

鋼纖維補強コンクリートのひびわれ拘束性能

Crack Crac Crack Arrest Ability of Steel Fiber Reinforced Concrete

趙 力采*・小林一輔*

Ryokche CHO and Kazusuke KOBAYASHI

1. はしがき

著者らは前報において、両引き方法による鉄筋の付着試験を応用した鋼纖維補強コンクリートのひびわれ拘束性能の実用的な試験方法を提案した。本文は鋼纖維補強コンクリートのひびわれ拘束性能、すなわちひびわれ発生に対する抵抗度とひびわれの拡大に対する抵抗度の評価方法を定義するとともに、それらに及ぼす鋼纖維の長さ、種類及び混入率の影響ならびにコンクリートマトリックスの細骨材率、粗骨材最大寸法と水セメント比の影響を上記の試験方法を用いて明らかにしたものである。

2. 実験の概要

鋼纖維補強コンクリートのひびわれ拘束性能に及ぼす鋼纖維の諸要因の検討は水セメント比(50%)、細骨材率(60%)及び粗骨材最大寸法(10mm)を一定としたコンクリートマトリックス中に、表1に示すような形状

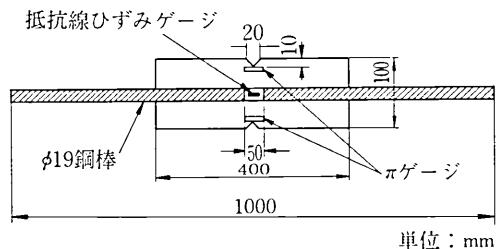
表1 鋼纖維の形状特性

種類	記号	寸法(mm)
せん断ファイバー	A	0.5×0.5×20 0.5×0.5×30 0.5×0.5×40
	B	0.5×0.6×30
	C	波形×25
イカヤツトワ	D	Ø 0.25×15 Ø 0.25×20 Ø 0.25×30

寸法の異なる鋼纖維をそれぞれ1.0%と1.5%混入したものを用いた。すなわち、鋼纖維の長さの影響の検討には、AとDの纖維を用い、纖維混入率の影響については断面寸法が0.5×0.5×30mmのせん断ファイバー(A)を用いた。さらに鋼纖維の種類の影響の検討には、B(矩形)とC(波形)の鋼纖維を用いた。一方、ひびわれ拘束性能に及ぼすコンクリートマトリックスの影響の検討は、いずれの場合も0.5×0.5×30mmのせん断ファイバー(A)を用いて行った。すなわち、細骨材率(s/a)の影響の検討は、纖維混入率($V_f = 1.5\%$)と水セメント比(50%)及び粗骨材最大寸法(10mm)を一定とし、その値を60, 80及び100%に変化させ

て行い、粗骨材最大寸法の影響の検討は、水セメント比(50%)、細骨材率(60%)及び纖維混入率($V_f = 1\%$)をそれぞれ一定とし、その値を10, 15及び20mmに変化させて行った。また、水セメント比の影響については、粗骨材最大寸法(10mm)、細骨材率(60%)及び纖維混入率($V_f = 1\%$)をそれぞれ一定とし、その値を40及び60%に変化させて検討した。

両引き試験は上記のプレーン及び鋼纖維補強コンクリートを用いて製作した図1に示すような形状寸法の供試



単位:mm

図1 両引き試験供試体の形状寸法

体により材令2週で実施した。なお、鉄筋は直径が19mmの機械構造用棒鋼(S 53 C)をコンクリートとの付着を絶つ区間(5cm)を除きねじ切り断面(W 3/4")としたものを用いた。また、鉄筋の表面(コンクリートとの付着を絶った部分の中央)に抵抗線ひずみゲージを貼りつけて、引張荷重一ひずみ曲線を求め、切欠き部分にはπゲージを取りつけて引張荷重とひびわれ幅との関係を求めた。

3. 鋼纖維補強コンクリートのひびわれ拘束性能の評価方法

図2(a)は両引き試験によって得られるプレーン及び鋼纖維補強コンクリートの引張荷重と供試体切欠き部の位置における鉄筋のひずみとの関係を示し、図2(b)は同様に引張荷重とひびわれ幅との関係を示したものである。両引き試験結果を図のように表すことによって、鋼纖維補強コンクリートのひびわれ発生に対する抵抗度とひびわれの拡大に対する抵抗度を把握することができる。すなわち、著者らはひびわれ発生に対する抵抗度に関しては、プレーンコンクリートに対する鋼纖維補強コンクリートのひびわれ荷重の比(P_s / P_p)及びひびわれ時

* 東京大学生産技術研究所 第5部

研究速報

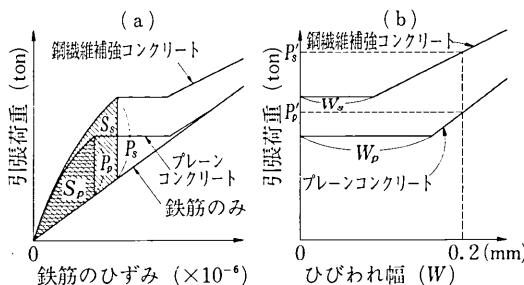


図2ひびわれ発生とひびわれ後の拡大に対する抵抗度の求め方

までの引張荷重一ひずみ曲線と鉄筋のみのひずみ曲線によって囲まれた面積の比(S_s/S_p)、すなわちエネルギー比の二つによって評価することにした(図2(a)参照)。一方、ひびわれの拡大に対する抵抗度に関しては、ひびわれ荷重時に拡大するひびわれ幅の比、すなわちひびわれ拘束比(W_p/W_s)ならびにひびわれ幅が所定値(ここでは0.2 mm)に達したときの荷重比(P'_s/P'_p)、の二つによって評価することにした(図2(b)参照)。

本方法により、鋼纖維補強コンクリートのひびわれ拘束性能に及ぼす諸要因の影響について検討した結果を以下に示す。

4. 鋼纖維補強コンクリートのひびわれ拘束性能

4.1 鋼纖維に関する諸要因の影響

1) 繊維混入率の影響 図3(a)と図3(b)は鋼纖維補強コンクリートのひびわれ発生に対する抵抗度、すなわちひびわれ荷重比(P_s/P_p)とエネルギー比(S_s/S_p)に及ぼす繊維混入率の影響を示したものである。これらの図より明らかなことは、1) ひびわれ荷重比は繊維混入率の増加に従いほぼ直線的に増大する、2) エネルギー比も同様に繊維混入率とともに増加するが、その増加率はひびわれ荷重比の場合に比して大きいことなどである。エネルギー比がひびわれ荷重比の場合よりも大きくなる理由は繊維混入率が増すとともにひびわれ発生までの

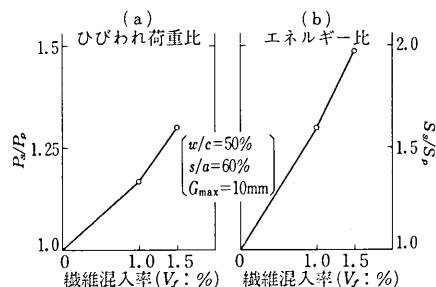


図3 ひびわれ発生に対する抵抗度に及ぼす繊維混入率の影響

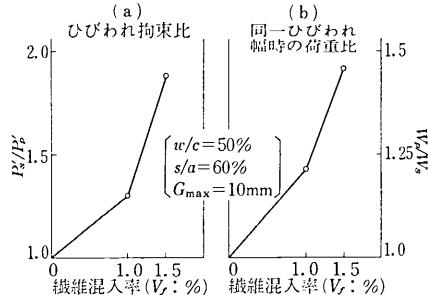


図4 ひびわれの拡大に対する抵抗度に及ぼす繊維混入率の影響

引張荷重一ひずみ曲線の非線形部分が多くなり、みかけの塑性挙動を示すようになるためである。一方、図4(a)と図4(b)はひびわれの拡大に対する抵抗度、すなわちひびわれ発生時のひびわれ拘束比(W_p/W_s)と同一ひびわれ幅時の荷重比(P'_s/P'_p)に及ぼす繊維混入率の影響を示したものである。これらの図より、 W_p/W_s と P'_s/P'_p はいずれの場合も繊維混入率が大きくなるに従って増大し、繊維混入率が1.5%の W_p/W_s はプレーンコンクリートの約2倍の値となっていることがわかる。以上の結果は繊維混入率が鋼纖維補強コンクリートのひびわれ拘束性能に対する支配要因となっていることを示すものである。

2) 鋼纖維の形状寸法の影響 図5(a)と図5(b)はひびわれ発生に対する抵抗度、すなわちひびわれ荷重比とエネルギー比に及ぼす繊維の長さの影響をそれぞれ2種類の繊維について示したものである。これらの図から明らかなことは、繊維の直径が一定の場合、1) いずれの繊維を用いたものも、その長さはひびわれ荷重比に影響を及ぼさない、2) エネルギー比は用いる繊維が長くなるに従って若干増加する傾向を示すことなどである。1)の結果は鋼纖維補強コンクリートの引張強度が同一直径の鋼纖維を用いた場合、その長さまたはアスペクト比に影響されないとする繊維間隔説の考え方の妥当性を

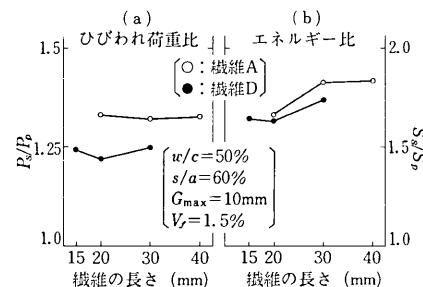


図5 ひびわれ発生に対する抵抗度に及ぼす繊維の長さの影響

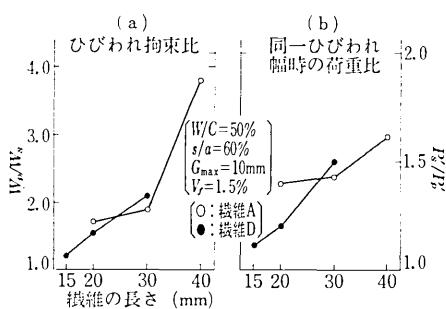


図6 ひびわれの拡大に対する抵抗度に及ぼす纖維の長さの影響

示唆するものである。一方、図6(a)と図6(b)はひびわれの拡大に対する抵抗度、すなわちひびわれ拘束比と同一ひびわれ幅時の荷重比に及ぼす纖維の長さの影響を示したものである。これらの図より、 W_p/W_s と P'_s/P'_p はいずれの場合も用いる纖維の長さが長くなるに従って増大することがわかる。以上のことより、鋼纖維の長さはひびわれ発生に対する抵抗度にはほとんど影響を及ぼさないが、ひびわれの拡大に対する抵抗度を支配する要因の一つであることが明らかである。

3) 鋼纖維の種類の影響 図7(a)と図7(b)ならび

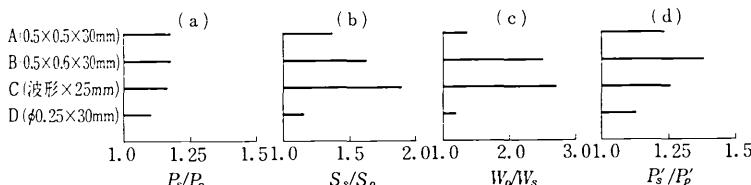


図7 ひびわれ拘束性能に及ぼす鋼纖維の種類の影響

に図7(c)と図7(d)はそれぞれ鋼纖維補強コンクリートのひびわれ発生に対する抵抗度とひびわれの拡大に対する抵抗度に及ぼす鋼纖維の種類(せん断ファイバーとカットワイヤー)の影響を示したものである。これらの図から明らかなことは、1) カットワイヤーを除いて、纖維の種類はひびわれ荷重比にあまり影響を及ぼさない(図a), 2) エネルギー比はカットワイヤーに比し、せん断ファイバーを用いたものが著しく大きくなる(図b), 3) ひびわれ拘束比はカットワイヤーの場合プレーンコンクリートと大差がないが、せん断ファイバーの場合には著しく大きくなっている(図c), 4) 同一ひびわれ幅時の荷重比も同様にせん断ファイバーが著しく大きい(図d)ことなどである。以上の結果より、せん断ファイバーはカットワイヤーに比し、ひびわれ発生と拡大に対する抵抗度のいずれも著しく大きいことが明らかである。

4・2 コンクリートマトリックスの影響

1) 細骨材率の影響 図8(a)と図8(b)はひびわれ

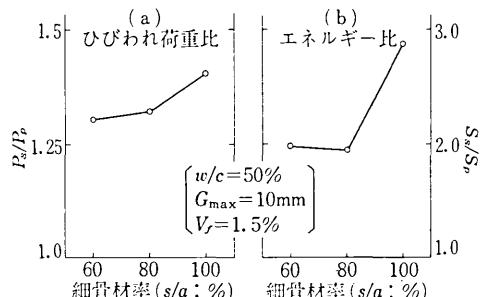


図8 ひびわれ発生に対する抵抗度に及ぼす細骨材率の影響

発生に対する抵抗度、すなわちひびわれ荷重比(P'_s/P'_p)とエネルギー比(S_s/S_p)に及ぼす細骨材率(s/a)の影響を示したものである。これらの図より、ひびわれ荷重比とエネルギー比は s/a が 60 と 80 % に比して、100 % の場合、すなわちモルタルマトリックスがいずれの場合も著しく増大することが明らかである。一方、図9(a)と図9(b)はひびわれの拡大に対する抵抗度に及ぼす細骨材率の影響を示したものである。図より、ひびわれ発生時のひびわれ拘束比(W_p/W_s)と同一ひびわれ幅時の荷重比(P'_s/P'_p)は、 s/a が 60 と 80 % では大差がないのに對して、 s/a が 100 %、すなわちモルタルマトリックスの場合、いずれも著しく増大することがわかる。これらの結果は、モルタルマトリックスがコンクリートに比して、纖維との付着強さが大きいことにより、ひびわれ発生時まではその荷重ならびにみかけの塑性域が増大し、ひびわれ後は纖維のマトリックスからの引抜け抵抗が増大するためと考えられる。

2) 粗骨材最大寸法の影響 図10(a)と図10(b)はひびわれ発生に対する抵抗度、すなわちひびわれ荷重比とエネルギー比に及ぼす粗骨材最大寸法の影響を示したものである。これらの図より、1) ひびわれ荷重比は粗骨材の寸法とともに若干低下する、2) エネルギー比は粗骨材の寸法が大きくなるに従って増大することがわかる。一方、図11(a)と図11(b)はひびわれの拡大に対する抵抗度に及ぼす粗骨材最大寸法の影響を示したものである。これらの図より、粗骨材の最大寸法が大きくなるに従って、1) ひびわれ拘束比は著しく増大する、2) 同

研究速報

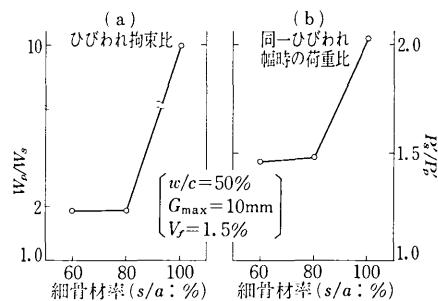


図9 ひびわれの拡大に対する抵抗度に及ぼす細骨材率の影響

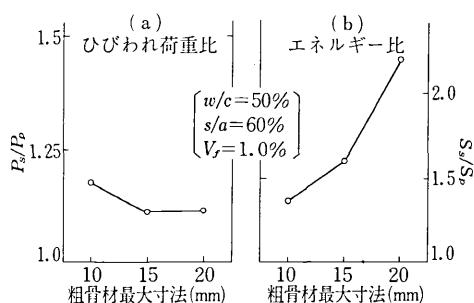


図10 ひびわれ発生に対する抵抗度に及ぼす粗骨材最大寸法の影響

一ひびわれ幅時の荷重比は若干増大することなどがわかる。ひびわれ荷重比における関係は、一般に、用いる粗骨材寸法が大きくなるに従って纖維の分散状態がわるくなるという既往の事実に帰因するものである。エネルギー比、ひびわれ拘束比及び同一ひびわれ幅時の荷重比が粗骨材の寸法とともに増大する理由は明確ではないが、粗骨材自体のひびわれ拘束体としての役割と纖維との相互作用などが一要因と考えられる。

3) 水セメントの影響 図12(a)と(b)はそれぞれ

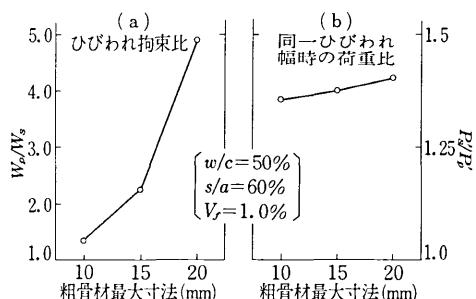


図11 ひびわれの拡大に対する抵抗度に及ぼす粗骨材最大寸法の影響

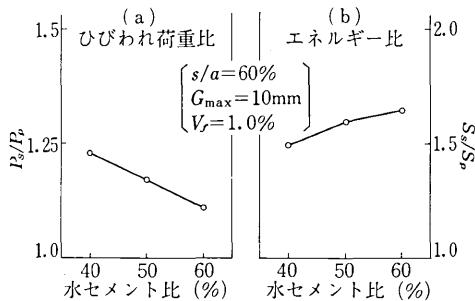


図12 ひびわれ発生に対する抵抗度に及ぼす水セメント比の影響

ひびわれ荷重比及びエネルギー比に及ぼす水セメント比の影響を示したものである。これらの図より明らかなことは、1) ひびわれ荷重比は水セメント比が小さくなるに従って、ほぼ直線的に増加する、2) エネルギー比は水セメントが大きくなるにつれて増大することなどである。前者の理由は水セメント比の減少に従ってマトリックスと鋼纖維との付着強さが増すことによるものであり、後者はマトリックスの水セメント比が大きくなるに従って、その変形能、すなわち伸び能力が増大するためと考えられる。図13(a)と図13(b)はひびわれの拡大に対

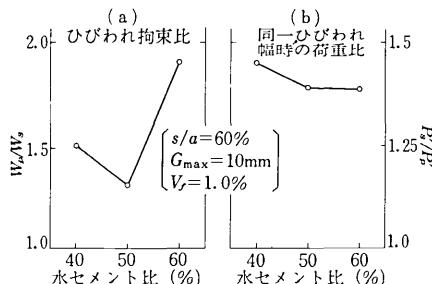


図13 ひびわれの拡大に対する抵抗度に及ぼす水セメント比の影響

する抵抗度に及ぼす水セメント比の影響を示したものである。これらの図より、1) ひびわれ拘束比は水セメント比が大きいものほど大となる傾向を示す、2) 同一ひびわれ幅時の荷重比は水セメントが太くなるにつれて若干低くなることなどがわかる。1) の傾向は水セメントが大きくなると、そのエネルギー吸収能が大きくなり、ひびわれ発生時の急激な拡大が小さくなるためであり、2) の傾向はマトリックスと鋼纖維との付着強さの差によるものと考えられる。

最後に本研究の実施にあたり、鋼纖維を提供していただいた新日本製鉄(株)、川崎製鉄(株)ならびに住友金属工業(株)に深謝する。
(1978年3月2日受理)