

[67]

膨脹コンクリートと普通コンクリートを用いた橋梁床版の疲労試験

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、時には重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あらるような事故が起つてゐる。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考えられる。

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本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、

図2 ひびみ割定位置
あらかじめひびわれスケーリング範囲

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。

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ヒ隅の可力を用いて支持した。動載荷は番号1~15, 17, 20の17ヶ所で行ない、補助的に①~⑩でも行なつた。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で行なつた。

結果および考察

(1) 膨脹量

6本の標準供試体 (内3本は20°

表-1 供試体諸元

長さ	支間	版厚	主筋	配筋
3500	3.5	22	上側D19@250	下側D19@250
			上側D19@150	下側D19@150

C, 65%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、両端に压板として30mm鉄板を#17mmPC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わし鉄筋および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ひびき量は貼付したゲージ

表-2 使用コンクリートの配合及び性質

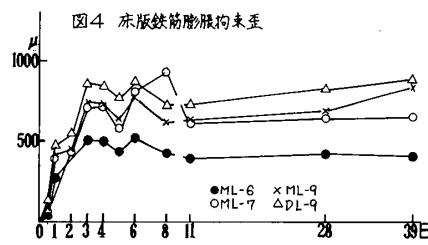
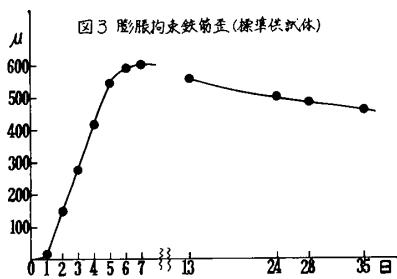
粗骨材	細骨材	水セメント比	水セメント比の20%換算	水セメント比の40%換算	水セメント比の60%換算
普通セメント	河砂	0.51	4	57	43
膨脹セメント	河砂	0.51	4	49.7	42
				260	154

測定点	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	428	926	788	—	—	940	618
試験時310	445	210	520	430	325	502	2	532	285	395	5	260	295	320

測定点	DL-9	ML-10	ML-11	DL-1	ML-12	ML-13	DL-13	ML-14	ML-15	DL-15	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
721	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	684	656	735	620	612	588
382	205	270	435	400	160	170	360	340	498	340	361	417	370	382	360	340

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

図3 膨脹拘束鉄筋歪(標準供試体)



が不定定だったため材令7日で900~400μとバテツキが大きいが次のよう傾向が見られる。

鉄筋量の少ない下側主筋のひびきが小さく、鉄筋量の多い上側主筋と配筋のひびきが大きい。
主筋の中央部でのひびきが大きく、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300kg/m程度であったが床り歪が0に近いもの2ヶ所、20以下又はそれに近いものか4ヶ所であった。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110μ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つており導入時の分布と異なつていた。標準供試体の試験終了時の床り歪は平均値392μで最大導入歪の6割程度であった。

(2)ひびわれ

図5～13は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。スケッチのままである。

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

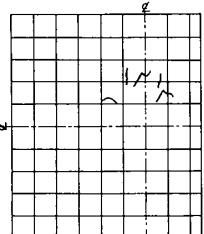


図6 点5 5t載荷時

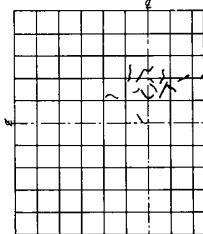


図7 点5 6.5t載荷時

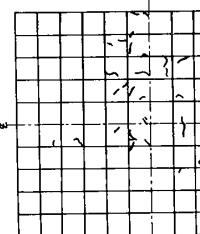


図8 点8 6.5t載荷時

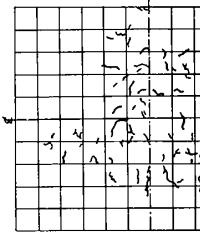


図9 点8 7t載荷時

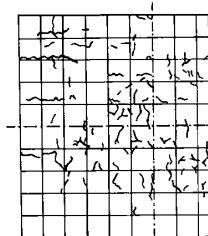
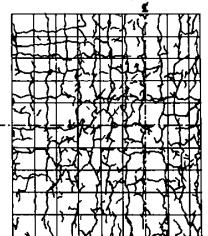


図10 19t移動載荷終荷後



月は各方向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3tでみみずか散らばつたよう自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。7t程度になるとひびわれは一定方向につながり、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19tまでの荷重増加と移動載荷により支点付近での橋軸直角方向ひびわれと、床版中央部での橋軸直角方向ひびわれの増加により徐々に格子状ひびわれへと発達していった。床版Cは16t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細い極細のもので橋軸方向であった。この後荷重を19tに増加し約5回の繰返載荷をすると橋軸直角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直角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ぬクレックが伝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レックが存在せず、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。

(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。5t、7t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。9.6t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。13.5t時では床版Cの歪はAの55%であった。19t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13.5t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7t（ML-9最大歪65μ）、8t（同97μ）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+II）のに対し、床版Cはひびわれ

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

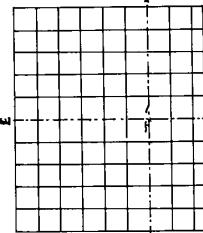


図12 点8 19t載荷時

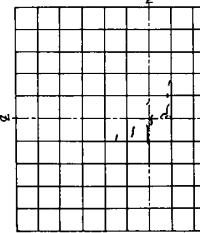


図13 19t移動繰返載荷後

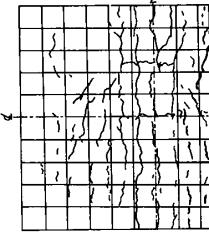


表-4 中央点主筋歪（各荷重初期載荷時）単位μ

載荷時	5	7	9.6	13.5	16	19	移動繰返 載荷終了時	
普通コンクリート	37	65	135	254	—	396	457	485
膨脹コンクリート	41	60	98	140	173	222	314	329

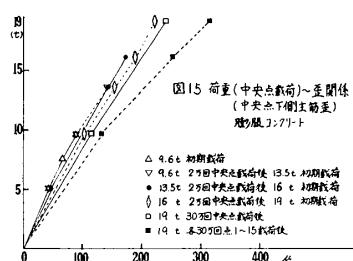
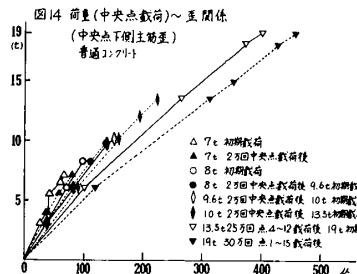
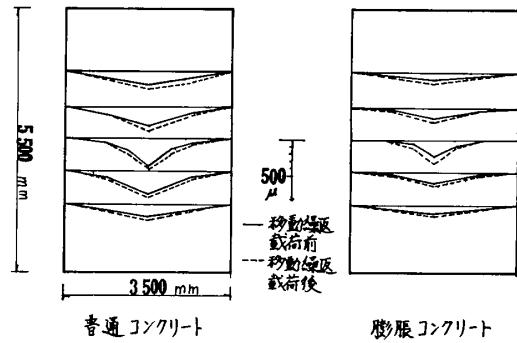


図16 下側主筋歪分布図(中央 19t 載荷)



れのない 9.5 ton (ML-9 88m), 13.5 cm (同140m) での中央点2万回載荷ではそれが $\pm 0 \text{ m}$, $\pm 3 \text{ m}$ と変化せず 16 ton (同173m), 19 ton (同222m) では $\pm 16 \text{ m}$, $\pm 4 \text{ m}$ 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は肉眼でひびわれの見つからなかつた荷重 13.5 ton 以下では繰返し載荷の影響を受けてないと思われるのと、床版Aは発生引張歪の小さく $\pm 4 \text{ cm}$ 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19ton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40万回の載荷で 396 m から 457 m へと床版Cは各点30万回の載荷で 240 m から 314 m へと大きく増加した。これは移動載荷により周辺部にもひびわれが広がり版全体の剛性が小さくなつたためである。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 m まで歪が増加したが、床版Cは 329 m にとどまつた。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拡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つ向を示して いる。

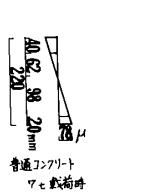


図-17は断面寸向の歪分布である。その時点での導入プレストレス量は判らぬがここでは上下鉄筋に 300 mm の歪をとるようなプレストレスが入つてないと考えて歪分布を描いた。応力によるクラックが入つたと思われる荷重は床版Aでは 7 ton 、その時コンクリート引張縫歪は 78 m と通常考えられて いるより小さく、床版Cでは 16 ton 、その時のコンクリート引張縫の歪はほぼ 129 m で通常考えられて いる値より大きかつた。 19 ton で移動繰返し載荷を受けた後では同図下2図に示したようになつた。ここで断面作用力の鉤合ひを考えてみると、引張側コンクリートを無視すれば床版Aでは圧縮側作用力 225% 、引張側作用力 220% とほぼ鉤合つて いるのに対し床版Cでは圧縮側 284% 、引張側 152% と大きく食い違つて いる。ここで引張側コンクリートが引張歪 16 m 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は床版A, C それぞれ 27.5% , 41.3% と鉄筋歪の値 457 m , 314 m 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変えて各2万回の繰返し載荷を行なつたがたわみの変化はいずれもなかつた。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ずみ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達させるのでたわみは大きく増加する。前項で考えたように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 $\pm 4 \text{ cm}$ ほど全断面有効に近づくため応力の大きさと周辺部の発生応力の大きさ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	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	2.59
膨胀コンクリート	0.89	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期繰返載荷前のしかも 5.0 cm 7 ton 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是明らかではない。

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)ほど小さく(大きく)、また端部で大きく中央で大きい傾向であったが載荷試験後の応力解放歪は端部で大きく、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巻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巻生せず繰返し載荷に対しては、ひびわれ巻生前も後も、非常に安定の傾向を示した。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對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) ひびわれ巻生時の引張強度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巻生機構に差があるためと思われる。

(4) ひびわれ巻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に対し膨脹コンクリートではコンクリートの巻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でよいと思われる。 (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巻達することにより生起さ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巻生荷重は16tonと非常に大きく実用上の範囲ではひびわれは巻生しないと考えられる。またひびわれ巻生後も同程度の荷重の繰返しに對しては非常に安定で繰返作用の影響を受けにくくことが判った。更にひびわれ巻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筋では、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巻生後の床版はねじり作用により普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ん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さ引張抵抗性を示すことはひびわれ巻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。

今後の問題としては以下のものを挙げなければならぬ。

(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、鉄筋のすべりを測るよう自動化があり、応力解放による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つた。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ひうかたるコンクリートをベースとして余りセメント量を増やすしかも、膨脹プレストレスを積極的に大きく入れる事を組って決めた。しかしひびわれ巻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巻生又は巻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つた同研究所の金成、上石、楳園、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