

プロジェクト1

走行振動荷重を受けるRC床版の押し抜きせん断耐力 および衝撃係数に関する実験研究

木田哲量(土木工学科), 阿部 忠(土木工学科), 澤野利章(土木工学科)

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、伸縮継ぎ手や路面の凹凸により発生する大型自動車の動的影響も大きな原因の1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ひび割れ損傷が生じるものと考えられる。そこで本研究では、伸縮継ぎ手を通過するとき発生する大型車輦の荷重変動に着目し、これが鋼道路橋RC床版に及ぼす動的影響を解明するための実験を行った。実験には、2タイプのRC床版(12体)を用いて、走行振動荷重が作用した場合のたわみによる動的増幅率から、実験衝撃係数を求めて動的影響を評価した。

2. 衝撃係数の算定法

本実験では、たわみ応答値による動的増幅率より衝撃係数を求めるものとする。たわみ応答による動的増幅率は、DAF(Dynamic Amplification Factor)¹⁾より評価されている。なお、単純桁に走行荷重が作用した場合の支間中央における動的増幅率を図-1に示す。

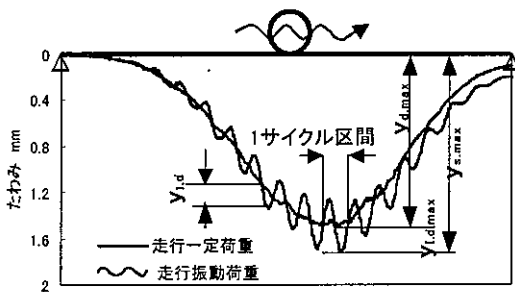


図-1 動的増幅率

(1)動的増幅率DAF²⁾

動的増幅率DAFは、図-1に示す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で除するとして定義し、式(1)として与えている。なお、道路橋での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)として与えられる。

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

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

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、I：衝撃係数

したがって、本実験における衝撃係数は式(1),(2)より得るものとする。

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。鉄筋にはSD295A、D10を使用した。材料特性値を表-1に示す。

表-1 供試体の材料特性値

供試体	コンクリート 圧縮強度 N/mm ²	鉄筋 (SD295A, D10)		
		降伏点 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	ヤング係数 kN/mm ²
100×10	30	370	511	200
120×13	38.6	370	511	200

3.2 供試体寸法および鉄筋の配置

RC床版は2タイプ用いるものとする。

1) 100×10床版供試体

供試体は全長を125cm、支間100cm、厚さ10cmの等方性版とし、鉄筋は単鉄筋配置とした。その配置方法は軸直角方向にD10を10cm間隔、有効高さ7.5cmとし、軸方向筋はD10を15cm間隔に配置し、有効高さ6.5とした。供試体の寸法および鉄筋の配置を図-2(1)に示す。

2) 120×13床版供試体

供試体は全長を147cm、支間120cm、厚さ13cm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D10を10cm間隔、有効高さを10.5cmとし、軸方向はD10を10cm間隔に配置し、有効高さd=9.5cmとする。また、圧縮側は引張鉄筋量の1/2を配置する。寸法および

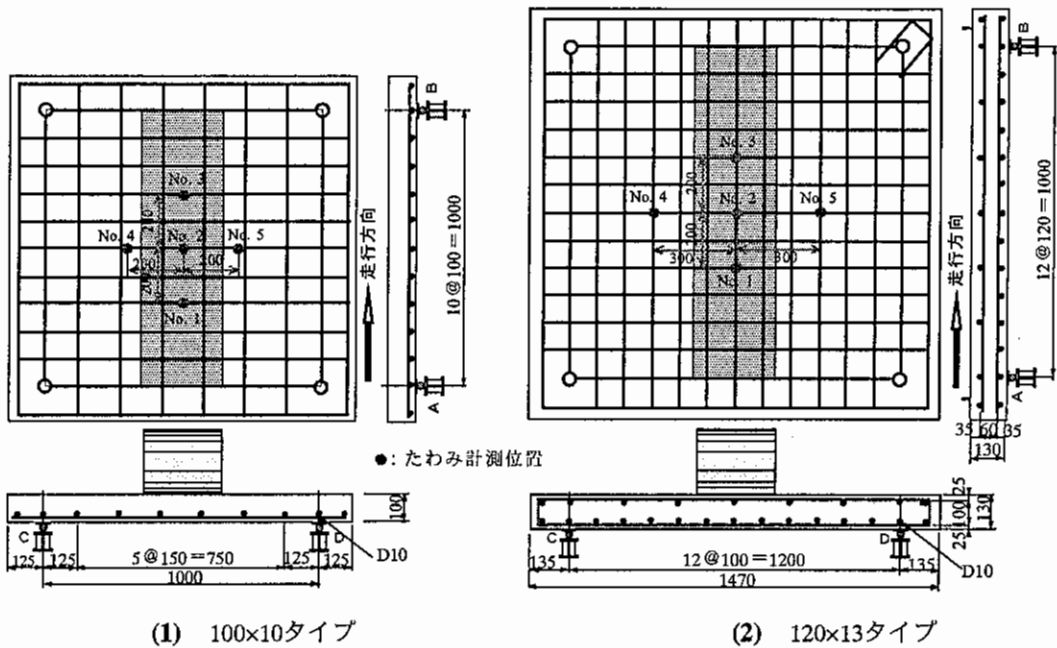


図-2 RC床版供試体寸法および鉄筋配置

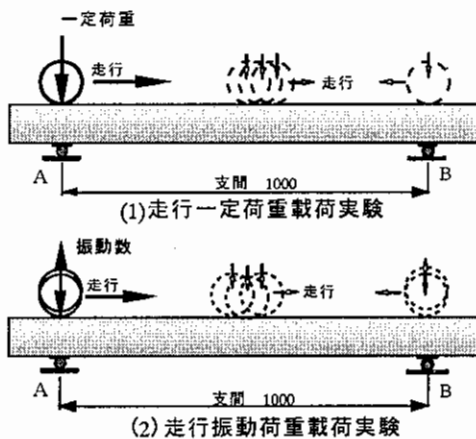


図-3 実験方法

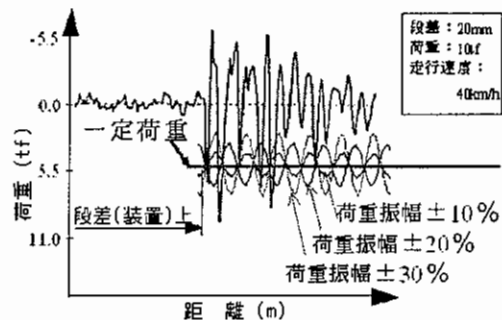


図-4 走行振動荷重モデル⁹⁾

び鉄筋の配置を図-2(2)に示した。

3.3 計測位置

本実験のたわみ計測位置は、軸方向3点、軸直角方向1点とする。たわみ計測位置を図-2に併記した。

4. 実験方法

実験方法を図-3に示す。

4.1 走行一定荷重実験

走行一定荷重実験は図-3(1)に示すように供試体の支点Aに荷重を載荷してから走行させ、たわみを動的に計測する。

荷重の走行速度は、RC床版の100×10タイプ場合は1往復2.0mを9.0secで走行する0.22m/s、120×13タイプの場合は1往復2.4mを13.0secで走行する0.18m/sとした。

荷重の増加は1走行毎に5.0kNずつ増加する段階状荷重とする。

4.2 走行振動荷重実験

走行振動荷重実験は図-3(2)に示すように、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り、走行一定荷重の場合と同様に一往復を走行させるものである。

走行荷重振幅は基準荷重に対して±20%、±30%の荷重変動とした。また、作用振動数は100×10タイプの場合に1.0Hz、120×13タイプでは1.8Hzの片振り荷重とする。本実験における荷重状態の一例を図-4に示す。

次に、荷重振動が及ぼすRC床版の動的影響は荷重とたわみによる動的増幅率(DAF)から実験衝撃係数をもって評価するものとする。した

がって、走行振動荷重載荷時のたわみと一定荷重で走行した場合の最大静的たわみを実験から得るものとする。そこで、振動荷重による走行実験の過程で、走行一定荷重載荷実験(図-3(1))を行い、両者のたわみによる動的増幅率

表-2 RCはりおよびRC床版の実験耐力

供試体	最大耐力(kN)			平均最大耐力(kN)			耐力比 V_{max}/CR	最大たわみ (mm)	破壊モード
	上限荷重 P_u	軸重量 P	下限荷重 P_L	上限荷重 P_u	軸重量 P	下限荷重 P_L			
100×10-CR-1	—	108.5	—	—	105.6	—	—	7.9	曲げ卓越型押し抜きせん断破壊
100×10-CR-2	—	102.7	—	—	—	—	—	10.1	曲げ卓越型押し抜きせん断破壊
100×10-V20-1	108.6	90.9	73.1	105.3	88.2	71.2	1.00	10.4	曲げ卓越型押し抜きせん断破壊
100×10-V20-2	102.0	85.6	69.2	—	—	—	—	8.1	曲げ卓越型押し抜きせん断破壊
100×10-V20-2	97.1	75.4	53.6	100.8	77.9	54.9	0.95	9.0	曲げ卓越型押し抜きせん断破壊
100×10-V30-1	104.5	80.4	56.2	—	—	—	—	8.1	曲げ卓越型押し抜きせん断破壊
120×13-CR-1	—	184.3	—	—	183.1	—	—	9.6	曲げ卓越型押し抜きせん断破壊
120×13-CR-2	—	181.9	—	—	—	—	—	11.7	曲げ卓越型押し抜きせん断破壊
120×13-V20-1	186.1	154.7	123.2	183.0	151.9	120.9	1.00	9.5	曲げ卓越型押し抜きせん断破壊
120×13-V20-2	179.8	149.2	118.6	—	—	—	—	10.1	曲げ卓越型押し抜きせん断破壊
120×13-V30-1	181.6	140.5	99.3	178.1	137.4	96.7	0.97	9.1	曲げ卓越型押し抜きせん断破壊
120×13-V30-2	174.5	134.3	94.1	—	—	—	—	10.6	曲げ卓越型押し抜きせん断破壊

(式(1))の関係から実験衝撃係数を評価する。なお、評価荷重は供試体100×10の場合は50kN, 60kN, 120×13の場合は60kN, 70kNとする。

5. 実験曲げ耐力および破壊モード

5.1 実験耐力

RC床版の実験耐力を表-2に示す。本実験における実験耐力は走行一定荷重および走行振動荷重実験において、1往復を維持した最大荷重値とする。

供試体100×10タイプにおける走行一定荷重の場合の平均押し抜きせん断耐力は105.6kNであり、走行振動荷重±20%, ±30%の場合の上限平均耐力は、それぞれ105.3kN, 100.8kNである。走行一定荷重の場合と走行振動荷重の場合との耐力比(V/CR)は、荷重振幅±20%の場合が1.00と近似した。また、荷重振幅±30%の場合の耐力比は0.95となり、走行一定荷重に対し耐力が5%低下したが、ほぼ近似している。

次に、供試体120×13タイプにおける走行一定荷重の場合の実験平均耐力は183.1kNであり、走行振動荷重の場合の上限荷重は荷重振幅±20%の場合で183.0kNであるので、その耐力比(V/CR)は1.00となり、近似している。しかし、荷重振幅±30%の場合のそれは178.1kNとなり、走行一定荷重との耐力比は0.97となり、3%耐力が低下している。

5.2 破壊モード

RC床版の100×10タイプの場合、軸直角方向は輪荷重直下では押し抜きせん断断面を形成し、軸方向で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。

次に、120×13タイプの場合、100×10タイプ同様に、軸直角方向直下で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り、破壊モードは曲げ卓越型の押し抜きせん断破壊となった。本実験における破壊モードを表-2に併記した。

6. 動的増幅率による実験衝撃係数

6.1 RC床版の実験衝撃係数

本実験における実験衝撃係数を表-3に示す。

また、弾性域の荷重におけるロードセルより計測した荷重波形から軸重量P(基準荷重)と上限荷重 P_u から、荷重振幅率($(P_u/P)-1.0$)を得て表-3示した。この荷重振幅率が基準荷重に対する荷重変動である。これによる荷重変動率は、与えた荷重振幅に対して多少の差異が生じているが、これは、車輪が供試体上を走行するときに供試体の凹凸により生じる荷重変動の影響によるものである。

(2) RC床版の実験衝撃係数

RC床版の載荷荷重振幅は基準荷重振幅に対して±20%, ±30%に対する図-2に示した軸方向の3点、軸直角方向の2点で衝撃係数を求めた。

100×10タイプの場合の平均衝撃係数は荷重

表-3 RC床版の実験衝撃係数

供試体	計測荷重			実験衝撃係数					平均値	平均値
	P_u	P	$(P_u/P)-1$	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5		
100×10-V20-1	59.82	50.13	0.193	0.386	0.348	0.349	0.386	0.356	0.384	0.396
	72.32	60.08	0.204	0.371	0.412	0.429	0.397	0.410		
100×10-V20-2	60.20	49.53	0.216	0.390	0.484	0.351	0.393	0.403	0.407	0.491
	71.80	60.13	0.194	0.418	0.401	0.417	0.411	0.401		
100×10-V30-1	64.95	49.65	0.308	0.493	0.463	0.451	0.456	0.476	0.486	0.491
	76.95	59.65	0.290	0.490	0.510	0.518	0.505	0.495		
100×10-V30-2	62.84	48.16	0.305	0.484	0.500	0.493	0.461	0.481	0.496	0.491
	79.18	61.14	0.295	0.518	0.518	0.508	0.508	0.489		
120×13-V20-1	72.32	60.08	0.204	0.365	0.417	0.352	0.413	0.373	0.377	0.368
	83.44	69.74	0.196	0.339	0.405	0.392	0.379	0.334		
120×13-V20-2	71.80	60.13	0.194	0.339	0.365	0.403	0.424	0.329	0.358	0.478
	86.70	71.75	0.208	0.381	0.359	0.328	0.345	0.307		
120×13-V30-1	76.95	59.65	0.290	0.444	0.504	0.499	0.458	0.510	0.486	0.478
	92.10	70.73	0.302	0.436	0.469	0.428	0.426	0.439		
120×13-V30-2	78.54	60.16	0.306	0.424	0.464	0.427	0.472	0.447	0.469	0.478
	90.98	69.84	0.303	0.533	0.533	0.451	0.455	0.461		

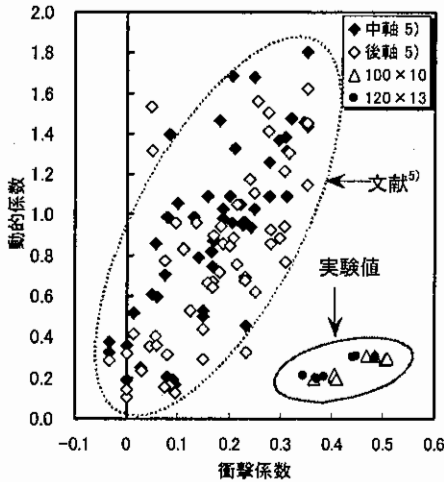


図-5 動的係数と実験衝撃係数

振幅±20%の場合で0.396, ±30%の場合で0.491であった。また, 120×13タイプの場合, 荷重振幅±20%の場合で0.368, ±30%の場合で0.478であった。いずれの供試体も与えた荷重振幅に対するよりも衝撃係数は大きく上回っている

6.2 動的影響と実験衝撃係数の関係

本実験における表-3に示した実験衝撃係数と文献⁹⁾に示す実橋床版から得た衝撃係数を動的係数と衝撃係数の関係として図-5に示す。

文献⁹⁾の実橋床版の衝撃係数は, 実験大型車輛の軸重量に関する動的倍率を動的係数とし, 床版の引張側主鉄筋のひずみ応答倍率を衝撃係数としたものである。これは, RC床版の着目点上に作用したタンデム式中軸, 後軸の左側の最大動的係数と衝撃係数を対比させたものである。なお, 文献⁹⁾に示している動的係数は, 動的付加荷重と軸荷重の関係から, 式(3)として与えている。

$$\text{動的係数} = \frac{\text{動的付加荷重} + \text{軸重量}}{\text{軸重量}} - 1.0 \quad (3)$$

本実験の場合の動的係数は, 式(3)における動的付加荷重を表-3に示した上限荷重 P と軸重量 P の差 $(P/P-1)$ として算出した。

図-5に示す文献⁹⁾の場合の衝撃係数は動的係数と比較して小さくなっており, そのギャップは段差量が大きくなる程増大する傾向を示している。これは, 主鉄筋のひずみ応答がタンデム軸の中軸動荷重と後軸動荷重とは応答が一致せず, ピーク荷重の時に他方の静荷重程度(例え

ば, 中軸のピーク荷重の時に, 後軸は軸重量の位置である)となり, 輪荷重の動的係数が床版の衝撃係数に対応しなくなるためであると考察している。これに対して本実験の場合の衝撃係数はたわみ応答による動的増幅率から得たものであり, 走行振動荷重載荷の場合は表-2に示すように耐力においては, 上限荷重 P で近似している。これは, 走行振動荷重が作用することによってひび割れが発生し, 剛性が低下してたわみが増大したためである。したがって, 本実験では2つの供試体ともに荷重振幅が±20%, ±30%で, それぞれ0.40~0.50となり, 実橋RC床版の衝撃係数よりも大きな値となった。

7. まとめ

①RC床版の実験耐力を走行一定荷重の場合と走行振動荷重の場合を比較すると, ±30%の場合にやや低下する結果となった。

②道路橋RC床版の設計においては, 伸縮継ぎ手を通過するとき発生する荷重変動を考慮した実験衝撃係数と支間 L を関数とする道示 I に規定する衝撃係数を考慮した動的影響係数 I_{d1} を適用することにより, 安全な設計が可能である。

③伸縮継ぎ手の段差部により発生する荷重変動を明確にし, 本提案式を適用することにより耐久性のある床版の設計が可能である。

④鋼橋梁構造の合理化を目標とした少数主桁構造への対応には, 床版厚の増厚あるいは伸縮装置の段差量を最小限にするなどの検討が必要である。

参考文献

- 1) 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
- 2) 横山功一, 井上純三, 永原 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
- 3) 阿部 忠, 木田哲量, 澤野利章, 水口和彦, 近藤 崇: 走行振動試験装置の性能検証に関わるRCはりの走行実験研究, 日本大学生生産工学部研究報告, 第34巻第2号, pp.1-10, 2001.12
- 4) 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
- 5) 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