

移動繰返し荷重を受ける鉄筋コンクリート床版の疲労耐力

大阪市立大学 学生員 〇上 平 謙二
 大阪市立大学 正 員 園田 恵一郎

1. まえがき

繰返し荷重が作用するスラブの強度の系統的な研究は、はりに対する研究に比べて非常に少なく、道路橋床版を対象とした研究すなわち、移動繰返し荷重を受けるRC床版の疲労特性の研究は極めて少ない。

本研究は、静的には曲げあるいは押抜きせん断型の破壊をするRCスラブ供試体20枚について、移動繰返し及び一点繰返し載荷実験を行い、それらの疲労性状について比較・検討したものである。

2. 供試体及び実験方法

本研究に用いた版供試体はⅠ及びⅡの2種類からなる。その各々の主な諸元を表-1に示す。平行な鋼主桁で支えられた

表-1 版供試体の諸元

種別	供試体数	寸法 (cm)	スラブ厚 (cm)	有効厚 (cm)	スパン (cm)	鉄筋径 (mm)	鉄筋比(%) 主鉄筋配力鉄筋
Ⅰ	10	90×260	6	4.5	80	6	1.320
Ⅱ	10	90×260	6	4.5	80	6	1.320 0.726

帯状の実橋床版を研究対象とし、これらの供試体の寸法は実橋床版の約1/3に選び、辺長比は1:3

にとり、四辺を単純支持とし、四隅の湾き上がりを拘束した。

載荷条件は実験目的に応じてA〜Dの4種類とした。すなわち、実験Aはスラブの静的曲げ及び押抜きせん断強度を調べるもので、Ⅰ及びⅡ種がこれに属する。載荷には手動式油圧ジャッキを用い、載荷面積は示方書の後輪荷重面に相当する $17\text{cm} \times 7\text{cm}$ の矩形を用いた。実験における測定項目は鉄筋ひずみ及びたわみである。

実験B及びCは疲労強度に対する輪荷重の移動の影響を調べるもので、実験Bは走行車線を版中央線上のみとした場合で、実験Cは走行車線を三方向に変化させた場合である。これらの概要を図-1に示す。ここで用いた荷重レベルすなわち上限荷重/静的強度比Rはほぼ50, 55, 60, 65, 70, 80及び85%とし、載荷には電気式手動反復油圧ジャッキを用い、1サイクル(12点載荷)を約1分の速度で繰返しを行なった。載荷面積は実験Aと同様であり、測定項目は鉄筋ひずみ及びたわみである。

実験Dは輪荷重を一点に固定した場合での疲労強度を調べたもので、荷重レベル、載荷面積、及び測定項目は実験B及びCと同様である。なお、載荷にはサーボバルサ型疲労試験機を用い、荷重の波形は3〜4.5HzのSine波とし、各載荷重の下限値はそれぞれ最大荷重値の20の値とした。

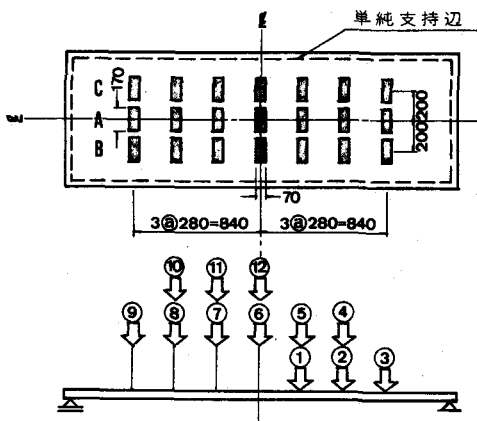


図-1 移動繰返し載荷順序

使用したコンクリートはすべて水セメント比 50 %，細骨材率 47 %，単位セメント量 370 kg/cm^2 ，スラップ 10.0~12.0 cm，粗骨材の最大寸法 25 mm でセメントは中庸熱ポルトランドセメントを使用し，平均圧縮強度は約 290 kg/cm^2 である。鉄筋はすべて $\phi 6$ の熱間圧延棒鋼を使用し，その降伏応力の平均値は 2600 kg/cm^2 である。また，20 枚の供試体はすべて同時期に製作した。

3. 実験結果及び考察

1) 床版の静的曲げ耐力としては，図-2 に示すメカニズムによる降伏線理論を用い，図の実線はⅠ種のスラブで破線はⅡ種のスラブである。実験において破壊荷重はいずれも過大な塑性た

図-2 破壊メカニズム

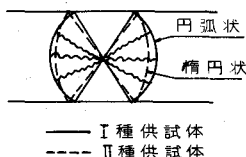


表-2 実験と理論による破壊荷重の比較

種別	$P_{\max}^{(t)}$	$P_{YL}^{(t)}$	$P_{\max}/P_{YL}$
I	6.5	6.30	1.03
II	6.2	5.67	1.09

(注) $P_{\max}$: 実験値
 P_{YL} : 理論値

わみによ，て達せられ，ほぼ目標通りのメカニズムが得られた。そして実験値と理論値は非常によい一致を示した。表-2 はそれらの値を示す。

2) 床版の静的押抜きせん断耐力としては，角田氏の耐力算定式を使用した。その結果，実験値と算定値は比較的良好一致を示した。表-3 はそれらの値を示す。

表-3 実験値と算定値との比較

種別	$P_{\max}^{(t)}$	$P_K^{(t)}$	$P_{\max}/P_K$
I	6.20	6.39	0.97
II	5.80	5.67	1.02

(注) $P_{\max}$: 実験値
 P_K : 算定値

3) ひび割れ伝播の観察

実験Dでは，初期の載荷で版下面には載荷点を中心に放射状のひび割れが生じ，ひび割れ伝播は比較的ゆっくりしていた。そして版上面にも円弧状あるいは楕円状のひび割れが生じ，その後の繰返しと共にひび割れパターンは主モーメント線図に沿って発展し，ある程度ひび割れが完成するとそれ以後の進展は殆んど見られず，ひび割れ幅が次第に大きくなるに留まった。

一方，実験B及びCでは，ひび割れは初期の移動繰返し載荷においては各載荷点ごとに載荷点を中心に放射状に発生したが，その後の移動繰返しに伴ってほぼ格子状に形成され停留状態となった。また，版上面にも版全体に円弧状あるいは楕円状にひび割れが生じ，疲労が進むにつれて版上面にコンクリートの圧壊によると思われるひび割れが生じた。なお，実験Cにおける版下面のひび割れパターンは，実橋床版のそれと比較的良好類似していた。

4) 鉄筋応力特性

実験B，C及びDで比較荷重レベルの高い場合には，載荷面下の主鉄筋のひずみは1回目の載荷でほぼ降伏ひずみに達し，荷重の繰返しによりそれを越えているが特に不安定な性状は見られなかった。一方，荷重レベルの低い場合には主鉄筋のひずみの増加は殆んど見られず，配力鉄筋のひずみは荷重の繰返しと共に減少した。これはひび割れの進展につれて異方性効果が発現したものと考えられ，一点繰返し載荷のそれよりも移動繰返し載荷に顕著に現われた。なお，比較荷重レベルの低い場合の主鉄筋，配力鉄筋のひずみは共にすべて降伏に至らなかった。図-3は鉄筋ひずみの観測結果の一例を示す。

5) たわみ特性

実験B及びCではたわみの進展は比較的スムーズであるが、版上面にコンクリートの圧壊によると思われるひび割れ発生後はその進展は速やかだった。一方、実験Dではたわみの進展は殆んど見られず、破壊の寸前に急変した。なお、上面ひび割れ（円弧状あるいは楕円状）は版厚の1/20前後すなわち、全断面有効の場合の弾性たわみの2.5倍前後に生じ、コンクリートの圧壊によると思われるひび割れは版厚のほぼ1/3前後に生じた。図-4はたわみの観測結果の一例を示す。

6) 疲労破壊状態

実験B及びCの場合の疲労破壊は曲げの先行を伴、た押抜きせん断型で、実験Dの場合は載荷点を中心とした押抜きせん断型となり、荷重直下のコンクリートがピラミッド状に押抜けることによって破壊した。なお、どの供試体も鉄筋の破断を伴わなかった。

7) 疲労強度

実験B、C及びDにおいて得られた結果からそれらの荷重レベルと破壊時の全回数との関係を描けば図-5に示す通りとなる。また、両者の比較検討の為に移動繰返し全回数と一点繰返し回数との関係を描けば図-6に示す通りとなり、移動繰返し載荷実験B及びCの場合には配力鉄筋の影響が顕著に現われたが、一点繰返し載荷実験Dのそれはあまり現われなかった。また、表-4は各実験の200万回疲労強度の推定値を示す。

次に、移動繰返し実験における一回の走行が中央点に固定した載荷実験において何回に相当するかをマイナー則を利用して換算する。すなわち、換算値を α とすれば、

$$\alpha = \sum_{i=1}^r \frac{n_i}{N_i}$$

r は載荷点の数、 N_i は i 点に載荷した場合の中央点の疲労寿命、 n_i は i 点での載荷回数、版の疲労耐力は先行曲げ破壊に支配されると仮定、中央点の曲げモーメントを

$$M_i = M_0 f(x_i, y_i)$$

M_0 は中央点載荷時の曲げモーメント、 $f(x_i, y_i)$ は規準化した影響面、と表す。図-5のR

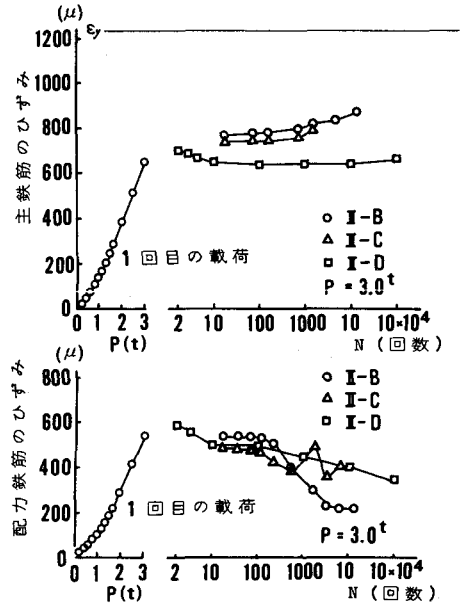


図-3 鉄筋ひずみの実測例

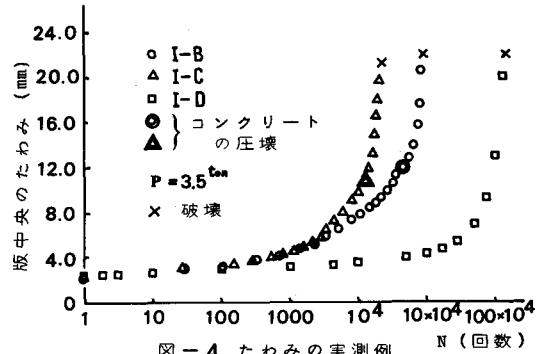


図-4 たわみの実測例

- $\log N$ 関係はほぼ直線である
と見なせるので、

$$\alpha = \sum_{i=1}^r 10^{-M_0[1-f(x_i, y_i)]/K}$$

ここに、 K は $R - \log N$ 直線の
勾配を表し、 $\beta = M_0/K$ で、中
央点載荷時の曲げモーメント
と荷重レベルの比である。

さて、本実験Bにおける一
点繰返し7点であるから、 $\gamma = 7$
として、薄板弾性理論を用
いて、 $f(x_i, y_i)$ 及び β を求め、
図-5より、 K を0.56~0.58
に採れば、上式の α はほぼ
1.0001 となり、中央点以外の
載荷による影響は殆んどない
という結果になる。従って、
マイナー則を用いて換算した
一点繰返し載荷回数に図-5
及び図-6の総回数の $1/7$ と
なり、その代わり図に示され
た破壊時の荷重レベルは7個
の同一供試体の最小値を与え
ていることになる。

8) 結論

一定な荷重レベルの下での移動繰返し及び一点繰返し載荷実
験においては疲労強度にかなり明確な相異が確認され、特に配
力鉄筋量の影響は、移動繰返し載荷の方が顕著に現われた。ま
た、200万回疲労強度推定値から分かるように、一点繰返し載
荷では荷重レベルが50%以下では破壊しなかったが、移動繰
返し載荷では十分破壊することが分った。後輪荷重がスラブを1回通過する時の疲労に対
する影響は、一点繰返し載荷回数の約200回に相当した。結局、一点繰返し載荷回数200
万回で破壊するスラブに対しては、移動繰返し載荷では後輪荷重が1万回程度通過すれば
破壊に至ることになり、配力鉄筋量を減じた場合にはそれを下回ることが推測された。

以上の事から、今後のスラブの疲労の問題に当ては、本実験のような実際の交通後輪
荷重をシミュレートした移動繰返し載荷による影響を考慮されることが望ましい。

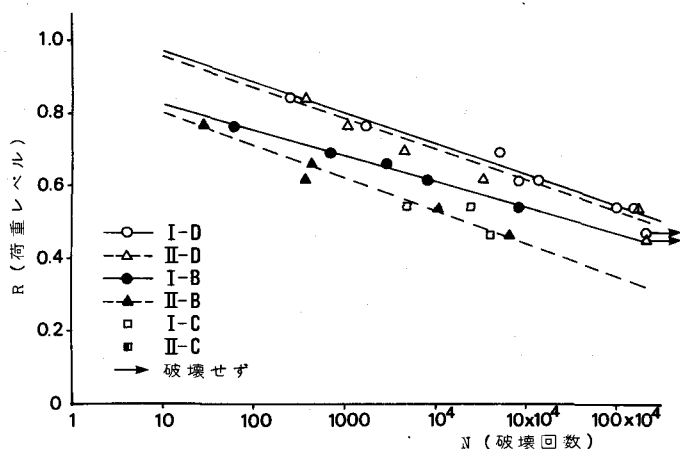


図-5 R-N 曲線

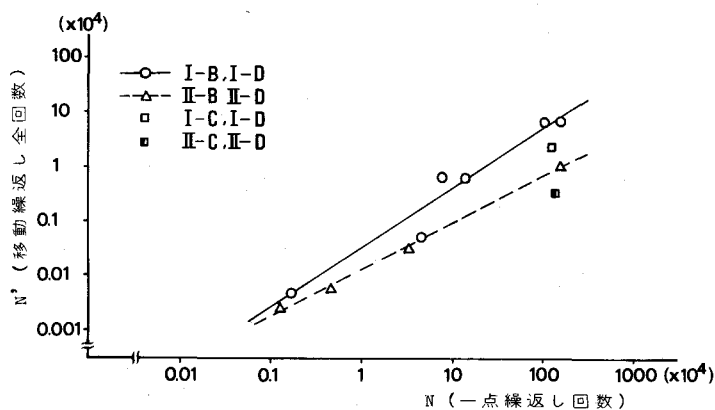


図-6 $N^\gamma - N$ 曲線

表-4 200万回疲労強度の推定値

種別	荷重レベル
I-D	0.53
II-D	0.51
I-B	0.46
II-B	0.37
I-C	0.42
II-C	0.34