

床版支間が車両進行方向と平行な RC 床版の走行荷重実験による耐荷力および 輪荷重走行疲労実験における耐疲労性の実験研究

日大生産工 (院) 重松 伸也, 日大・名誉 阿部 忠, 日大生産工 野口 博之
日大生産工 (院) 板垣 咲来, 日大生産工 澤野 利章

1. はじめに

RC 床版には、道路橋示方書・同解説（以下、道示とする）¹⁾では床版支間が車両進行方向と直角な場合と車両に進行方向に平行な場合について規定されている。前者は鋼げたなど橋軸直角を支間とする RC 床版である。後者は橋軸方向支間とする床版である。本研究では床版支間が車両進行方向と平行な RC 床版 (Parallel RC slab, 以下、P-RC 床版とする) とする。この P-RC 床版においては耐荷力および耐疲労性の検証に関する実験研究は行われていないのが現状である。

そこで本研究では、モデル化した P-RC 床版供試体を用いて輪荷重走行実験および輪荷重走行疲労実験を行い、最大耐荷力および耐疲労性を評価する。

2. 供試体の使用材料・寸法

2.2 P-RC床版の使用材料および供試体寸法

(1) P-RC床版の使用材料

P-RC 床版の実験供試体のコンクリートには、普通ポルトランドセメントに最大粗骨材寸法 20mm の碎石、最大細骨材寸法 5mm の砕砂を使用し、配合条件を表-1 に示す。なお、供試体記号を P-RC とする。P-RC 床版のコンクリートの要求性能として、耐荷力および耐疲労性の向上^{2),3)}の観点から圧縮強度 40N/mm^2 を目標とした配合条件とする。主鉄筋には SD345, D16 を用いる。ここで、実験時のコンクリート圧縮強度および鉄筋の材料特性値を表-2 に示す。RC 床版の実験時のコンクリートの圧縮強度は、 56.4N/mm^2 である。

(2) 供試体寸法および鉄筋配置

本研究の対象とする P-RC 床版は橋軸方向と橋軸直角方向剛性差を小さくすることを前提として、等方性版理論により解析される床版である。よって、供試体寸法は全長 2,200mm, 支間 2,000mm, 幅 1,600mm, 床版厚さ 180mm の等方性版である。この供試体を P-RC とし寸法および鉄筋配置間隔を図-2に示す。

支間 2,000mm の P-RC 床版の床版厚を B 活荷重で設

計した場合の最小厚は 250mm である¹⁾。また、市販のプレキャスト RC 版も同等な厚さであるが、本供試体の床版厚はモデル化した 180mm とする。よって、道示に規定する床版厚および市販のプレキャスト RC 床版厚 250mm の 72% である。厚さ 180mm の床版厚で、鉄筋の配置は図-1 に示すように引張側の主鉄筋には D16 を 125mm 間隔で配置する。圧縮側は 1/2 の鉄筋量とする。主鉄筋量 A_s は 159.2mm^2 , 圧縮側の鉄筋量 A_s' は 79.60mm^2 である。次に、配力筋は引張側、圧縮側ともに D13 を 125mm 間隔で配置する。引張側の鉄筋量 A_s , A_s' ともに 101.6mm^2 である。この供試体を用いて輪荷重走行荷重実験を行うものとする。

3. 輪荷重走行実験

3.1 輪荷重走行荷重実験の概要^{2),3)}

RC 床版供試体の輪荷重走行荷重実験（以下、走行荷重実験とする）による最大耐荷力の評価には、輪荷重走行試験機を用いる。ここで、実験状況を図-2 に示す。実験装置の荷重装置には車輪（幅 300mm）を取り付け、最大荷重 500kN まで載荷が可能である。試験体を台車に設置し、その台車をモータとクランクアームにより水平方向に走行させるものである。本実験装置は最大 2,000mm までの走行が可能である。

3.2 走行荷重試験方法

輪荷重走行荷重実験（以下、走行荷重実験とする）の概略を図-3 に示す。走行荷重実験は図-3に示すように幅 300mm の輪荷重を支間中央に停止し、支点 A まで走行し、支点 A を折り返して支点 B まで走行し、元の中央までの 2,400mm を走行させ、破壊に至るまで 1 走行ごとに荷重増加と走行を繰り返す実験である。実験供試体の支間長は 2,000mm であるが、支点からせん断スパン比 $a/d=2.5$ (d : 有効高, a : 荷重位置) において両支点から $a=380\text{mm}$ の範囲はせん断破壊が生じやすいことからこの部分を除いた 1,200mm の範囲を走行させる。また、支持条件は 2 辺単純支持とした。走行荷重実験に用いる供試体を P-RC-R とした。荷重載荷

Load Carrying Capacity of RC Slabs with Slab Spacing Parallel to the Direction of Vehicle Travel under Running Load Tests and Evaluation of Fatigue Resistance in Wheel Load Running Fatigue Tests

by

Shinya SHIGEMATSU, Tadashi ABE, Hiroyuki NOGUCHI, Saki ITAGAKI and Toshiaki SAWANO

表-1 コンクリートの配合条件

供試体	スランブ (cm)	W/C (%)	S/a (%)	単体量 (kg/m ³)				混和剤 (kg/m ³)
				セメント	水	細骨材	粗骨材	
RC床版	21±2.5	38.0	46.8	461	175	790	932	4.61

表-2 材料特性値

供試体	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	鉄筋 (SD345)				
		鉄筋の種類	鉄筋径 (mm)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
RC床版	56.4	主鉄筋	D16	383	531	200
	57.6	配力筋	D13	365	510	200

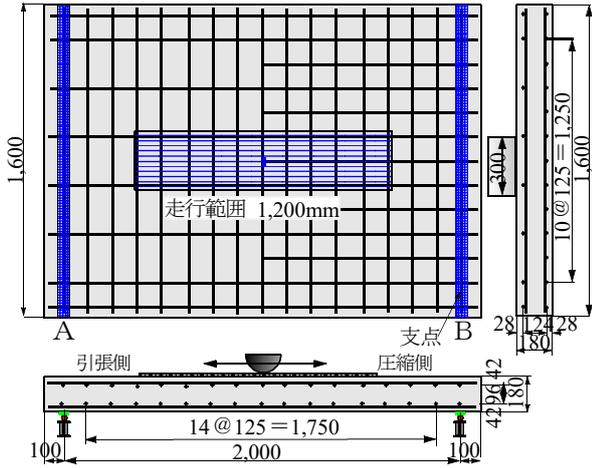


図-1 供試体寸法および鉄筋配置



図-2 輪荷重走行・疲労実験状況

条件は、荷重200kNまでは1走行ごとに10kN、荷重200kN以降は1走行ごとに5.0kNずつ増加させる段階荷重とした。本実験では、1走行2,400mmの範囲を走行させ、床版中央に車輪を停止して荷重、たわみ、ひずみを計測する。

4. 走行荷重・走行疲労実験の結果および考察

4.1 走行荷重実験における結果および考察

(1) 耐荷力

走行荷重実験において、支間中央から両支点方向に走行させ、元に中央まで走行したを保持した荷重を耐荷力とし、1走行した最大荷重を本供試体の最大耐荷力とする。走行荷重実験における供試体P-RC-Rは荷重295kN載荷し、走行中に支点Aから560mmの位置で押抜

輪荷重走行荷重実験および輪荷重走行疲労実験

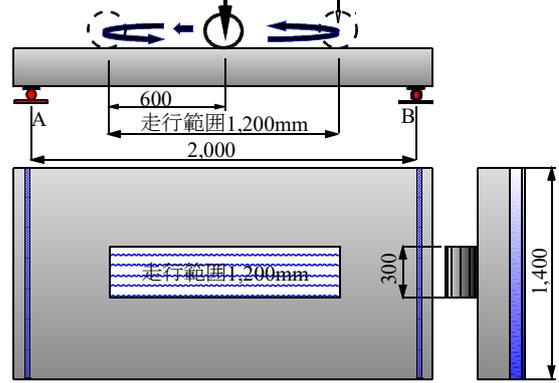


図-3 実験概略

きせん断破壊となった。よって、最大耐荷力は $P_{max}=292.3kN$ であり、この最大耐荷力を押抜きせん断耐荷力 $P_{s,max}$ とする。

(2) 荷重とたわみの関係

荷重とたわみの関係は図-5に示す。たわみの増加傾向は荷重100kNまで線形的に増加し、その後の荷重増加では荷重260kN付近まで線形的に増加している。最大荷重292.3kNのたわみは12.3mmである。

(3) 荷重とひずみの関係

荷重と支間中央の鉄筋ひずみの関係を図-6に示す。なお、主鉄筋の計測位置は支点から700mm、1,000mm（中央）、1,300mmの位置、配力筋は端部から525mm、825mm（中央）、1,075mmの位置である。主鉄筋および配力筋の降伏ひずみは、表-2に示す降伏強度よりそれぞれ 1925×10^{-6} 、 1825×10^{-6} であり、図-6に併記する。

支間中央の主鉄筋ひずみの増加は図-5に示したたわみの増加と同様に荷重100kNまで線形的に増加し、その後の荷重増加では荷重260kN付近まで線形的に増加している。主鉄筋が降伏に至った荷重は270kNである。最大荷重292.3kNのひずみは 2751×10^{-6} である。中央から±300mm離れた位置の700、1,300mmのひずみの増加傾向は中央とほぼ同様であるが、中央のひずみの57、64%である。

次に、支間中央の配力筋ひずみは荷重110kN付近まで線形的に増加し、その後の荷重増加では265kNまで線形的に増加している。降伏ひずみに達した荷重は270kNであり、最大荷重292.3kNのひずみは 2362×10^{-6} である。また、300mm離れた位置のひずみは、それぞれ中央のひずみの58、64%といずれも降伏に至っていない。

以上より、鉄筋が降伏に至った荷重は主鉄筋および配力筋ともに荷重270kNと最大荷重の92.3%である。

(4) 破壊時のひび割れ状況

供試体P-RC-Rの破壊時のひび割れ発生状況を図-7に示す。また、図-7に示す破壊時のひび割れ発生状況に

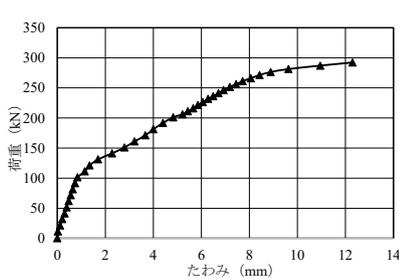
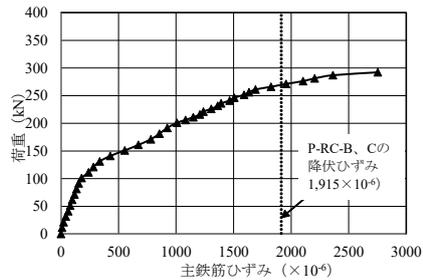
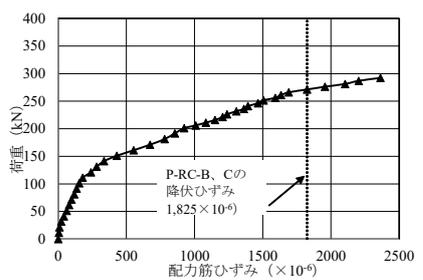


図-5 荷重とたわみの関係



(1) 主鉄筋

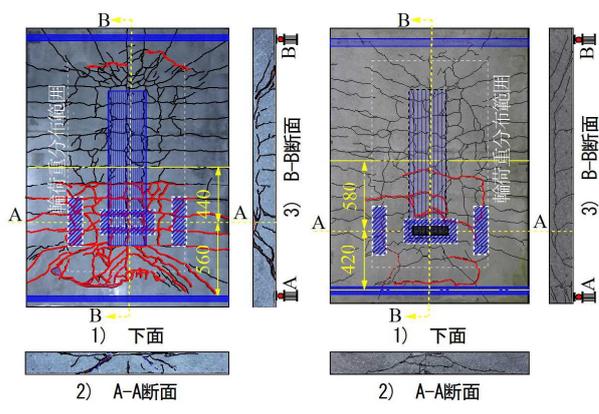


(2) 配力筋

図-6 荷重と鉄筋ひずみの関係

阿部ら^{2),3)}が提案するRC床版の押抜きせん断力学モデルに示す荷重分布範囲についても併記した。なお、走行疲労実験における破壊時のひび割れ発生状況も図-7に併記した。

供試体P-RC-Rの下面は図-7(1), 1)に示すように輪荷重が走行位置から45度で分布範囲(白破線)には、軸直方向(主鉄筋)および橋軸直角方向(配力筋)の鉄筋配置間隔で2方向のひび割れが発生している。次に、切断面A-Aは図-7(1), 2)に示すように輪荷重設置位置から45度のひび割れが主鉄筋位置である主鉄筋圆心位置、上面から主鉄筋位置152mmまで斜めひび割れが発生している。そして、鉄筋圆心位置から28mm下面にはダウエル効果の影響により斜めひび割れが発生している。また、B-B切断面は図-7(1), 3)に示すように輪荷重折り返し付近には45度の斜めひび割れが発生している。破壊は支点Bから560mmの位置で押抜きせん断破壊となった。



(1) 走行荷重実験P-RC-R (2) 走行疲労実験P-RC-F
図-7 破壊時のひび割れ状況

5. 輪荷重走行疲労実験方法および等価走行回数

5.1 輪荷重走行疲労実験方法

輪荷重走行疲労実験(以下、走行疲労実験とする)は、図-3に示すように、輪荷重の走行範囲および支持条件は前項に示す走行荷重実験と同一とし、供試体が破壊するまで繰り返し連続走行させる。走行疲労実験に用いる供試体をP-RC-Fとした。走行疲労実験における初期荷重は100kNとし、20,000回走行ごとに20,000回ごとに荷重を20kN増加させる。荷重160kN以降は荷重170kNで破壊に至るまで走行させる。計測は実験走行回数が1, 10, 100, 1,000, 5,000回および5,000回以降は5,000回走行ごとにたわみ、鉄筋ひずみを計測する。

5.2 輪荷重走行疲労実験における等価走行回数

本実験は、等価走行回数 N_{eq} を式(1)より算出して耐疲労性を評価する。なお、本供試体はモデル化した供試体であることから、式(1)における基準荷重 P は道示¹⁾に規定するT荷重100kNの72%である72kNに輪荷重走行中の床版走行面の凹凸により荷重変動を含めた安全率

1.18を考慮した85kNとする。また、S-N曲線の傾きの逆数の絶対値 m には松井らが提案する $m=12.7$ を適用する⁴⁾。これは土木研究所⁵⁾および阿部ら^{2),3)}が提案するRC床版のS-N曲線式の傾きの逆数はそれぞれ18.3, 15.5となり、これを適用した場合は等価走行回数が過大評価となり、危険側となる。

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

ただし、 P_i : 載荷荷重 (kN), P : 基準荷重=85kN, n_i : 実験走行回数 (回), m : S-N曲線の傾きの逆数の絶対値 (=12.7)

6. 走行疲労実験における結果および考察

6.1 走行疲労実験における等価走行回数

走行疲労試験は荷重100kNから160kNまで各20,000回走行し、荷重170kNで14,000回走行した。これを式(1)より算出すると供試体P-RC-Fの等価走行回数を走行回数ごとの算出し、合計した等価走行回数 N_{eq} は 167.834×10^6 回である。走行荷重実験による最大耐荷力 $P_{s,max}$ は292.3kNである。

(2) 支間中央のたわみと等価走行回数の関係

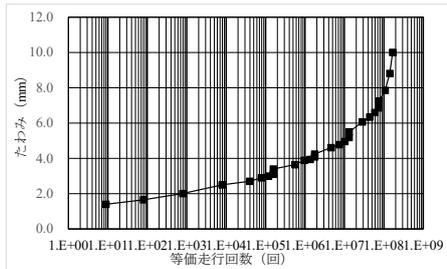
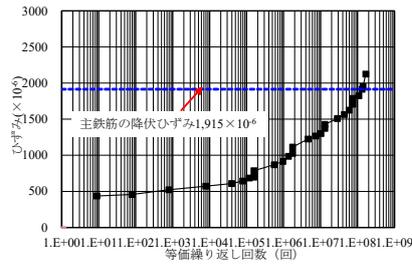
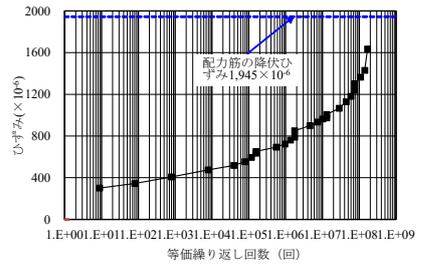


図-8 たわみと等価走行回数



(1) 主鉄筋



(2) 配力筋

図-9 支間中央のひずみと等価走行回数の関係

支間中央のたわみと等価走行回数 N_{eq} の関係は、図-8に示す。供試体P-RC-Fのたわみと等価走行回数の関係は 167.834×10^6 回のたわみは 10.0mm であり、輪荷重が走行中に支点Aから 420mm の位置で押抜きせん断破壊に至った。

(3) 支間中央のひずみと等価走行回数の関係

床版中央のひずみと等価走行回数の関係を図-9に示す。なお、主鉄筋および配力筋の降伏ひずみは、表-2に示す降伏強度よりそれぞれ $1,925 \times 10^{-6}$ 、 $1,825 \times 10^{-6}$ であり、図-9に併記した。

供試体P-RC-Fの主鉄筋ひずみと等価走行回数の関係は図-9(1)に示すように、主鉄筋が降伏ひずみに達した等価走行回数は 132.000×10^6 回である。等価走行回数 167.832×10^6 回の主鉄筋ひずみは $2,125 \times 10^{-6}$ である。

次に、供試体P-RC-Fの配力筋ひずみと等価走行回数の関係は図-9(2)のように、等価走行回数9回のひずみは 300×10^{-6} であり、最大等価走行回数 167.832×10^6 回のひずみは $1,635 \times 10^{-6}$ と配力筋のひずみは降伏に達していない。

(4) 走行疲労実験における破壊状況

供試体P-RC-Fの破壊時のひび割れ発生状況を図-7に併記した。下面のひび割れは図-7(2), 1)に示すように、輪荷重設置面から 45 度範囲には主鉄筋方向および配力筋方向の2方向のひび割れが発生している。切断したA-A断面は図-7(2), 2)に示すように、輪荷重直下から 45 度の斜めひび割れが発生している。B-B断面は図-7(2), 3)に示すように輪荷重の折り返し付近、支点Bから 420mm の位置の輪荷重設置面から 45 度下面のひび割れが顕著となり、押抜きせん断破壊に至った。

7. まとめ

床版支間が車両進行方向と平行なRC床版の走行荷重実験および走行疲労実験を行い、以下の知見が得られた。

(1) 走行荷重実験での最大走行荷重は 292.3kN 、走行疲

労実験から得られた等価走行回数は 167.834×10^6 回であり、破壊状況は両実験ともに輪荷重走行中に押抜きせん断破壊に至った。床版下面の2方向ひび割れおよび切断面の斜めひび割れが確認され、折り返し付近にて押抜きせん断破壊に至った。また、阿部らが提案する押抜きせん断力学モデルが示す荷重分布範囲でダウエル効果の影響による床版下面のはく離が確認された。

(2) 走行荷重実験でのたわみ、支間中央の主鉄筋ひずみの増加傾向は荷重 100kN まで線形的に増加し、その後の荷重増加では荷重 260kN 付近まで線形的に増加している。最大荷重 292.3kN のたわみは 12.3mm である。

また、支間中央の主鉄筋ひずみは 2751×10^{-6} である。支間中央の配力筋ひずみは荷重 110kN 付近まで線形的に増加し、その後の荷重増加では 265kN まで線形的に増加している。鉄筋が降伏に至った荷重は、主鉄筋、配力筋ともに 270kN であり、破壊荷重の 92% である。

(3) 走行疲労実験において、等価走行回数 167.834×10^6 回のたわみは 10.0mm 、主鉄筋ひずみは $2,125 \times 10^{-6}$ 、配力筋ひずみは $1,635 \times 10^{-6}$ と降伏に達していない。主鉄筋が降伏ひずみに達した等価走行回数は 132.000×10^6 回である。

参考文献

- 1) 日本道路橋会：道路橋示方書・同解説III, 1994
- 2) 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, pp.39-54, 2011.1
- 3) 阿部忠, 川井豊：輪荷重走行疲労実験におけるRC床版の押抜きせん断耐荷力およびS-N曲線式との整合性の評価, コンクリート工学論文集, 第30巻, pp.919-926, 2019.1
- 4) 松井繁之：道路橋床版設計・施工と維持管理, 森北出版, 2007
- 5) 中谷晶一, 内田賢一, 西川和廣, 神田昌幸, 宮崎和彦, 川間重一, 松尾伸二, 道路橋床版の疲労耐久性に関する実験, 国総研資料, 第28号, 2002.3