

論文 ポリプロピレン短繊維補強コンクリート塊から作製した再生粗骨材を用いた再生骨材コンクリートの基礎物性に関する研究

賣豆紀 あきな*1・山本 基由*2・稲沢 隆之*3・高橋 徹之*4

要旨：本研究は、ポリプロピレン短繊維補強コンクリート塊を再生骨材として利用することを目的とし、再生粗骨材に含まれるポリプロピレン短繊維が再生粗骨材および再生骨材コンクリートに及ぼす影響について検討を行ったものである。その結果、本研究の範囲において、再生粗骨材にポリプロピレン短繊維を含んでいることが再生粗骨材 L の物性や再生骨材コンクリート M の練混ぜ性能、強度特性および耐久性に与える影響は小さいことが確認された。

キーワード：ポリプロピレン短繊維補強コンクリート、再生骨材コンクリート、中性化、乾燥収縮ひずみ

1. はじめに

ポリプロピレン短繊維（以下、PP 短繊維）は、コンクリートの剥落防止、ひび割れ抑制および高強度コンクリートの爆裂防止を主な目的として利用が増えている。しかし、工事現場で余剰となって戻される残コンや、供用後の構造物の解体コンクリートに PP 短繊維が含まれる場合、コンクリートの高性能化のために使用したにも関わらず、通常のコンクリートガラではなく産業廃棄物として処理される場合がほとんどである¹⁾。

一方、再生骨材の状況は、環境保全の観点からその利用を促進する方向にシフトしてきている。ところが、最近の情報では、構造物の解体コンクリートの 95%以上がリサイクルされているが、そのほとんどが路盤材としての利用で、再生骨材コンクリートとしての利用は多くない。しかし、2018 年 5 月の JIS A 5022 の改正により、低品質の再生骨材 L と普通骨材を混合利用することで再生骨材コンクリート M を作製することが可能となったことから、再生骨材のさらなる適用範囲の拡大が期待される²⁾。

このように、普通コンクリートに対しては、再生骨材に関する研究が積極的に行われており、再生骨材コンクリートの JIS が制定されている一方で、短繊維補強コンクリートは研究が少なく、規定も無いのが現状である³⁾。

そこで、本研究は、解体後のポリプロピレン短繊維補強コンクリート（以下、PPFRC）塊を、普通コンクリート塊と同様に、再生粗骨材として利用することを目的として検討を開始した。まず、品質レベルが低く作製が容易である再生粗骨材 L を作製し、その基本性能を確認した。さらに JIS A 5022 に従い、再生粗骨材 L と普通骨材を混合利用することで再生骨材コンクリート M を作製し、フレッシュ性状、硬化後の強度特性、促進中性化試

験および乾燥収縮ひずみ試験により評価した。各評価において、原コンクリートが PPFRC である影響の有無を確認するため、原コンクリートが普通コンクリートであるものと比較しながら検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

実験に使用した配合を表-1 に示す。また、使用した材料の仕様を表-2 に示す。本研究での再生骨材コンクリートは、再生粗骨材 L と普通骨材（今回の検討では砕石 2005）を混合利用して作製する再生骨材コンクリート M を想定している。

配合 No.1 から No.4 は原コンクリートとし、これらを破碎して再生粗骨材を作製した。配合 No.1 および No.2 は、呼び強度 60 のコンクリートで、爆裂防止用途を想定し、No.2 には写真-1 に示す直径が 49 μ m で長さが 10mm の PP 短繊維 (PP1) を 0.2vol.% 添加した。配合 No.3 および No.4 は、呼び強度 24 のコンクリートで、土間コンクリートの用心鉄筋代替用途を想定し、No.4 には写真-2 に示す直径が 0.7mm で長さが 30mm の PP 短繊維 (PP2) を 0.4vol.% 添加した。

配合 No.6 から No.9 は、練混ぜ性能から硬化コンクリートの強度試験までの基礎物性評価に用いた再生骨材コンクリートの配合である。再生骨材コンクリートは、呼び強度 24 のコンクリートとした。再生粗骨材と砕石は、質量比で 1:1 になるように混合している。

一方、配合 No.10 から No.13 は、耐久性試験として実施した促進中性化試験および乾燥収縮ひずみ試験の供試体作製に用いた再生骨材コンクリートの配合である。配合 No.6 から No.9 と同様に、呼び強度 24 のコンクリートである。再生粗骨材と砕石は、容積比で 1:1 になるよ

*1 バルチップ(株) 技術部 修士(環境学) (正会員)

*2 大和紡績(株) 合繊事業本部 博士(工学) (正会員)

*3 大日製罐(株) プラスチック開発部 課長 (正会員)

*4 (株)テザック 産業資材グループ 修士(工学) (正会員)

表-1 使用したコンクリートの配合

配合 No.	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					AD	F	備考
		W	C	S	G	RGLA 2005			
1	31.8	170	535	761	885	0	5.35	0	原コンクリート（呼び強度 60） 爆裂防止用 PP 短繊維
2								1.82	
3	54.0	175	324	821	979	0	3.24	0	原コンクリート（呼び強度 24） 土間コンクリート用 PP 短繊維
4								3.64	
5	54.0	175	324	821	990	0	3.24	0	普通骨材コンクリート
6					465	465			No.1 から作製した再生粗骨材
7					461	461			No.2 から作製した再生粗骨材
8					482	482			No.3 から作製した再生粗骨材
9					467	467			No.4 から作製した再生粗骨材
10					495	436			No.1 から作製した再生粗骨材
11						427			No.2 から作製した再生粗骨材
12						468			No.3 から作製した再生粗骨材
13						439			No.4 から作製した再生粗骨材

表-2 材料の仕様

材料	記号	備考	
水	W	水道水	
セメント	C	普通ポルランドセメント	密度: 3.16g/cm ³
細骨材	S1	山砂	表乾密度: 2.57g/cm ³
	S2	砕砂	表乾密度: 2.65g/cm ³
粗骨材	G	碎石 2005	表乾密度: 2.75g/cm ³
再生粗骨材	RGLA2005	各原コンクリートから作製	(諸元は表-3 参照)
繊維	PP1	爆裂防止用 PP 短繊維	密度: 0.91g/cm ³ 繊維径: 49μm 繊維長: 10mm
	PP2	土間コンクリート用 PP 短繊維	密度: 0.91g/cm ³ 繊維径: 0.7mm 繊維長: 30mm

うに混合している。

なお、配合 No.5 は再生骨材コンクリートと比較するための普通骨材コンクリートであり、練混ぜ性能および耐久性確認の双方で使用した。

再生細骨材には繊維がほとんど付着しないため、本研究では再生細骨材は検討せず、細骨材にはすべて普通細骨材を用いた。

2.2 再生粗骨材の作製

まず、原コンクリートとして、配合 No.1 から No.4 について、写真-3 に示すようなコンクリート版 (0.5×0.5×2m) を約 1m³ ずつ作製した。作製したコンクリート版は、材齢 28 日まで屋外で静置した後、写真-4 に示す自走式破砕機を用いて破砕した。破砕後、ふるい分けにより再生粗骨材 L (RGLA2005) を作製した。

2.3 試験方法

作製した再生粗骨材に対して、ふるい分け試験 (JIS A 1102)、密度及び吸水率試験 (JIS A 1110)、単位容積質量及び実積率試験 (JIS A 1104) を実施した。

再生骨材コンクリートの練混ぜ性能確認として、フレッシュ性状試験 (スランプ試験 JIS A 1101、空気量試験 JIS A 1128) およびブリーディング試験 (JCI-S-015) を、硬化後特性の確認として、圧縮強度試験 (JIS A 1108) および割裂引張強度試験 (JIS A 1113) を実施した。強度試験は、材齢 7 日および材齢 28 日で実施した。所定の材齢までは、標準水中養生を行った。

乾燥収縮ひずみ試験には、材齢 7 日まで養生を行った 100×100×400mm の角柱供試体を用いた。試験は、温度 20±2℃、相対湿度 60±5% の恒温恒湿室内で行った。長さ変化の測定は、JIS A 1129-2 に準じて実施した。材齢 7 日で基長を測定し、測定材齢は 1 週、4 週、8 週、13 週



写真-1 爆裂防止用 PP 短繊維 (PP1)

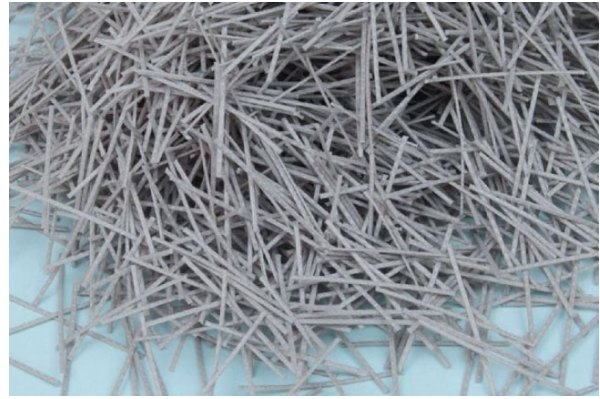


写真-2 土間コンクリート用 PP 短繊維 (PP2)



写真-3 作製した原コンクリート



写真-4 再生粗骨材作製の様子 (自走式破砕機)

表-3 各再生粗骨材の骨材試験結果

原コンクリートの種類	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率	単位容積質量 (kg/L)	実積率 (%)	微粒分量 (%)
呼び強度: 60 繊維なし (配合 No.1)	2.42	2.30	5.20	6.93	1.39	60.5	3.7
呼び強度: 60 繊維あり (配合 No.2)	2.37	2.26	4.95	6.96	1.41	62.4	3.4
呼び強度: 24 繊維なし (配合 No.3)	2.60	2.48	4.61	6.81	1.47	59.3	3.5
呼び強度: 24 繊維あり (配合 No.4)	2.44	2.33	4.79	6.80	1.41	60.5	3.9

および26週とした。供試体は、1水準につき3体とした。なお、長さ変化測定では、自己収縮を含んだ測定が行われるが、自己収縮はベースコンクリートと同等と考え、乾燥による影響を評価することとした。

促進中性化試験は、JISA 1153 に従い実施した。供試体は、100×100×400mm の角柱供試体とし、1水準につき3体とした。試験は、温度 20±2℃、相対湿度 60±5%、二酸化炭素濃度 5±0.2% の中性化促進試験装置を用いた。測定材齢は、促進開始後 1 週、4 週、8 週、13 週および 26 週とした。

3. 実験結果

3.1 再生粗骨材の物性

PPFRC 塊から作製した再生粗骨材を写真-5 および写真-6 に示す。PP1 を用いたものは、繊維が細径のため、写真では骨材に付着する繊維は見え難いが、僅かに繊維の付着が見られた。PP2 を用いたものは、骨材に繊維が付着しているのが分かる。

各再生粗骨材の骨材試験結果を表-3 に、粒度曲線を図-1 に示す。また、再生粗骨材と普通粗骨材を混合した場合の粒度曲線を図-2 に示す。再生骨材 L を用いて



写真-5 配合 No.2 から作製した再生粗骨材



写真-6 配合 No.4 から作製した再生粗骨材

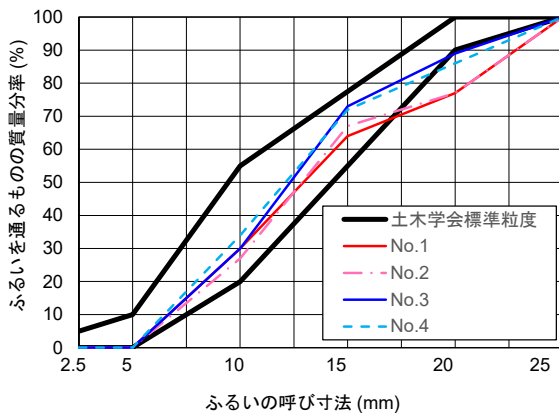


図-1 再生粗骨材の粒度曲線

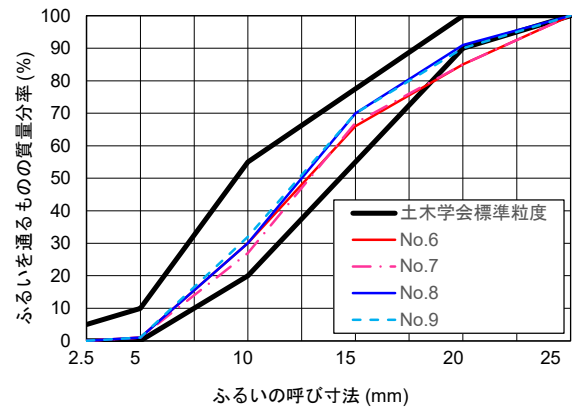


図-2 再生粗骨材と砕石を混合した場合の粒度曲線

表-4 フレッシュ性状試験結果

配合 No.	スランブ (cm)	空気量 (%)	ブリーディング量 (cm ³ /cm ²)
5	19.5	4.3	0.54
6	19.5	3.9	0.66
7	19.5	4.0	0.54
8	19.5	3.8	0.77
9	20.5	3.8	0.76

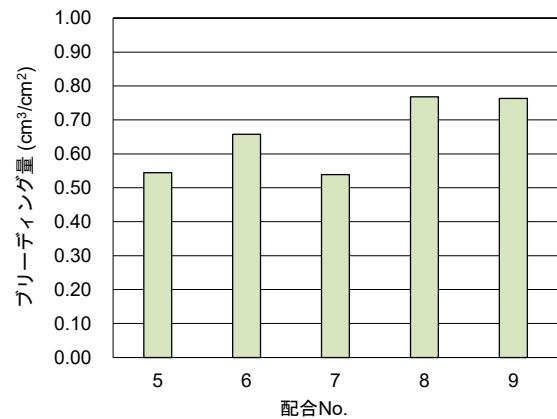


図-3 ブリーディング試験結果

再生骨材コンクリート M を作製する場合、再生骨材 L と普通骨材を混合した骨材の諸物性は、再生骨材 M の規格を満足する必要があるが、本研究で作製した再生粗骨材は、吸水率および微粒分量において規格値の範囲から外れるものがあつた。これは、繊維無添加のコンクリート塊から作製した再生粗骨材でも同様であるため、繊維の影響ではないことが分かる。本研究は、再生粗骨材に含まれる繊維の影響を確認することが目的であつたため、更なる調整は行わずにそのまま用いることとした。

3.2 再生骨材コンクリートの練混ぜ性能の評価

表-4 は、再生骨材コンクリート練混ぜ時のフレッシュ性状試験結果である。スランブおよび空気量は、いずれの再生粗骨材を用いた場合も、配合 No.5 の普通コンクリートと同等であり、再生骨材コンクリートである影響および PP 短繊維の影響は見られなかつた。

一方、ブリーディング量は、図-3 に示すように、配合 No.5 と比較すると、いずれの再生骨材コンクリートも若干多くなつてゐることが分かる。しかし、配合 No.6 と

表-5 再生骨材コンクリートの強度試験結果

配合 No.	圧縮強度 (N/mm ²)		割裂引張強度 (N/mm ²)	
	7日	28日	7日	28日
5	23.9	32.6	2.35	2.76
6	24.1	34.3	2.23	2.55
7	24.4	32.7	2.13	2.63
8	26.0	32.6	2.25	2.78
9	23.6	32.1	2.14	2.49

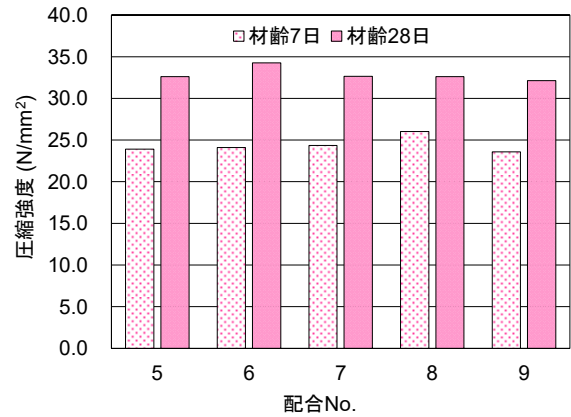


図-4 各再生骨材コンクリートの圧縮強度

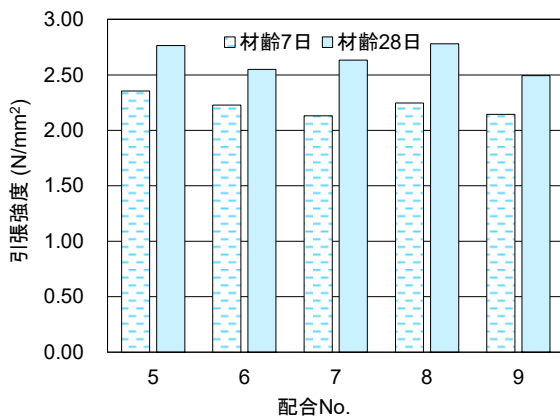


図-5 各再生骨材コンクリートの引張強度

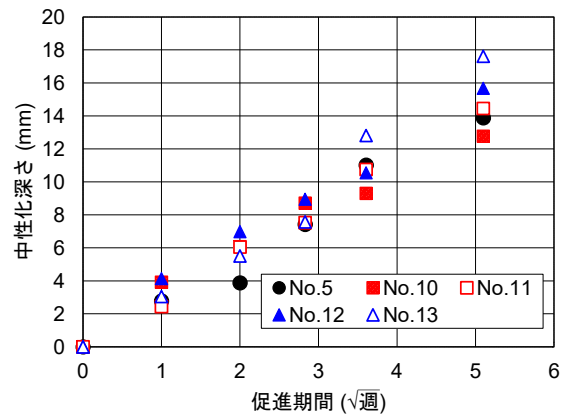


図-6 促進期間と中性化深さの関係

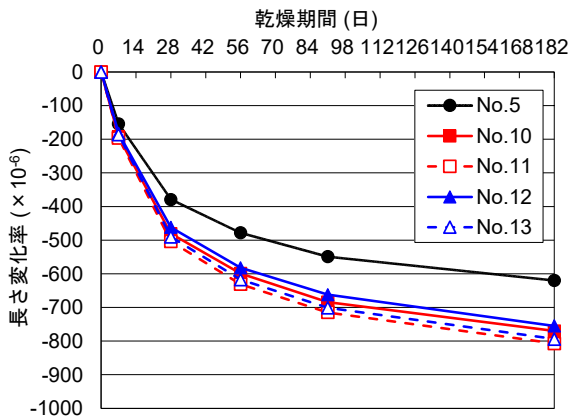


図-7 乾燥期間と長さ変化率の関係

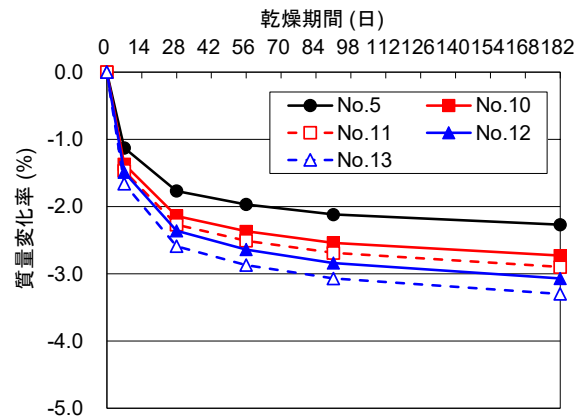


図-8 乾燥期間と質量変化率の関係

No.7, 配合 No.8 と No.9 を比較すると、繊維の有無で差はほとんど認められないことから、PPFRC 塊からの再生粗骨材であることがコンクリートのブリーディング量に及ぼす影響は小さいと考えられる。

3.3 再生骨材コンクリートの強度試験結果

表-5 は、各再生骨材コンクリートの強度試験結果である。図-4 に圧縮強度試験の結果を、図-5 に割裂引張強度試験の結果を示す。材齢 7 日、28 日のいずれにお

いても、圧縮強度、割裂引張強度ともに、再生骨材コンクリートでも普通コンクリートと同等の強度を有することが分かる。また、繊維の有無でも差は認められない。

3.4 再生骨材コンクリートの促進中性化試験結果

図-6 は、各再生骨材コンクリートが中性化に及ぼす影響を示したものである。促進期間 26 週における各コンクリートの中性化速度係数は、配合 No.5 は $2.7\text{mm}/\sqrt{\text{週}}$ 、No.10 は $2.7\text{mm}/\sqrt{\text{週}}$ 、No.11 は $2.9\text{mm}/\sqrt{\text{週}}$ 、No.12 は $3.1\text{mm}/\sqrt{\text{週}}$

√週, No.13 は 3.3mm/√週であった。No.5 の普通コンクリートと比較すると, 原コンクリートの呼び強度が 60 である No.10 および No.11 は, 中性化速度はほぼ同等であることが分かる。一方, 原コンクリートの呼び強度が 24 である No.12 および No.13 は, 普通コンクリートと比較して, わずかだが中性化速度が速い結果となった。ただし, 繊維の有無で差は認められない。再生粗骨材に付着しているペーストの影響はあるものの, 中性化速度への影響は小さいと考えられる。

3.5 再生骨材コンクリートの長さ変化測定試験結果

図-7 は再生骨材コンクリートが乾燥収縮ひずみに及ぼす影響を示したものである。各コンクリートの測定材齢 26 週における長さ変化率は, 配合 No.5 の普通骨材コンクリートは 620×10^{-6} , No.10 は 770×10^{-6} , No.11 は 807×10^{-6} , No.12 は 755×10^{-6} , 配合 No.13 は 794×10^{-6} であった。No.5 と比較すると, いずれの再生骨材コンクリートも長さ変化率は大きいことが分かる。再生骨材コンクリート同士を比較した場合, 原コンクリートに繊維を添加していない No.10 および No.12 に比べて, 原コンクリートに繊維を添加している No.11 および No.13 はわずかに長さ変化率が大きい結果となった。しかし, その差は $30 \sim 40 \times 10^{-6}$ と小さく, 再生粗骨材に PP 短繊維が混入していても乾燥収縮ひずみに与える影響は小さいと考えられる。

図-8 は, 長さ変化率の測定時に質量変化についても測定し, 質量変化率を求めた結果を示したものである。質量変化率も長さ変化率と同様に, 配合 No.5 と比較すると再生骨材コンクリートの質量変化率は高くなっているが, 繊維の有無による差は非常に小さかった。

4. まとめ

本研究で明らかになったことを以下に記す。

- 1) PPFRC 塊から作製した再生粗骨材は, 繊維を添加していない普通コンクリートから作製した再生粗骨材と同等の性能を有することが確認された。
- 2) PPFRC 塊から作製した再生粗骨材を用いた再生骨材コンクリートは, 再生骨材を用いていない普通コン

クリートと同様に練り混ぜることが可能であり, 圧縮強度および割裂引張強度においても普通コンクリートと同等の性能を有することが確認された。

- 3) 再生骨材コンクリートの促進中性化試験の結果, 再生粗骨材に付着しているペーストの影響はあるが, 繊維の有無による差はなく, PP 短繊維が混入した再生粗骨材が中性化速度に及ぼす影響は小さいと言える。
- 4) 再生骨材コンクリートの長さ変化率の測定の結果, 普通コンクリートに比べると長さ変化率は大きくなるが, 原コンクリートの呼び強度 60 の水準と呼び強度 24 の水準の差は小さく, PP 短繊維が混入した再生粗骨材が乾燥収縮ひずみに及ぼす影響は小さいと言える。

以上のことより, PPFRC 塊から作製された再生粗骨材は, 通常の再生粗骨材と同様に使用できる可能性があることが分かった。

謝辞

本研究を遂行するにあたり, 再生粗骨材の作製から練混ぜ試験, 強度試験, 各試験用供試体作製は, 株式会社タイハクに, 促進中性化試験は, 広島工業大学の坂本英輔准教授にご協力いただいた。また, 近未来コンクリート研究会の十河茂幸代表には, 研究の進め方を始め, 多くの面でご助言をいただいた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) ポリプロピレン短繊維普及研究会: ポリプロピレン短繊維補強コンクリート設計施工指針(案), IKENOUE 企画, 2018
- 2) 野口貴文: 再生骨材コンクリートの JIS 改正「生産者・利用者の期待に応える普及に向けて」, 建設リサイクル, 2018.夏号 Vol.84, pp.1-9, 2018
- 3) 杉本勝哉, 国枝稔, 上田尚史, 中村光: 短繊維補強コンクリートのリサイクル性に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp1600-1605, 2012