

ポリプロピレン繊維補強コンクリートの局部破壊抑制効果に関する実験的研究

防衛大学校 学生会員 ○森 広毅 岩根 利浩 片岡 新之介
正会員 別府 万寿博 萩原工業(株) 正会員 室賀 陽一郎

1. 緒言

飛来物が高速度でコンクリート部材に衝突すると、表面破壊、貫入、裏面剥離および貫通等の局部破壊が発生する¹⁾。したがって、社会的に重要な構造物に対しては、全体破壊とともに局部破壊に対する設計法や補強方法確立する必要がある。近年、構造物の耐衝撃性能向上させる方法の一つとして、繊維補強コンクリート(以下 FRC)の適用について検討が行われている。本研究は、ポリプロピレン繊維補強コンクリート板(以下 PPFRC 板)に対する高速衝突実験を行い、短繊維の混入による局部破壊の抑制効果について検討したものである。

2. 実験の概要

図-1 に示す高圧空気式発射装置を用いて、質量 46g、直径 25mm の剛飛翔体を衝突速度 200~430m/s で PPFRC 板に衝突させた。写真-2 に、繊維の外観を示す。今回の研究において、コンクリート板に混入したポリプロピレン繊維は繊維長 30mm、直径 0.5mm の PP1 および繊維長 12mm、直径 0.043mm の PP2 の 2 種類である。表-1 に、繊維の力学特性を示す。引張強度およびヤング係数はともに PP1 の方が高く、PP1 の引張強度は PP2 の約 1.3 倍、ヤング係数は PP2 の 2 倍である。両繊維の密度は等しく、同じ混入量では PP2 の繊維の本数は PP1 の約 1350 倍である。なお、各繊維を円柱状と仮定して比表面積(単位体積当たりの表面積)を求めると、PP1 は 13.9(1/mm)、PP2 は 321.2(1/mm)となる。コンクリートマトリクスに PP1 および PP2 を混入した FRC 板を、それぞれ PP1 板および PP2 板と称する。

表-2 に、実験ケースを示す。本研究では、試験練りを行って、可能な限り繊維の混入率を高くして FRC 板を作製した。表-3 に、コンクリートの配合を示す。コンクリートマトリクスに対して、PP1 は外割りの体積比で 2.0%、PP2 は 0.4%を混入した。また、PP1 と PP2 をそれぞれ 0.3%混入した PPFRC 板も作製した。PP1 と PP2 を 0.3%ずつ混入した FRC 板を HF 板と称する。なお、試験体の寸法は縦横寸法 500mm×500mm で板厚を 80mm または 60mm とした。

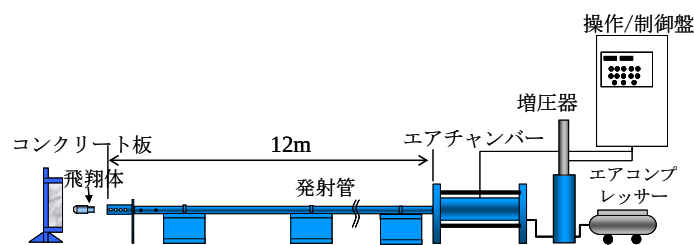


図-1 高圧空気式発射装置の概要



PP1

PP2

写真-1 飛翔体の外観

写真-2 繊維の外観

表-1 繊維の力学特性

種類	PP1	PP2
繊維長(mm)	30	12
直径(mm)	0.5	0.043
引張強度(N/mm ²)	500	390
ヤング係数(N/mm ²)	7500	5000
密度(g/cm ³)	0.91	0.91

表-2 実験ケース

ケース	混入繊維	混入率	厚さ	衝突速度(m/s)	試験体数
PP1-6	PP1	2.0%	60mm	200~300	4体
PP1-8			80mm	300~430	4体
PP2-6	PP2	0.4%	60mm	200~300	4体
PP2-8			80mm	300~430	4体
HF-8	PP1	0.3%	80mm	300~400	4体
	PP2	0.3%			

キーワード：高速衝突、ポリプロピレン繊維補強コンクリート、局部破壊

連絡先：239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 Tel046-841-3810 Fax046-844-5913

表-3 コンクリートの配合

種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				F(g/m ³)		SP	空気量 (%)	スランプ (cm)
			W	C	S	G	PP1	PP2			
PP1板	53	60	195	453	928	666	18.2	0	AE減水剤1.0%	5.7	14.8
PP2板	53	60	195	453	928	666	0	3.6	AE減水剤1.0%	2.5	6.4
HF板	53	60	195	453	928	666	2.7	2.7	AE減水剤1.0%	1.9	6.3

3. 実験結果および考察

図-2 に、板厚 8cm の PPFRC 板に対する衝突速度 408m/s および 423m/s のケースにおける破壊状況を示す。修正 NDRC 式を用いて衝突速度 408m/s および 423m/s に対するプレーンコンクリート板の破壊を評価すると、いずれの速度でも貫通と評価される。図から、衝突速度 408m/s においては、いずれの PPFRC 板も裏面剥離は生じておらず、破壊モードは表面破壊となった。衝突速度 423m/s においては、PP1 板および PP2 板の表面について破壊モードは裏面剥離となった。すなわち、修正 NDRC 式によるプレーンコンクリート板の破壊と比較すると、局部破壊が大幅に抑制されていることがわかった。また、PP1 を 2.0% 混入した FRC 板と、PP2 を 0.4%混入した FRC 板の裏面剥離抑制効果が同程度であることもわかる。

図-3 に、本実験における PPFRC 板の破壊モードを、板厚と衝突速度の関係中に示す。なお、図中には、PP1 板および PP2 板の実験結果に適合するように、修正 NDRC 式により算出したプレーンコンクリート板の裏面限界剥離板厚に低減係数 α を乗じた裏面剥離限界板厚を示している。板厚 8cm および板厚 6cm の PP1 板と PP2 板について、破壊モードに適合する低減係数を検討したところ $\alpha=0.81$ および 0.72 となった。この低減係数は、プレーンコンクリート板の裏面剥離限界板厚に対する FRC 板の低減比率を表している。すなわち、PP1 板および PP2 板の裏面剥離限界板厚は、プレーンコンクリート板よりも約 20%~30%小さくなることを示している。

4. 結言

本研究は、PPFRC 板に対して高速衝突実験を行い、局部破壊の抑制効果に及ぼす影響について検討を行ったものである。実験結果から、PP1 板および PP2 板の破壊損傷はプレーンコンクリート板よりも大幅に抑制された。また、PP1 板および PP2 板の破壊損傷は同程度であった。実験結果から算出した修正 NDRC 式の低減係数から、PP1 板および PP2 板の裏面剥離限界板厚はプレーンコンクリート板と比べて約 20%~30%小さくなることがわかった。

参考文献

- 1) 土木学会構造工学委員会：構造工学シリーズ 6 建造物の衝撃挙動と設計法，1994.
- 2) R. P. Kennedy: A review of procedures for the analysis and design of concrete structures to resist missile impact effects, Nuclear Engineering and Design, 1976.

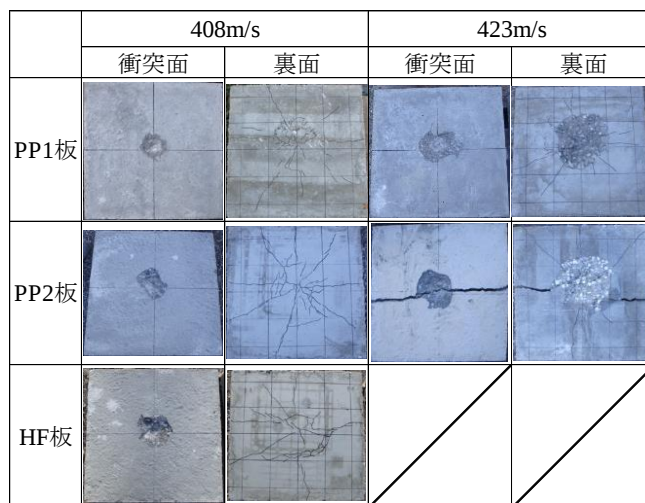


図-2 PPFRC 板の破壊状況

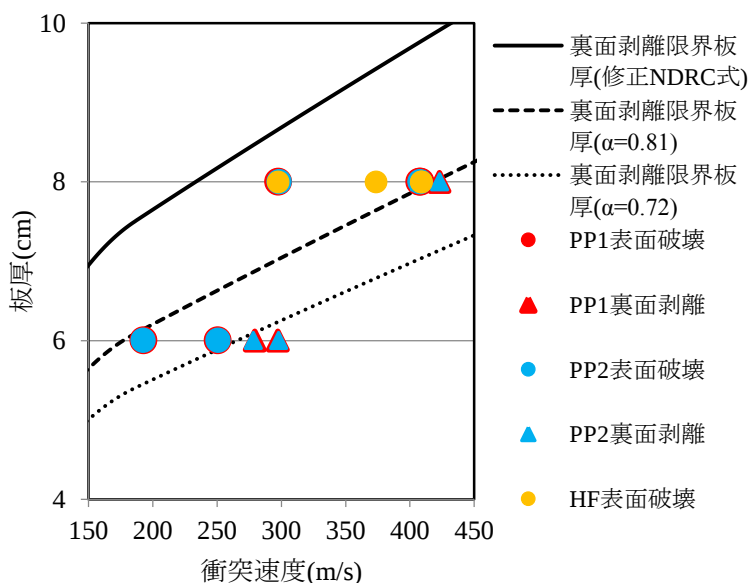


図-3 裏面剥離限界板厚