、配力筋 方向にもひび割れが発生し格子状を形成する2方 向ひび割れが発生している。次に、写真-1(2)は、 疲労と融雪剤散布による塩害および凍害の影響を 受け、セメント成分が溶出することにより砂利化 している。これらの損傷状況に示す通り、RC 床版 は伸縮継手の段差により大きな荷重変動を受け、 ひび割れ損傷に至っている。

### 3. 大型自動車の荷重変動

土木研究所<sup>1).2</sup>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衝撃力に関する調査お よび実験研究を行い、研究成果を報告している。 報告によると、総重量 205.8kN のタンデム式ダン プトラックが時速 40km/h で段差量 20mm の伸縮継 手を通過したとき、中軸・後軸の軸重量に対し、±41 ~ ±48%の荷重変動が生じている。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-1 のように示している。なお、図 -1には本実験に作用する荷重振幅(±20%、±30%) から動的係数 i を算出した結果を併記した。これに よると、段差量 20mm の場合の動的係数 i 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、伸縮継手付近の RC 床版には大き



(1)床版下面の損傷(2)床版上面の損傷写真-1 伸縮継手通過付近の損傷状況



図-1 荷重分布および包絡線

表-1 材料特性値

	コンクリート	鉄 筋 (SD295A)			
供試体	圧縮強度		降伏強度	引張強度	弾性係数
	(N/mm <sup>2</sup> )	使用跃筋	$(N/mm^2)$	$(N/mm^2)$	(kN/mm <sup>2</sup> )
Ι	26.6	D10	350	408	200
П	31.7	D10	330	498	200

な荷重変動が作用していることになる。

# 4. 使用材料および供試体寸法

## 4. 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 セメントと 5mm 以下の砕砂、5mm ~ 20mm の砕 石を使用した。また、鉄筋には SD295A、D10 を用 いる。圧縮強度は 26.6N/mm<sup>2</sup> と 31.7N/mm<sup>2</sup> の 2 タ イプとし、それぞれ I、II のように表記する。こ こで、圧縮強度および鉄筋の材料特性値を表-1 に示す。

### 4. 2 供試体寸法

供試体の寸法は、平成 24 年改訂の道路橋示方書 ・同解説<sup>3)</sup>(以下、道示)に準拠し、その 1/2 モデ ルとした。ここで、供試体寸法および鉄筋配置を 図-2 に示す。供試体の全長は 1,470mm、支間 1,200mm、床版厚 130mm である。鉄筋配置は複鉄 筋配置とし、引張側の主鉄筋および配力筋はとも に 100mm 間隔で配置し、有効高さは 105mm、95mm とした。圧縮側は引張鉄筋量の 1/2 とする。

Effects on Fatigue Resistance of Highway Bridge RC Slab Under Running Vibration Load of Vehicle

Koya SATO, Tadashi ABE and Toshiaki SAWANO

1 - 9



# 5. 実験方法および等価走行回数

5. 1 実験方法

## (1) 走行一定荷重実験

走行一定荷重による輪荷重走行疲労実験は、RC 床版の中央から両支点方向に 450mm (走行範囲: 900mm) の範囲に輪荷重 (幅:250mm) を繰り返 し走行させる実験である。荷重条件は初期荷重を 80kN とし、20,000 回走行ごとに 20kN ずつ増加し、 供試体が破壊するまで 20,000 回走行ごとに荷重を 増加する。たわみの計測は、輪荷重走行 1、10、100、 1,000、5,000 回時および 5,000 回以降は 5,000 回走 行ごとに行った。供試体名を I -RC、II-RC とする。

# (2) 走行振動荷重実験

走行振動荷重実験は、大型自動車の荷重変動を 想定した振動荷重による輪荷重走行疲労実験であ る。振動荷重は、荷重 80kN に対して±20%(V20)、 ±30%(V30)の荷重振幅とする。これは、図-1 に 示した動的係数が 1.0 ~ 2.0 の範囲の荷重振幅であ り、段差 20mm に相当する。ここで、本実験にお ける 1 往復の走行一定荷重および走行振動荷重の 荷重波形を図-3 に示す。次に、走行速度は 1 往 復 2.4m を 9sec で走行する 0.27m/s とし、振動数は 1.0Hz の正弦波形とする。走行範囲およびたわみの 計測は走行一定荷重実験と同様である。供試体名 を I-V20・V30、II-V20・V30 とする。

表-2 等価走行回数

供試体名	等価走行回数	等価走行	亍回数比
I -RC	5,041,892		_
I -V20	4,224,231	0.84	
I -V30	3,477,168	0.69	0.82
II −RC	7,209,562		
Ш-V20	5,827,874	0.81	
П-V30	4,850,043	0.67	0.83

### 5. 2 等価走行回数

本実験における輪荷重走行疲労実験は、段階荷 重載荷としたことから等価走行回数を算出して耐 疲労性を評価する。等価走行回数は、マイナー則 に従うと仮定すると式(1)として与えられる。S-N 曲線の傾きの逆数 m には、松井らが提案する RC 床版の S-N 曲線の傾きの逆数 12.7 を適用する<sup>4</sup>。 式(1)における基準荷重 P は設計活荷重の 1/2 に安 全率 1.2 を考慮した 60kN とする。また、走行振動 荷重における載荷荷重 P<sub>i</sub> は振動荷重の上限荷重を 適用して等価走行回数を算出する。

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^{n} \left( P_i / P \right)^m \times n_i \tag{1}$$

ここで Neq:等価走行回数(回)

- P<sub>i</sub>:載荷荷重(kN)
- P:基準荷重(=60kN)
- n<sub>i</sub>:実験走行回数(回)

m:S-N曲線の傾きの逆数(=12.7)

# 6. 結果および考察

# 6. 1 等価走行回数

式(1)より算出した各供試体の等価走行回数を表 -1に示す。

(1) 圧縮強度26.6N/mm<sup>2</sup>の供試体(タイプI)

走行一定荷重供試体 I-RC の等価走行回数は、 5.04×10<sup>6</sup>回である。また、荷重振幅 ±20%、±30%の 走行振動荷重で疲労実験を行った供試体 I-V20、 V30 の等価走行回数は、それぞれ 4.22×10<sup>6</sup>回、 3.48×10<sup>6</sup>回である。走行一定荷重供試体 I-RC との 等価走行回数比は、それぞれ 0.84、0.69 であり、 走行振動荷重の場合は 16%、31%の耐疲労性の低下 がみられた。荷重振幅の違いによる比較では、荷 重振幅 ±20%の供試体 I-V20 に比して荷重振幅 ±30%の供試体 I-V30 は、等価走行回数比が 0.82 となり、18%低下する結果となった。

# (2) 圧縮強度31.7N/mm<sup>2</sup>の供試体(タイプⅡ)

走行一定荷重供試体 II-RC の等価走行回数は、 7.21×10<sup>6</sup>回である。また、荷重振幅 ±20%、±30%の 走行振動荷重で疲労実験を行った供試体 II-V20、 V30 の等価走行回数は、それぞれ 5.83×10<sup>6</sup>回、 4.85×10<sup>6</sup>回である。走行一定荷重供試体II-RC との 等価走行回数比は、それぞれ 0.81、0.67 となり、 耐疲労性が 19%、33%低下する結果となった。さら に、荷重振幅 ±20%の供試体 II-V20 と比較して II-30 の供試体は等価走行回数が 17%低下する結果が得 られた。次に、圧縮強度 26.6N/mm<sup>2</sup> の供試体 I-RC、 V20、V30 の等価走行回数と比較して圧縮強度 31.7N/mm<sup>2</sup> の供試体 II-RC、V20、V30 は、それぞ れの等価走行回数が 1.43 倍、1.38 倍、1.39 倍に増 加し、耐疲労性が向上する結果となった。

したがって、走行振動荷重が作用した場合は大幅に等価走行回数が減少し、耐疲労性が低下する 結果が得られた。また、RC 床版の耐疲労性の低下 には圧縮強度の影響が顕著に現れる結果となった。

## 6.2 たわみと等価走行回数の関係

たわみと等価走行回数の関係を図-4 に示す。 図-4 より、3.0mm を超えた付近からたわみの増 加が著しいことからたわみが 3.0mm に達したとき の等価走行回数を算出し、耐疲労性を評価する。 また、図-4には1.95×10<sup>6</sup>回時のたわみを併記し、 同等価走行回数でのたわみについても考察する。

## (1) 圧縮強度26.6N/mm<sup>2</sup>の供試体(タイプI)

圧縮強度 26.6N/mm<sup>2</sup> の供試体のたわみと等価走 行回数の関係を図-4(1)に示す。走行一定荷重供 試体 I-RC のたわみ 3.0mm 時の等価走行回数は、 0.77×10<sup>°</sup>回である。また、走行振動荷重供試体 I-V20 および I-V30 のたわみ 3.0mm 時の等価走行回数 は、それぞれ 0.37×10<sup>°</sup>回、0.14×10<sup>°</sup>回である。走行 一定荷重を適用した供試体 I-RC との走行回数比 は、それぞれ 0.48、0.18 となり、走行振動荷重が 作用した場合は、それぞれ 52%、82%早期にたわみ が 3.0mm に達している。次に、等価走行回数 1.95×10°回時のたわみで耐疲労性を評価する。走行 一定荷重供試体 I-RC の 1.95×10<sup>6</sup> 回時のたわみは 3.5mm であり、走行振動荷重供試体 I-V20、V30 は、それぞれ 3.9mm、4.4mm である。走行一定荷 重供試体 I-RC に比してそれぞれ 1.1 倍、1.3 倍と なり、走行振動荷重が作用することによりたわみ が増加する結果となった。

## (2) 圧縮強度31.7N/mm<sup>2</sup>の供試体(タイプⅡ)

E縮強度 31.7N/mm<sup>2</sup> の供試体のたわみと等価走 行回数の関係を図-4(2)に示す。走行一定荷重供 試体 II-RC のたわみ 3.0mm 時の等価走行回数は、 2.60×10<sup>6</sup> 回である。また、走行振動荷重供試体 II -V20、V30 のたわみ 3.0mm 時の等価走行回数は、 それぞれ 1.47×10<sup>6</sup> 回、0.44×10<sup>6</sup> 回である。走行一定 荷重供試体 I-RC との走行回数比は、それぞれ 0.56、 0.17 となり、走行振動荷重が作用した場合は、そ れぞれ 44%、83%早期にたわみが 3.0mm に達して



いる。また、 $1.95 \times 10^{\circ}$ 回時における走行一定荷重供 試体 II-RC のたわみは 2.9mm であり、走行振動荷 重供試体 II-V20、V30 は、それぞれ 3.2mm、3.7mm である。走行一定荷重供試体 II-RC に比してそれぞ れ 1.1 倍、1.3 倍となり、走行振動荷重の影響によ りたわみの増加が促進されている。次に、圧縮強 度 26.6N/mm<sup>2</sup> の供試体 I -V20 と 圧 縮 強 度 31.7N/mm<sup>2</sup> の供試体 II-V20 を 3.0mm に達した時点 の等価走行回数で比較すると、II-V20 は I-V20 の 4.0 倍である。さらに、 $1.95 \times 10^{\circ}$ 回時の等価走行回 数でたわみを比較すると、I-V20 に比して II-V20 は 18%たわみが抑制されている。

したがって、走行振動荷重が作用する場合は、 たわみの増加が促進され耐疲労性が向上する結果 となった。また、圧縮強度 26.6N/mm<sup>2</sup> の供試体と 比較して圧縮強度 31.7N/mm<sup>2</sup> の供試体は、たわみ の増加が抑制されていることから、圧縮強度もた わみの増加に大きく影響している結果となった。

### 6.3 破壊状況

本実験における走行一定荷重および走行振動荷 重による疲労実験後の破壊状況を図-5 に示す。

## (1) 圧縮強度26.6N/mm<sup>2</sup>の供試体(タイプI)

走行一定荷重供試体 I-RC の破壊状況は、図-5 (1)に示すように、上面には大きな損傷が見られな い。一方、下面には輪荷重の走行範囲に 2 方向ひ び割れが発生し、格子状を形成している。また、 破壊は輪荷重の折り返し付近で押抜きせん断破壊 となった。また、走行振動荷重供試体 I-V20 は図 -5(2)に示すように、床版下面には軸方向および 軸直角方向にひび割れが広範囲に発生し、ダウエ ル効果によるはく離が見られる。破壊は、支間中 央付近で押抜きせん断破壊となった。次に、荷重



振幅  $\pm 30\%$ を適用した走行振動荷重供試体 I -V30 の破壊状況は図- 5(3)に示すように、 I -RC およ び I -V20 の供試体と比較して下面には床版端部に まで軸方向および軸直角方向にひび割れが分散さ れている。また、輪荷重の走行範囲では荷重変動 による衝撃の影響により、走行一定荷重の供試体 I -RC と比較して細かいひび割れが発生している。 破壊は、押抜きせん断破壊となった。

# (2) 圧縮強度31.7N/mm<sup>2</sup>の供試体(タイプⅡ)

走行一定荷重供試体 II-RC の破壊状況は図-5 (4)に示すように、上面には貫通ひび割れは見られ ない。一方、下面には2 方向にひび割れが発生し ている。破壊は、押抜きせん断破壊となった。ま た、荷重振幅  $\pm 20\%$ を適用した走行振動荷重供試体 II-V20 は図-5(5)に示すように、上面には貫通ひ び割れは見られない。一方、下面には2 方向にひ び割れが発生している。破壊は、押抜きせん断破 壊となった。次に、荷重振幅  $\pm 30\%$ を適用した走行 振動荷重供試体 II-V30 は図-5(6)に示すように、 上面には大きな損傷が見られない。しかし、下面 には軸方向および軸直角方向にひび割れが分散さ れている。また、床版中央付近で局部的に2 方向 ひび割れが発生している。破壊は、押抜きせん断 破壊となった。

### 7.まとめ

圧縮強度が異なる2タイプのRC床版供試体を用いて、走行一定荷重および変動荷重を想定した走行振動荷重による輪荷重走行疲労実験を実施した。 その結果、以下の知見が得られた。

(1)荷重振幅 ±20%、±30%の走行振動荷重で疲労 実験を行った結果、圧縮強度 26.6N/mm<sup>2</sup>の供試体 は、耐疲労性が 16%、31%低下した。また、圧縮強 度 31.7N/mm<sup>2</sup>の供試体は、耐疲労性が 19%、33% 低下する結果が得られた。したがって、RC 床版の 耐疲労性の低下には、走行振動荷重の影響が顕著 に現れる結果となった。また、荷重振幅が大きく なることにより、衝撃の影響も大きくなり、耐疲 労性が低下する結果となった。これらのことから、 走行振動荷重の影響を緩和するためには、伸縮継 手の段差量を 20mm 以下に管理する必要がある。

(2) 圧縮強度 26.6N/mm<sup>2</sup> の供試体と比較して圧縮 強度 31.7N/mm<sup>2</sup> の供試体は、約 1.4 倍の等価走行回 数となり、圧縮強度を高くすることで耐疲労性が 向上する結果が得られた。

(3) 走行振動荷重が作用することにより、たわみ は早期に3.0mm に達することから、RC 床版に走行 振動荷重が載荷した場合はたわみの増加が促進さ れ、耐疲労性が低下することが確認された。また、 圧縮強度 26.6N/mm<sup>2</sup> の供試体と比較して圧縮強度 31.7N/mm<sup>2</sup> の供試体は、たわみの増加が抑制されて いることから、圧縮強度を高くすることで耐疲労 性が向上する結果となった。

(4) 走行振動荷重が作用することにより、軸方向 および軸直角方向にひび割れが広範囲に発生して いる。また、走行一定荷重と比較して走行振動荷 重が作用した場合はひび割れ間隔が狭く、床版中 央で局部的に2 方向ひび割れが発生していること から走行振動荷重が及ぼす影響は大きいと考えら 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)日本道路協会:道路橋示方書・同解説Ⅰ、Ⅱ、 Ⅲ、2012.
- 4) 松井繁之:道路橋床版設計・施工と維持管理、 森北出版、2007.

-30 -