

新日本製鉄 正員 奥本武司 近畿大学理工学部 正員 前田幸雄
大阪大学工学部 正員 松井繁之 清水建設 正員 川口裕義

1. まえがき 筆者らは道路 R C 床版のひびわれ損傷を輪荷重の移動性に起因する疲労現象と考え、R C 床版の疲労破壊機構解明あるいは劣化度判定の基礎資料を得ることを目的として、輪荷重走行装置による実物大床版の疲労試験を行います。前回の試験は昭和39年示方書に従い設計した床版（A シリーズ：DR1 ～DR5 配力鉄筋比25%）について行ったが、今回耐荷力向上を計るため配力鉄筋量を増した昭和48年示方書に従い設計した床版（B シリーズ：DR6 ～ DR11 同比80%）の試験を行い、両者の疲労特性・疲労強度について比較・検討を行った。さらにひびわれた床版の内部応力状態を明かにするため板解析・3次元解析を行い、試験結果とを対応させ疲労機構の考察を行った。

2. 試験結果 载荷条件および結果の概要を表-1 に示す。また図-1 にひびわれ密度の変化状況を示す。全供試体とも下面ひびわれは、実橋で見られる格子状に発生した。図-1 でわかるように、ひびわれは初期に急増しその後ゆるやかに増加しやがて停留する。B シリーズでは初期発生ひびわれが多い結果となったが、このシリーズでは全般的に载荷荷重が大きいことコンクリート下面の曲げ引張応力が大きいことによる。たわみは全供試体とも初期に急増し、その後ほぼ一定の割合で漸増した。今回のシリーズでは、初期の急激なひびわれの増加に対応して、たわみの繰返し回数に対する増加率も前回のシリーズに比して大きかった。全供試体とも、最終的には载荷板下のコンクリートが一部陥没する押し抜きせん断破壊を呈した。

3. 疲労劣化機構の考察 上記のような床版の疲労のメカニズムを解明するため床版内に働く断面力・ひびわれ近傍の応力状態について調べた。図-2 に床版中央部の断面力の影響線を示す。荷重の移動により配力鉄筋断面に作用するせん断力 Q_x 、ねじりモーメント M_{xy} が交番することがわかる。次に、床版の初期曲げひびわれは主鉄筋・配筋鉄筋に平行に入ることに着目して設定した図-3 のモデルの3次元 F E M 解析結果を図-4 に示す。鉄筋とコンクリートのずれはリンク要素を挿入することにより考慮した。図中に曲げ理論から求めた分布を併記した。図より、横せん断力はひびわれ先端をピークとする三角形分布を、ねじりせん断力は上面をピークとする三角形分布をしていることがわかる。また曲げ応力は、鉄筋とコンクリートの付着劣化が生じるとひびわれ先端で引張となることわかる。このようにひびわれ近傍は、曲げ理論では説明できない特異な応力状態にある。この結果を用いて、疲労破壊機構は以下のように説明できる。(1) 走行

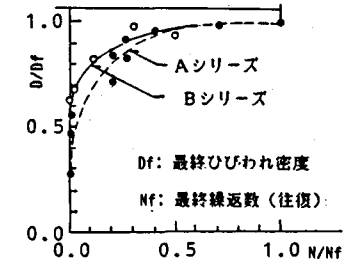


図-1 ひびわれ密度の変化状況

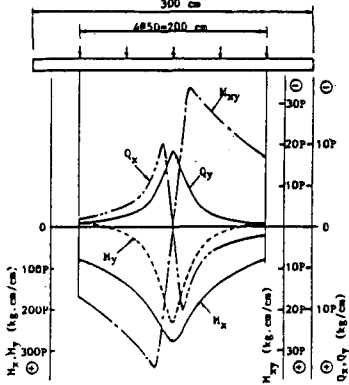


図-2 断面力の影響線

表-1 B シリーズの試験体の载荷条件および試験結果のまとめ

供試体	実験種別	輪荷重重 (t)	σ_{ck} (kg/cm ²)	配筋	限界たわみ到達回数 (万往復)	段差発生回数 (万往復)	破壊時回数 (万往復)	破壊型式
B-1	動的移動	22.0	415	主鉄筋 D16@10cm (d=15cm) D16@20cm (d'=4cm) 配力鉄筋 D16@13cm (d=13.4cm) D16@28cm (d'=5.6cm)	58.5	62.0	67.0	せん断破壊
B-2	"	26.5	320		----	----	0.2	"
B-3	"	25.0	396		----	----	0.14	"
B-4	"	18.0	302		0.1	5.0	6.0	"
B-5	"	17.0	391		8.0	27.0	45.4	"

注：限界たわみとは引張側コンクリートを無視した直交異方性板の理論たわみ

載荷初期に軌道下を中心に急激に曲げひびわれが生じる。(2) 繰返し載荷によりひびわれは中立軸近傍まで進展し、この時たわみは曲げ理論値に達する。上面では、ねじりモーメントが最大となる版端から、ねじりせん断力によりひびわれが発生する。このひびわれは主鉄筋に平行に30cm~40cm間隔で生じる。下面ひびわれはこの段階ではほぼ出尽す。(3) さらにひびわれは、ひびわれ先端の曲げ応力・横せん断力の集中により圧縮側コンクリート内で上方へと進展する。コンクリートは交番応力下で著しく強度が低下することが報告されているが、走行荷重下では、配力鉄筋断面に働くせん断力 Q_x は交番するので主鉄筋方向のひびわれがより早く進展し、上面からのひびわれと連続し床版全厚を貫通する。この結果、床版は橋軸方向の連続性をほぼ失って梁状化する。(4) 最終的に、床版は主鉄筋方向の梁として荷重を担い、この梁のせん断破壊による押し抜きせん断破壊を呈する。

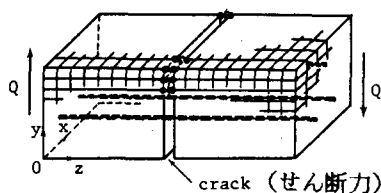
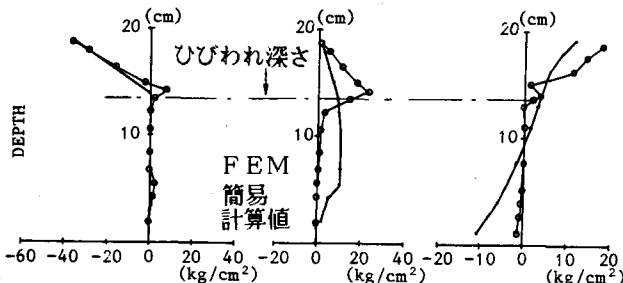


図-3 ひびわれ解析モデルの1例



・曲げ応力分布 ・鉛直せん断応力分布・水平せん断応力分布
 図-4 ひびわれに隣接する断面の応力分布の解析結果

4. P-N 結果 Aシリーズ、BシリーズのP-N曲線は次式で表わせる。ここで、縦軸は従来からコンクリートの疲労試験やRC床版の疲労試験で用いられている”最大荷重/静的強度”の無次元量で表わした。図-5に各S-N曲線を示した。

$$A: P_{\max}/P_s = -0.07166 \cdot \log N + 0.7292 \quad (1)$$

$$B: P_{\max}/P_s = -0.05499 \cdot \log N + 0.5593 \quad (2)$$

さて、BシリーズのP-N曲線の方が下に位置するようになった。これは上記の値を表示したためである。単に載荷荷重を縦軸とすると、Bシリーズの方がAシリーズより上に位置し、絶対量としては疲労強度が向上している。このように床版の構成要素が変わると疲労強度は変動するが、構成毎に実験でP-N曲線を求めることは効率的でない。そこで、3.で述べた床版の疲労破壊過程に着眼して、上記2種の曲線を1本化できる無次元量について検討した。さて、前述したように、床版は Q_y 、 M_{xy} の交番によって

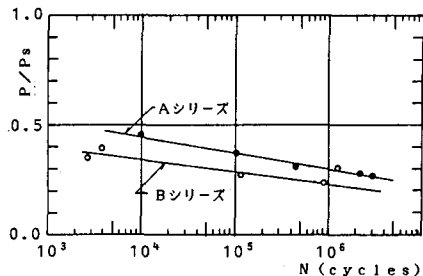


図-5 $P/P_s - \log N$ 曲線

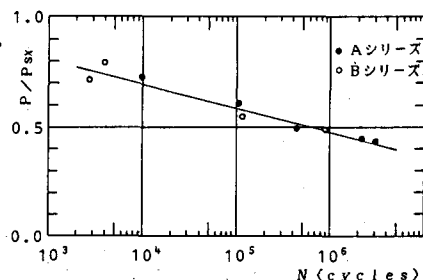


図-6 $P/P_x - \log N$ 曲線

主鉄筋方向のひびわれ面がこすり合わされてひびわれがスリット化し、橋軸方向の連続性を失って、最終的に主鉄筋断面に作用する Q_x で破壊する。よって、疲労寿命は主鉄筋方向断面のせん断耐荷力 P_x に大きく支配されると考え、無次元量 P/P_x で結果を整理し直した。ここに $P_x = \tau_{s\max} \cdot 2 \cdot B \cdot X_m + \sigma_{t\max} \cdot 2 \cdot B \cdot C_m$ (ただし、B: 梁状化した荷重分担幅—試験結果より40cm, X_m : 主鉄筋断面の引張側コンクリートを無視した中立軸深さ, C_m : 引張側主鉄筋のかぶり, $\tau_{s\max}$, $\sigma_{t\max}$: コンクリートの最大せん断応力度, 最大引張応力度)。この結果、図-6に示したように2種のデータはほぼ同一直線上にプロットされた。よって、主鉄筋断面に作用するせん断力に着目すると両結果は一致し、上記縦軸表示方法が妥当であると考えられる。

(参考文献) 1) 前田・松井 他2名: 輪荷重走行装置による道路橋RC床版の疲労実験, 昭和59年度年次講演会。2) H. CORNELISSEN・H. REINHARDT: Fatigue of Plain Concrete in Uniaxial Tension and in Alternating Tension-Compression Loading, IABSE Colloquium Lausanne 1982。3) 前田・松井 鉄筋コンクリート床版の押し抜きせん断耐荷力の評価式, 土木学会論文報告集, V-1, 1984年