

I-61

空き缶スチールファイバーを用いたコンクリート強度試験

北海道開発局開発土木研究所	正 員	池 田 憲 二
同 上	○正 員	逢 坂 秀 俊
同 上	正 員	西 村 克 弘
北海道開発局稚内開発建設部		佐々木 康 博
(株)地崎工業		長 町 泰 雄

はじめに

鋼繊維補強コンクリート(SFRC)は、不連続な鋼繊維をコンクリート中に広範囲に分散・混入させることで、引張や曲げ強度、ひび割れに対する抵抗性、靱性、せん断強度、耐衝撃性の改善を図ったもので、現在、トンネルのライニングや法面保護工、道路舗装や橋梁床版などの各種補修に使用されている¹⁾。

今回、平成9年度に引き続きリサイクル品として分別収集された回収率の高い空き缶(スチール)のファイバーを使い²⁾、落石防護擁壁等表-1に示すコンクリート配合を対象として耐久性向上のため実施した各種コンクリート強度試験結果を述べる。なお、既設擁壁背後にプレキャスト版として配置した場合の適用性についても基礎的な検討を行っている。

報文は、静的な荷重載荷試験で得られた市販の生コンクリートの円柱、角柱供試体(表-1のC-4、C-10の圧縮、曲げ試験)及び版供試体(RC-4の曲げ試験)の変形計測結果で構成している。

1 試験材料と供試体

試験は、購入生コンクリート(普通ポルトランドセメント)を使い、重力式擁壁等の無筋構造物(C-4)、ブロック擁壁等の胴込め・裏込めコンクリート(C-10)及びRC構造物の版構造物(RC-4)を対象としてファイバーを混入した。今回の試験で使用した空き缶は、スチール缶(通常のコーヒーやジュース缶)でありファイバー寸法は幅3~5mm程度、厚さ0.3mm、長さ約100mmに裁断したものである。空き缶は洗浄後に縦方向に裁断しているため、両端フック付きで幅、長さ寸法は、機械裁断に頼っているため幅はこれ以上小さくできない。また缶の表面処理は、メーカーにより多少内容は違うようであるが保護皮膜としてクロム酸化物を塗布したあとに薄いニッケルメッキを施し、外面塗装はエポキシフェノールかビニール系を使用している。

表-1 コンクリートの配合

対象構造物の種類と記号	設計基準強度(N/mm ²)	粗骨材の最大寸法(mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
					W	C	S	G	混和剤
無筋構造物 C-4	18	40	53.5	38.6~48.6	149~184	279~344	729~847	801~1,178	0.126~0.155
胴込・裏込 C-10	18	20~25	54.8	46.9~54.9	167~195	305~342	847~926	774~921	0.137~0.160
スラブ橋等 RC-4	24	20~25	51.5	40.0	151	294	747	1,115	0.0514

Strength Test of Concrete Mixed with Can Steel Fiber.

by Kenji IKEDA, Hidetoshi OSAKA, Katuhiro NISIMURA, Yasuhiro SASAKI, Yasuo NAGAMATI

写-1に空き缶スチール材料を示す。C-4、C-10の2種類のコンクリートに混入する空き缶ファイバーは、鋼繊維補強コンクリート設計施工指針（案）によると一般に0.5～2.0%の範囲（約40～160kg/m³）にあることから、ブレンコンクリートの0%、0.5%（40kg/m³）、0.75%（60kg/m³）、1.0%（80kg/m³）、1.25%（100kg/m³）の5ケースと定めた。供試体は、曲げ試験用の15cm×15cm×53cmの角柱供試体と圧縮強度試験用の円柱供試体（φ15cm×H30cm）をファイバー混入率を替えて各々3個製作した。RC-4は、ブレンコンクリートの0%、コンクリート打設時に版中間にファイバーを1kg/m²を挟んだもの、混入率1.0%（80kg/m³）の3ケースで、無筋の版供試体を曲げ試験用として1000mm×1000mm×100mmで各1体製作した。表-2に供試体の一覧と、図-1にRC-4の版供試体寸法を示す。



写-1 空き缶スチール材料

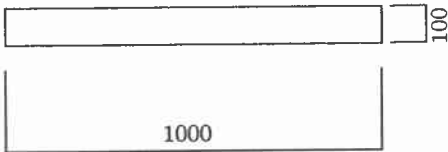
表-2 試験ケースの供試体製作個数一覧

対象構造物の 種別と記号	ファイバー混入率（％）						供試体 個数計
	0	0.5	0.75	1.0	1.25		
無筋構造物 C-4	圧縮 3	圧縮 3	圧縮 3	圧縮 3	圧縮 3	圧縮 3	圧縮 15
	曲げ 3	曲げ 3	曲げ 3	曲げ 3	曲げ 3	曲げ 3	曲げ 15
胴込・裏込 C-10	圧縮 3	圧縮 3	圧縮 3	圧縮 3	圧縮 3	圧縮 3	圧縮 15
	曲げ 3	曲げ 3	曲げ 3	曲げ 3	曲げ 3	曲げ 3	曲げ 15
スラブ橋等 RC-4	—	—	—	—	—	—	—
	曲げ 1	—	—	曲げ 1	—	—	曲げ 2

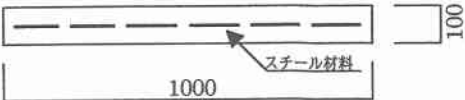
※RC-4は版中間にファイバーを1kg/m²を挟んだものが外に1個

2 強度試験方法

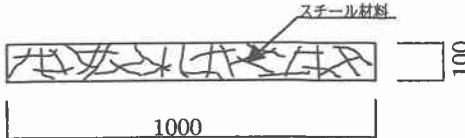
C-4、C-10の供試体はコンクリート打設後1日で脱型、標準養生28日後に圧縮及び曲げ強度試験を実施した。また、RC-4の版供試体は、コンクリート打設後



供試体1 ブレンコンクリート



供試体2 中間に空き缶スチールを1kg/m²挟み込んだもの



供試体3 空き缶スチールを80kg/m³混入したもの

図-1 版供試体（1000mm×1000mm×100mm）

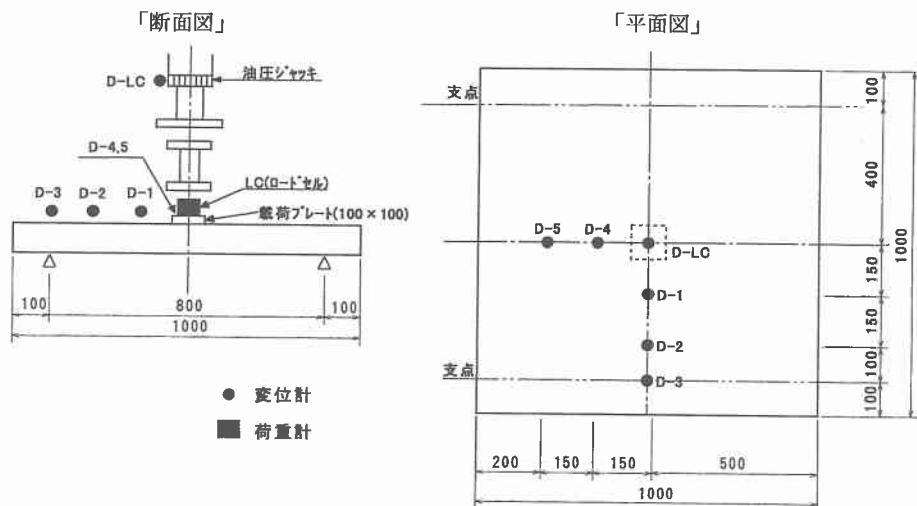


図-2 変位計取付位置図 (単位mm)

1日以外側型枠のみ脱型、28日間養生したのち最後に底型枠を脱型して載荷試験を行った。C-4、C-10供試体の圧縮及び曲げ強度試験は、鋼繊維補強コンクリート設計施工指針(案)に準拠しているため装置等の詳細は省略する。版の曲げ試験は、供試体を純スパン800mmで単純支持して、図-2のように版中央に油圧ジャッキと荷重計を配置、載荷している。試験の際使用した変位計は、記号がD-LCがワイヤ式、D-1～D-5がレーザー式変位計である。

3 実験結果と考察

市販の生コンクリートを用いたファイバー混入率と圧縮強度の関係を図-3に示す。円柱供試体 ($H/D=2$) の場合、プレーンコンクリートに比べ混入率が0.75%以上で強度が若干減少する傾向が認められた。その要因の一つに粗骨材寸法の影響が考えられる。最大粗骨材寸法の大きいC-10 (40mm) より、小さなC-10 (20～25mm) の方が強度低下が大きいとその低下は約1割程度あり、設計基準強度 (C-4、C-10→ 18N/mm^2) は十分に越えている。

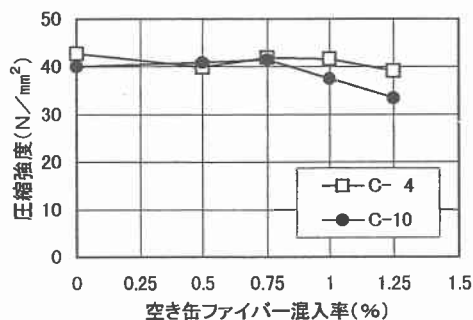


図-3 混入率と圧縮強度の関係

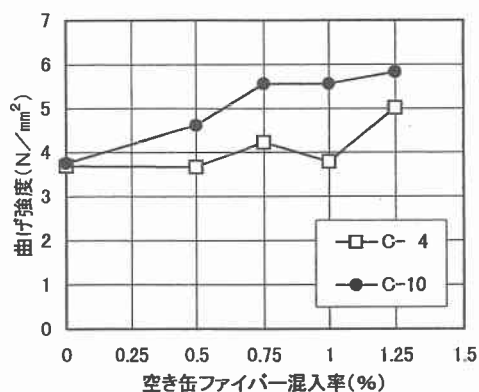


図-4 混入率と曲げ強度の関係

曲げ強度がファイバー混入率により大きく影響を受けることを明らかにしたのが図-4である。同図から、C-4の場合は混入率が1%以上で曲げ強度が増加する傾向が見られた。

C-10は混入率の増加に伴い曲げ強度も一定の割合で増加傾向を示すが混入率が0.75%を越えた段階から増加しない傾向が見られる。ただC-4の場合、骨材が40mmと大きい場合モルタル量が少なく空き缶ファイバーとの絡みが十分に取れないうえ、骨材の影響でファイバーの向きがバラツキ曲げ強度に影響が出ているものと考えられる。図-5にファイバー混入率と曲げ靱性係数（曲げタフネス）の関係を示す。通常は混入率に比例して靱性係数も大きくなるとされるが、C-4、C-10から、その傾向は認められない。

SFR Cは、種々ある既存のスチールファイバーから、曲げ強度と曲げ靱性係数の評価に規定を設けている。それはファイバーの品質が劣った場合、曲げ強度が大きくても比例して曲げ靱性係数は大きくならないとされるが図-6にその傾向を示す。同図は、曲げ耐力すなわち曲げ靱性係数が図-5のファイバー混入率の関係から比例関係にないため不連続となっているが、曲げ強度と相対関係にあることが認められる。なお、図-6からプレーンコンクリートは除いている。

試験終了後の版供試体底版状況を写-2に示す。空き缶ファイバーが版全体に満遍無く混入していることから亀裂が或る程度抑制されていることがわかる。

版供試体（RC-4）の荷重-変位曲線を図-7に示す。同図は、支点の離れからの位置の変位計（D-LC、1、2、3）挙動を実線で、載荷点位置手前の変位計（D-4、5）挙動を破線で示す。最上段の供試体1の図は、荷重が降伏点を過ぎると、そのまま一気に破壊から破断に至る性状を示すのに対し、中段の供試体2の図は、降伏荷重までプレーンコンクリート（以下、PL）と同様の傾向を示すが降伏点に至る過程で前者に比べ多少の荷重と変位の増加が認められるうえ、降伏点を過ぎて一時的に荷重は減少するがその後はファイバーとコンクリートの付着力が続く限り一気に破断には至らない現象を示す。下段の供試体3の図は、降

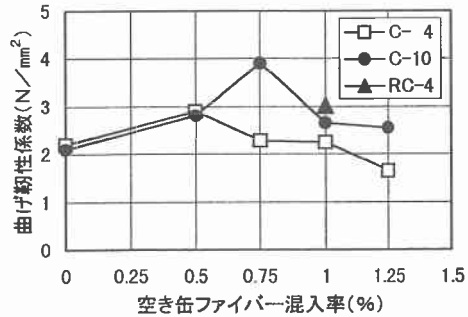


図-5 混入率と曲げ靱性係数の関係

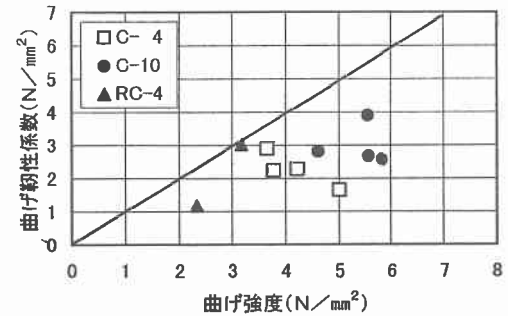
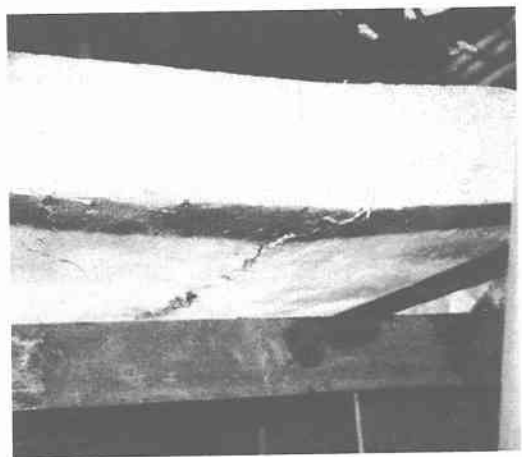


図-6 曲げ強度と曲げ靱性係数の関係



写-2 版供試体の曲げ試験直後

伏点に至るまで極めて大きな荷重増加が認められるうへ、降伏点を過ぎて急激な荷重減少はなく、保有する耐力すなわち靱性が大きいことが認められる。また、荷重が段階的に落ちた後でもファイバーとコンクリートの付着力により、序々にファイバーが破断されるため荷重が持続して変位が波打つ現象（幾つもの山が出来る）が見られる。

これらの最大荷重をPLの最大荷重との比で表すと、供試体2では1.04、供試体3では1.41となる。

また、版中心点位置（D-LC）の最大変位をPLの最大変位との比で表すと、供試体2で4.70、供試体3で6.94の結果を得た。この値は、試験の際に描かれる荷重－変位のループ線のそれぞれのピーク値であり包括する版全体の耐力では無いが、最大荷重はその供試体の限界状態を示しているのに対し、最大変位は曲げ破壊後（急激な荷重減少）の持続性を示す指標と云える。

まとめ

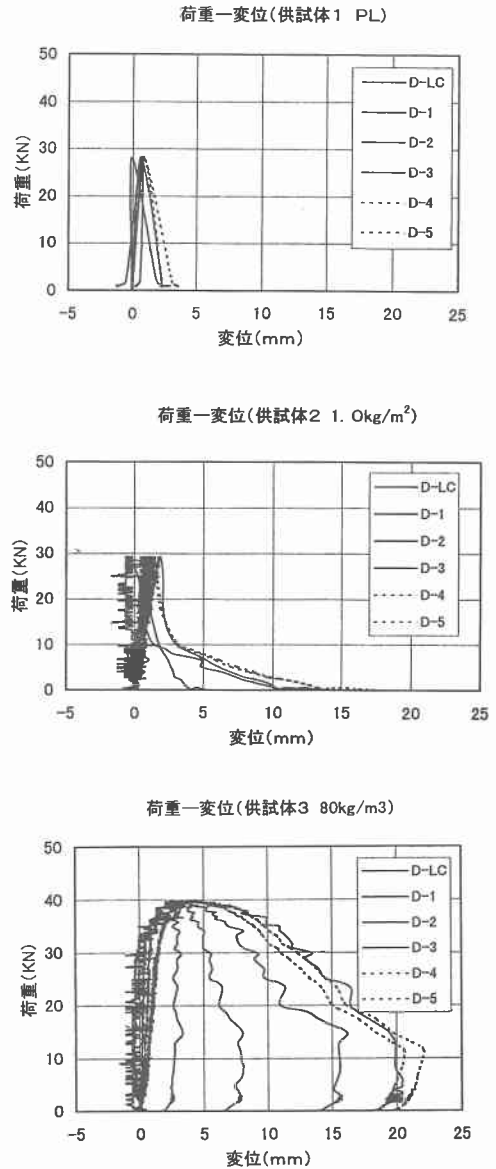
今回、空き缶（スチール）ファイバーを用いたコンクリート供試体（円柱、角柱、版）の圧縮、曲げ試験を室内で行った結果、以下のことが明らかとなった。

1）市販の生コンクリートによるファイバー混入率と圧縮強度の関係は、骨材が変わっても（C-4は最大粗骨材寸法40mm、C-10は最大粗骨材寸法20～25mm）混入率による強度低下の影響は小さいが、混入率が0.75%以上のC-10で若干減少傾向（約1割）が見られた。

2）1)の生コンクリートによるファイバー混入率と曲げ強度の関係は、今回の試験範囲からバラツキはあるが概ね混入率が増すほど大きい傾向が見いだされた。ただし、曲げ靱性係数の明確な評価はできなかったが、曲げ強度が大きいからといって曲げ靱性係数が大きいとは限らないことから、曲げ強度と曲げ靱性係数双方の規定が必要ことが認められた。

3）版の曲げ試験は、梁の試験方法を準用して行なったが、荷重－変位の履歴曲線からファイバーは全体的に満遍なく混入することが必要で、中間にファイバーを挟んだ版に比べ全体に混入したものの方が、曲げ靱性係数（曲げタフネス）はかなり大きくしなやかであることが確認された。

今後においては、現在まだ空き缶ファイバーは機械裁断に頼るため幅3～5mm程度が限界である。実用化に向けては、より幅や長さの小さなファイバーの開発（空き缶シュレッダー等の開発）とファイバーの価格や施工性にも踏み込んだ検討を考えている。



図－7 版の荷重～変位曲線

参考文献

- 1) (社)土木学会：鋼繊維補強コンクリート設計施工指針(案)、pp1～76、pp124～131 (1983.4)
- 2) 佐々木康博、小林将、佐藤昌志、細川充：リサイクル品を用いたコンクリートの強度実験とその考察、土木学会北海道支部論文報告集 第54号(A), pp368～374
- 3) 北海道開発局開発土木研究所構造研究室：平成10年度コンクリート強度実験報告書
- 4) 北海道開発局開発土木研究所構造研究室：平成11年度スチール入りコンクリート靱性試験報告書