

走行振動荷重を受ける RC 床版の力学特性

日大生産工[院] 野田晃嗣 日大生産工 阿部 忠 日大生産工 木田哲量
日大生産工 澤野利章 日大生産工[研]徐 銘謙

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、走行荷重による疲労現象や伸縮継手の段差によって発生する大型自動車の動的影響が大きな原因であると考えられる。とくに、輪荷重が伸縮継手の段差部通過後には大きな荷重変動が生じ、床版にひび割れ損傷が生じている。これに対して、道路橋の設計技術基準である道路橋示方書(以下、道示とする)¹⁾は性能規定型の基準を目指して改良され、床版に関する要求項目としては①耐荷力性能、②疲労耐久性能、③材料耐久性能などの基本的な力学性能が指定されている。しかし、①耐荷力性能を支配する走行荷重が及ぼす影響および伸縮継手を輪荷重が通過するときに発生する大型車両の振動影響に関する評価はなされていないのが現状である。

そこで本研究は、複鉄筋配置の RC 床版供試体を用いて走行荷重による伸縮継手の段差によって発生する荷重変動に着目し、①静荷重実験、②走行荷重実験、③走行振動荷重実験を行い、走行荷重、走行振動荷重が及ぼす動的影響を評価し、道路橋 RC 床版の設計法改善の一助とするものである。

2. 大型自動車の荷重変動およびひび割れ状況

2.1 鋼道路橋 RC 床版の損傷状況

既存 RC 床版の破損状況や RC 床版の疲労試験結果によると、RC 床版には大型車両の交通量の増大や過積載などにより橋軸直角方向に曲げひび割れが発生し、さらに荷重の繰り返し作用により最終的には陥没に至っている。ここで、実橋のひび割れ損傷状況の一例を写真-1に示す。写真-1は、走行レーンの入り口付近のひび割れ損傷であり、伸縮継手部を通過する時に大型車両の衝撃力が最も大きい位置である。

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い、大型自動車の荷重変動を図-1のように報告している²⁾。これに

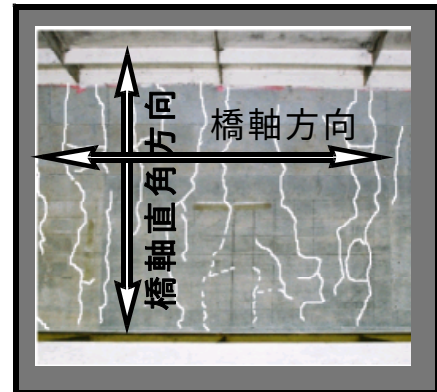


写真-1 実橋 RC 床版のひび割れ状況

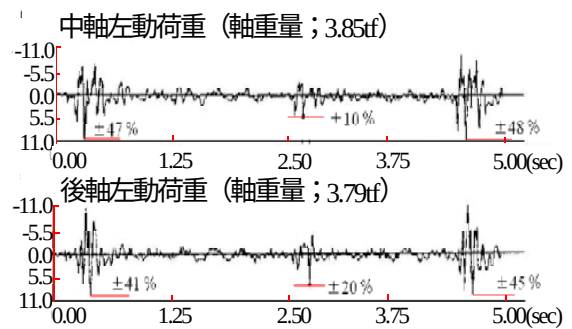


図-1 大型自動車の荷重変動²⁾

よると、タンデム式ダンプトラックの軸重量は中軸で 37.73kN、後軸で 37.14kN であるが、この軸重量に対して、 $\pm 41\% \sim \pm 48\%$ の荷重変動となっている。また、この時の振動数は中軸で 13Hz、後軸で 18Hz 程度である。したがって、これらの荷重変動の影響を考慮した実験および解析が必要である。

3. 供試体の材料および寸法

3.1 使用材料

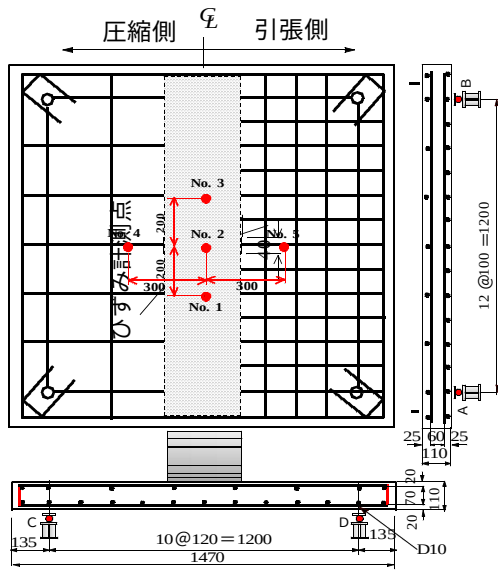
供試体のコンクリートには、普通ポルトランドセメントと最大寸法 20 mm の粗骨材を使用し、鉄筋は SD295A の D10 を用いた。本実験に用いた材料の力学特性値を表-1に示す。

3.2 供試体寸法および鉄筋の配置

供試体寸法は、道路示方書・同解説¹⁾の規定に基

表－１ 材料特性値

供試体	コンクリート 圧縮強度 N/mm ²	鉄 筋 (SD295A)			
		使用鉄筋	降伏強度 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	ヤング係数 kN/mm ²
タイプⅠ	30.0	D10	365	510	200



図－２ RC床版供試体寸法および鉄筋配置

づいて定める。床版厚さは、1 日 1 方向の計画交通量が 500 台未満を想定して決定し、床版支間に対する曲げモーメントから鉄筋量を算出して配置し、供試体は 1/2 モデルとした。よって、供試体の寸法は、全長を 147cm、支間 120cm の等方性版とし、鉄筋は複鉄筋配置とした。引張側の軸直角方向に鉄筋 D10 を 10cm 間隔で配置し、軸方向は D10 を 12cm 間隔で配置した。有効高さはそれぞれ 9cm、8cm である。また、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した。なお、RC 床版供試体は 4 辺単純支持とする正方形板とし、その寸法および鉄筋の配置を図－2に示す。

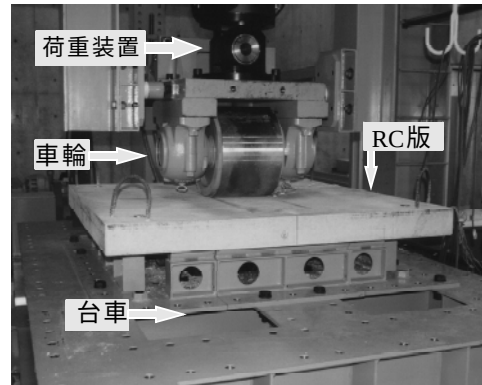
４．RC床版の押抜きせん断実験

4.1 走行振動試験装置の概要

本実験に用いた走行振動疲労試験装置は、鋼製の反力フレーム(400kN)のほりに、鋼製の車輪(幅 25cm、直径 45cm)と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車両の走行状態を実現するものである。ここで、走行振動試験装置を写真－2に示す。

4.2 静荷重実験(S：Static load)

RC 床版の押抜きせん断実験は、輪荷重を床版の支間中央に載荷させた静荷重実験である。静荷重実験における荷重の大きさは 5.0kN ずつ増加する段階荷重とした。



写真－２ 実験装置（走行振動試験装置）

4.3 走行荷重実験(R：Running load)

走行荷重実験は、静荷重実験の耐力に比して、走行荷重が作用した場合に、最も耐力低下の著しい支間中央から両支点方向へ 1 往復走行させて、元の支間中央で停止させた実験である³⁾。この場合、RC 版の支間中央に車輪を停止させ、荷重載荷後に軸方向に両支点を折り返す 1 往復を走行させて元の支間中央で停止させる。走行速度は 1 往復 2.4m を 13sec で走行する 0.18m/s とした。荷重の大きさは、1 走行ごとに 5.0kN ずつ増加する段階荷重とした。走行範囲を図－2に示した。

4.4 走行振動荷重実験(V：Vibration load)

(1)実験方法

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が供試体の支点間を走行するものである。荷重は一往復走行ごとに 5.0kN ずつ増加させ、この荷重値を基準荷重とし、基準荷重に対して荷重振幅を ± 20 %、± 30 %の振動荷重とした。走行速度および作用振動数は、1 往復 2.4m を 13sec で走行し、振動数は 1.8Hz の片振り荷重とする。

(2) 実験衝撃係数の算出方法

本研究は、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動的影響を実験衝撃係数として評価するものである。衝撃係数の算出においては、応力あるいは、曲げモーメント応答を基にした動的増幅率で評価するべきであるが、RC 床版のように荷重変動を直接受ける場合は、ひび割れの発生によりコンクリートおよび主鉄筋の引張ひずみが非線形的に増加するので、適切な衝撃係数が得られない場合が考えられる。したがって、本研究では、たわみ応答値による動的増幅率 DAF (Dynamic Amplification Factor) より衝撃係数を得るものとする。

たわみ応答による動的増幅率 DAF は、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値で除したものと定義し、式(1)で与えられる。なお、道路橋の DAF による衝撃係数は、走行実験による動的増幅率から1を引いた値と定義し、式(2)で与えられる。

$$DAF = 1 + \frac{y_{d,max} - y_{s,max}}{y_{s,max}} \quad (1)$$

$$\alpha_i = DAF - 1 \quad (2)$$

ここに、DAF：動的増幅率、 $y_{d,max}$ ：最大動的たわみ、 $y_{s,max}$ ：最大静的たわみ、 α_i ：実験衝撃係数

(3)実験衝撃係数

荷重変動による RC 床版の衝撃係数は、走行振動荷重実験の過程で、大きさが一定な荷重で走行したときの最大たわみを最大静的たわみ、走行振動荷重で走行した場合の最大たわみを最大動的たわみとしたたわみ応答による動的増幅率から実験衝撃係数を求める。そこで、実験衝撃係数を求める荷重は、大きさが一定な荷重で走行することによる残留たわみを最小限にするために、走行一定荷重実験における引張鉄筋の荷重とひずみ関係から弾性域の荷重 3 点 (40kN, 50kN, 60kN) の荷重値とする。この荷重は静荷重実験における最大耐力の 24 %から 36 %程度の荷重である。

5. 実験結果および考察

5.1 実験耐力および破壊モード

本実験における RC 床版の実験耐力および破壊モードを表-2に示す。なお、走行荷重および走行振動荷重の耐力とは、本実験の荷重載荷条件のなかで、1 往復走行を維持し得た最大荷重とする。

表-2より、静荷重実験による実験押抜きせん断耐力の平均は 167.8kN であり、これに対して走行荷重実験による実験押抜きせん断耐力は 125.8kN である。これらの耐力比は 0.75 となり、走行荷重が作用することにより 25 %の耐力が低下した。また、走行振動荷重実験における I-V20 の最大耐力は 137.6kN、I-V30 の最大耐力は 130.3kN であり、静的実験の耐力と比較すると I-V20 が 0.82、I-V30 が 0.78 となり、静荷重実験の最大耐力に比して、それぞれ 18 %、22 %の耐力が低下した。なお、走行荷重実験の最大耐力の平均 125.8kN と走行振動荷重 I-V20、I-V30 の最大荷重と比較すると、走行振動荷重実験の場合が、それぞれ 1.09 倍、1.04 倍上回っている。これは、走行荷重実験は床版中央で荷重を載荷してから走行を開させ、走行振動荷重の場合は支点か

表-2 実験耐力および破壊モード

供試体 (使用鉄筋)	実験最大耐力 (kN)	平均耐力 (kN)	耐力比	破壊モード
I-S-1(D10)	165.3	167.8	—	押抜きせん断破壊
I-S-2(D10)	170.2			
I-R-1(D10)	126.2	125.8	0.75	押抜きせん断破壊
I-R-2(D10)	125.8			
I-R-3(D10)	126.2			
I-R-4(D10)	124.8			
I-V20(D10)	137.6	137.6	0.82	押抜きせん断破壊
I-V30(D10)	130.3	130.3	0.78	

から走行を開させ、走行振動荷重の場合は支点から連続走行させる方法であり、破壊位置を 0.18m/s で走行したために、耐力が上回ったものである。いずれにおいても、走行荷重が及ぼすことにより耐力が大幅に低下することから、設計法においてはこれらの影響を考慮する必要があると考えられる。

5.2 荷重とひずみの関係

本実験における RC 床版中央の主鉄筋のひずみを図-3に示す。

軸直角方向主鉄筋の引張ひずみは図-3より、静荷重実験における供試体 (I-S) の降伏荷重の平均は 117.5kN であり、荷重 150kN 付近からひずみの増加が著しい。次に、走行荷重実験における供試体 (I-R) の降伏荷重の平均は 100kN であり、荷重 110kN 付近までは、線形的に増加するが、その後の荷重増加および輪荷重が走行することによりひずみの増加が著しくなっている。走行振動荷重の場合は、I-V20 が基準荷重 85kN (上限荷重 102kN) で降伏し、I-V30 が基準荷重 80kN (上限荷重 102kN) で降伏して、その後の荷重増加で急激にたわみが増加した。

5.3 荷重とたわみの関係

RC 床版中央の荷重とたわみの関係を図-4に示す。図-4より、静荷重実験における主鉄筋が降伏した荷重 117.5kN のたわみ値の平均は 4.3mm であり、150kN 付近からたわみの増加が著しい。走行荷重の場合は荷重 100kN で降伏し、その荷重時のたわみ平均は 4.8mm であり、降伏時のたわみも静荷重の場合を上回っている。走行振動荷重の場合は、引張主鉄筋が降伏した荷重で比較すると V20、V30 で、4.5mm、4.8mm である。したがって、本供試体はたわみが 4mm を超えると引張鉄筋が降伏する結果となった。

5.4 動的増幅率による実験衝撃係数； α_i

供試体 I-V20 における RC 床版中央 (No.2) のたわみによる動的増幅率の一例を図-5に示す。

図-5に示すたわみの動的増幅率における走行時

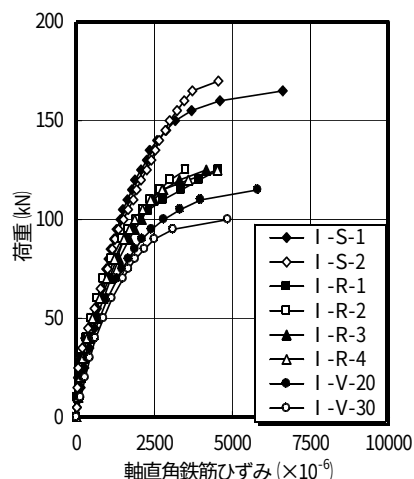


図-3 荷重とひずみの関係

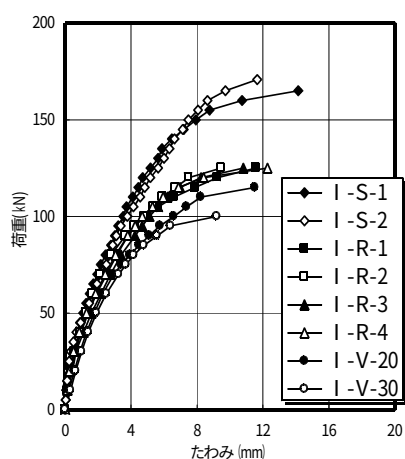


図-4 荷重とたわみの関係

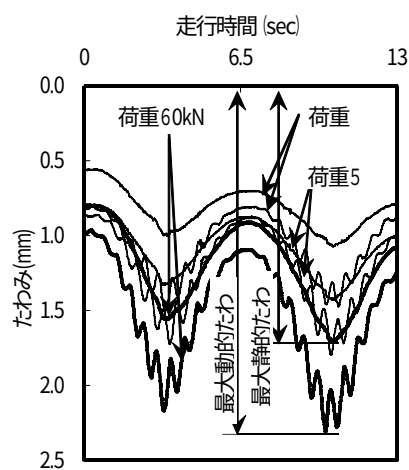


図-5 たわみと走行時間の関係 (一例)

表-3 実験衝撃係数

供試体	荷重変動率 V_k				実験衝撃係数					平均値	平均値
	$P_U(kN)$	$P(kN)$	$(P_U/P) - 1$	$V_k(\%)$	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5		
I-V20	47.3	39.5	0.197	19.7	0.382	0.364	0.378	0.362	0.383	0.374	0.380
	60.2	49.7	0.211	21.1	0.358	0.401	0.382	0.383	0.397	0.384	
	72.2	60.2	0.199	19.9	0.355	0.373	0.378	0.397	0.401	0.381	
I-V30	52.2	40.1	0.302	30.2	0.474	0.473	0.500	0.448	0.451	0.469	0.478
	64.7	49.9	0.297	29.7	0.520	0.447	0.471	0.460	0.487	0.474	
	78.2	60.1	0.301	30.1	0.497	0.476	0.493	0.472	0.508	0.489	

刻歴 0sec が支点 A であり、6.5sec 付近が支点 B、13sec が元の支点 A の位置である。

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、走行振動荷重実験による最大たわみを最大動的たわみ($y_{d,max}$)とし、走行振動荷重実験の過程で一定な荷重で走行した場合の最大たわみを最大静的たわみ($y_{s,max}$)として、式(1)、(2)を適用する。ここで、供試体計測点 No.1 ～ No.5 より求めた実験衝撃係数の結果を表-3に示す。

表-3より、供試体 I-V20 の実験衝撃係数の平均値は 0.380 であり、与えた荷重振幅に対して、1.90 倍($= 0.380/0.200$)の衝撃係数が得られた。次に、供試体 I-V30 の実験衝撃係数の平均値は 0.476 であり、与えた荷重振幅に対して 1.59 倍($= 0.476/0.300$)となった。本実験に用いた RC 床版供試体の衝撃係数を現行示方書に規定に基づいて算出すると、衝撃係数 $i = 0.390$ ($= 20/(50 + L)$ 、 L :床版支間)である。本実験の場合は振動荷重 20 %の場合は近似した結果となったが、荷重振幅が 30 %の場合は 1.22 倍の衝撃係数となった。したがって、安全な道路橋 RC 床版の設計をするためには、荷重振幅の大きさを考慮する必要がある。

6. まとめ

① RC 床版の最大耐荷力は、静荷重が作用した場合

に比して走行荷重が作用した場合は25%の低下がみられた。したがって、RC 床版の設計においては、走行荷重による耐荷力の低下を考慮する必要がある。

② 走行振動荷重が作用した場合、与えた荷重振幅以上の衝撃係数を生じさせた。これは、振動荷重の影響によるひび割れが曲げ剛性を低下させ、たわみが増大したためである。

③ たわみによる動的増幅率から得た実験衝撃係数は、 $\pm 20\%$ で 0.380、 $\pm 30\%$ で 0.478 となり、荷重振幅に対して約 1.59 倍～1.90 倍生じていることから、伸縮装置の段差量を最小限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

- 1) 日本道路橋会：道路橋示方書・同解説 I、II、III、2002.
- 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.2508、1987.
- 3) 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.

