

## 論文

## 荷重変動がRC床版の耐疲労性に及ぼす影響に関する実験研究

木内彬喬\*, 阿部忠\*\*, 澤野利章\*\*\*, 川井豊\*\*\*\*

\*日本大学大学院, 生産工学研究科土木工学専攻 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

\*\*博(工), 日本大学教授, 生産工学部土木工学科 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

\*\*\*工博, 日本大学教授, 生産工学部土木工学科 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

\*\*\*\*工博, 日本大学非常勤講師, 生産工学部 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

本研究は伸縮継手の段差によって発生する荷重変動が RC 床版の耐疲労性に及ぼす影響について、輪荷重走行疲労実験を行い検証した。その結果、一定荷重による疲労実験から得られた等価走行回数に対して、荷重変動が± 20%の走行振動荷重で疲労実験を行った供試体は 35%～ 42 %の等価走行回数となった。また、荷重振幅± 30%の振動荷重で疲労実験を行った供試体は 10 %～ 14 %であり、大幅に耐疲労性が低下する結果が得られた。したがって、橋梁の維持管理においては橋梁点検要領に示す段差量を常に 20mm 以下となるような管理する必要があると考える。

キーワード: RC 床版, 一定荷重, 走行振動荷重, 等価走行回数, 破壊メカニズム

## 1. はじめに

高度経済成長期に建設された道路橋 RC 床版は、大型車両の交通量増大に伴う疲労損傷や建設後 50 年以上が経過する老朽化した橋梁が増大している。道路橋 RC 床版の損傷の多くは 2 方向ひび割れが発生する疲労損傷であるが、塩害や凍害の影響等によりさらに寿命を縮めている。RC 床版のひび割れ発生の原因の 1 つには、路面の凹凸、すなわち伸縮継手の段差の影響によってその近傍にひび割れが発生し、放置した場合は抜け落ちの原因となっている。

一方、伸縮継手の段差が及ぼす荷重変動や衝撃についての研究報告も多い。例えば土木研究所<sup>1), 2)</sup>では、段差量 20mm をタンデム式のダンプトラックが通過した時の荷重変動を測定している。これによると、軸重量に対して約 2.7 倍の荷重が作用している。また、段差量を変化させた場合にの床版の衝撃係数についても一連の調査を行っている<sup>3)</sup>。これによると、段差部だけではなく段差部通過後の路面にもかなりの衝撃力が作用することを明らかにしている。また、日本道路公団<sup>4)</sup>では、RC 床版の衝撃係数を実測している。その結果、段差量が約 20mm 以上になると衝撃係数  $i = 0.4$  を上回る結果が報告されている。以上のように、伸縮継手の段差部を大型車両が通過する時に発生する荷重変動が RC 床版の損傷原因となることから走行振動荷重が作用する RC 床版の耐疲労性に及ぼす影響について検証を行う必要がある。

そこで本研究は、RC 床版試験体を用いて一定荷重による輪荷重走行疲労実験および一定荷重に対して

±20%および ±30%の振動荷重を正弦波形で輪荷重走行疲労実験を行い、一定荷重による輪荷重走行疲労実験における等価走行回数を基準に振動荷重が重畳した場合の耐疲労性を評価する。

## 2. 既往の研究および損傷事例

## 2.1 大型自動車の荷重変動

大型自動車が段差を有する伸縮継手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研究はこれまで幾つか行われている<sup>1), 2), 5), 6), 7)</sup>。

土木研究所の研究<sup>1)</sup>では、支間 45m の合成桁橋に 20mm の段差を設け、総重量 205kN のタンデム式ダンプトラックを用いて、実験車両が通過する時に発生する中軸・後軸の荷重変動についての実験を行っている。ここで、中軸・後軸の荷重変動を図-1、中軸左車輪のピーク荷重と作用位置を図-2 に示す。図-1 より、中軸左重量は軸重量 37.73kN に対して最大荷重 107.8kN の荷重が作用している。また、後軸左重量も軸重量 37.14kN に対して 102.9kN、すなわち中軸後軸で基準荷重に対して 2.77 倍と 2.88 倍の荷重が作用している。また、図-2 に示すように 3 軸ダンプトラックが段差量 20mm を時速 40km で走行した場合の中軸左車輪が段差部通過後のピーク荷重時においても、最大荷重が 100kN、最小荷重が -56kN の荷重変動が生じている。しかし、図-1 に示すようにタンデム式の場合は中軸が負の荷重になると同時に後軸が最大値を示すことから、中軸、後軸が交互に作用するものと考えられる。したがって、これらの

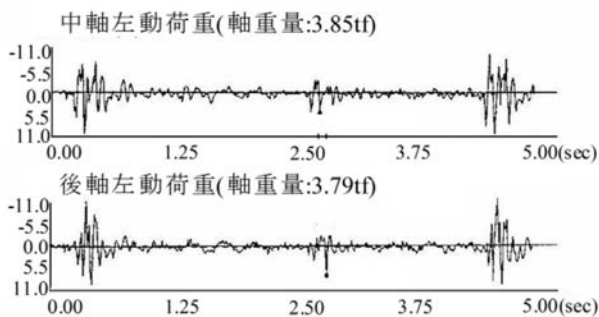


図-1 大型自動車の荷重変動<sup>1)</sup>.

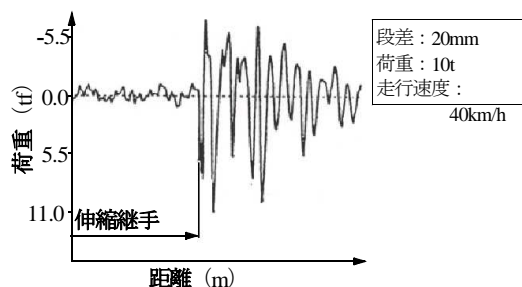


図-2 中軸左車輪のピーク荷重と作用位置<sup>2)</sup>.



(1) 土砂化 (2) 陥没<sup>8)</sup>  
写真-1 伸縮継手付近の損傷状況

荷重変動を考慮した振動荷重が耐疲労性に及ぼす影響について評価する必要がある。

## 2.2 伸縮継手付近の損傷状況

実橋における伸縮継手付近の損傷状況を写真-1に示す<sup>8)</sup>。写真-1(1)では伸縮継手を通過した付近の左側で雨水が滞水し、同時に荷重変動が及ぼす7m付近までが土砂化し、鉄筋の露出も見られる。また、道路側には20mm以上の段差が見られる。次に、写真-1(2)は、経間部の伸縮継手付近の損傷であり、この床版下面は鋼板接着補強が施されていたが、鋼板および取り付けボルト等が腐食により陥没に至った床版である。

以上のように伸縮継手通過する前後の床版は伸縮継手の影響にり、損傷が著しいことから、伸縮継手の段差によって発生する荷重変動が及ぼす影響についての検証が必要となる。

## 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

表-1 材料特性値

供試体名称	コンクリートの圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋 (SD295A)			
		使用鉄筋	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
RC25	25.0	D13	355	498	200
RC25-V20-1	25.5	D13	355	498	200
RC25-V30-1	25.5	D13	355	498	200
RC30	30.0	D13	355	498	200
RC30-V20-1	30.0	D13	355	498	200
RC30-V20-2	30.0	D13	355	498	200
RC30-V30-1	30.0	D13	355	498	200
RC30-V30-2	30.0	D13	355	498	200
RC35	35.0	D13	355	498	200
RC35-V20-1	33.0	D13	355	498	200
RC35-V30-1	33.0	D13	355	498	200

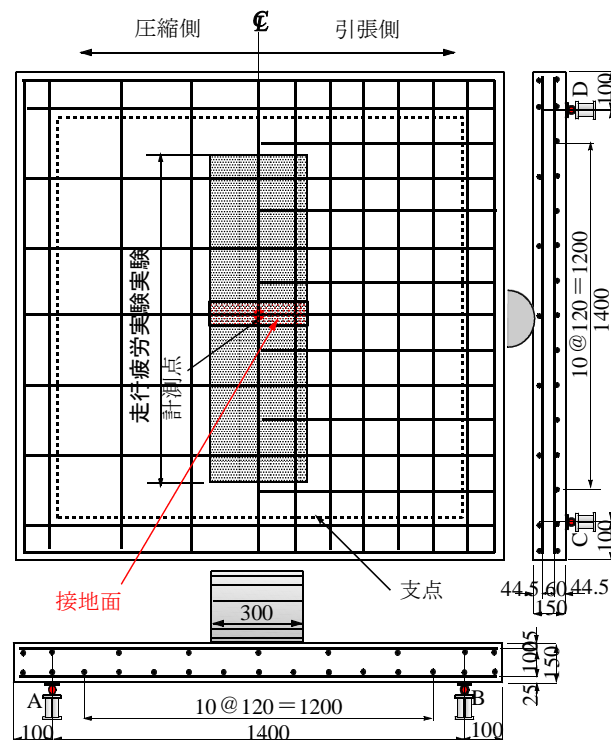


図-3 供試体寸法および鉄筋配置

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<sup>9)</sup>に規定されているコンクリートの設計基準強度24N/mm<sup>2</sup>、30N/mm<sup>2</sup>および35N/mm<sup>2</sup>の3種類を目標とした。また、供試体の鉄筋にはSD295A、D13を配置した。ここで、本実験に用いるRC床版記号および圧縮強度、鉄筋の材料特性値を表-1に示す。

### 3.2 供試体寸法および鉄筋の配置

RC床版供試体は、1994年改定の道示<sup>9)</sup>の基準に準拠し、支間2.4mのRC床版に大型車両の1日1方向あたりの計画交通量が2000台以上として設計した寸法に対して、本輪荷重走行疲労実験の輪荷重幅が道示に規定するT荷重幅の3/5モデルであることから、本供試体の寸法を3/5モデルとした。よって、供試体の



写真-2 走行振動疲労試験装置

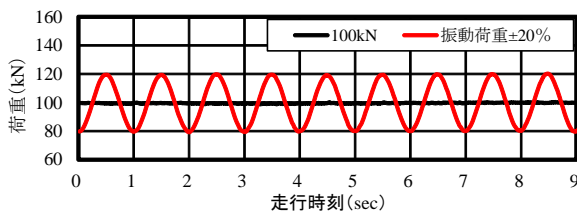


図-4 荷重と走行時刻の関係

寸法は図-3に示すように、全長は1,600mm、支間1,400mm、床版厚150mmの等方性版とする。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. 実験方法および等価走行回数

##### 4.1 実験方法

###### (1) 走行一定荷重による疲労実験

RC床版の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の位置から走行範囲900mmを往復連続走行させる実験である。ここで、輪荷重走行振動疲労試験装置を写真-2に示す。

実験方法は、供試体RC25およびRC30には輪荷重走行範囲に幅300mm、厚さ4.5mmの鋼板、供試体RC35には厚さ9.0mmの鋼板を敷き、その上を輪荷重100kNを載荷させながら、供試体が破壊するまで連続走行させる。ここで、RC床版供試体を一定荷重で1走行した場合の荷重波形を図-4に示す。

###### (2) 走行振動荷重による疲労実験<sup>7)</sup>

走行振動荷重による実験においては、一定荷重での疲労実験と同様に走行面に幅300mmの鋼板を敷いて、その上を輪荷重が走行する。本実験における走行振動荷重は、一定荷重100kNに対して±20%（上限荷重120kN、下限荷重80kN）および±30%（上限荷重130kN、

下限荷重70kN）の振動荷重とする。また、振動数は1.0Hzの正弦波形で走行させる<sup>7)</sup>。

ここで、輪荷重100kNに対して走行振動荷重±20%の荷重波形の一例を図-4に示す。

#### 4.2 等価走行回数

実験荷重下での疲労破壊までの走行回数を基準荷重の繰返し数に換算した等価走行回数（繰返し回数）は、マイナー則（線形累積損傷則）に従うものと仮定し、式(1)により算定する。なお、振動荷重±20%、±30%を許容した場合の等価走行回数を算定することから載荷荷重を基準となる荷重100kNとする。

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

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)<sup>10), 11)</sup>

#### 5. 結果および考察

##### 5.1 等価走行回数

本実験供試体における等価走行回数を表-2に示す。輪荷重走行疲労実験において供試体RC25、RC30およびRC35-V20、V30には、輪荷重の接地面に4.5mmの鋼板を設置した供試体である。RC床版上面に輪荷重が直接載荷した場合の破壊時の接地面は38mm程度である。これに4.5mmの載荷板を敷いて場合は45度で分布するものと仮定すると設置幅は47mmとなる。よって、接地面は300×47mmである。また、供試体RC35の接地面には9.0mmの鋼板を設置して、100kNで走行した供試体である。よって、接地面は300×56mmである。

###### (1) 供試体RC25

一定荷重で走行した供試体RC25の等価走行回数は表-2に示すように $4.091 \times 10^6$ 回である。これに対して振動荷重±20%の荷重振幅で走行した供試体RC25-V20-1の等価走行回数は $1.615 \times 10^6$ 回である。一定荷重で疲労実験を行ったRC25の等価走行回数との比は0.395である。次に、供試体RC25-V30-1の等価走行回数は $0.564 \times 10^6$ 回である。供試体RC-25の一定荷重走行実験による等価走行回数との比は0.138である。

###### (2) 供試体RC30

一定荷重で走行した供試体RC30の等価走行回数は表-2に示すように $9.045 \times 10^6$ 回である。これは供試体RC25の供試体の2.21倍であり、コンクリートの圧縮強度が $5N/mm^2$ 増加することで2.21倍の等価走行回数が得られた。これに対して振動荷重±20%の荷重振幅で走行した供試体RC30-V20-1の等価走行回数は $3.876 \times 10^6$ 回である。供試体RC30-V20-2の等価走行回数は $3.248 \times 10^6$ 回である。一定荷重で疲労実験を行っ

表-2 等価走行回数および等価走行回数比

供試体名称	圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>	鋼板設置面 寸法	等価走行回数	等価走行回数比
RC25	25.0	300×47mm	4,091,728	—
RC25-V20-1	25.5	300×47mm	1,615,293	0.395
RC25-V30-1	25.5	300×47mm	564,154	0.138
RC30	30.0	300×47mm	9,045,895	—
RC30-V20-1	30.0	300×47mm	3,876,442	0.429
RC30-V20-2	30.0	300×47mm	3,248,741	0.359
RC30-V30-1	30.0	300×47mm	1,167,278	0.129
RC30-V30-2	30.0	300×47mm	920,802	0.102
RC35	35.0	300×56mm	24,563,332	—
	(33.0)		(18,331,049)	—
RC35-V20-1	33.0	300×47mm	6,743,893	0.275 (0.367)
RC35-V30-1	33.0	300×47mm	2,075,045	0.084
				(0.113)

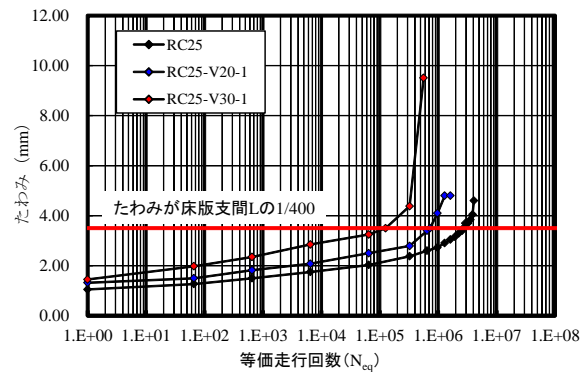
た RC30 の等価走行回数との比はそれぞれ 0.429, 0.359 である。次に、供試体 RC30-V30-1, 2 の等価走行回数はそれぞれ  $1.167 \times 10^6$  回,  $0.920 \times 10^6$  回であり、供試体 RC-30 の一定荷重走行実験による等価走行回数との比はそれぞれ 0.129, 0.102 である。

### (3) 供試体RC35

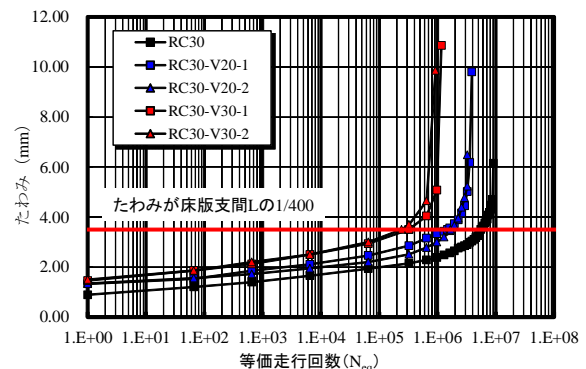
供試体 RC35 の等価走行回数は  $24.563 \times 10^6$  回であり、供試体 RC25, RC30 のそれぞれ 6.00 倍と 2.72 倍である。これは鋼板 9.0mm を敷いての疲労実験であることから接地面積が広がったことと圧縮強度が高いために等価走行回数が多くなった結果である。また、荷重 100kN に対して荷重振幅  $\pm 20\%$  の振動荷重で疲労実験を行った供試体 RC35-V20-1 の等価走行回数は  $6.743 \times 10^6$  回であり、一定荷重走行実験による等価走行回数との比は 0.275 である。また、供試体 RC35-V30-1 の等価走行回数は  $2.075 \times 10^6$  回であり、等価走行回数比は 0.084 である。両供試体ともに RC25, RC30 の供試体の低下率を大きく下回っている。これは、一定荷重走行実験に用いた供試体 RC35 の圧縮強度が  $35\text{N/mm}^2$  であるのに対し、振動荷重実験に用いた供試体の圧縮強度は  $33.0\text{N/mm}^2$  であり、コンクリートの圧縮強度の差が等価走行回数に反映された結果である。

そこで、供試体 RC35 のコンクリートの圧縮強度を  $33.0\text{N/mm}^2$  として押抜きせん断耐荷力を算定し、筆者らが提案する S-N 曲線式<sup>12)</sup>から等価走行回数を算定すると  $18.331 \times 10^6$  回となり、この等価走行回数と振動荷重  $\pm 20\%$ ,  $\pm 30\%$  の供試体の等価走行回数との比はそれぞれ 0.367, 0.113 となり、圧縮強度  $25\text{N/mm}^2$ ,  $30\text{N/mm}^2$  の供試体の等価走行回数比と近似する結果となる。なお、これらの結果については表-2 に赤字で表記した。

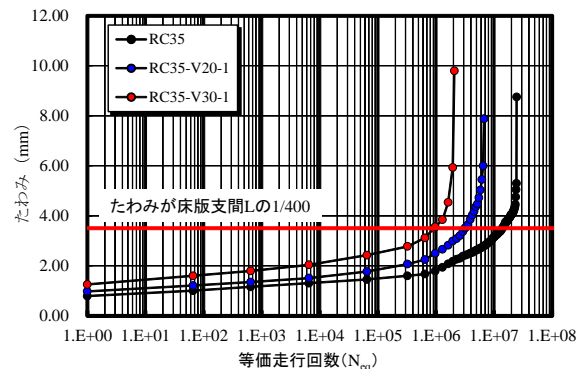
以上より、荷重振幅  $\pm 20\%$  の振動荷重における疲労実験では、上限荷重時に基準荷重 72kN の 1.67 倍 (=  $120\text{kN}/72\text{kN}$ ) の荷重が作用することになる。また、荷重振幅  $\pm 30\%$  の場合には、上限荷重時に基準荷重の 1.81 倍 (=  $130\text{kN}/72\text{kN}$ ) の荷重が作用することになり、その結果、疲労寿命の低下が著しい結果となった。



(1) RC25, RC25-V20, RC25-V30



(2) RC30, RC30-V20, RC30-V30



(3) RC35, RC35-V20, RC35-V30

図-5 たわみと等価走行回数の関係

## 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は、各計測回数ごとに走行一定荷重および振動荷重で走行後に一定荷重で走行した場合のたわみと等価走行回数の関係とし、これを図-5 に示す。なお、RC 床版の維持管理の目安は、たわみが支間 L の 1/400 付近として提案<sup>13)</sup>されていることから図-5 に床版支間 L の 1/400 のたわみを併記した。

### (1) 圧縮強度25N/mm<sup>2</sup>

供試体 RC25 の 1 回走行後の初期たわみは 1.05mm である。たわみが床版支間 L の 1/400, すなわちたわみが 3.5mm に達した時点の等価走行回数は  $2.708 \times 10^6$

回であり、等価走行回数  $4.091 \times 10^6$  回における最大たわみは 4.60mm である。

一方、供試体 RC25-V20-1 の初期たわみは 1.32mm であり、たわみが 3.5mm に達した時点の等価走行回数は  $0.725 \times 10^6$  回である。等価走行回数  $1.615 \times 10^6$  回での最大たわみは 4.8mm である。また、供試体 RC25-V30-1 の初期たわみは 1.45mm であり、たわみが 3.5mm に達した時点の等価走行回数  $0.126 \times 10^6$  回である。等価走行回数  $0.564 \times 10^6$  回での最大たわみは 9.51mm である。一定荷重で走行した供試体 RC25 の床版支間 L の 1/400 に達した時点の等価走行回数との比はそれぞれ 0.268, 0.047 であり、この時点でも等価走行回数が大幅に低下している。

## (2) 圧縮強度 30N/mm<sup>2</sup>

供試体 RC30 の 1 走行後の初期たわみは 0.89mm である。たわみが床版支間 L の 1/400、すなわちたわみが 3.5mm に達した時点の等価走行回数は  $5.511 \times 10^6$  回であり、等価走行回数  $9.045 \times 10^6$  回における最大たわみは 6.15mm である。

一方、供試体 RC30-V20-1 の初期たわみは 1.33mm であり、たわみが 3.5mm に達した時点の等価走行回数  $1.938 \times 10^6$  回である。等価走行回数  $3.876 \times 10^6$  回での最大たわみは 9.8mm である。また、供試体 RC30-V20-2 の初期たわみは 1.34mm であり、たわみが 3.5mm に達した時点の等価走行回数  $1.679 \times 10^6$  回であり、等価走行回数  $3.248 \times 10^6$  回での最大たわみは 6.4mm である。一定荷重で走行した供試体 RC30 の床版支間 L の 1/400 に達した時点の等価走行回数との比はそれぞれ 0.352, 0.301 であり、この時点でも等価走行回数が大幅に低下している。

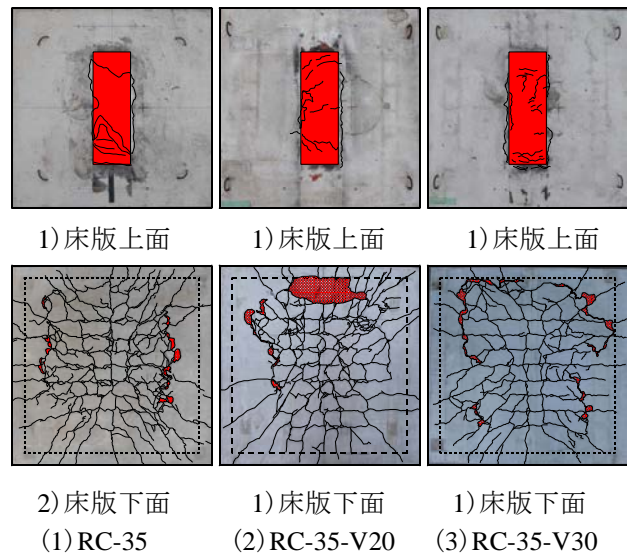
次に、供試体 RC30-V30-1 の初期たわみは 1.46mm である。たわみが 3.5mm に達した時点の等価走行回数は  $0.324 \times 10^6$  回、等価走行回数  $1.167 \times 10^6$  回での最大たわみは 10.8mm である。また、供試体 RC30-V30-2 の初期たわみは 1.50mm である。たわみが 3.5mm に達した時点の等価走行回数は  $0.241 \times 10^6$  回、等価走行回数  $0.920 \times 10^6$  回での最大たわみは 9.9mm である。

一定荷重で走行した供試体 RC30 の床版支間 L の 1/400 に達した時点の等価走行回数との比はそれぞれ 0.059, 0.044 であり、等価走行回数はさらに低下している。

## (2) 圧縮強度 35N/mm<sup>2</sup>

供試体 RC-B の初期たわみは 0.79mm である。たわみが 3.5mm に達した時点の等価走行回数は  $12.969 \times 10^6$  回であり、等価走行回数  $24.563 \times 10^6$  回での最大たわみは 8.8mm である。

一方、供試体 RC35-V20-1 の初期たわみは 0.98mm である。たわみが 3.5mm に達した時点の等価走行回数は  $3.165 \times 10^6$  回、等価走行回数  $6.743 \times 10^6$  回での最大たわみ 7.7mm である。



図－ 6 破壊状況

次に、供試体 RC35-V30-1 の初期たわみは 1.25mm であり、たわみが 3.5mm に達した時点の等価走行回数は  $0.925 \times 10^6$  回、等価走行回数  $2.075 \times 10^6$  回での最大たわみ 9.8mm である。

一定荷重で走行した RC35 の床版支間 L の 1/400 に達した時点の等価走行回数との比はそれぞれ 0.24, 0.07 であり、いずれも等価走行回数は大きく低下している。

以上より、RC 床版の維持管理の目安である、たわみが床版支間 L の 1/400 に達した時点でのたわみの急激な増加が見られる。また、床版支間 L の 1/400 付近での等価走行回数比は破壊時の等価走行回数比と比べて大幅に低下する結果となった。

## 5. 3 RC床版および振動荷重が及ぼすRC床版の破壊メカニズム

走行一定荷重による疲労実験における RC 床版供試体 RC35 および走行振動荷重による疲労実験における供試体 RC35-V20, RC35-V30 の破壊状況の一例を図－ 6 に示す。

RC 床版供試体 RC35 の上面の損傷状況は、図－ 6 (1) に示すように、等価走行回数  $24.563 \times 10^6$  回におけるひび割れ状況であり、走行面はひび割れが見られるものの貫通ひび割れに起因するひび割れは見られない。下面のひび割れは鉄筋の配置付近に格子状に発生している。輪荷重 45 度の下面にはダウエル効果の影響が及ぼす範囲ではく離が見られる。破壊は輪荷重走行中に床版中央付近で押抜きせん断破壊となった。

次に、振動荷重  $\pm 20\%$  で走行した供試体 RC-35-V20 の等価走行回数は  $6.743 \times 10^6$  回であり、上面の損傷状況は路面の凹凸が著しく、ひび割れも発生していたが、貫通ひび割れに起因するひび割れの発生は見られない。しかし、一定荷重での走行による疲労実験に対し

て等価走行回数が大幅に減少しているにも関わらず衝撃の影響で走行面の損傷が著しい。下面のひび割れ状況も衝撃の影響により損傷が著しく、ダウエル効果の影響を受ける範囲のはく離も著しい。破壊は床版中央か 30cm 付近で押抜きせん断破壊に至っている。また、振動荷重  $\pm 30\%$  で走行した供試体 RC-35-V30 の等価走行回数は  $2.075 \times 10^6$  回であり、一定荷重走行の等価走行回数比は 0.084 である。しかし、図-5(3)に示すように、上面、下面の損傷状況は RC-35-V20 とほぼ同等である。破壊は中央から支点側 30cm で押抜きせん断破壊となった。

以上より、走行一定荷重による疲労実験および走行振動荷重による疲労実験における RC 床版の破壊メカニズムは、一定荷重による損傷状況に対して荷重振幅が大きくなることで、等価走行回数比は振動荷重  $\pm 20\%$ 、 $\pm 30\%$  でそれぞれ 0.275、0.084 であるが衝撃の影響により破壊時のひび割れ状況はほぼ同等であり、衝撃の影響により、早期に押抜きせん断破壊となった。よって、伸縮継手の段差量および路面の凹凸を 20mm 以下となる維持管理を行う必要がある。

## 6. まとめ

本研究は、伸縮継手の段差等によって発生する振動荷重が  $\pm 20\%$  および  $\pm 30\%$  を許容した場合の RC 床版の耐疲労性の評価について実験研究であり、以下の知見が得られた。

(1) 伸縮継手の段差等によって発生する振動荷重が基準荷重 100kN に対して  $\pm 20\%$  (上限荷重 120kN, 下限荷重 80kN) の正弦波形が重畳することで、一定荷重で走行した場合の等価走行回数の 69%、基準荷重 100kN に対して  $\pm 30\%$  (上限荷重 130kN, 下限荷重 70kN) の正弦波形が及ぼした場合は 90% 低下する結果が得られた。

(2) RC 床版の維持管理の目安である、たわみが床版支間 L の 1/400 に達した時点でのたわみの急激な増加が見られた。また、床版支間 L の 1/400 付近での等価走行回数を比較すると大幅に低下する結果となった。

(3) 全ての供試体で破壊モードは押抜きせん断破壊となった。しかし、走行振動荷重が重畳した場合の RC 床版では、衝撃の影響により走行面および下面の損傷が著しく早期に破壊に至っている。よって伸縮継手の段差や路面の凹凸を 20mm 以下となるような維持管理が必要である。

(4) 伸縮継手の段差量を 20mm 許容する場合は、日常点検において常に 20mm 以下となる維持管理が必要となる。また、伸縮継手の交換においては衝撃力を吸収する埋設型のジョイントへの交換、あるいは

は曲げ剛性を高めるための下面増厚補強などの検討が必要となる。

## 謝辞

本研究は、科学研究費補助金(基盤研究(C)課題番号 80060218, 研究代表者 阿部忠)の助成を受けて行ったものである。ここに記して謝意を表す。

## 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, 井上純三, 福永隆: 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, 1989.3
- 4) 日本道路公団伸縮継手改良委員会: 伸縮継手調査研究(その4) 報告書, 1974.3
- 5) 横山功一, 井上純三, 福永隆: 路面段差部に作用する自動車衝撃荷重の特性, 構造工学論文集, Vol. 35A, pp.757-764, 1989.3
- 6) 川谷充郎, 大倉一郎, 山田靖則, 福本喙士, 難波宗行: 自動車走行による床版および橋梁各部の動的応答実験, 構造工学論文集, Vol. 36A, pp. 679-684, 1990.3
- 7) 阿部忠, 木田哲量, 星埜正明, 加藤清志, 徐銘謙: 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, 2006.1
- 8) 坪田浩昭: 神戸橋の損傷と対応について, 第 29 回日本道路会議[道路橋の維持管理], 長野県建設部道路管理課, 2011
- 9) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I, II, 1994
- 10) 松井繁之: 道路橋床版設計・施工と維持管理, 森北出版, 2007.10
- 11) 川井豊, 阿部忠, 木田哲量, 高野真希子: 道路橋 RC 床版の S-N 曲線に関する一考察, 第 7 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp. 263-268, 2012.6
- 12) 阿部忠, 木田哲量, 高野真希子, 川井豊: 道路橋 RC 床版の押抜きせん断耐荷力および耐疲労性の評価, 土木学会論文集 A1, pp39-54, 2011.1
- 13) 阿部忠, 木田哲量, 高野真希子, 小森篤也児玉孝喜: 輪荷重走行疲労実験における RC 床版上面増厚補強法の耐疲労性の評価法, 構造工学論文集, Vol.57A, p1270-1281, 2010.3

(2018 年 7 月 20 受付)