

走行振動荷重を受ける RC 床版の実験耐力および動的影響

Experimental Load-Carrying Capacity and Dynamic Effect of RC Slab Under Running Vibration-Load

阿部 忠*, 木田哲量**, 澤野利章***, 加藤清志**, 星埜正明****

Tadashi ABE*, Tetsukazu KIDA**, Toshiaki SAWANO***, Kiyoshi KATO** and Masaaki HOSHINO****

* 日本大学助教授 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 日本大学助教授 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 理工学部社会交通工学科 (〒 274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

The reinforced concrete (RC) slabs of road bridges suffer the cracking damage at both ends of girders. The vibrations resulting from heavy vehicles passing expansion joints with a difference in level are considered to be one of the causes of the cracking damage. The present deals with a static load test, the running constant loading test and the running vibration loading test for the RC slabs to evaluate the test load-carrying capacity, their failure mechanism and the dynamic loading effect. The experimental results indicate that the load-carrying capacity of the slabs decreased by 15% under the constant running load and by 16% and 19% under the running vibration loads with the peak-to-peak amplitudes of $\pm 20\%$ and $\pm 30\%$, respectively. To evaluate the dynamic effects of the running vibration load on the slabs, the impact coefficient was calculated from the dynamic amplification factor based on the observed deflections. The obtained coefficients were 0.395 and 0.493 under the dynamic loads with the peak-to-peak amplitudes of $\pm 20\%$ and $\pm 30\%$, respectively. It has been clarified that the flexural rigidity of the slabs decreased considerably under the variable loads.

Key words: Running vibration-load, RC slab, Load-carrying capacity, Failure Mechanism, Dynamic effect coefficient.

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、伸縮継ぎ手部の段差や路面の凹凸により発生する大型自動車の荷重変動^{1), 2)}も大きな原因の一つであると考えられる。とくに、伸縮継ぎ手の段差部通過後は大きな荷重変動が生じることから、橋梁の両支点付近の床版は当然ひび割れ損傷が生じるものと考えられる。

一方、現行の道路橋示方書 (道示) に規定する衝撃係数は、伸縮継ぎ手の段差により発生する大きな荷重変動の影響、すなわち、荷重振幅を関数とした衝撃係数として取り扱われていない。そこで、筆者らは走行振動荷重が作用する RC はりの動的影響に関する実験研究を行って報告してきた^{3), 4)}。それによると、荷重振幅が $\pm 21\%$ 以上となると、道示に規定する衝撃係数を上回る結果を得た。そこで本研究は、RC 床版を用いて①静荷重載荷実験、②走行一定荷重載荷実験、③走行振動荷重載荷実験を行い、実験最大耐力および走行振動荷重が及ぼす動的影響を評価した。

2. 大型自動車の荷重変動およびひび割れ状況

2.1 大型自動車の荷重変動

独立行政法人土木研究所では、大型自動車が伸縮継ぎ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に関する実験を行って、その研究成果を報告している。

この文献²⁾には、総重量 205.8kN の 3 軸ダンプトラックが伸縮継ぎ手部を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結果を図-1 のように示している。実験の結果によれば、3 軸ダンプトラックの荷重変動は橋梁の入口と出口付近で軸重量に対して $\pm 45 \sim \pm 48\%$ 程度生じている。とくに、出口付近の荷重変動が著しい。したがって、鋼橋床版の長寿命化を図るためにも伸縮継ぎ手の段差によって発生する荷重変動、すなわち走行振動荷重が及ぶ RC 床版の動的影響を明確にする必要がある。

2.2 鋼道路橋 RC 床版の損傷状況

鋼道路橋 RC 床版は、大型自動車の走行によってひび割れ損傷が生じている。ここで、鋼合成桁橋の床版のひび割れ損傷の一例を図-2 示す。同図は、走行レーンの出口付近のひび割れ損傷であり、伸縮継ぎ手を通過する時の走行振動の影響、すなわち、図-1 に示した荷重変動が最も大きい位置である。主鉄筋方向のひび割れ間隔は 15cm ~ 30cm 程度で発生し、このひび割れは床版ハンチ部まで生じている。したがって、この床版はすでにはり状化しているものと考えられる。さらに、配力筋方向にもひび割れが発生している。このように、実橋 RC 床版の損傷状況からも橋梁の両支点付近は荷重変動の影響を考慮した動的影響、すなわち衝撃係数を適用した設計法が必要である。

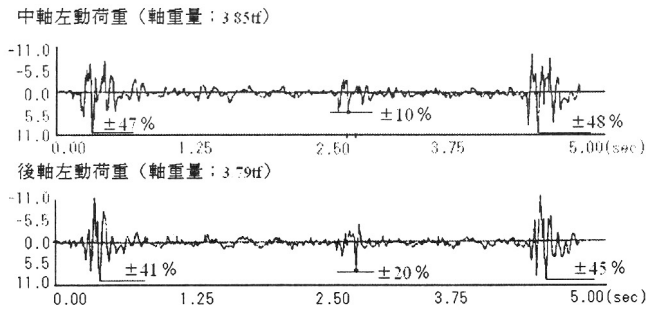


図-1 大型自動車の荷重変動²⁾

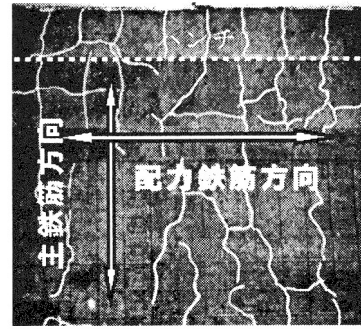


図-2 実橋ひび割れ状況

3. 供試体の材料および寸法

3.1 使用材料

供試体のコンクリートは普通ポルトランドセメント、粗骨材は栃木県栗野町産の最大寸法 20mm を使用した。また、鉄筋は SD 295A, D10 を使用した。コンクリートの圧縮強度は 30.0N/mm²、鉄筋の降伏強度は 370 N/mm² である。

3.2 供試体寸法および鉄筋の配置

供試体の支間長は 100cm とし、供試体の張り出し部は 12.5cm とし、全長 125cm とする。

鉄筋の配置は軸直角方向に D10 を 10cm 間隔、有効高さ $d = 7.5\text{cm}$ とし、また軸方向筋は、D10 を 15cm 間隔に配置し、有効高さ $d = 6.5\text{cm}$ とした。供試体の寸法および鉄筋の配置を図-3 に示す。

3.3 計測位置

本実験におけるたわみの計測位置は、軸方向 3 点、軸直角方向 1 点とする。たわみ計測位置を図-3 に併記した。

4. RC床版の動的増幅率

4.1 振動荷重を受ける道路橋の動的影響

大型車両の走行振動、すなわち荷重変動が及ぼす衝撃

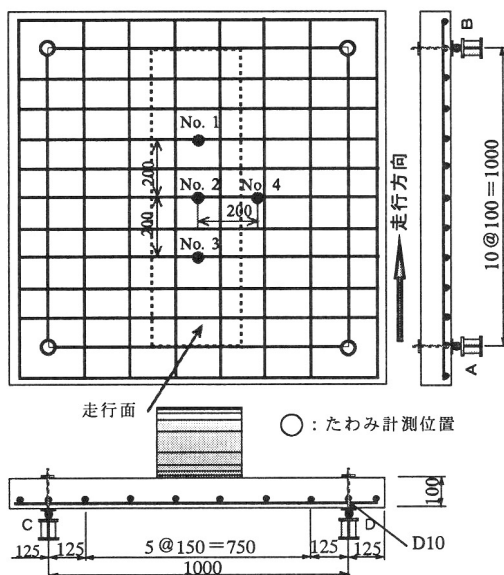


図-3 供試体寸法および鉄筋の配置

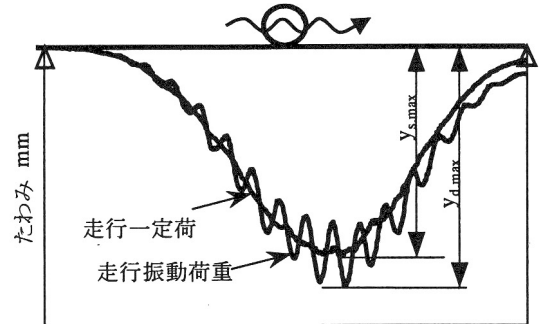


図-4 動的増幅率の定義図

係数は、車両が振動しない状態の走行による応答値に対して、振動しながら走行する場合の応答値の割合を示す動的増幅率 DAF (Dynamic Amplification Factor)⁵⁾ として評価している。

動的増幅率は橋梁応答の動的影響を評価する方法の 1 つであり、道示では支間長に対する低減関数とした衝撃係数 ($i = 20/(50 + L)$, L ; 設計支間)⁶⁾ を用いている。

本研究においても、振動荷重が作用した場合の動的影響はたわみ応答による動的増幅率 DAF から実験衝撃係数を求めて評価する。

4.2 たわみ応答値による動的増幅率 DAF

単純けた橋に走行振動荷重が作用した場合の支間中央におけるたわみ応答の動的増幅率を図-4 に示す。

動的増幅率による実験衝撃係数は、実験最大静的たわみ値を基準に、その値と実験最大動的たわみ値の差を最大静的たわみ値で除するとして定義されている。

$$I = (y_{d,max} - y_{s,max}) / y_{s,max} \quad (1)$$

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

本実験における荷重変動が及ぼす RC 床版の動的影響、すなわち実験衝撃係数は式(1)で評価する。

5. 実験装置の概要および実験方法

5.1 移動荷重載荷装置の概要

本実験に用いた走行振動試験装置は、鋼製反力フレーム(400kN)のはりに鋼製の車輪を取り付けた油圧式の振動疲労試験機を固定し、供試体を設置した台車をモー

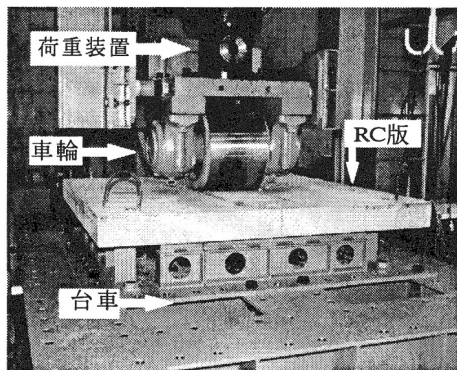


図-5 実験装置（走行振動試験装置）

ターとクランクアームにより水平方向へ往復運動させて荷重の走行状態を実現するものである。走行振動試験装置を図-5に示す。

5.2 実験方法

RC床版の最大耐力は①静荷重載荷実験，②走行一定荷重載荷実験，③走行振動荷重載荷実験より得るものとする。また，動的影響については，走行振動荷重載荷実験より評価する。ここで，実験方法を図-6に示す。

(1) 静荷重載荷実験 (Static load ; (S))

静荷重載荷実験では図-6(1)に示すようにRC版の中央に車輪を停止した状態で荷重を載荷する。荷重の大きさは5.0kNずつ増加する段階荷重載荷とした。

(2) 走行一定荷重載荷実験 (Constant running-load ; (CR))

走行一定荷重載荷実験では図-6(2)に示すように供試体の支点Aに荷重を載荷し，支点Aから支点Bを折り返す1往復を走行させ，たわみを動的に計測する。

走行は支点Aに輪荷重を載荷させたのち，支点Bに走行させた後，支点Bを折り返し，元の支点Aまでを一往復とする。本実験における走行速度は1往復2.0mを9.0secで走行する0.22m/sとした。一定荷重による走行実験の載荷は，1走行で5.0kNずつ増加する段階載荷とする。

(3) 走行振動荷重載荷実験 (Running vibration load ; (V))

本実験の振動荷重は，大型車輛が伸縮継ぎ手を通過した後の荷重変動をモデルとした。荷重振幅が $\pm 20\%$ の走行振動荷重 $\pm 20\%$ の荷重状態の一例を図-7に示す。

1) 走行振動荷重載荷実験における最大耐力

走行振動荷重載荷実験は図-6(3)に示すように，走行一定荷重の場合と同様に支点Aから支点Bを折り返す，一往復を振動走行させるものである。本実験における荷重振幅は，基準荷重に対して $\pm 20\%$ ， $\pm 30\%$ とし，振動数1.0Hzの正弦波形による片振り荷重とする。荷重の載荷条件は走行一定荷重の場合と同様とする。

2) 走行振動荷重が及ぼす動的影響

動的影響を示す実験衝撃係数Iは，走行振動荷重載荷実験の過程で，静荷重載荷実験における最大耐力の50%以下の荷重，すなわち50kN，60kNの2点を設定し，一定な荷重による走行実験（走行一定荷重による走行実

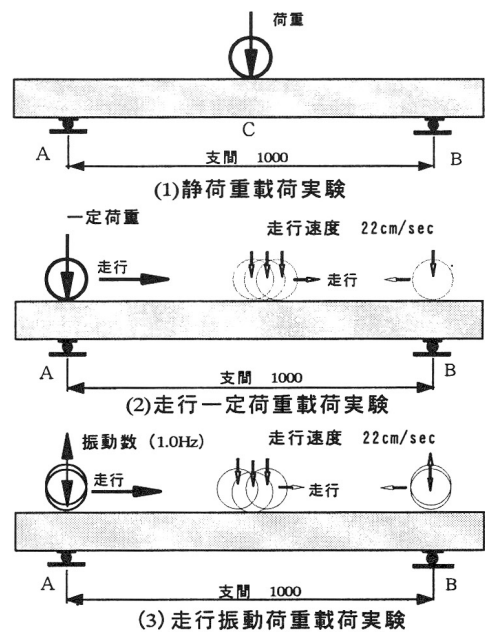


図-6 実験方法

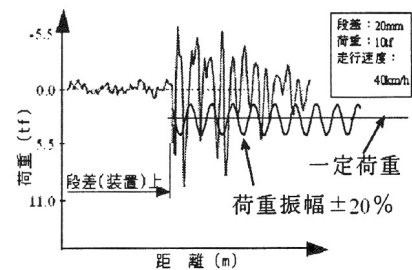


図-7 振動荷重および一定荷重の載荷状態

験と同様)を行い，走行振動荷の場合の最大動的たわみ($y_d \cdot \max$)と走行一定荷重実験による最大静的たわみ($y_s \cdot \max$)を計測し，式(1)より実験衝撃係数Iを得るものとする。

6. 実験耐力および破壊モード

6.1 実験耐力

本実験の最大耐力を表-1に示す。走行一定荷重および走行振動荷重の場合の最大耐力とは，走行1往復を維持した荷重の最大値とする。

静荷重の場合の実験最大耐力の平均は124.8kNであり，走行一定荷重の場合の平均は105.6kNである。静荷重の場合と走行一定荷重の場合の耐力比(CR/S)は0.85となり，走行一定荷重の場合が15%耐力低下した。次に，走行振動荷重の実験最大耐力の平均は，荷重振幅 $\pm 20\%$ の場合は105.3kN， $\pm 30\%$ の場合は100.8kNである。その静荷重に対する耐力比(V/S)は $\pm 20\%$ で0.84となり16%， $\pm 30\%$ の場合の耐力比は0.81となり19%低下した。したがって，荷重振幅が大きくなると耐力の低下率が大きくなる結果を得た。

走行一定荷重と走行振動荷重の場合を比較すると，荷重振幅 $\pm 20\%$ の場合の荷重比(V/R)は1.00となり，振幅上限と近似している。しかし，荷重振幅 $\pm 30\%$ の場合

表-1 R C床版の実験耐力

| 供試体 | 実験耐力(kN) | 平均耐力(kN) | 耐力比 R or CR, V/S | 耐力比 V/CR | たわみ | 破壊モード |
|-----------|--------------|----------|---------------------|-------------|--------|----------------|
| | | | | | (mm) | |
| 100-S-1 | 119.8 | 124.8 | — | — | 10.825 | 押し抜きせん断破壊 |
| 100-S-2 | 129.7 | | | | 9.195 | |
| 100-CR-1 | 108.5 | 105.6 | 0.85 | — | 7.935 | 曲げ卓越型押し抜きせん断破壊 |
| 100-CR-2 | 102.7 | | | | 10.05 | |
| 100-V20-1 | 108.6 ~ 79.1 | 105.3 | 0.84 | 1.00 | 11.153 | 曲げ卓越型押し抜きせん断破壊 |
| 100-V20-2 | 102.0 ~ 69.2 | | | | 8.706 | |
| 100-V30-1 | 97.1 ~ 53.6 | 100.8 | 0.81 | 0.95 | 9.0602 | 曲げ卓越型押し抜きせん断破壊 |
| 100-V30-2 | 104.5 ~ 56.2 | | | | 8.668 | |

※ 100: 支点間100cmのRC版、S: 静荷重、1: 供試体番号
CR: 走行一定荷重、V20: ±20%の走行振動荷重(30: ±30%)

は耐力比が0.95となり、耐力は5%下回った。

6.2 破壊モード

静荷重の場合の破壊モードは押し抜きせん断破壊となった。また、走行一定荷重および走行振動荷重の場合は、輪荷重が走行することによってRC床版ははり状化し、破壊は軸直下方向は押し抜きせん断断面を形成し、軸方向は曲げひび割れ形状となった。したがって、破壊モードは曲げ卓越型の押し抜きせん断破壊である。破壊モードを表-1に併記した。

7. 走行振動荷重が及ぶ動的影響

走行振動荷重が及ぶ動的影響は、走行一定荷重と走行振動荷重におけるたわみの関係による剛性低減率から得た剛性低減係数⁹⁾と走行振動荷重実験におけるRC床版の実験衝撃係数⁹⁾の2つの観点から評価する。

7.1 走行時刻歴とたわみ応答

本実験における走行一定荷重および走行振動荷重の場合の走行時刻歴とたわみ応答の関係を図-8に示す。なお、これは引張鉄筋のひずみが降伏した後の荷重から破壊時の荷重までの結果である。

走行一定荷重における供試体100-CR-1(図-8(1))は、荷重115kNが走行中に中央付近でたわみが急激に増加して破壊した。また、走行振動荷重における荷重振幅±20%の場合の供試体100-V20-1(図-8(2))は、荷重100kN(80kN~120kN)で走行中に支点Aのから75cmの位置でたわみが急激に増加して破壊した。次に、荷重振幅±30%の場合の供試体100-V30-1(図-8(3))は荷重80kN(56kN~104kN)で走行中に支点Aから75cmの位置で破壊した。そこで、図-8に示した走行時刻歴とたわみ応答における各荷重ごとの最大値を、それぞれのたわみ値とし、静荷重の場合のたわみ値と併せて、荷重とたわみの関係として図-9に示す。

7.2 剛性低減率による動的影響

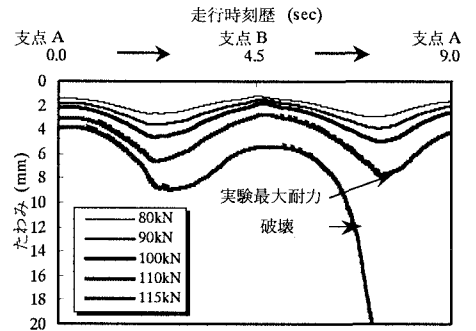
図-9に示すように、走行一定荷重と比較すると、走行振動荷重の場合のたわみは各荷重で大きくなっている。この走行振動荷重のたわみを走行一定荷重のたわみに対する増加割合を剛性低減率 ξ_r と定義し、式(2)として与えた。したがって、剛性低減係数 ξ_r は式(3)として与えられる。

$$\xi_r = (\delta_v / \delta_{CR}) \quad (2)$$

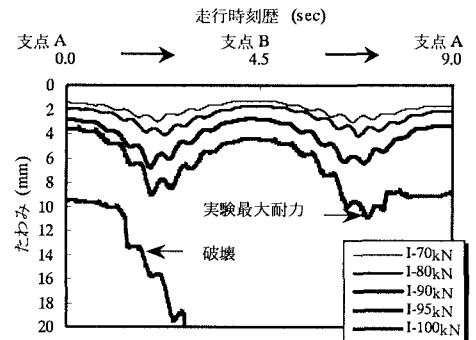
$$\xi_r = \xi_r - 1.0 \quad (3)$$

ここで、 δ_{CR} : 走行一定荷重によるたわみ、 δ_v : 走行振動荷重によるたわみ

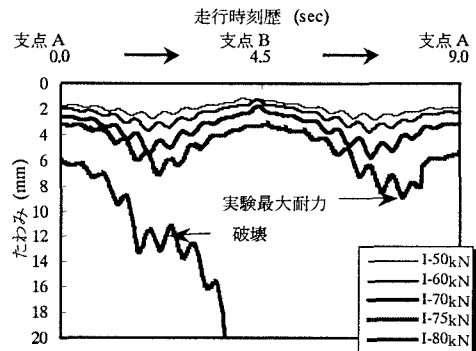
剛性低減係数を式(3)を用いて、弾性域の荷重までを求めて表-2に示す。



(1) 100-CR-1



(2) 100-V20-1



(3) 100-V30-1

図-8 走行時刻歴とたわみの関係

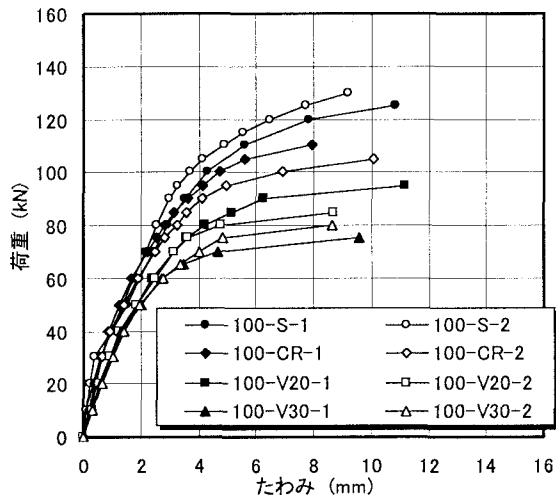


図-9 荷重とたわみの関係

表-2 剛性低減係数

| 荷重 | 100-V20-1 | 100-V20-2 | 平均値 | 荷重 | 100-V30-1 | 100-V30-2 | 平均値 |
|------|-----------|-----------|-------|------|-----------|-----------|-------|
| 10kN | 0.378 | 0.366 | 0.372 | 10kN | 0.434 | 0.394 | 0.414 |
| 20kN | 0.428 | 0.381 | 0.404 | 20kN | 0.494 | 0.520 | 0.507 |
| 30kN | 0.382 | 0.379 | 0.381 | 30kN | 0.484 | 0.489 | 0.486 |
| 40kN | 0.391 | 0.328 | 0.359 | 40kN | 0.416 | 0.530 | 0.473 |
| 50kN | 0.338 | 0.304 | 0.321 | 50kN | 0.478 | 0.444 | 0.461 |
| 60kN | 0.313 | 0.318 | 0.316 | 60kN | 0.466 | 0.507 | 0.486 |
| 70kN | 0.276 | 0.307 | 0.292 | | | | |
| 平均 | 0.358 | 0.340 | 0.349 | 平均 | 0.462 | 0.480 | 0.471 |

表-3より弾性域における剛性低減率は、荷重振幅±20%の場合は0.349、荷重振幅±30%の場合は0.471となり、いずれも与えた荷重振幅の1.74倍と1.57倍となり、走行振動荷重が作用することによる剛性低下が著しい結果となった。なお、剛性低減係数は走行一定荷重および走行振動荷重ともに、段階荷重載荷による残留たわ

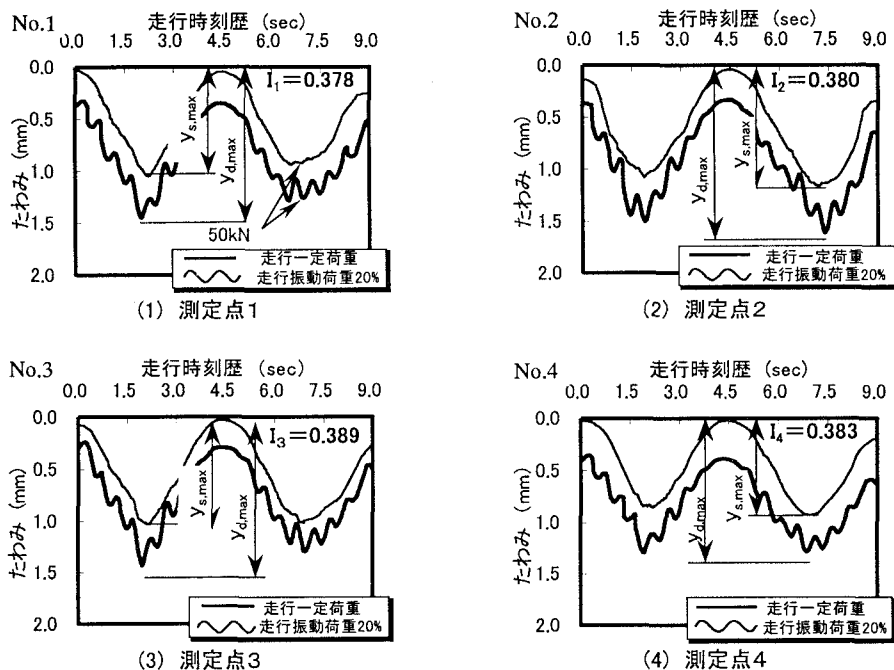


図-10 走行時刻歴とたわみの関係

みは累積された結果である。

7.3 実験衝撃係数および動的影響係数

供試体 100-V20-1 (振動荷重 20%) の場合の動的増幅率の一例を図-10に示す。

図-10に示すたわみによる動的増幅率から実験衝撃係数を算出する場合は、走行振動荷重による最大たわみを最大動的たわみ ($y_{d,max}$) とし、走行一定荷重による最大たわみを最大静的たわみ ($y_{s,max}$) として、式(1)を適用する。よって、走行振動荷重が作用する RC 床版の実験衝撃係数 I を表-3に示す。

表-3より、供試体 100-V20-1, 100-V20-2 の実験衝撃係数 I の平均値は 0.382, 0.408 であり、与えた荷重振幅に対して、それぞれ 1.91 倍と 2.04 倍の衝撃係数が得られた。次に、100-V30-1, 2 の場合はそれぞれ 0.487, 0.499 であり、与えた荷重振幅に対して 1.62 倍と 1.66 倍となった。各計測点中の No.1, No.2, No.3 は軸方向の走行面であり、No.4 は No.2 から軸直角方向へ 20cm の位置である。これらの位置における衝撃係数はやや減少するもののほぼ近似している。

7.4 動的影響評価式

表-2に示した剛性低減係数 ξ と表-3に示した実験衝撃係数 I とを比較すると、実験衝撃係数の場合が上回る結果を得た。したがって、動的影響の評価は実験衝撃係数と荷重振幅の関係として評価する。

RC 床版に振動荷重 ±20%, ±30% が作用した場合に生じる実験衝撃係数の平均は、与えた荷重振幅に対して、それぞれ 2.04 倍, 1.66 倍を得た。そこで、走行振動荷重の場合の動的増幅率から得た実験衝撃係数を動的影響係数 α_d と定義し、荷重振幅 K の関数として解析する。ここで、表-3に示した RC 床版の衝撃係数を動的影響

表-3 実験衝撃係数

| 供試体 | 基準荷重 | 実験衝撃係数I | | | | 平均衝撃係数I |
|-----------|------|---------|-------|-------|-------|---------|
| | | No.1 | No.2 | No.3 | No.4 | |
| 100-V20-1 | 50kN | 0.386 | 0.348 | 0.349 | 0.356 | 0.359 |
| | 60kN | 0.371 | 0.412 | 0.429 | 0.410 | 0.405 |
| | 平均 | 0.378 | 0.380 | 0.389 | 0.383 | 0.382 |
| 100-V20-2 | 50kN | 0.390 | 0.484 | 0.351 | 0.403 | 0.407 |
| | 60kN | 0.418 | 0.401 | 0.417 | 0.401 | 0.409 |
| | 平均 | 0.404 | 0.442 | 0.384 | 0.402 | 0.408 |
| 100-V30-1 | 50kN | 0.493 | 0.463 | 0.451 | 0.476 | 0.471 |
| | 60kN | 0.490 | 0.510 | 0.518 | 0.495 | 0.503 |
| | 平均 | 0.492 | 0.487 | 0.485 | 0.485 | 0.487 |
| 100-V30-2 | 50kN | 0.484 | 0.500 | 0.493 | 0.481 | 0.490 |
| | 60kN | 0.518 | 0.518 | 0.508 | 0.489 | 0.508 |
| | 平均 | 0.501 | 0.509 | 0.501 | 0.485 | 0.499 |

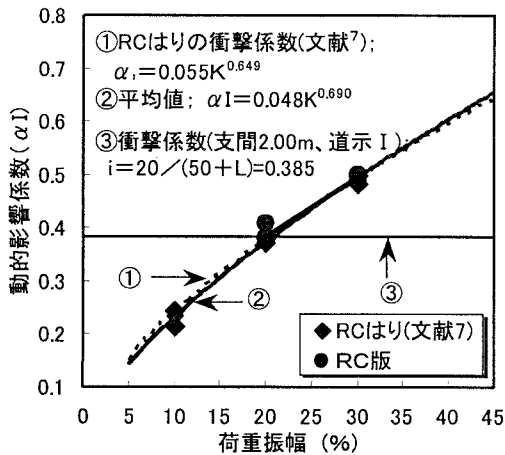


図-11 動的影響係数と荷重振幅の関係⁷⁾

係数と荷重振幅の関係として図-11に示す。なお、図-11には、文献⁷⁾に提示したRCはりの実験衝撃係数も併せて示した。また、道示に規定する支間2.0mの衝撃係数*i*の関係も併せて図-11に示す。本実験における実験衝撃係数は文献⁷⁾に示したRCはりの結果と近似している。

図-11に示す式①、②は累乗近似式より得たもので、その相関係数は $\gamma = 1.00$ であり、極めて良好な相関である。また、図-11に示す荷重振幅と道示Iの衝撃係数と比較すると、RC床版の場合は荷重振幅が19%、RCはりの場合が20%であり、道示に規定する衝撃係数を上回る結果となった。

(1) RCはりの場合の動的影響係数⁷⁾； α_I

文献⁷⁾に示すRCはりの動的影響係数は次式として与えられている。

$$\alpha_I = 0.055K^{0.649} \quad (\text{図-11, ①}) \quad (4)$$

ここで、 α_I ；動的影響係数、*K*；荷重振幅(%),

(2) RCはり と RC床版との平均値動的影響係数； α_I

RC床版およびRCはりの実験衝撃係数は、RC床版の場合がややRCはりを上回るものの、両者は近似している。したがって、RC床版とRCはりの実験衝撃係数を平均すると、次式となる。

$$\alpha_I = 0.050K^{0.669} \quad (\text{図-11, ②}) \quad (5)$$

動的影響係数 α_I として式(4)、(5)が得られたが、伸縮

継手の段差の影響を考慮する場合は、安全側を示す式(5)と、道示に規定する衝撃係数と比較して、危険側を示す値を適用することが望ましいと考えられる。

7. まとめ

①実験耐力は、静荷重に比して走行一定荷重の場合が15%耐力が低下し、走行振動荷重 $\pm 20\%$ の場合が16%、 $\pm 30\%$ の場合が19%耐力が低下した。したがって、荷重振幅も耐力低下に影響を及ぼす結果となった。

②破壊モードは、静荷重の場合は押し抜きせん断破壊となるが、走行一定荷重および走行振動荷重の場合は、荷重が走行することによりはり状化することから、曲げ卓越型の押し抜きせん断破壊となった。

③荷重とたわみの関係から得た剛性低減係数は走行一定荷重に対して走行振動荷重 $\pm 20\%$ で0.349、 $\pm 30\%$ で0.471となり、与えた荷重振幅に対して、それぞれ1.74倍、1.57倍となった。

④振動荷重による実験衝撃係数(I)は、荷重振動 $\pm 20\%$ で、0.395、 $\pm 30\%$ で0.493、荷重振幅対して、それぞれ2.04倍、1.66倍となった。

⑤道路橋RC床版の設計においては、伸縮継ぎ手を通ずるときに発生する荷重変動を考慮した動的影響係数と、道示Iに規定する衝撃係数とを比較して危険側となる値を設計を適用することにより、安全な設計が可能である。

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試験調査報告書(I-1987), 土木研究所資料, No.2426, 1987
- 2) 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
- 3) T. Abe, T. Kida, T. Sawano, M. Hoshino and K. Kato; Flexural Load-Carrying Capacity and Dynamic Effects of RC Beam due to Running Vibration Load, Materials Science Research International, Vol. 6, No.2, pp. 96-103, 2000.6
- 4) 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.
- 5) Bakht, B. and Pinjarkar, S.G. : Review of dynamic testing of highway bridges, the Research and Development Branch, Ministry of Transportation of Ontario (OTM), TRB 880532, SPR-89-01, January 1989
- 6) 日本道路橋会：道路橋示方書・同解説I, II, III, 1997.12
- 7) 阿部 忠, 木田哲量, 澤野利章, 星埜正明, 加藤清志：走行荷重を受けるRCはりの動的影響に関する実験研究, 第6回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, pp.7-12, 2002