

## 走行振動荷重が作用するRC床版の耐疲労性に関する研究

日本大学(院) ○佐藤浩弥 日本大学 阿部 忠, 澤野利章  
中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京(株) 高野真希子

### 1. はじめに

道路橋鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版)のひび割れ損傷は、伸縮継手の段差部や凹凸な路面を走行することにより発生する変動荷重の影響も大きな原因の一つであると考えられる。とくに、大型自動車が伸縮継ぎ手の段差部を通過した直後は、荷重の変動量、すなわち衝撃も大きく作用することから伸縮継ぎ手付近の床版にひび割れ損傷が著しく発生している。

そこで本研究は、輪荷重走行疲労試験機を用いて走行一定荷重および走行振動荷重による疲労実験を行い、走行振動荷重がRC床版の耐疲労性に及ぼす影響について検証する。

### 2. 道路橋に作用する大型車両の荷重変動

土木研究所<sup>1), 2)</sup>では、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っている。ここで、大型車両の荷重変動を図-1に示す。これによると、橋長45mの鋼合成桁橋を総重量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時、中軸・後軸の軸重量に対し、 $\pm 41 \sim 48\%$ の荷重変動が生じている。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。この荷重変動は車両の伸縮継手のある入り口付近と出口付近で、ほぼ同等な値となっている。次に、タンデム式ダンプトラックが段差量20mmの伸縮継手を通過した場合の荷重分布は、段差部から8m付近まで振動荷重の影響を受け、その後、振動荷重が減衰されている。

よって、段差部通過後8.0m付近までは動的影響を受け、これによって伸縮継手付近の床版には大きな荷重変動が作用することになる。

### 3. 供試体の使用材料および寸法

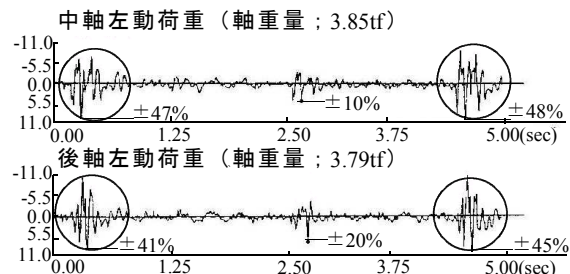


図-1 大型自動車の荷重変動

### 3.1 供試体概要

RC床版供試体は、1994年以降の道路橋示方書・同解説(以下、道示)<sup>3)</sup>に規定する活荷重に基づいて設計し、本実験に使用する輪荷重走行疲労試験機の輪荷重幅250mmと道示に規定する輪荷重幅500mmの比から1/2モデルとする。

### 3.2 使用材料

RC床版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を使用した。鉄筋の材料特性値は、降伏強度368N/mm<sup>2</sup>、引張強度516N/mm<sup>2</sup>、弾性係数200kN/mm<sup>2</sup>である。コンクリートの圧縮強度はRC-1、2が35N/mm<sup>2</sup>、RC80 $\pm 20\%$ -1、2がそれぞれ26.0N/mm<sup>2</sup>、30.0N/mm<sup>2</sup>、RC80 $\pm 30\%$ -1、2、3がそれぞれ28.0N/mm<sup>2</sup>、30.0N/mm<sup>2</sup>、27.3N/mm<sup>2</sup>である。

### 3.3 供試体寸法および鉄筋の配置

RC床版供試体の寸法は、全長1,470mm、支間1,200mm、床版厚130mmの等方性版とした。鉄筋は複鉄筋配置とし、鉄筋量は床版支間に対する設計曲げモーメントから算出して配置した。引張側の軸直角方向および軸方向にD10を100mm間隔で配置し、その有効高さはそれぞれ105mm、95mmとした。また、圧縮側には引張鉄筋量の1/2を配置した。ここで、RC床版供試体の寸法および鉄筋の配置を図-2に示す。

## Study on fatigue resistance of RC slab under running vibration-load

Koya SATO, Tadashi ABE, Toshiaki SAWANO and Makiko TAKANO

## 4. 実験方法および等価走行回数

### 4.1 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。載荷荷重方法は、初期走行荷重を 60kN および 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 回および 5,000 回以降は 5,000 回走行ごととする。供試体名称は RC とする。

#### (2) 走行振動荷重実験

走行振動荷重による輪荷重走行疲労実験は、基準荷重に対して  $\pm 20\%$  および  $\pm 30\%$  の振動荷重とする。たとえば、基準荷重 80kN に対して  $\pm 20\%$  を適用した場合は、図-3 に示すように上限荷重は 96kN、下限荷重は 64kN となる。走行範囲は走行一定荷重による疲労実験と同様に床版中央から両支点方向に 450mm、1 往復 1,800mm(片側 900mm)とする。また、走行時間は一往復 9sec で走行し、振動数 1.0Hz の片振り荷重とする。本実験での振動数は図-1 に示した中軸および後軸が交互に作用するものとした。供試体名称は、基準荷重 80kN に対して  $\pm 20\%$  の振動荷重により疲労実験を行った供試体を RC80 $\pm 20\%$  とする。

### 4.2 走行疲労実験における等価走行回数

本実験における走行疲労実験は、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。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  $P_i$  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。

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

ここで、 $N_{eq}$ ：等価走行回数(回)、 $P_i$ ：載荷荷重(kN)、 $P$ ：基準荷重(=60kN)、 $n_i$ ：実験走行回数(回)、 $m$ ：S-N 曲線の傾きの逆数(=12.7)

## 5. 結果および考察

### 5.1 等価走行回数

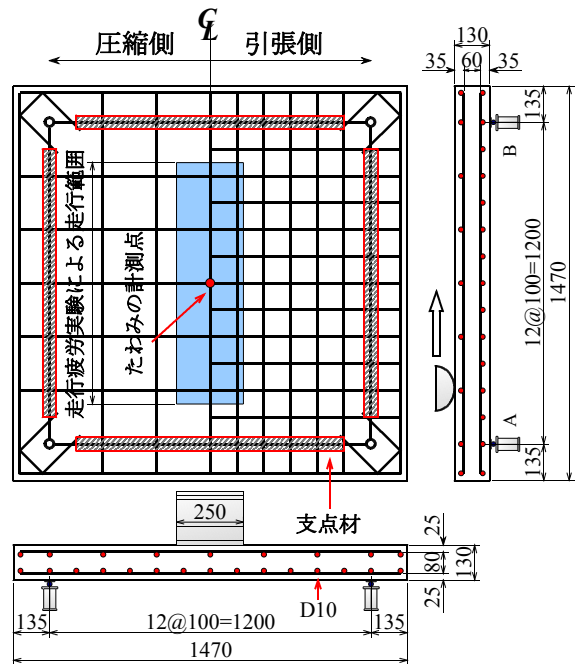


図-2 供試体寸法および鉄筋配置

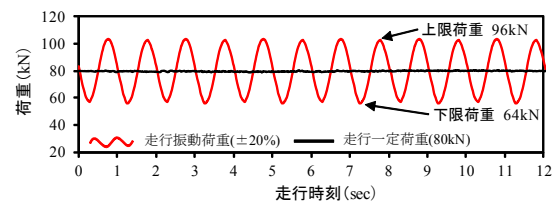


図-3 本実験における荷重波形の一例

表-1 等価走行回数

供試体	等価走行回数(回)	平均等価走行回数(回)	低減率
RC-1	7,347,504	7,938,359	—
RC-2	8,529,213		
RC80 $\pm 20\%$ -1	2,314,722	4,460,866	44%
RC80 $\pm 20\%$ -2	6,607,009		
RC80 $\pm 30\%$ -1	3,422,264	3,356,687	58%
RC80 $\pm 30\%$ -2	4,431,865		
RC80 $\pm 30\%$ -3	2,215,933		

本実験で得られた実験走行回数から算定した等価走行回数を表-1 に示す。

#### (1) 走行一定荷重供試体

走行一定荷重供試体 RC-1、2 の平均等価走行回数は  $7.938 \times 10^6$  回である。この平均等価走行回数を基準に走行振動荷重が作用する床版の耐疲労性を評価する。

#### (2) 走行振動荷重供試体

基準荷重 80kN に対して  $\pm 20\%$  の振動荷重を適用した供試体 RC80 $\pm 20\%$  の平均等価走行回数は  $4.460 \times 10^6$  回であり、RC-1、2 の平均等価走行回数に比して約

44%の低減が確認された。また、供試体 RC80±30%の平均等価走行回数は  $3.356 \times 10^6$  回であり、RC-1、2の平均等価走行回数に比して約 58%の低減が確認された。以上より、RC 床版に走行振動荷重が作用した場合は等価走行回数が大幅に減少し、耐荷力性および耐疲労性が低下する結果となった。

## 5.2 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。

### (1) 走行一定荷重供試体

供試体 RC-1、2 の 1 走行後のたわみは、それぞれ 0.95mm、0.97mm である。その後の荷重増加と走行に伴いたわみが緩やかに増加している。20,000 回走行後のたわみはそれぞれ 2.44mm、2.45mm である。荷重 100kN 走行後からたわみの増加が著しく、破壊時のたわみは、それぞれ 6.86mm、7.31mm である。本実験では、全ての供試体に共通してたわみが 3mm を超えた付近からたわみの増加が著しく大きくなり、その後の走行疲労により破壊に至っている。そこで、走行一定荷重を載荷させた供試体 RC35-1、2 のたわみが 3mm の時点における平均等価走行回数 ( $2.33 \times 10^6$  回) と走行振動荷重を載荷させた供試体の等価走行回数を比較して耐疲労性を評価する。

### (2) 走行振動荷重供試体

供試体 RC80±20%-1、2 の荷重 80kN の初期たわみはそれぞれ 1.23mm、1.36mm である。たわみが 3mm に達した時点での等価走行回数はそれぞれ  $0.73 \times 10^6$  回、 $0.78 \times 10^6$  回であり、供試体 RC-1、2 に比して約 69%、66%低下した。破壊時のたわみはそれぞれ 7.95mm、8.33mm である。また、供試体 RC80±30%-1、2、3 の荷重 80kN の初期たわみはそれぞれ 1.19mm、1.29mm、1.16mm である。たわみが 3mm に達した時点での等価走行回数は  $0.27 \times 10^6$  回、 $0.58 \times 10^6$  回、 $0.22 \times 10^6$  回であり、供試体 RC-1、2 に比してそれぞれ約 88%、75%、90%低下した。破壊時のたわみはそれぞれ 7.46mm、6.11mm、7.74mm である。

以上より、走行一定荷重を載荷させた供試体に比して走行振動荷重を載荷させた供試体は早い段階でたわみが 3mm に達している。したがって、RC 床版に走行振動荷重が作用することにより耐荷力性および耐疲労性が著しく低下し、早期劣化に至ることが明らかとなった。

## 5.3 破壊状況および破壊モード

本実験の走行一定荷重・走行振動荷重による疲労実験後の破壊時の損傷状況を図-6に示す。なお、

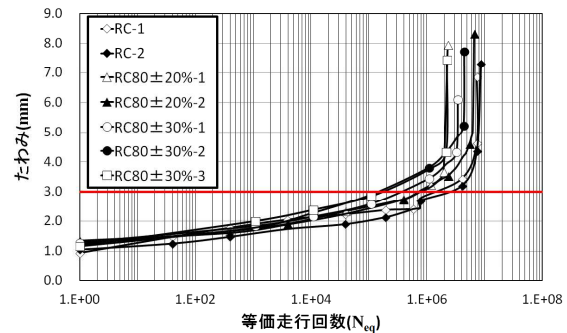


図-4 たわみと等価走行回数の関係

図に示すはく離範囲は打音法による判定である。

### (1) 走行一定荷重の場合

走行一定荷重による破壊時の供試体下面の損傷状況は図-5(1)、(2)に示すように、ひび割れは輪荷重の走行範囲の底面に集中して発生し、2方向にひび割れを形成している。床版上面には圧縮鉄筋の配置位置に軸直角方向にひび割れが発生している。破壊は輪荷重が走行中に供試体の中央付近で押抜きせん断破壊となった。

### (2) 走行振動荷重 ±20%の場合

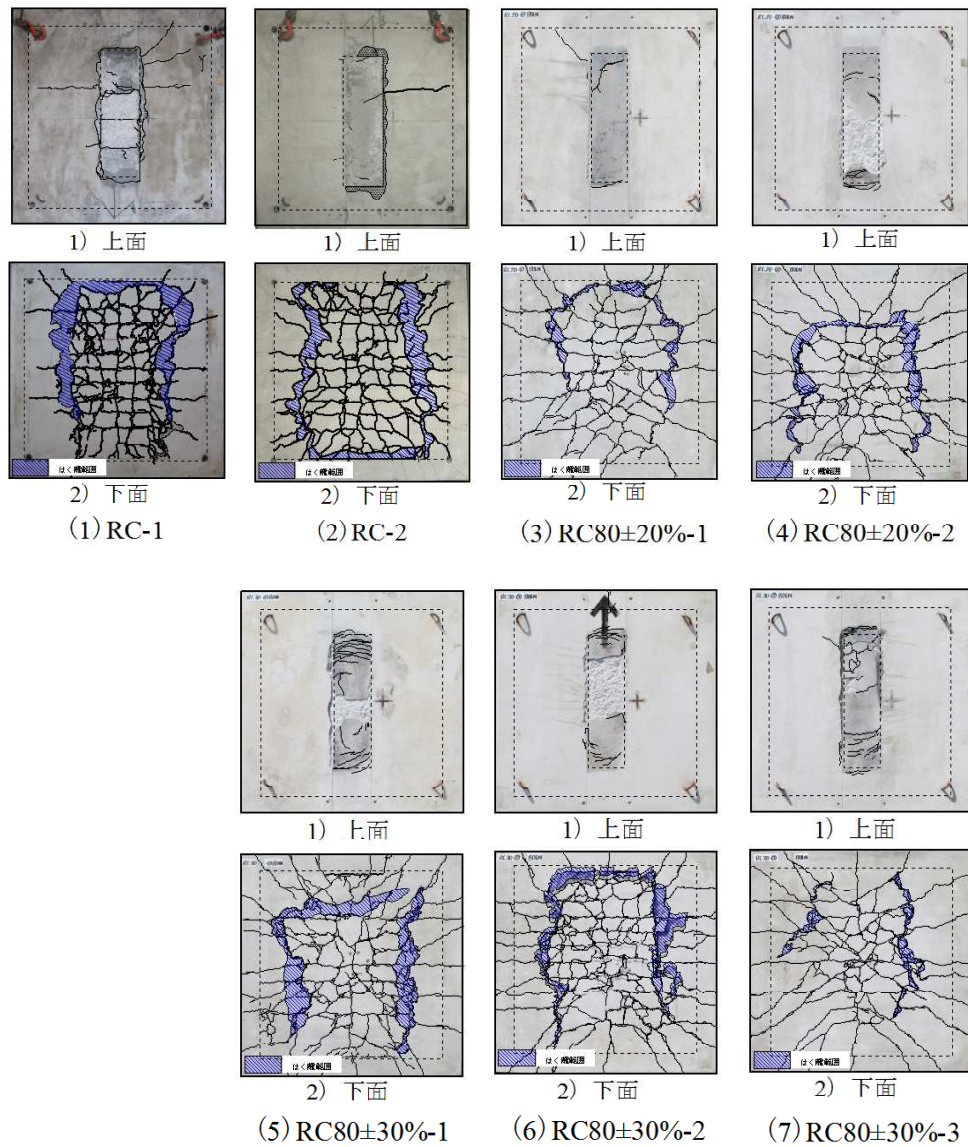
図-5(3)、(4)に示すように、走行振動荷重 ±20%の場合は走行一定荷重の場合と比較すると、2方向ひび割れが床版中央付近で発生している。また軸直角方向および軸方向に床版端部までひび割れが発生している。また、圧縮強度が低い供試体は振動荷重の衝撃により荷重折り返し付近で押抜きせん断圧縮破壊となった。

### (3) 走行振動荷重 ±30%の場合

図-5(5)、(6)、(7)に示すように、走行振動荷重 ±30%の場合は走行一定荷重および走行振動荷重の場合と比較しても、軸直角方向および軸方向にひび割れが広範囲に発生している。また、軸直角方向および軸方向にひび割れが分散されている。コンクリートの圧縮強度が高い供試体 RC80±30%-2 の供試体は圧縮強度が  $30\text{N/mm}^2$  を有していることからひび割れが分散され、押抜きせん断破壊に至っている。一方、コンクリートの圧縮強度が低い供試体 RC80±30%-3 は、振動荷重の衝撃の影響により荷重折り返し付近で押抜きせん断圧縮破壊となった。よって、ひび割れの分散が見られない。

## 6. まとめ

① 走行一定荷重と走行振動荷重を等価走行回数で比較すると、走行振動荷重 ±20%の場合は約 44%、±30%の場合では約 58%の低下が確認された。したがって、



図－5 破壊状況

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。

②たわみと等価走行回数の関係から、走行振動荷重が作用した場合は走行一定荷重に比して早い時期に 3mm に達しており、走行振動荷重  $\pm 20\%$  の場合は最大で約 69%、 $\pm 30\%$  の場合では最大で約 90%低減する結果となった。以上より、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、耐疲労性が大幅に低下することが確認された。

③ RC 床版の損傷状況は、走行振動荷重が載荷することにより軸直角方向および軸方向にひび割れが広範囲に発生している。ひび割れは荷重振幅が大きいほど広範囲に発生し、床版端部にまでひび割れが及んでいる。ひび割れが広範囲に発生していることや

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 RC 床版に与える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(VIII－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 (2004)
- 4) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理、森北出版 (2007)