

正会員 大川 征治 (日本道路公団)

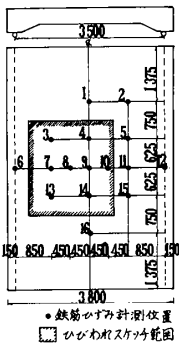
〃 〃 藤田 信一 (〃)

はじめに

道路橋の鉄筋コンクリート床版には近年交通量の増加と車両の大型化により過度のひびわれが発生し、時には亀甲状に発達したひびわれが床版上面まで貫通し部分的に抜けおちるような事故が起っている。このような事故につながるひびわれは作用荷重の外に乾燥収縮等の施工要因による場合も少なくないと考えられ、こうした初期のひびわれを除くことは、鉄筋コンクリート床版の耐疲労性状を改善することにつながると思われる。

膨脹コンクリートは工場二次製品のひびわれ防止にはよく使われ実績もあるが木格的土木構造物への使用は少ない。ここでは膨脹セメントの効果を確認するため実物大の床版を作成し膨脹コンクリートと普通コンクリートのひびわれ発生機構及び、発生後の床版挙動に与える相違について検討したものである。

図2 ひびわれ測定位置  
および ひびわれスケッチ範囲



結果および考察

(1) 膨脹量

6本の標準供試体(内3本は20℃

C, 55%RHにて保管, 残り3本は7日間現場養生後室内放置)と床版内鉄筋の膨脹歪の経時変化を図-3, 4に示す。床版コンクリート, 標準供試体(断面15×15cm, 長さ30cmの角柱供試体に, 両端に圧板として30mm鉄板をφ17mmPC鋼棒でボルト締めしたもの)両方とも載荷試験終了時にコンクリートをこねれ鉄筋およびPC鋼棒の戻り歪を計測した。その結果を材令7日での値と合せて表-3に示す。コンクリート膨脹時の鉄筋ののび量は貼付したゲージ

図3 膨脹拘束鉄筋歪(標準供試体)

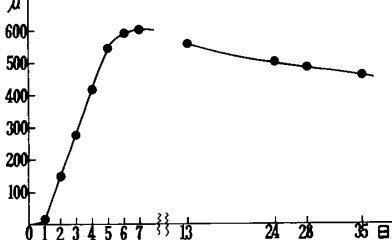


図4 床版鉄筋膨脹拘束歪

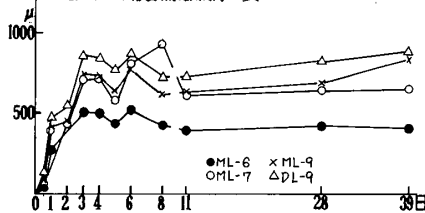
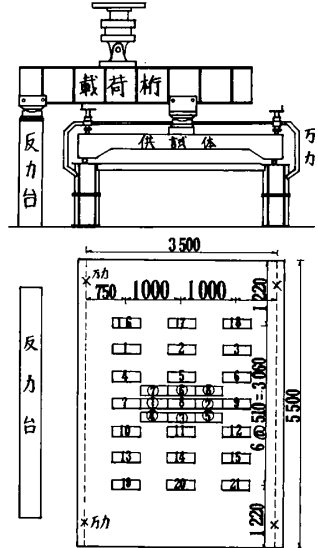


図1 載荷方法と載荷位置



実験方法

試験に用いた床版の諸元は表-1に示した。使用したコンクリートの配合及び性状は表-2に示す。膨脹材はCSA系の物を用いた。この床版を図-1に示すように鋼製載荷台の上に二辺単純支持となるようにコロと四隅の万力を用いて支持した。移動載荷は番号1~15, 17, 20の17ヶ所で行ない, 補助的に①~④でも行なった。鉄筋歪は予め貼付しておいたストレインゲージ, たわみは差動トランス, ひびわれ幅はコンタクトゲージでそれぞれ測定した。載荷は中央点静載荷, 中央点繰返載荷, 移動繰返載荷の組合せて行なった。

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: D19acc250 下側: D19acc125	上側: D19acc150 下側: D19acc300

表-2 使用コンクリートの配合及び性質

材料	配合	単位量	配合率	圧縮強度	弾性係数
セメント	25mm	9.1	4	57	43
砂	25mm	9.1	4	291	184
粗砂	25mm	9.1	4	260	154
膨脹材	25mm	9.1	4	49.7	42

表-3 ケミカルプレストレスによる鉄筋歪(μ)

測点	ML-3	DL-3	ML-4	DL-4	ML-5	DL-5	ML-6	DL-6	ML-7	DL-7	ML-8	DL-8	ML-9	DL-9
打設後7日	-	-	-	-	-	-	492	478	426	708	-	-	940	618
試験時	310	445	210	320	430	325	502	2552	285	395	5	260	295	320

記号説明 M:主筋, D:配力筋, L:下側, U:上側, 番号ゲージ位置, No.1~No.6: 15mm×30cm 標準供試体

が不安定だったため材令7日で900~400μとバラツキが大きいのが次のような傾向が見られる。

鉄筋量の多い下側主筋ののびが小さく, 鉄筋量の少ない上側主筋及び配力筋ののびが大きい。

主筋の中央部でのびが大きく, 定

着端近くでは小さくなっている。載荷試験終了時（打設後6ヶ月より3ヶ月間試験したので打設9ヶ月後）残存プレストレスは平均300 $\mu$ 程度であったが戻り歪が0に近いもの2ヶ所、200以下又はそれに近いものが4ヶ所あった。プレストレスの無かった箇所は上側主筋で圧縮応力のみかかる箇所であり実験中の最大歪も110 $\mu$ 程度で付着が切れるとは考えられず原因は不明である。主筋の残存プレストレスは中央部で小さく端部で大きくなっており導入時の分布と異なっていた。標準供試体の試験終了時の戻り歪は平均値172 $\mu$ で最大導入歪の6割程度であった。

### (2) ひびわれ

図5～13に普通コンクリートを用いた床版（以下床版Aという）と膨脹コンクリートを用いた床版（以下床版Cという）に生じたひびわれのスケッチを示す。スケッチのます

図5～10 普通コンクリート床版ひびわれ状況図

図5 点5 3t載荷時

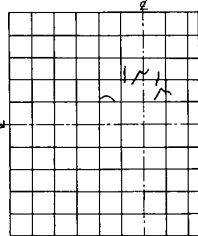


図6 点5 5t載荷時

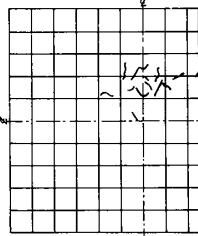


図7 点5 6.5t載荷時

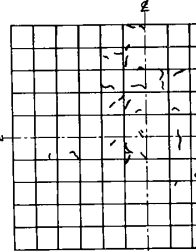


図8 点8 6.5t載荷時

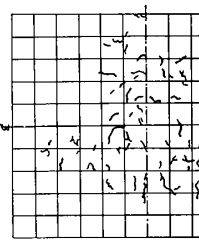


図9 点8 7t載荷時

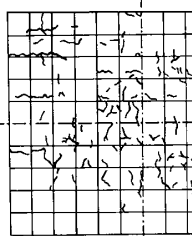
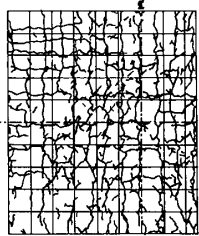


図10 19t移動繰返載荷後



目は各方向20cmである。スケッチの実施位置は図2に示す。床版Aは載荷最小荷重の3tonでみみずが散らばったような細くて短い無方向性のひびわれが認められ、荷重の増加とともにこのひびわれが増加した。7ton程度になるとひびわれは一定方向になり、床版中央部で橋軸方向、支点付近で橋軸直角方向へと方向性を持つようになった。その後の19tonまでの荷重増加と移動載荷により支点付近での橋軸方向ひびわれと、床版中央部での橋軸直角方向ひびわれの増加により除々に格子状ひびわれへと発達していった。床版Cは16tonで初めてひびわれが認められ、これは載荷点直下に発生した短い極細のものと橋軸方向であった。この後荷重を19tonに増加し30万回の繰返載荷をすると橋軸方向ひびわれの本数が増加し橋軸直角方向へもひびわれが発生した。その後の移動繰返載荷により橋軸方向ひびわれの本数は大きく増加したが橋軸直角方向のひびわれは非常に少なかった。

このように両者のひびわれの発達の仕方には大きな差があった。床版Aにおける初期の無方向性ひびわれは通常考えられるよりずっと小さい引張歪状態で確認されたが、これは乾燥収縮等で当初から入っていた肉眼では確認できないクラックが応力下で発達したのではないかと推定されるのに対し、床版Cの場合はそういう潜在クラックが存在せず、一定の荷重に達してはじめてひびわれが発生したものと考えられる。

このように両者のひびわれの発達の仕方には大きな差があった。床版Aにおける初期の無方向性ひびわれは通常考えられるよりずっと小さい引張歪状態で確認されたが、これは乾燥収縮等で当初から入っていた肉眼では確認できないクラックが応力下で発達したのではないかと推定されるのに対し、床版Cの場合はそういう潜在クラックが存在せず、一定の荷重に達してはじめてひびわれが発生したものと考えられる。

図11～13 膨脹コンクリート床版ひびわれ状況図

図11 点8 16t載荷時

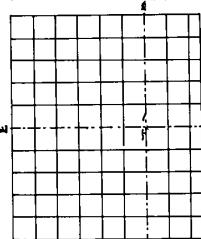


図12 点8 19t載荷時

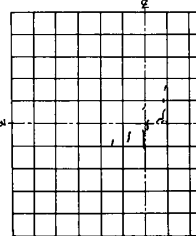
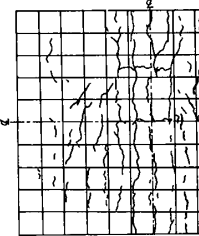


図13 19t移動繰返載荷後



### (3) ひずみ

床版中央での各荷重段階初期載荷時の載荷点直下の主筋歪を表-4に示す。5ton、7ton時点では両床版の差異は殆んどなく、この時点で床版Aに認められたひびわれは断面剛性を低下させる程のものではなかったと考えられる。9.6ton時では床版Aのひびわれはかなり発達しているが、床版Cはまだひびわれを生じていないためその差が表われている。13.5ton時では床版Cの歪はAの55%であった。19ton初期載荷時では両床版ともにひびわれが入っており、歪の差は縮まるものと考えられたが変化はなかった。これには床版Aの場合は荷重13.5tonで中央点だけでなく周辺の載荷点4～12にも載荷した事による影響もあると思われる。

図14,15に各荷重段階での床版中央主筋歪（ML-9）の状態を示す。床版Aでは7ton（ML-9最大歪65 $\mu$ ）、8ton（同97 $\mu$ ）での中央点2万回載荷によりML-9はかなり増加している（+Bおよび+11）のに対し、床版Cはひびわ

表-4 中央点主筋歪（各荷重初期載荷時）単位 $\mu$

荷重	5	7	9.6	13.5	16	19	移動繰返後	試験終了時
普通コンクリート	37	65	135	254	—	316	457	485
膨脹コンクリート	41	60	68	140	173	222	314	329

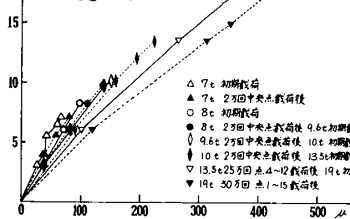
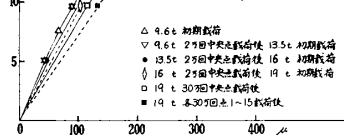
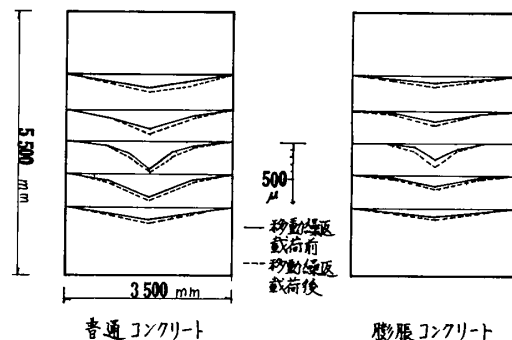
図14 荷重(中央点荷重)～変位係  
(中央点下側主筋変位)  
普通コンクリート図15 荷重(中央点荷重)～変位係  
(中央点下側主筋変位)  
膨脹コンクリート

図16 下側支筋歪分布図(中央19t載荷)



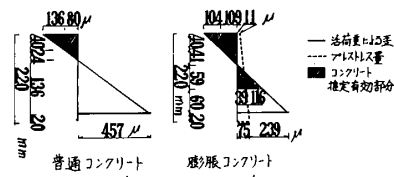
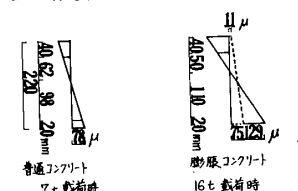
れのない9.5 $t$  (ML-9 88 $\mu$ ), 13.5 $t$  (同140 $\mu$ )での中央点2才回  
載荷ではそれぞれ $\pm 0\mu$ , +3 $\mu$ と変化せず16 $t$  (同193 $\mu$ ), 19

$t$  (同222 $\mu$ )では+16 $\mu$ , +4 $\mu$ と床版Aのひびわれ発生時と同じような動きを見せている。即ち床版Cは図眼  
でひびわれの見つからなかった荷重13.5 $t$ 以下では繰返し載荷の影響を受けないと思われるのに、床版Aは発生引  
張歪の小さい7 $t$ でも繰返し載荷によりひびわれが進展する可能性がある。

図16に19 $t$ での移動繰返し前と後の歪分布を示す。

移動繰返し載荷により、床版Aは各点40才回の載荷で396 $\mu$ から457 $\mu$ へと床版Cは各点80才回の載荷で240 $\mu$ から314  
 $\mu$ へと大きく増加した。これは移動載荷により周辺部にモヒびわれが広がり版全体の剛性が小さくなったため

図17 横断方向歪分布(応力ひびわれ発生時)



ある。このことは図16の歪分布の変化に表われている。その後の繰返し載荷により、床版  
Aは485 $\mu$ まで歪が増加したが、床版Cは329 $\mu$ にヒビきった。床版Aは繰返し載荷によりひ  
びわれが深さ方向に進展して行くのに対し、床版Cではひびわれは移動載荷により平面  
方向に広がるが深さ方向へは一旦一定値まで達した後は進展しにくい傾向を示している。

図17は断面方向の歪分布である。その時点での導入プレストレス量は判らないがこ  
こでは上下鉄筋に300 $\mu$ の歪を与えるようなプレストレスが入っていたと考  
えて歪分布を描いた。応力によるクラックが入ったと思われる荷重は床  
版Aでは7 $t$ 、その時コンクリート引張歪は78 $\mu$ と通常考えられている  
より小さく、床版Cでは16 $t$ 、その時のコンクリート引張歪の歪はほ  
ぼ129 $\mu$ で通常考えられている値より大きかった。19 $t$ で移動繰返し載荷を

受けた後は同図下2図に示したようになった。ここで断面作用力の釣合いを考えてみると、引張側コンクリー  
トを無視すれば床版Aでは圧縮側作用力225%, 引張側作用力220%とほぼ釣り合っているのに対し床版Cでは圧縮側  
284%, 引張側152%と大きく食い違っている。ここで引張側コンクリートが引張歪16 $\mu$ まで有効であると仮定すれ  
ばこの差は埋まる。またこの時の引張鉄筋の断面係数 $Z$ は床版A,Cそれぞれ27.5%, 41.3%と鉄筋歪の値457 $\mu$ , 314 $\mu$   
に丁度逆比例しており作用曲げモーメントが等しいとした時の理論的挙動に一致している。これらにより床版A  
は引張歪が小さくてもコンクリート引張側は無視できるのでに対し、床版Cは引張側においてもコンクリートには  
かなりの応力負担力があるものと推察できる。

#### (4) たわみ

各荷重初期載荷時のたわみを表-5に示す。歪の場合と異なり低荷重

時より床版Aのたわみは床版Cより50%程度大きく測定された。中央点荷重の大きさを各2才回の繰返し載  
荷を行なったがたわみの変化はいずれもなかった。定点の繰返し載荷はひびわれを深さ方向に進展させることによ  
りひびきを増大させるが平面的にひびわれを余り発達させないのでたわみには影響しないものと考えられる。一  
方移動繰返し載荷は平面的にひびわれを発生させるのでたわみは大きく増加する。前項で考えたような引張側コン  
クリートの寄与度を考慮すると床版Aと床版Cの剛性には約30%の差があるはずであるがたわみの差はこれより  
大きい値を示した。床版Cでは、プレストレスの効果で作用引張応力が小さいほど全断面有効に近くなるため応  
力の大きい筋と周辺部の発生応力の小さな筋とでは剛度が異なることになり、全体として平均剛度はより高めと

表-5 中央点たわみ(各荷重初期載荷時)単位mm

荷重	5	7	9.6	13.5	16	19	移動繰返し後	試験終了時
普通コンクリート	0.45	0.64	0.81	1.23	—	1.84	2.39	2.69
膨脹コンクリート	0.29	0.42	0.62	0.76	1.02	1.11	1.60	1.62

推定され、その差が大きく表われたと思われる。しかしひびわれの影響を受けない初動繰返載荷前のしかも5cm程度の低荷重状態の時にたわみの差が大きく表われた原因は明らかではない。

## まとめ

試験の結果をまとめると次のようになる。

- (1)打設時の膨脹量は鉄筋の多い(少い)所で小さく(大きく)、また端部で小さく中央で大きい傾向であったが載荷試験後の応力解放後歪は端部で大きく、中央で小さく、中央の拘束鉄筋歪の低下は標準供試体のそれよりかなり大きかった。標準供試体の鉄筋歪は打設9ヶ月で最大値の6割程度まで落ちていた。
- (2)普通コンクリートのひびわれは低応力下でも発生発達するのに対し、膨脹コンクリートのそれはかなりの引張歪が作用しない限り発生せず繰返し載荷に対しては、ひびわれ発生後も後も、非常に安定な傾向を示した。これは、普通コンクリートの場合、組織内に当初から潜在ひびわれとも言うべき欠陥を含んでいるのに対し膨脹コンクリートではそれらの欠陥がなくなっているためと思われる。
- (3)ひびわれ発生時の引張縁コンクリート歪は普通コンクリートの場合引張強度に相当する歪より非常に小さく、膨脹コンクリートの場合は導入プレストレスを考慮してもそれと同等又は若干大きかった。これは(2)で述べたようなひびわれ発生機構に差があるためと思われる。
- (4)ひびわれ発生後の歪分布から推定される引張側コンクリートの有効度は普通コンクリートと膨脹コンクリートで非常に差があった。普通コンクリートは作用歪の大きさに拘わらず引張側コンクリートは無視できるのでに対し膨脹コンクリートではコンクリートの発生応力度が引張強度以下であれば、その断面を有効とみなしてよいと思われる。
- (5)膨脹コンクリート床版のたわみは普通コンクリート床版のそれより常に小さかった。ひびわれ発生後の前者と後者の比は0.67でこれは(4)の剛度比より推定した値より小さかった。

床版の破損はひびわれが過度に発達することにより生じられるものであると考えられるが、膨脹コンクリートは引張強度に相当するような歪が生じない限りひびわれが発生せず、これによるひびわれ発生荷重は16cmと非常に大きく実用上の範囲ではひびわれは発生しないと考えられる。またひびわれ発生後も同程度の荷重の繰返しに対しては非常に安定な繰返作用の影響を受けにくいことが判った。更にひびわれ発生時においても断面内で中央軸に近い引張応力の小さい箇所は、コンクリートは有効に働いており普通コンクリートより、かなり優れた性状を示している。岡村らによるとひびわれ発生後の床版はねじり作用により貫通ひびわれへと進展し破損へと進んで行くが、鉄筋コンクリートのねじり抵抗は版の場合殆どひびわれの生じていない部分のコンクリートの作用に負っているとしている。したがって、膨脹コンクリートが大きな引張抵抗性を示すことはひびわれ発生後の床版の耐力に大きな差を生じさせることになると思われる。

今後の問題点としては以下のものを掲げなければならぬ。

- (1)実験供試体が、普通コンクリート1体、膨脹コンクリート1体と少ないため、今後データを積重ねる必要がある。
- (2)打設時の鉄筋歪が不正確なため不明確ではあるが実験中、鉄筋のすべりを思わせるような動きがあり、応力解放による戻り歪の結果によると高応力地点で膨脹歪が減っており、場所によるとゼロに近い所もあった。打設時の導入プレストレス量と各種要因による低下を正確に知る事が必要である。
- (3)膨脹材の量は今回は道路公団の床版に用いられているコンクリートをベースとして余りセメント量を増さずしかも、膨脹プレストレスを積極的に大きく入れる事を狙って決めた。しかしひびわれ発生後の応力レベルは、余り差がなくプレストレスの利用はひびわれ発生又は発達の防止のために使われるべきだと考えられ、従って最適なプレストレス量、膨脹材の量はこの点から決められるべきだと考えられる。

最後に、この実験は日本道路公団試験所の委託により建設機械化研究所で実施されたものであり、終始、労苦をいとわず協力を惜しまれなかった同研究所の金城、上石、榎園、佐々木の諸氏に心からの感謝の意を表する次第であります。

## 参考文献

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損傷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