

[78] 鉄筋コンクリート床版の疲労試験

正会員 赤井 公昭 (日本道路公団)

正会員 ○藤田 信一 (日本道路公団)

1 まえがき

橋梁床版の破損は、道路管理上の大きな問題となっており、原因の究明、有効な補修法の確立に多大な努力が払われている。現在各地で床版の改良補修を実施しているが、必ずしも成功しておらず再補修率もかなり高い。効果的な補修法を確立するために破損の原因、機構を解明することが強く望まれている。

昨年度までの実験において中央点のみの繰返載荷あるいは、橋軸方向に対称な2点の同時載荷による移動繰返載荷では実橋に起るような破損は起こらないことが認められた。今年度は前年度迄のように2点同時載荷を行わずに繰返載荷移動が載荷点単独で行えるように改善を行った。

試験の結果、移動繰返載荷により床版の損傷が進行すること、ひびわれのずれが実測され、すりへり作用による床版損傷の可能性があることなどが明らかとなった。

2 載荷試験

供試体は道路橋示方書(昭和48年)にもとづいて設計製作した。その諸元を表-1、使用したコンクリートの配合、強度を表-2に示す。この供試体を図-1のように鋼製支持台の上にコロを介して単純支持した。四隅には浮上り防止のため万力を設置した。載荷は反力台と載荷桁を用いて図-1中の番号1~15および17, 20の17ヶ所と①~⑧の内⑦を除く7ヶ所計24ヶ所に載荷した。

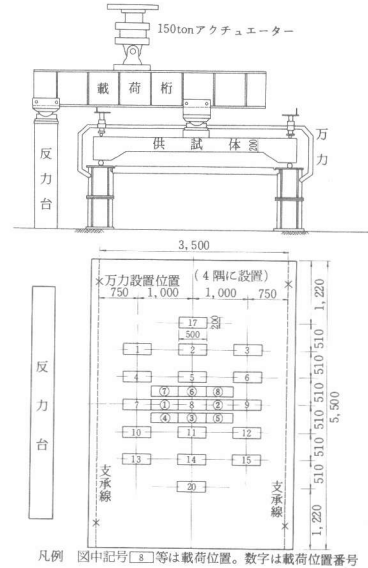
載荷試験は3部分に分けて行った。第1部はひびわれ発生と、定点繰返し載荷によるひびわれの発達、第2部と第3部はそれぞれ鉄筋ひずみ 200×10^{-6} 、 400×10^{-6} 程度の時の繰返し載荷による床版の変化を調べる事を目標とした。鉄筋ひずみ 400×10^{-6} は供用中の床版でこれまでに観測された最大値に近い値である。載荷試験のフローを図-2に示す。ひずみとたわみの測定は図-3示した各点で行った。またコンタクトゲージのチップを正三角形に配してひびわれ

の開きとずれを測定した。

3 試験結果

3-1 ひびわれ

(1) ひびわれの発生



凡例 図中記号「 $\square$ 」等は載荷位置。数字は載荷位置番号

図-1 載荷方法及び載荷位置

表-1 供試体諸元

長さ	支間	版厚	主筋	配力筋
5.5m	3.5m	22cm	上側 D19 ctc250 下側 D19 ctc125	上側 D19 ctc150 下側 D19 ctc300

表-2 使用コンクリートの配合及び性質

粗骨材 最大寸法	単位量 Kg/m^3		圧縮強度 Kg/cm^2	弾性係数 試験時 Kg/cm^2
	セメント	水		
25mm	271	154	269	341

試験内容	Ⅰ 健全床版の試験				Ⅱ クラック発達による 床版剛性低下の試験				Ⅲ 床版疲労試験																						
載荷荷重 P _{max} (t)	7	8	9 ¹	10	13 ²	19														30											
静 載 荷 試 験 番 号	1-3	1-4	1-7	1-9	1-11	1-1	1-3	1-2														1-5	1-7	1-10	1-20	1-25	1-28	1-31	1-33	1-40	1-45
繰返載荷 試験番号 ・載荷位置	1-5	1-8	1-10	1-12	1-2	1-5-2	1-5-10	7	4-1	4-15	4-16	4-18	4-19	4-21	4-24	4-26	4-27	4-29	4-32	4-35	4-38	4-41	4-44								
・観測回数 (N×10 ⁴)	2	2	2	2	25	25	各25	(4, 5, 6, 9, 10, 11, 12) 各25	各4	各6	各30	各30	各30	各30	60	各60	各60	50	50												

図-2 載荷試験のフロー

ひびわれは実験最小荷重の3ton（コンクリート下縁ひずみ 33×10^{-6} ）で発見された。荷重の増加と繰返載荷により、ひびわれは増加し、7tになって方向性を持って来た。中央点載荷によるひびわれは主として橋軸方向で、橋軸直角方向のひびわれは載荷点直下と床版支持端近傍の限られた部分にのみ発生した。この方向のひびわれは荷重が19tonになるまで方向性は明確ではなかった。

(2) ひびわれの増大

ひびわれは定点での一定荷重による繰返載荷に対しては初期変化のみで、その後は安定傾向を示し、余り増大は見られなかった。荷重が大きくなった時あるいは載荷場所を移動した時には新しいひびわれが生じ、ひびわれの増加がみられた。特に橋軸直角方向のひびわれは載荷点付近20～30cmの範囲にとどまったため載荷点1～15の載荷後、それらの中間点である載荷点①～⑧に載荷した時にも橋軸直角方向には新しいひびわれの発生が見られた。このひびわれの増加もそれらの試験箇所への載荷が一巡した後は見られなくなった。試験終了時のひびわれ状況を図-4に示す。

(3) ひびわれの挙動

ひびわれの開きとずれの経時変化を図-5に一例として示した。開き、ずれ共に載荷荷重の増大によってだけでなく載荷回数の増加によって大きくなる傾向を示した。19ton中央載荷時では開きの最大値10/1000mm、ずれの最大値40/1000mmであった。ひびわれの動きの分布図を図-6に示す。ひびわれのずれは大きさ、方向の分布形状ともねじりモーメントの分布に対応しており床版のねじりモーメントに起因するものだと考えられる。

3-2 ひずみ

(1) ひずみの大きさ

床版中央初期載荷時では荷重7tonでML-9（床版中央主筋ひずみ）は 65×10^{-6} であったが薄板理論により曲げモーメントを算出し、全断面有効と考えて応力計算をすると 57×10^{-6} となり理論値の14%増であった。これに反して支持点に近い所ではひずみが理論値より小さくなっている。これは版が載荷点直下に曲げが集中して折れ曲る傾向を持っていることを示している。ひびわれが十分生じた後では荷重19tonでML-9のひずみは 485×10^{-6} であり実測値は計算値より約23%小さかった。これは主筋方向曲げの有効幅が大きくなっているため（たわみの項参照）と考えられる。配力筋ひずみは床版中央初期載荷7ton時で 38×10^{-6} となり全断面有効と考えた時の計算値 35×10^{-6} とほぼ一致した。荷重19tonで繰返し載荷後は 399×10^{-6} であった。この値は計算値 620×10^{-6} の64%であり主筋に比べ差が大きく、配力筋方向の曲げ性状は薄板理論のそれとは大きく違っていた。

(2) ひずみの増大

図-7にML-9、DL-9（床版中央下側配力筋ひずみ）の経時変化を示した。横軸には試験番号をとっている

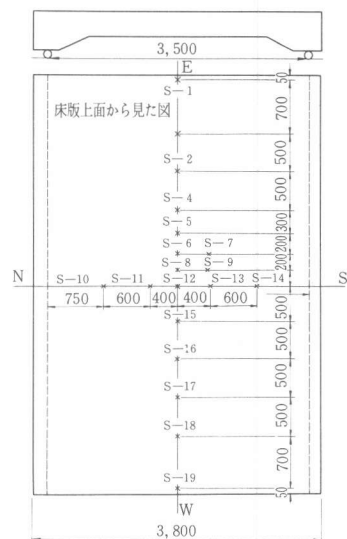


図-3 たわみ測定位置

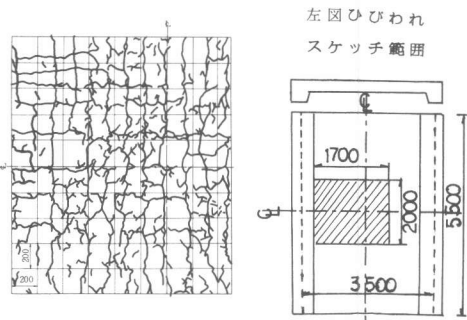


図-4 ひびわれ状況図

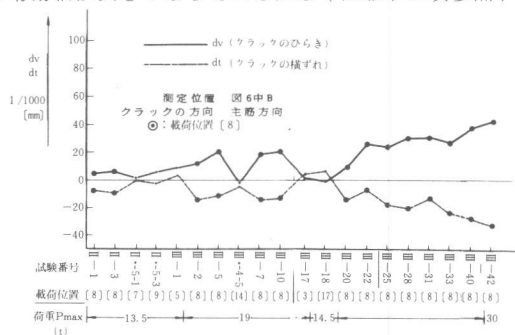


図-5 ひびわれのずれと開きの経時変化

がこれは図-2に示した静載荷試験番号である。荷重増加時及び、当該荷重による載荷が各載荷点を一巡するまでの増加が大きい。主筋、配筋筋ともに増加傾向を維持しており、停留化の傾向は見えなかった。

(3) ひずみの分布

ひずみの分布をみるために各測点主筋ひずみの値を中央点を主筋ひずみ $ML-9$ で除してひずみの率を求めその変化を観測した。その結果の1例を図-13に示す。中央のみの載荷（試験番号 I-3~II-1）では載荷点直下のひずみ $ML-9$ の増加が著しく他の点での増加は小さかったため、このひずみ率は低下した。その後荷重を移動すると周辺部でのひずみが大きくなり配筋筋方向隣接点 $ML-1$ 、 $ML-4$ のひずみ率は回復したが主筋方向隣接点 $ML-11$ 、斜方向の点 $ML-5$ には回復は見られなかった。移動載荷により主筋方向曲げの橋軸方向の差は小さくなったが、曲げが支間中央の橋軸線上で折れまがる傾向が現われ支点付近の曲げは小さくなったものと思われる。

3-3 たわみ

(1) 床版中央のたわみの大きさ

ひびわれのない床版のたわみの理論計算値は 0.067mm/ton である。実験値は 3ton 初期載荷時で 0.073mm/ton 、 7ton 初期載荷時で 0.090mm/ton 、 7ton 2万回載荷時後の同荷重時で 0.077mm/ton であった。 19ton 移動繰返し載荷により床版には主筋方向、配筋筋方向ともにひびわれが中立軸程度まで入ったと考えられこの部分のコンクリートを無視すると、ねじり剛性の低下が大きく計算値は 0.275mm/ton と4倍に増加するが実測値は2倍程度の増加（ 0.136mm/ton ）にとどまった。

(2) 繰返載荷の影響

たわみは中央点における定点繰返載荷では殆んど変化しなかった。図-9に示したように荷重が大きくなった時、あるいは移動繰返載荷された時に増加した。

またこの増加傾向は今後も続くようであり停留化の傾向はみえなかった。

(3) たわみの分布

各点のたわみを床版中央のたわみで除した値をたわみ比率とする。表-3に床版中央載荷時のたわみ比率の薄板理論による計算値と実測値を示す。 7ton 初期載荷時までは理論値と実測値は比較的良好に一致しているが 19ton 移動載荷後では橋軸方向に離れた点で理論値よりたわみ比率が大きくなっている。例えば測定1で0.57（理論値0.49）、測定2で0.66（同0.57）、測定5で0.89（同0.87）等とかなりの範囲で大きくなっている。ひびわれの入った床版では主筋方向の曲げは橋軸方向に広い範囲で生じており、この方向の曲げに対する有効幅が大きくなったのと同じ効果が表われており、主筋方向のひずみが小さく測定されたのはこのためと思われる。また橋軸方向のたわみ差が小さいことは配筋筋方向のひずみが理論計算値よりかなり小さかったことも説明される。

4 ま と め

(1) ひびわれは非常に小さい荷重でも生じ通常のコンクリート床版においてはひびわれを抑止することは不可能だと考えられる。

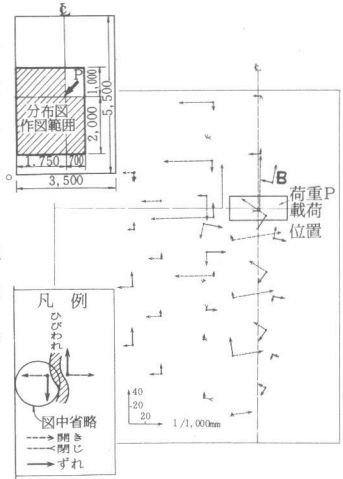


図-6 ひびわれの開きとずれの分布

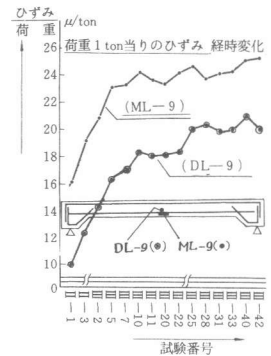


図-7 荷重 1ton 当りのひずみ経時変化

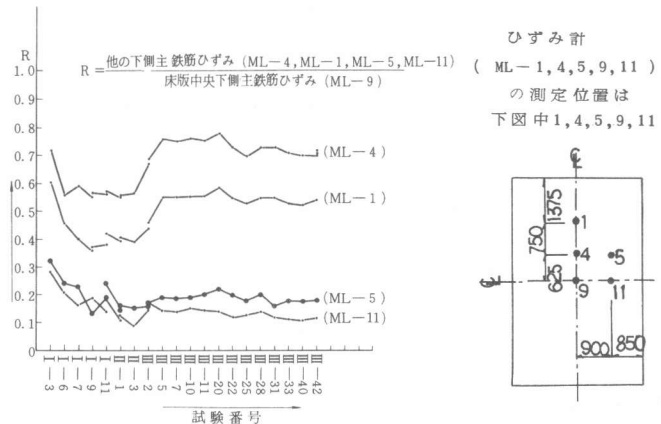


図-8 床版中央鉄筋ひずみに対する比（経時変化）

ひびわれは載荷荷重による応力のみにより生じるのではなく、初期ひびわれは乾燥収縮、ブリージング、材料欠陥などにより当初から内的に包含されていた微小ひびわれ等の欠陥が荷重等の外力により拡大助長され生じるので、ひびわれ発生に要する応力は小さいと考えられる。

(2) ひびわれにはずれが生じていた。ずれの方向、大きさの分布はねじりモーメントの分布からの予想と一致していた。従ってこのずれはねじりモーメントの作用により生じるものと考えられる。このずれの作用はひびわれ面をこすり合せることにより、ひびわれ面のコンクリートをすりへらせて、ねじり剛性の低下を起し、増々床版を劣化させていくものであり、床版の破損原因の一つであると考えられる。

(3) ひびわれ発生後においての中央載荷時のひずみは、薄板理論による計算値よりかなり小さかった。これはひびわれの入り方により、床版の挙動が支配され主筋方向には有効幅が大きく、配筋方向には曲げが出ないように動く結果になったためである。

(4) ひずみ、たわみ共に移動繰返し載荷に伴い増大し前年度までのように停留化する傾向は見られなかった。今回の載荷方式は、前年度までとは異なり、一箇所ずつ載荷しながら移動する方式のため、中央部にもせん断繰返しがかかるようになっていた。前年度までの実験では、たわみ、ひずみ共にある点で停留したのに反して、今年度停留しなかったのはより実際に近い今回の載荷方法の採用によるものであり、繰返し載荷のもとで徐々に床版が損傷していく傾向が明らかになった。

(5) 初期載荷時のたわみは、理論値と比較的一致した。ひびわれ進行後は幅の広い梁として折れ曲る傾向が見られた。

5 あとがき

床版の損傷が移動繰返し載荷を受けて進行していく様子がとらえられた。またねじりモーメントによりひびわれにずれが発生していることが確認され、ひびわれのすりへり作用が明らかになった。しかし、実橋床版で見られるような陥没は発生させることができなかった。実験上の問題点を克服し、床版損傷の機構を解明して行きたい。なお、本試験の実施に尽力された建設機械化研究所の各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 飯岡、檜貝、藤田：鉄筋コンクリート床版の疲労試験，試験所報告（昭和53年度）日本道路公団試験所
- 2) 赤井、藤田：鉄筋コンクリート床版の疲労試験，試験所報告（昭和54年度）日本道路公団試験所
- 3) 赤井、大川、藤田：橋梁床版の健全度判定に関する一考察，第13回日本道路会議論文集 昭和54年
- 4) 岡村、園田：ひびわれ床版の力学的特性，鉄筋コンクリート床版の疲労設計へのアプローチ，土木学会関西支部，昭和52年7月

表-3 たわみ比率

変位計番号	理論値	試験番号	
		I-3	III-40
1	0.488	0.45	0.57
2	0.573	0.56	0.66
3	0.669	0.64	0.72
4	0.792	0.72	0.81
5	0.873	0.81	0.89
6	0.949	0.88	0.94
8	0.983	0.98	0.98
10	0.572	0.55	0.51
11	0.915	0.84	0.85
12	1.000	1.00	1.00
13	0.915	0.84	0.86
14	0.573	0.55	0.54
15	0.923	0.95	0.91
16	0.792	0.72	0.76
17	0.669	0.63	0.69
18	0.573	0.52	0.61
19	0.488	0.38	0.55

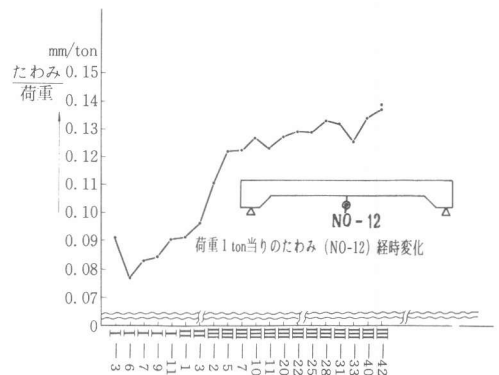


図-9 床版中央点の1 ton当りたわみ経時変化