

(145) 繊維補強コンクリート(ポリオレフィン系)の基本性能について

日本道路公団 名古屋建設局 四日市工事事務所	伊藤 康幸
大成建設(株)名古屋支店	正会員 ○横田 和直
大成建設(株)技術研究所 土木研究部	岡本 修一
大成建設(株)土木設計第一部 橋梁設計室	正会員 藤井 祐紀

1. はじめに

現在、トンネル・橋梁などの構造物で鉄筋の腐食等に起因するコンクリートの剥落が問題となっている。そこで、その対応策の一つとして、繊維補強コンクリートの採用を検討した。繊維補強コンクリートは、以下に示す2タイプに大別することができる。

- ①繊維シートを貼付け補強するタイプ。
- ②繊維補強材をコンクリートに混入し、補強するタイプ。

繊維補強材としては、スチール系、炭素繊維系、アラミド系、ビニロン系、ポリオレフィン系、ガラス系等に分類することができる。

本稿では、②繊維補強材をコンクリートに混入し、補強するタイプの内、ポリオレフィン系の補強材を使用した場合の繊維補強コンクリートの力学特性、性状等の基本性能について、他の補強材料との比較を含めて報告する。

2. 実験目的

当該実験は、コンクリートの剥落防止のみに着目し、繊維補強コンクリートの有効性を確認するものである。コンクリートの剥落は、主に図-1に示すような過程で発生すると考えられる。

図-1より、コンクリートの剥落を防止するための対策としては、一般的に以下の3点が考えられる。

- ①鉄筋の腐食を抑制する。
- ②ひびわれを生じにくくさせる。→引張強度を向上させる。
- ③繰返し荷重による剥落抵抗性を向上させる。

上記のような特性を有するコンクリートとするため、繊維補強コンクリートを使用することとした。そして、繊維補強コンクリートの使用によって、上記の項目が改善され、どの程度、剥落防止に対して効果があるかを実験によって確認する。上記の内、②については、基本性能試験の引張強度試験で代用できるため、ここでは、①、③を中心に実験計画を立てた。

また、基本性能試験により、繊維補強コンクリートの基本性能を検証すると共に、実構造物への適用をも考慮して、コンクリート打設に対する施工性確認も実施することとした。

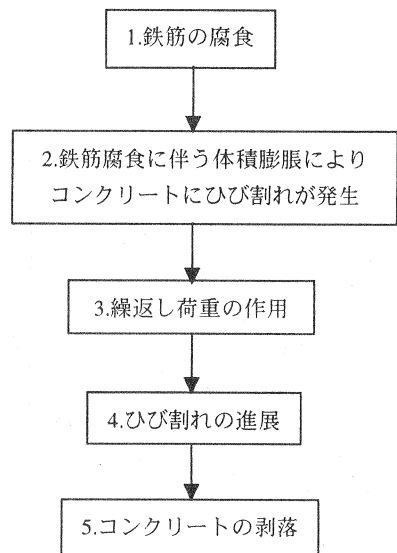


図-1 コンクリートの剥落過程

3. 実験概要

実験は、実構造物に対する施工性確認実験も含めて図-2に示すように4ステップとした。

【STEP 1】基本性能試験

目的：繊維補強コンクリートの基本的な力学特性を把握する。

引張強度の向上により、ひび割れの生じにくさを確認する。

- 内容：①圧縮試験  
 ②引張強度試験 (割裂試験)  
 ③曲げ試験  
 ④凍結融解試験+曲げ試験

**【STEP 2】 鉄筋腐食に対する抑制効果の確認実験**

目的：『コンクリート標準示方書 [平成 8 年制定] 施工編 土木学会』では、鉄筋腐食に対する耐久性は、コンクリートの表面ひび割れ幅に依存すると規定されている。そこで、曲げ試験によって、ひび割れ幅の抑制効果を確認する。

内容：はりの曲げ試験

**【STEP 3】 繰返し荷重に対する剥落抵抗性の確認実験**

目的：ひび割れ間の繊維の拘束効果による剥落に対する抵抗性を確認する。

内容：はりの曲げ疲労試験

**【STEP 4】 コンクリート打設に対する施工性の確認実験**

目的：実構造物への摘要を想定した試験体を用いて、コンクリートの打設に対する施工性を確認する。

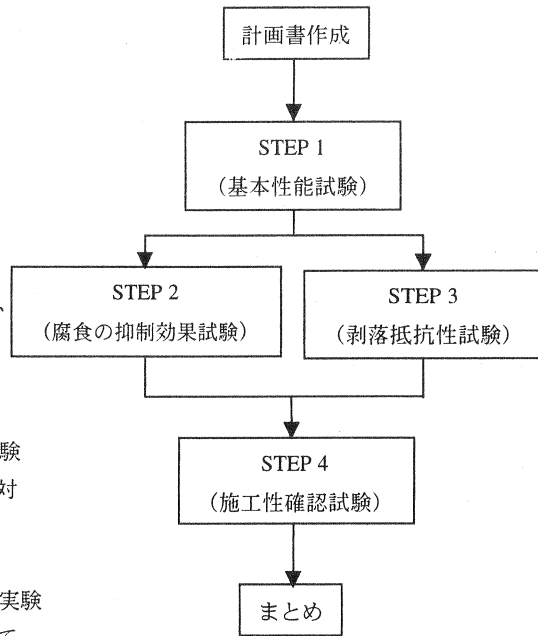


図-2 実験フロー

4. 基本性能試験【STEP 1】

(1) 試験概要

1) 試験ケース

STEP1 では、繊維補強コンクリートの基本的な強度特性を確認することを目的とした。試験は、表-1 に示すケースについて実施した。

表中の鋼繊維並びにビニロン繊維の混入率については、『建設物価：(財) 建設物価調査会』での標準価格を参考に、ポリオレフィン系の混入率 1.0% と同等の価格となるように各繊維の混入率を設定した。

2) 検討配合

今回の実験において使用したコンクリート配合の選定は、実構造物への適用を考慮して、市中の生コンプレットの『40-8-20H』を参考に、『鋼繊維補強コンクリート設計施工指針 (案) 土木学会コンクリート・ライブラリー 50 号』に準拠し、試験練りを実施した上で決定した。

基本的には、繊維混入後にも比較的容易に締め固めできるワーカビリティが得られるように、『40-8-20H』相当の配合の W/C を一定として s/a ならびに単位水量を調整した上で、高性能 AE 減水剤によりスランプを 18cm 程度まで増大させることとした。

表-1 試験ケース

ケース	繊維種別	繊維の比重	混入率 Vol. %	試験項目及び供試体本数			
				A	B	C	D
P	無混入	—	0.0	3	3	3	3
B-0.5	ポリオレフィン系	0.91	0.5	3	3	3	3
B-1.0			1.0	3	3	3	3
B-1.5			1.5	3	3	3	3
S	鋼繊維	7.85	0.65	3	3	3	3
V	ビニロン	1.3	0.75	3	3	3	3

ここで、A：圧縮タフネス

B：割裂引張

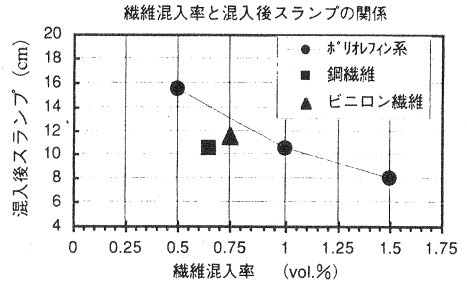
C：曲げタフネス

D：凍結融解+曲げタフネス

(2) 試験結果

1) フレッシュコンクリートの性状

繊維混入率と混入後のスランプ値の関係を図-3に示す。  
試験結果より、繊維の混入率を同等の単価となるように設定した場合、ポリオレフィン系、鋼繊維、ビニロン繊維のいずれのケースにおいても、繊維混入後のスランプは10cm程度となった。



2) 強度試験結果

表-2に、強度試験結果を示す。

表-2に示すように、繊維混入による強度特性の変状は特になかった。

図-4、-5に示すようにポリオレフィン系は、圧縮じん性においては、鋼繊維、ビニロンに優れるもの、曲げじん性においては、他の繊維に多少劣ることがわかった。

基本性能試験より、ポリオレフィン系の混入率1.5%は、基本性能の著しい向上が見られないため、以降の試験(ステップ)については、混入率の下限値を評価するため、混入率0.25%を検討することとした。

表-2 強度試験結果

ケース	繊維種別	混入率 Vol.%	試験項目及び試験結果						
			圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>	圧縮 じん性係数 N/mm <sup>2</sup>	静弾性係数 N/mm <sup>2</sup>	割裂 引張強度 N/mm <sup>2</sup>	曲げ強度 N/mm <sup>2</sup>	曲げ じん性係数 N/mm <sup>2</sup>	ホ <sup>○</sup> アン比
P	無混入	—	44.8	—	2.84×10 <sup>4</sup>	4.31	6.65	—	0.226
B-0.5	ポリオレ フィン系	0.5	45.6	10.5	2.99×10 <sup>4</sup>	4.23	7.37	5.45	0.226
B-1.0		1.0	46.2	11.29	3.15×10 <sup>4</sup>	4.09	6.45	4.87	0.237
B-1.5		1.5	46.8	16.92	3.07×10 <sup>4</sup>	4.29	6.74	7.20	0.223
S		鋼繊維	0.65	48.2	8.26	3.16×10 <sup>4</sup>	4.15	7.14	9.30
V	ビニロン	0.75	46.3	9.91	2.97×10 <sup>4</sup>	4.47	7.10	6.82	0.230

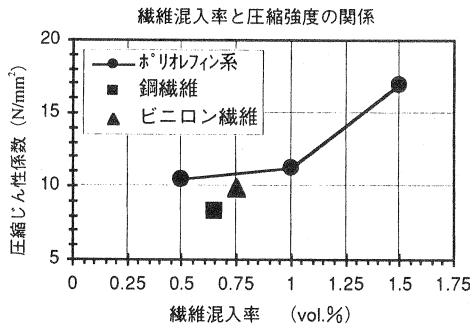


図-4 繊維混入率と圧縮じん性係数の関係

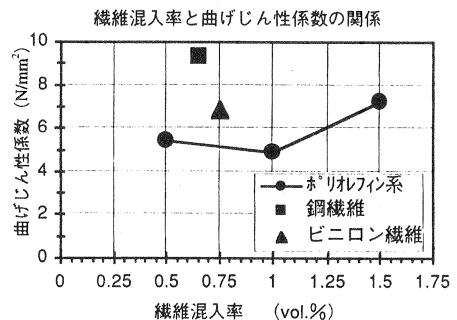


図-5 繊維混入率と曲げじん性係数の関係

5. 鉄筋腐食に対する抑制効果の確認実験【STEP 2】

(1) 実験概要

実験は、曲げ試験を実施し、ひび割れ幅が減少することを確認するとともに、鉄筋腐食に対する耐久性を評価する。

1) 供試体の種類

実験に使用した供試体の種類を表-3に示す。

2) 実験方法

実験は、10,000 KN 載荷装置を使用し、2点支持、2点載荷の標準的な曲げ試験を実施した。

なお、支点間距離は3.0mとし、載荷点間距離は、1.0mとする。支点及び載荷点はすべてヒンジ構造となるように設定した。

図-6に供試体の概要を示す。

表-3 供試体の種類

コンクリートの種類	繊維の種類	実験ケース名称	繊維混入率 (%)	供試体数 (体)
プレーンコンクリート	-	P	-	1
繊維補強コンクリート	ポリオレフィン系	B-0.25	0.25	1
		B-0.5	0.5	1
		B-1.0	1.0	1
	鋼繊維	S-0.325	0.325	1
		S-0.65	0.65	1
	ビニロン	V-0.375	0.375	1
V-0.75		0.75	1	

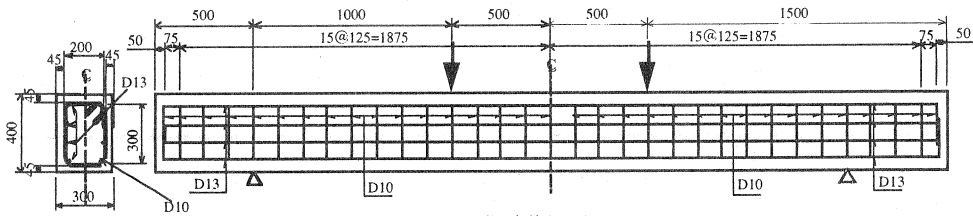


図-6 供試体概要

(2) 実験結果

図-7、-8に各ケースの載荷荷重と供試体中央部の変位の関係を示す。

図-7には、ポリオレフィン系を使用したケースを、図-8には、鋼繊維を使用したケースを、それぞれプレーンのケースと比較して示す。

また、表-4に8ケースの実験結果を示す。

表-4 実験結果

繊維の種類	実験ケース名	混入率 (%)	最大荷重 (KN)	実験を行った最大変位 (mm)	圧壊が生じた変位 (mm)
プレーン	P-1	-	185	55.6	50.5
ポリオレフィン系	B-0.25-1	0.25	184	50.1	50.1
	B-0.5-1	0.50	198	55.4	44.1
	B-1.0-1	1.00	187	65.4	50.5
鋼繊維	S-0.325-1	0.325	197	83.9	38.6
	S-0.65-1	0.65	211	80.4	39.1
ビニロン	V-0.375-1	0.375	198	80.3	61.1
	V-0.75-1	0.75	206	80.8	47.1

実験時の最大荷重は最小 184 KN (B-0.25-1)、最大 211 KN (S-0.65-1) と 15% の差異を生じた。

また、ポリオレフィン系を除くと、繊維混入率が多いケースの方が、少ない場合に比べて最大荷重が大きくなる傾向が観測された。

図-9にプレーンとポリオレフィン系のケース (B-0.5-1) の実験終了時のクラック発生状況を示す。

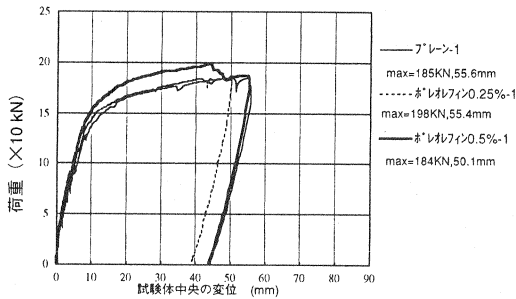


図-7 載荷荷重—変位曲線 (ポリオレフィン系)

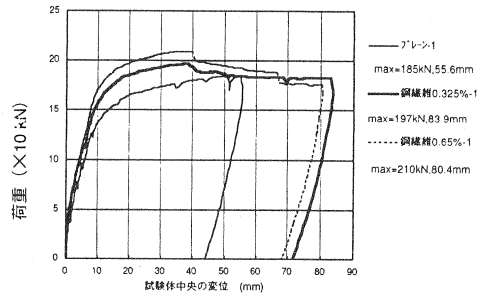


図-8 載荷荷重—変位曲線 (鋼繊維)

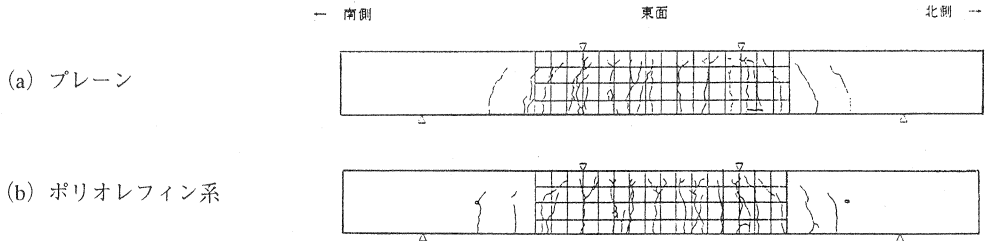


図-9 クラック発生状況

(3) 考察

最大荷重に対する試験体中央の変位は、大きくなり変形性能は向上しており、また、クラック発生状況は同等で、使用に関しては特に問題ないと考えられる。

6. 繰返し荷重に対する剥落抵抗性の確認実験【STEP 3】

(1) 実験概要

コンクリートの剥落に対する抵抗性は、図-10に示すように、ひび割れ間を繋いでいるファイバーの拘束効果によって向上する。ここで、ひび割れの発生によって生じるコンクリート塊がファイバーによって剥離しにくくなる現象を再現するため、予めひび割れを生じさせたはりを用いて、曲げ疲労試験を実施した。剥離抵抗性は、コンクリート塊が、剥離する時の繰返し回数によって評価した。

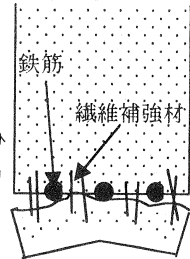


図-10 疲労に伴うはりの損傷状況

(2) 実験方法

実験は、500kNの疲労試験装置を使用し、2点支持、2点荷重の標準的な曲げ疲労試験を実施した。

支点間距離は3.0mとし、荷重点間距離は1.0mとし、支点及び荷重点はすべてヒンジ構造とした。

なお、供試体には、鉄筋腐食によるひび割れを再現するため、図-11に示すように、10,000 kN試験機で荷重点間の一部(支間中央、L/3区間)に衝撃を加えて、予め割裂によるひび割れを与えた。

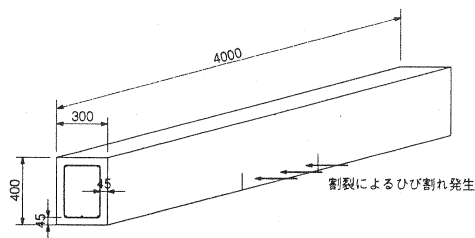


図-11 割裂によるひび割れ発生実験

疲労試験については、ポリオレフィン系混入率0.25%と鋼繊維混入率0.325%について疲労試験を実施した。

疲労試験は、鉄筋の許容応力度(=184 N/mm<sup>2</sup>)を目標としたケースと、鉄筋の降伏応力度の90%(=347N/mm<sup>2</sup>)を目標としたケースについて実施した。表-5に疲労試験中に静的な荷重試験を実施した荷重ステップを示す。なお、表中鉄筋の降伏応力度を目標した場合のステップ数は鉄筋の許容応力度を目標としたケースのステップ数を考慮した値を示す。

なお、コンクリート標準示方書に示されている疲労試験回数と疲労強度の関係式を用いて、鉄筋の実強度(鉄筋の引張試験結果)から算出した200万回と等価な疲労回数は、許容応力度レベルではほぼ12万回程度である。

(3) 試験結果

図-12に試験結果を示す。図中、横軸は荷重回数を対数軸で表し、縦軸は、それぞれ試験体中央部の鉛直変位と試験体中央部の鉄筋ひずみの値を示す。

図-12より、ポリオレフィン系混入率0.25%と鋼繊維混入率0.325%の繊維補強コンクリート製のはりについては、降伏応力度の90%程度の比較的大きな応力振幅で25万回以上加振しても、試験体の引張側鉄筋の応力度は許容応力度以内に収まり、これらのはりは十分な疲労強度を有していると考えられる。

また、疲労試験終了後、試験体に荷重し鉄筋降伏後の荷重-変形曲線を求めたところ、【STEP2】で実施した10,000 kN試験機による静的荷重試験と同様の挙動が得られ、疲労試験による試験体の耐力低下等はないと考えられる。

表-5 荷重試験を実施したステップ数

許容応力度レベル		降伏応力度の90%	
CB-0.25 ポリオレ フィン系 0.25%	CS-0.325 鋼繊維 0.325%	CB-0.25 ポリオレ フィン系 0.25%	CS-0.325 鋼繊維 0.325%
1	1	3,000	10,000
2	2	10,000	30,000
3	3	30,000	100,000
10	10	260,000	300,000
30	30		
100	100		
300	300		
1,000	1,000		
3,000	3,000		
10,000	10,000		
24,000	30,000		
100,000	100,000		
167,000	300,000		
	400,000		

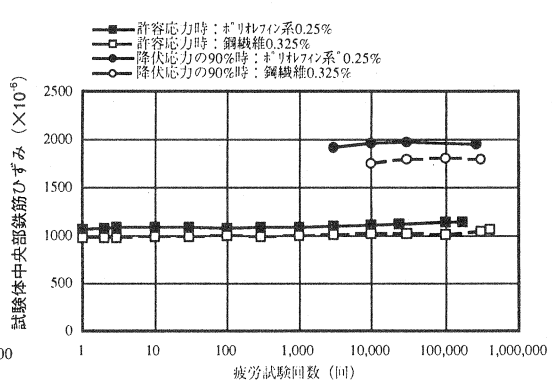
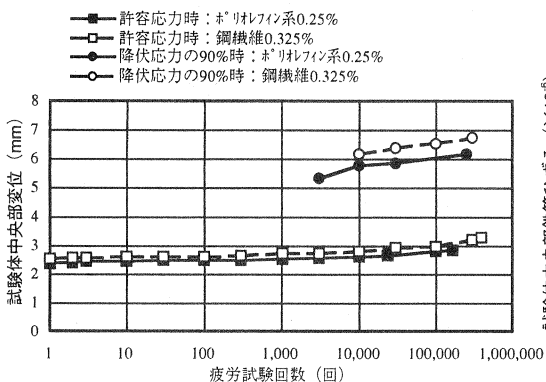


図-12 疲労試験結果

7. おわりに

本稿では、繊維補強コンクリートの基本性能について検討を加えてきたが、疲労試験等一部終了していない部分もあり、完全にはその特性を把握できていない。今後この不足部分を補いつつ、実構造物を想定した施工性実験を実施する予定である。実験結果等の不足分については、講演会当日に発表する予定である。