

ナイロン繊維少量混入コンクリートのひび割れ抑制効果に関する研究

1335038 建設工学科 星川 健二 (佐藤 嘉昭 指導教官)

1. 研究目的

コンクリートに発生する収縮ひび割れの防止・抑制対策として、膨張材および収縮低減剤の使用、鉄筋の配置、目地の設置などが挙げられる。これらに対し、合成短繊維をコンクリートに混入することにより収縮ひび割れを抑制する方法がある。本研究ではこれまでナイロン繊維を少量混入したコンクリートに着目し、研究を行ってきており、その結果、ナイロン繊維を混入することにより靱性が向上することや剥落に対する抵抗性が向上することなどが確認できた。

本研究では、ナイロン繊維の収縮ひび割れ抑制効果を解明することを最終目的としている。ここではコンクリートが硬化する極初期段階で発生するひび割れ（以下、初期ひび割れ）に対する抑制効果を明らかにするため、基礎的な情報を収集することを目的としている。そこで、ここではナイロン繊維を混入したセメントペーストおよびモルタルの水和収縮試験、脱水量試験を行い、その性状の比較を行った。また、コンクリートの初期ひび割れ抑制効果について実験を行い、水和収縮率や脱水量との関連などについて考察を加えた。

2. 実験概要

2.1 使用するナイロン繊維の特性

本研究で使用したナイロン繊維は、イスラエルでコンクリート用として開発された、直径 $19\mu\text{m}$ 、長さ 12mm の 100%合成ポリマーの扁平な糸状の単繊維から作られた繊維である。ナイロン繊維の特性を表-1 に示す。本研究では、ナイロン繊維による初期ひび割れの抑制効果を調べるために以下のような実験を行った。表-2 に実験項目を示す。

表-1 ナイロン繊維の特性

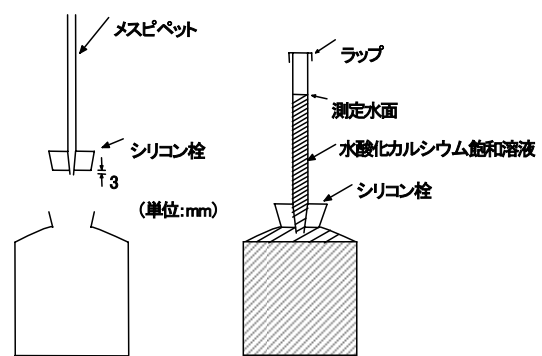
繊維長 (mm)	単繊維直径 (μm)	密度 (g/cm^3)	引張強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (N/mm^2)
12	19	1.17	550	4200

表-2 実験項目

試験項目	繊維混入率 (vol%)	試験材齢	供試体寸法 (cm)	供試体本数 (本)
初期ひび割れ	0, 0.04	2時間	60×60×5	各2本
水和収縮	0, 0.04, 0.1, 0.5	打設後	-	各3本
脱水量	0, 0.04, 0.1, 0.5	2時間	4×4×16	各6本

2.2 水和収縮試験

水和収縮試験は、日本コンクリート工学協会 自己収縮委員会報告書水和収縮試験方法（案）に準拠して行った。使用したセメントペーストは、水セメント比 50%のものである。水和収縮試験の試験容器は、高さ 7.5cm 、容量 50cc のガラス製容器を用いた。図-1 に水和収縮試験の状況を示す。試験容器にセメントペーストを投入し、次に細口部上面まで水酸化カルシウム飽和溶液を投入する。そして、あらかじめ作製しておいたシリコン栓を試験容器に差し込みメスピペット内に水酸化カルシウム飽和溶液を添加し、上部を密閉し、メスピペット部の水面高さを読み取り、測定を開始した。測定期間は開始後 1 週間とし、恒温恒湿室内(温度 $20\pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $60\pm 5\%\text{RH}$)で行った。



試験容器

高さ: 7.5cm

容量: 50cc

メスピペット上部

を密閉し、測定開始

図-1 水和収縮試験状況

2.3 脱水量試験

表-3 に脱水量試験のモルタルの基本調合および使用材料の物理的性質を示す。脱水量試験では初期ひび割れ試験と同様に低水セメント比のモルタルとした。初期脱水量試験は4×4×16cmの供試体を側面1面乾燥とし、乾燥条件は初期ひび割れ試験と同様とし材齢2時間から乾燥を開始し風速3~4m/sの風にあてた。乾燥は恒温恒湿室内(温度20±1℃, 湿度60±5%RH)で行った。測定は電子天秤を用いて、乾燥を開始し始めて24時間行った。

2.4 初期ひび割れ試験

表-4 に初期ひび割れ試験のコンクリートの基本調合および使用材料の物理的性質を示す。初期ひび割れ試験では、基準コンクリートに初期ひび割れを発生させることを目的として、コンクリートの自由水が少なく、ブリーディングの少ない低水セメント比の高強度コンクリートを使用した。図-2 に初期ひび割れ発生型枠を示す。初期ひび割れ試験は60×60×5cmの4辺をボルトで拘束した鋼製型枠を用い、コンクリートの収縮を4辺から拘束するために、底板にはテフロンシートを敷き摩擦力の低減を図った。実験は温度30℃程度の実験室内で行った。材齢2時間から乾燥を開始し、風速3~4m/sの風にさらし、材齢24時間までひび割れ長さおよびクラックスケールによるひび割れ幅の測定を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 水和収縮試験

図-3 に水和収縮率の経時変化(測定開始1週間後)を示す。これによると、極初期段階では、どの混入率においても収縮率は小さく、測定開始後10時間程度から、水和による収縮が大きくなり始めている。測定24時間後までの初期段階においては、若干ではあるが基準のものが水和収縮率が大きく、繊維混入のものが小さくなっている。これは極初期段階においてはセメントペーストのヤング係数が非常に小さくナイロン繊維がひずみを拘束したため小さくなっているものと考えられる。しかしながら繊維混入率による差は明確に表れておらず、この点については今後もさらに検討して行く予定である。

表-3 基準モルタルの調合および使用材料

W/C (%)	単位容積質量(kg/m ³)		
	W	C	S
30	191	636	1522

C:セメント(普通ポルトランドセメント:密度 3.16g/cm³)

S:細骨材(標準砂:絶乾密度 2.64g/cm³ 吸水率 0.42%)

表-4 基準コンクリートの調合および使用材料

W/C (%)	s/a (%)	単位容積質量(kg/m ³)				
		W	C	S	G	ad
27	45.5	185	685	666	810	8.22

使用材料	種類	性質および成分
セメント	普通ポルトランドセメント	密度:3.16g/cm ³
細骨材	山砂(大分市米良産)	表乾密度:2.61g/cm ³ 吸水率:2.98%, 粗粒率:2.45%
粗骨材	碎石(大分市松岡産)	表乾密度:2.66g/cm ³ 吸水率:1.09%, 粗粒率:6.73%
混和剤	高性能AE減水剤	主成分:リグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体

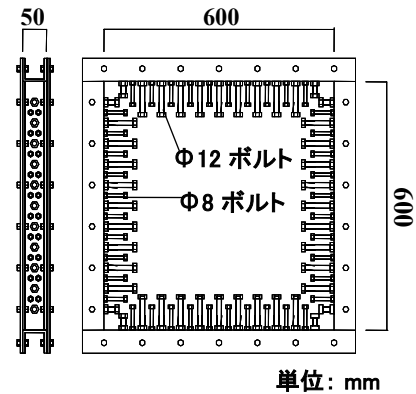


図-2 初期ひび割れ発生型枠

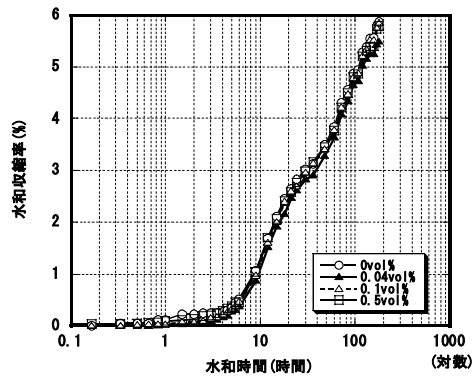


図-3 水和収縮率の経時変化(測定開始1週間後)

3.2 脱水量試験

図4 に脱水量の経時変化を示す。極初期段階では、繊維混入モルタルが基準モルタルに比べ脱水量が大きくなっている。また、時間の経過とともにその差が小さくなり、ある時点で基準モルタルの脱水量の方が大きくなっている。このことより、乾燥極初期段階では、ナイロン繊維混入によって繊維が水の抜け道となり、基準モルタルに比べると脱水量が抜けは早いと推測できる。混入率が上がるにつれて水の抜けが早くなるとは一概には言えない。

3.3 初期ひび割れ試験

本研究室では、これまでに初期ひび割れ試験を幾度か行ってきている。初期ひび割れの評価には、ひび割れ長さとしび割れ幅を積算したひび割れ面積を用いた。表-5 に初期ひび割れ結果一覧、図-5 にひび割れ総長さの経時変化 (2004 年度)、図-6 にひび割れ総面積の経時変化 (2004 年度) を示す。これによると、初期ひび割れは乾燥期間 5 時間以内で発生し、その後乾燥期間 12 時間程度まで成長を続けており、その後のひび割れの進展は少ない。初期ひび割れはコンクリートの表面からの水の蒸発がブリーディングの割合より早い場合に発生すると考えられ、ナイロン繊維を混入することにより、極初期段階においてはブリーディング水の抜け道になりコンクリート表面の水分蒸発を防ぎ、ひび割れを抑制しているものと思われる。

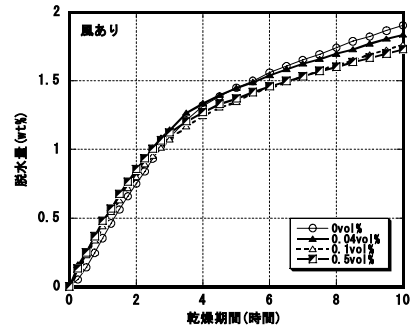


図-4 脱水量の経時変化

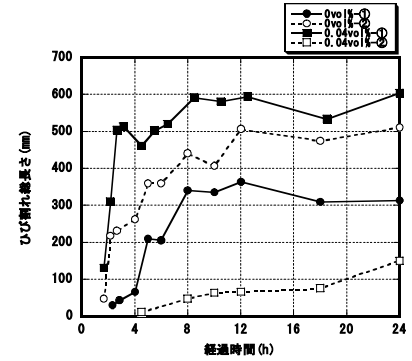


図-5 ひび割れ総長さの経時変化

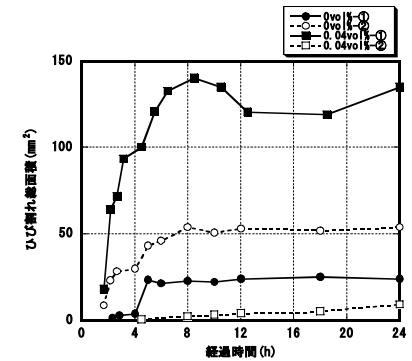


図-6 ひび割れ総面積の経時変化

表-5 初期ひび割れ結果一覧

繊維混入率 (vol%)	ひび割れ発生材齢(時間)	乾燥開始 24 時間でのひび割れ測定結果				平均ひび割れ面積 (mm²/本)	単位ひび割れ本数(本/m²)	単位ひび割れ総面積(mm²/m²)
		本数(本)	長さ(mm)	幅(平均)(mm)	ひび割れ総面積(mm²)			
2004 年度								
0	2.33	10	313	0.12	24.1	2.41	27.8	67.00
	1.67	6	510	0.20	53.8	8.97	16.7	149.80
0.04	1.67	12	603	0.30	134.7	11.23	33.3	373.96
	4.50	7	150	0.08	9.2	1.32	19.4	25.60
2000 年度								
0	6.10	5	680	0.06	42.4	8.44	13.9	117.32
	7.00	5	360	0.06	19.5	3.90	13.9	54.21
0.04	5.45	4	155	0.04	6.75	1.68	11.1	1.86
0.1	6.00	6	275	0.05	13.75	2.29	16.7	38.24
2001 年度								
0	2	14	146	0.10	15.75	1.13	38.8	43.84
	2	10	185	0.06	10.75	1.08	27.8	30.02
0.04	2	9	222	0.06	14.40	1.60	25.0	40.00
	4	3	78	0.05	5.65	1.88	8.3	15.60
0.1	24	2	34	0.05	1.70	0.85	5.6	4.76
	4	7	202	0.05	10.1	1.44	19.4	27.94

3.4 ひび割れ発生材齢と水和収縮および脱水量の関係

表-6に初期ひび割れ発生時間における脱水量および水和収縮率、表-7に脱水量の逆転時間を示す。これによると、ひび割れ発生時間は繊維混入率0.04vol%では4.4時間であった。基準コンクリートのひび割れ発生時間は3.5時間であり、およそ1時間ひび割れ発生が遅延している。さらに、ひび割れ発生時の脱水量は、表-7に記載してある繊維混入モルタルと基準モルタルの脱水量逆転の値とほぼ同じとなった。これは、繊維混入により極初期段階において繊維が水の抜け道となり、脱水量が大きい間は初期ひび割れの発生を抑制しており、それが基準コンクリートと同等になった時点でひび割れが発生することが考えられる。ひび割れ発生時の水和収縮率は0.2~0.4%であり、収縮が大きくなる前にひび割れが発生している。極初期段階では水和収縮は小さく、コンクリートのマトリクスのヤング係数がナイロン繊維よりも小さいため、ナイロン繊維がマトリクスのひずみを拘束して収縮を抑制していると推測できる。このような理由により極初期段階のひび割れを抑制すると考えられる。

表-6 初期ひび割れ発生時間における
脱水量および水和収縮率

繊維混入率 (vol%)	年度	ひび割れ発生時間 (時間)	平均	脱水量 (wt%)	平均	水和収縮率 (%)	平均
0	2000	6.6	3.5	1.606	1.095	0.516	0.321
	2001	2.0		0.839		0.224	
	2004	2.0		0.839		0.224	
0.04	2000	5.8	4.4	1.538	1.359	0.390	0.234
	2001	3.0		1.143		0.097	
	2004	4.5		1.396		0.214	

表-7 脱水量の逆転時間

繊維混入率 (vol%)	脱水量逆転時間 (時間)	逆転時の脱水量 (wt%)
0.04vol%	5	1.446

4. まとめ

以上のことより、ナイロン繊維を少量混入することにより、極初期段階において次のようなことが確認できた。

①水和収縮試験からは極初期段階においてはナイロン繊維のヤング係数がセメントペーストのヤング係数より大きくなり、ナイロン繊維がひずみを拘束したため収縮が小さくなっているものと考えられる。

②脱水量試験からはナイロン繊維混入によって極初期段階では繊維が水の抜け道となり、基準コンクリートに比べると脱水量が抜けが早く、コンクリートの表面の蒸発を防ぐことが確認できた。

③初期ひび割れ試験からは繊維を混入することにより、ひび割れ発生時間を遅延でき、ひび割れ発生後は繊維が架橋の働きをし、ひび割れ幅およびひび割れ長さの進展を抑制していることが確認できた。

ゆえに、ナイロン繊維を少量混入することにより初期ひび割れ発生が抑制できると考えられる。

これらのことより、ナイロン繊維を混入したコンクリートは繊維混入率が少量であるにも関わらず、初期ひび割れの抑制効果が確認できており、コンクリートの二次的補強材料として使用することにより、ひび割れに対する抵抗性があるコンクリートを製造することが期待できる。