

[73] 鋼繊維膨張コンクリート鋼合成床版に関する基礎的研究

正会員 ○戸川一夫 (和歌山工業高等専門学校)
 正会員 中木純次 (同上)

1. まえがき

鋼繊維コンクリートは普通コンクリートとくらべて曲げ強度、引張強度あるいは靱性が増加し、また膨張コンクリートは普通コンクリートと比較して、乾燥収縮が小さく、さらに膨張を拘束するとケミカルプレストレスを導入できるので、ひびわれ耐力が改善される。本研究はこれら両コンクリートのそれぞれの長所を生かして、それらの相乗効果を期待して、鋼繊維と膨張材を両方混入したいわゆる鋼繊維膨張コンクリートを鋼合成床版に利用することを目的として、床版のひびわれ特性、変形特性および終局耐力等について考察するものであり、コンクリート床版のひびわれ破損問題に対して材料面からの対策を論じようとするものである。

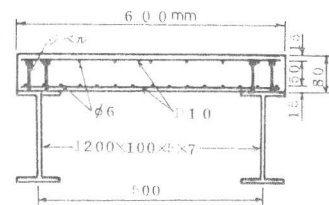
鋼繊維膨張コンクリートの特徴を挙げれば、①鋼繊維コンクリートは普通コンクリートと比べると富配合で単位水量が多くなるので乾燥収縮が大きくなるきらいがあるが、これに膨張材を混入することで乾燥収縮の低減が期待できるとともに、膨張効果は富配合コンクリートの方が大きくなること、②膨張コンクリートは膨張率が過大になると普通コンクリートとくらべて強度低下が生じるが、鋼繊維の混入は膨張を三次元的に拘束することができるので強度低下を改善できる、等である。

2. 実験計画

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は川砂(比重2.61, F.M3.30)、粗骨材は最大寸法15mmの硬質砂岩碎石(比重2.62)を使用した。膨張材はカルシウムサルホアルミネート系のもの、鋼繊維は0.25×0.5×25mmのせん断ファイバー($\sigma_{su} = 70\text{kg}/\text{mm}^2$)をそれぞれ使用した。コンクリートの基準配合は、 $C+E=450\text{kg}/\text{m}^3$, $W=225\text{kg}/\text{m}^3$, $W/C+E=50\%$, $s/a=68\%$ である。実験計画を表-1に示す。鋼繊維は骨材の一部として所定量置換えた。合成床版供試体を図-1に示す。使用した鉄筋は床版主筋にD10mm($\sigma_{sy} = 3600\text{kg}/\text{cm}^2$)と配力筋に $\phi 6\text{mm}$ ($\sigma_{sy} = 2900\text{kg}/\text{cm}^2$)である。供試体は打込み直後から材令1日まで濡布養生し、材令1日で脱型して、試験日(材令28日)まで $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の恒温室で1日1回散水養生した。コンクリートの圧縮強度、引張強度および曲げ強度試験用供試体は型わく拘束のまま材令28日まで散水養生した。鋼合成床版の載荷試験方法は床版中央に5×10cm(主筋方向に10cm巾)の載荷板を介してジャッキで載荷した(図-2参照)。載荷は0.1tきざみで、載荷板とコンクリートとの間にはテフロンシート

表-1 実験計画

鋼繊維 単位 膨張材 量(kg/m^3)	F(%)	
	0	1.5
E=0	●	●
E=50	●	●
E=70	●	●



を入れている。床版のたわみは荷重直下の版中央部と中央からスパン方向に、左右に19cmの位置で電気抵抗線式変位計によつて測定した。

3. 膨張分布

床版打込み上面側の主鉄筋および配力鉄筋の膨張性状について、膨張材量 $50\text{kg}/\text{m}^3$ 、鋼繊維量1.5%の場合を図-3に示す。主筋ならびに配力筋の膨張性状は鉄筋位置が相異してもほとんど差がないと言える。主筋ならびに配力筋の膨張率を¹⁾上の提案する方法で推定した。その際、それぞれのコンクリートの基準膨張率はJIS A 6202の方法によつて得た。図-

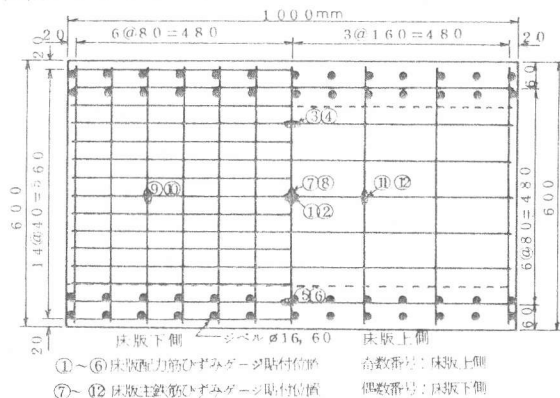


図-1 鋼合成床版ならびに比較用供試体

4に主筋ならびに配力筋の膨張率の実測値(電気抵抗線ひずみゲージによる)と推定値を示す。主筋で最大130マイクロ程度の差がある場合も見られるが、よく推定しえると考えられる。また配力筋方向はH形鋼下縁で推定値と実測値との差はかなり大きい、配力筋の膨張率に関してはよく推定しえられていると考えられる。鋼とコンクリートとのずれをジベルで止めただけでは不十分と言えるようである。また、鋼繊維は膨張を拘束することが認められる。

4. ひびわれ特性

床版におけるひびわれはすべての場合に床版の主筋とほぼ直角方向に発生した。床版のひびわれ耐力を決定する場合、本実験では荷重直下のコンクリート下面に貼付したストレインゲージによって測定したひずみの増加率が急変する直前の荷重をひびわれ耐力とした。床版の曲げモーメントは、Pinjarkarの報告にしたがつて、四辺単純支承の床版として、ポアソン比 $\nu=0.15$ を仮定して求めた。床版の曲げひびわれ発生モーメントの推定は図-5に示すコンクリートの応力ひずみ曲線を仮定して、外力と内力のモーメントのつりあい条件から求めた。コンクリートの伸び能力は200マイクロとした。表-2に実測値と推定値を比較して示すがよく一致しているように考えられる。また、コンクリ-

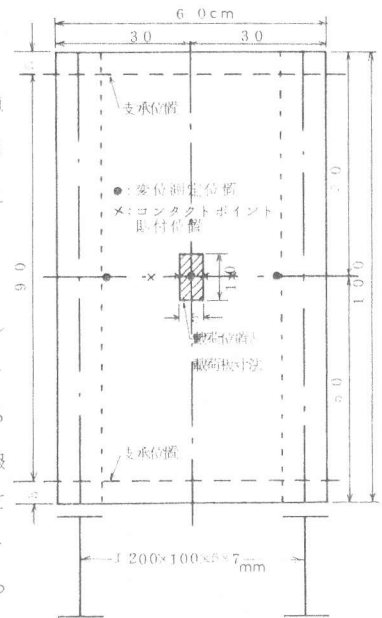


図-2 床版支保位置

ートの曲げ強度とケミカルプレストレスからひびわれの発生を弾性理論によつて推定してみたが、上述の推定方法による場合よりも推定精度はよくないようである。特に鋼繊維を混入するとその傾向が著しい。ひびわれ耐力に関して各種コンクリートを比較すると、鋼繊維なしの場合では単位膨張材量 70kg/m^3 まででは、膨張材量が多いとひびわれ耐力は増加

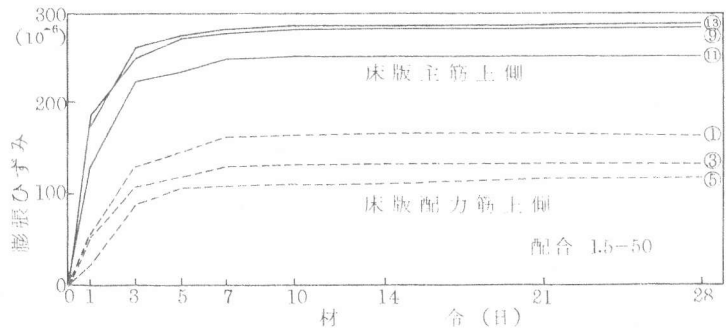


図-3 床版の主筋ならびに配力筋の膨張ひずみの一例

し、膨張材量 70kg/m^3 のときは普通コンクリートより5割程度大きくなる。鋼繊維を1.5%混入した場合はさらにひびわれ耐力は増加し、膨張材量 70kg/m^3 のときは普通コンクリートよりも7割程度の増加が得られている。つぎに主筋と直角方向に入つたひびわれの中について考察する。ひびわれ巾の測定は床版中央部に主筋方向に6cm間隔にコンタクトポイントを貼付して、そのひずみから算定した。測定結果を図-6に示す。荷重-ひびわれ巾の関係を同一荷重で比較すると、膨張材量が 70kg/m^3

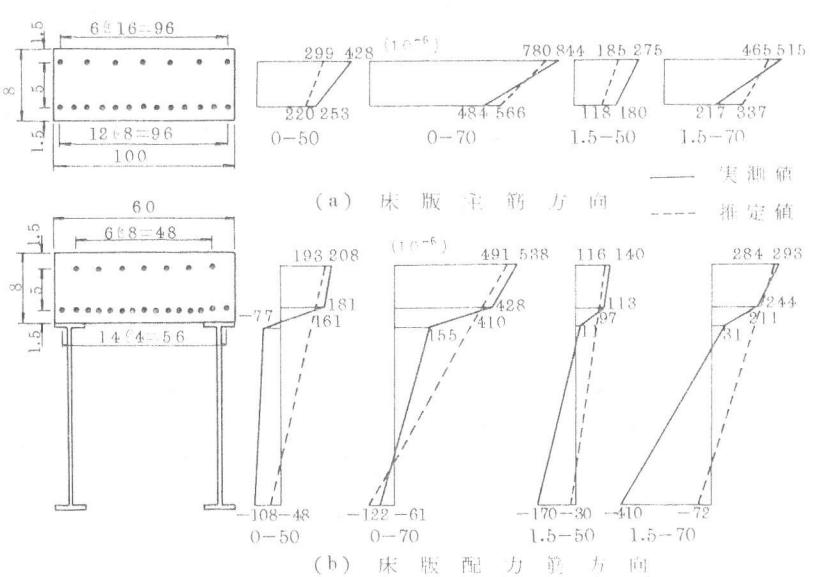


図-4 床版の主筋および配力筋の膨張分布

以内では膨張材量が多いほどひびわれ巾は小さくなり、鋼繊維を混入することでさらに小さくなること明らかである。たとえば、膨張材量 70kg/m^3 、鋼繊維量1.5%の場合、普通コンクリートと同一荷重でひびわれ巾を比較すると約1/2程度になることが示された。表-3に同一ひびわれ巾に対する荷重を示している。膨張材量70

kg/m³，鋼繊維量1.5%のコンクリートは普通コンクリートと同一ひびわれ巾のとき1.4倍程度の荷重を担うことがわかる。

5、変形特性

床版中央位置の荷重-変形曲線を図-7に示す。ひびわれ発生前では各種床版のたわみ量はほとんど差がないが、ひびわれ発生後ではコンクリート種類が異なればたわみ量に差が生じている。膨張材量

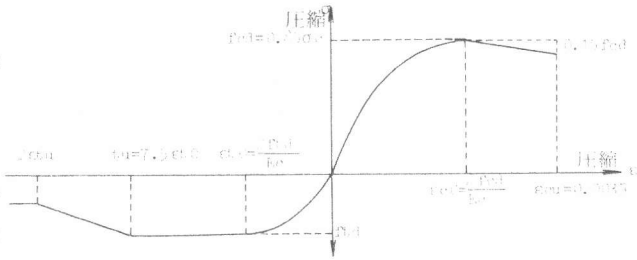


図-5 応力-ひずみ曲線

表-2 各種強度試験結果および床版のひびわれ発生モーメント

70kg/m³以内では膨張材量が多くなると同一荷重に対するたわみ量は小さくなり、たとえば、膨張材量が70kg/m³のときは普通コンクリートの7割程度になっている。鋼繊維を入れると、同一荷重に対するたわみ量はさらに小さくなり、鋼繊維1.5%、膨張材量70kg/m³入れたコンクリートのたわみ量は普通コンクリートとくらべて同一荷重に対して約5割程度になることがわかる。

コンクリート種類*	引張強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	曲げ強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 10 ⁵ (kgf/cm ²)	ケミカルプレストレス量 (kgf/cm ²)	ひびわれ発生 (t・mm)			M _y /M _p	M _x /M _s
						実測値	推定値	推定値		
0-0	441	3.7	53	2.33	0	0.55	0.67	0.62	0.82	0.89
0-50	408	3.6	57	2.23	13.0	0.64	0.90	0.77	0.71	0.83
0-70	404	3.6	57	1.98	24.5	0.83	1.07	0.93	0.78	0.89
1.5-0	515	4.0	95	2.40	0	0.64	1.20	0.65	0.53	0.98
1.5-50	464	3.8	128	2.50	9.5	0.83	1.73	0.76	0.48	1.09
1.5-70	439	3.7	132	2.40	10.0	0.92	1.80	0.75	0.51	1.23

* 例えは0-70は鋼繊維量0%、単位膨張材量70kg/m³を意味する。
 ** 床版主筋方向のコンクリート下縁のケミカルプレストレス量の実測値
 (1) PINJARKARの理論にもとづき計算した M=0.184P
 (2) 弾性理論により算定した M=(σ_s + σ_{ps})I_g/e
 (3) 図-5に示す応力-ひずみ関係を仮定して算定した。

したがって鋼繊維膨張コンクリートは普通コンクリートさらには膨張材あるいは鋼繊維を単独に入れたコンクリートよりも変形特性はかなり改善され、ひびわれ発生後の剛性の低下割合も小さいと言える。

6. 終局耐力

床版の破壊試験結果を写真-1に示す。全ての床版について、ひびわれは最初荷重直下に生じ、荷重の増加とともに数多くのひびわれが放射状に発展した。最大荷重に達すると床版主筋と直角方向に曲げひびわれが版全体に発達し、それとほとんど同時に押ぬきせん断破壊が生じる場合と、曲げひびわれの

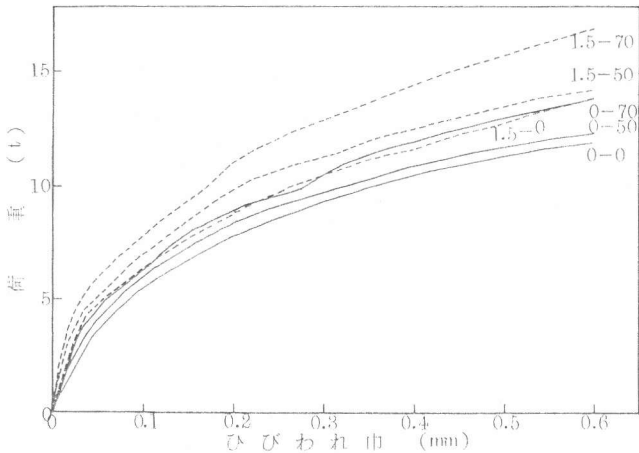


図-6 荷重-ひびわれ曲線

進展はそれほどもなく、突然押ぬきせん断破壊が生じる場合の2通りが認められた。前者は鋼繊維を入れた床版に見られ、後者は鋼繊維を入れてない場合に見受けられた。押ぬきせん断耐力は膨張材量が70kg/m³の範囲では膨張材量が多いと大きくなっている。膨張材を70kg/m³入れると普通コンクリートと比較して押ぬきせん断耐力は1割程度大きくなった。鋼繊維を1.5%入れると押ぬきせん断耐力はさらに増加し、その増加分は膨張材量が同一のコンクリート間で比較すると、いずれの場合も約4.5t程度であった。膨張材量70kg/m³、鋼繊維1.5%入りのコンクリートは普通コンクリートより約4割程度押ぬきせん断耐力が増大している。表-4にはそれぞれの床版の押ぬきせん断耐力等の実測値と推定値を示して

表-3 ひびわれ進展荷重(t)

コンクリート種類	ひびわれ巾(mm)		
	0.1	0.2	0.3
0-0	5.5	7.6	9.5
0-50	5.9	8.1	9.7
0-70	6.2	8.8	10.3
1.5-0	6.2	8.5	10.3
1.5-50	6.9	10.0	11.4
1.5-70	7.6	10.7	12.9

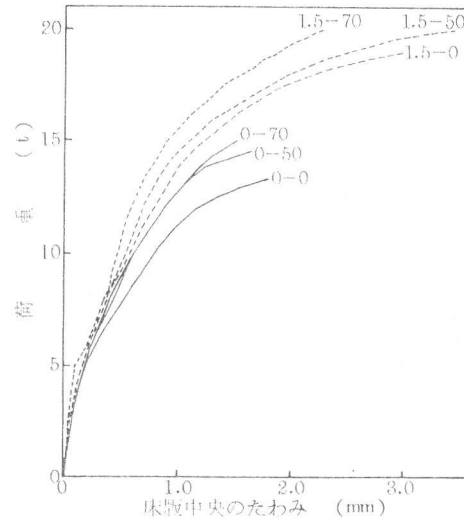
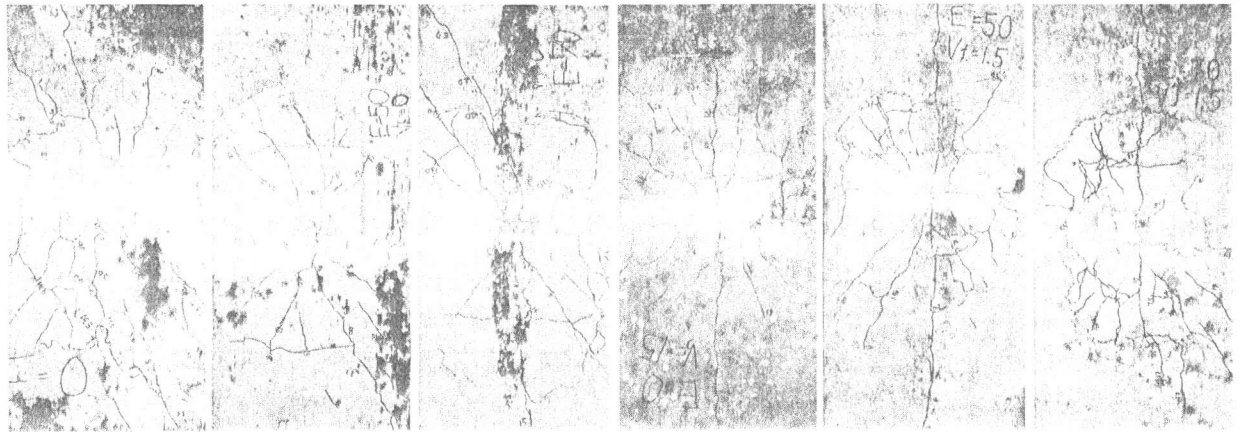


図-7 荷重-たわみ曲線



F=0, E=0 F=0, E=50 F=0, E=70 F=1.5, E=0 F=1.5, E=50 F=1.5, E=70

写真-1 床版破壊試験結果

いる。また、表には押ぬきせん断表面積を実測して、その値で終局耐力値を除いた値を示している。その値を単位面積当りの押ぬき強度と仮に呼ぶことにする。これらの値は鋼繊維を入れないコンクリートでは13~14kg/cm²とほぼ一定であり、鋼繊維を入れるといずれも17kg/cm²程度であつた。したがつて鋼繊維を入れない場合で、膨張材量が多くなると押ぬきせん断耐力が増加するのは押ぬき面積が大きくなることにあると考えられる。また1.5%の鋼繊維は単位面積当りの押ぬきせん断強度を約3kg/cm²程度増大させることになる。床版の押ぬきせん断耐力の推定に関してはまだ確立された理論はないと考えられるが、ここではこれまで報告されている⁴⁾Moe, ⁵⁾Hawkins および角田の提案式によつて推定を試みた。また、曲げ終局耐力に関しては2対辺単純支持の床版として降伏線理論で算定した。なお鋼繊維コンクリートに対しては⁷⁾Henagar と⁸⁾高木の提案式で算定した。表-4より鋼繊維が入っていないコンクリート床版では押ぬきせん断耐力は角田の値が実測値とよく一致しているようである。鋼繊維コンクリート床版では押ぬきせん断破壊と曲げ破壊とがほぼ同時に生じる様相であつたので高木の曲げ耐力式によつてよく推定できるようである。しかしながら、床版の終局耐力の推定に関しては今後さらに検討しなければならないと考えている。

表-4 床版の終局耐力試験結果

コンクリート種類	終局耐力実測値(t)	単位面積当り押ぬき強度(kgf/cm ²)	押ぬきせん断耐力(t)			曲げ破壊耐力(t)		
			Moe	角田	Hawkins	降伏線理論	高木	Henager
0-0	14.5	14.6	10.4	14.1	7.6	15.0	—	—
0-50	15.4	13.7	10.1	13.9	9.1	15.0	—	—
0-70	16.0	13.1	10.1	13.8	10.5	15.0	—	—
1.5-0	19.0	17.0	11.0	14.6	8.2	15.0	19.5	24.9
1.5-50	20.0	17.3	10.6	14.3	9.1	15.0	19.4	24.3
1.5-70	20.0	16.0	10.4	14.1	9.5	15.0	19.4	24.0

7、あとがき

コンクリート鋼合成床版の力学的特性は鋼繊維の混入とその上に膨張材の混入によつて相乗的に改善されることが明らかになつた。たとえば鋼繊維1.5%、膨張材量70kg/m³のコンクリート床版は普通コンクリート床版と比較して、初期ひびわれ耐力は約1.7倍、同一荷重に対してひびわれ巾は約1/2、たわみ量は約1/2、さらに終局耐力は約1.4倍になる。本研究は文部省科学研究費(56550331)によつて行なつた。付記して深謝します。

参考文献

- 1) 辻, 岡村: コンクリート工学, Vol.20, No.2, Feb.1982
- 2) S.G. pinjarkar: Jour. of ACI, Sept. 1973
- 3) 児島, 阪, 前岡: 第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集, 1981
- 4) J. Moe: Development Rep. Bulletin, D47. PCA, 1961
- 5) N.M. Hawkins: Proc. ASCE, Jour. ST8, 8, 1974
- 6) 角田: 土木学会論文報告集, No. 229, Sept. 1974
- 7) C. H. Henager: Proc. ASCE, Vol. 102, No. ST1, Jan. 1976
- 8) 高木: Jour. of AIJ, No. 251, Jan. 1977