

中品質再生粗骨材を用いた高流動コンクリートの構造特性に関する基礎的研究

—その1 5週経過実験時の付着性状—

日大生産工（院） ○野口 泰寛

日大生産工 師橋 憲貴

日大生産工 桜田 智之

1.はじめに 再生骨材の品質は、主に骨材の吸水率の大きさでH・M・Lの3等級に分類され、それぞれの再生骨材を用いたコンクリートについてJISが制定されたばかりである^{1),2),3)}。3等級のうち、吸水率が約5%以下の再生骨材Mに相当する粗骨材を用いた再生コンクリートは、乾燥収縮ひび割れが多く発生することが報告されている⁴⁾。また、JIS A 5022(再生骨材Mを用いたコンクリート)²⁾では、乾燥収縮ひび割れがコンクリートの耐久性に及ぼす影響が懸念されるため、乾燥収縮を受けにくい地下構造物などへの適用が提案されている。一方、高い流動性と優れた材料分離抵抗性を有する高流動コンクリートは、鉄筋周辺に密実に充填できるなどの特徴から、地下連続壁あるいは鋼管充填コンクリートなどに対する使用実績が増え、近年普及が目覚ましい⁵⁾。そこで本研究では、乾燥収縮対策を考慮した再生骨材の用途として、地中梁や地下連続壁の地下構造物、さらにコンクリートが直接外気にさらされない鋼管充填コンクリートの中詰めコンクリートへの将来的な利用を想定し、再生コンクリートの高流動化に着目した。再生骨材を用いた高流動コンクリートの研究実績として、普通骨材と同等の性質として扱うことができる、高品質の再生骨材Hを用いた高流動コンクリートの研究が報告されている⁶⁾。しかし、比較的簡易な手法で製造される、中品質再生骨材を用いた高流動コンクリートの

表-1 試験体詳細

試験体名	シリーズ 骨材置換率	乾燥収縮低減剤	载荷時期
1) FM	FMシリーズ 再生粗骨材(50%) 碎石(50%) 天然砂(100%)	無し	5週経過時
2) FM1K			1年経過時
3) A-FM		有り	5週経過時
4) A-FM1K			1年経過時
5) FMM	FMMシリーズ 再生粗骨材(50%) 碎石(50%) 天然砂(50%) 再生砂(50%)	無し	5週経過時
6) FMM1K			1年経過時
7) A-FMM		有り	5週経過時
8) A-FMM1K			1年経過時
9) 00N ⁴⁾	Nシリーズ 碎石(100%) 天然砂(100%)	無し	5週経過時
10) 00NK ⁴⁾			1年経過時

表-2 使用材料の品質

材料	種類	品質
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	田倉産山砂	絶乾密度2.54g/cm ³ 吸水率2.05% 実績率66.2%
	再生細骨材	絶乾密度2.05g/cm ³ 吸水率10.86% 実績率70.8%
粗骨材	佐野産碎石	絶乾密度2.72g/cm ³ 吸水率0.77% 実績率63.8% 最大寸法20mm
	再生粗骨材	絶乾密度2.33g/cm ³ 吸水率5.40% 実績率61.8% 最大寸法20mm
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系
	増粘剤	セルロース系
	AE剤	ロジン系界面活性剤
	消泡剤	ポリオキシアルキレン アルキルエーテル系
	乾燥収縮低減剤	グリコールエーテル系

Fundamental Study on the Structure Characteristic of
High Fluidity Concrete with Middle Quality Recycled Coarse Aggregate
-Part.1 Bond Properties of Five Weeks Experiment-

Yasuhiro NOGUCHI, Noritaka MOROHASHI and Tomoyuki SAKURADA

研究はみられない。これらのことから、本研究は中品質再生粗骨材を用いた高流動コンクリートの構造特性に関する基礎的研究として、コンクリート打設後5週経過実験時の付着性状について検討を行ったものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料 表-1 に試験体詳細を、表-2 に使用材料の品質を示す。本実験で用いた再生コンクリートは、中品質再生粗骨材を普通粗骨材に対して置換する割合(以下、置換率と称す)を50%としたFMシリーズ、さらに再生砂の置換率も50%としたFMMシリーズの2シリーズとした。各々のシリーズには、乾燥収縮ひび割れの抑制を目指し、乾燥収縮低減剤を添加する再生コンクリートを計画した。混和剤については、適度な粘性を有し、流動性に優れ、かつ高い充填性が期待できるセルロース系増粘剤を用いた高流動コンクリート⁷⁾とした。また、セルロース系増粘剤との相性を考慮して⁸⁾、高性能AE減水剤にはポリカルボン酸系のものを用いた。さらに、コンクリート打設前に空気量の調整するためにAE剤と消泡剤を添加した。

2.2 調合条件 表-3 に調合表、表-4 に混和剤添加量を示す。本研究では、JIS A 5022²⁾ に示される再生骨材Mを用いたコンクリートの呼び強度の上限値 36N/mm^2 を目標に、試し練りの結果を基に調合を決定した。また、混和剤についても試し練りの結果を基に添加量を決定した。

2.3 フレッシュ性状 表-5 にフレッシュコンクリートの性質を示す。再生粗骨材の置換率を50%としたFM、さらに再生細骨材の置換率も50%としたFMMのフロー値を比較すると、FMMのフロー値は低く、再生砂を用いると流動性が低下する傾向が認められた。この傾向は既往の研究でも見られ⁹⁾、再生砂の形状と吸水率が影響しているものとする。また、全

表-3 調合表

シリーズ	W/C (%)	単位質量(kg/m ³)			
		水	セメント	細骨材	粗骨材
FM	53.7	175	326	再生砂	天然砂
				0	891
FMM	53.7	175	326	390	442
					410 456

表-4 混和剤添加量

試験体名	高性能AE減水剤 (%)	増粘材 (kg/m ³)	AE剤 (%)	消泡剤 (%/AE剤)	乾燥収縮低減剤 (kg/m ³)
FM	2.55	0.3	-	0.04	-
A-FM	2.55	0.3	-	0.04	10
FMM	2.80	0.3	0.042	0.04	-
A-FMM	2.80	0.3	0.342	0.04	10

表-5 フレッシュコンクリートの性質

試験体名	スランプ (cm)	フロー (cm)	空気量 (%)
FM	-	52.0×51.0	5.6
A-FM	-	43.0×43.5	1.4
FMM	-	46.5×40.4	3.9
A-FMM	19.0	34.5×32.0	0.9

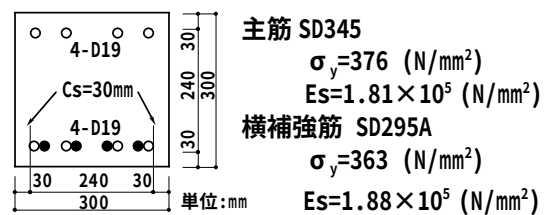


図-1 試験体断面

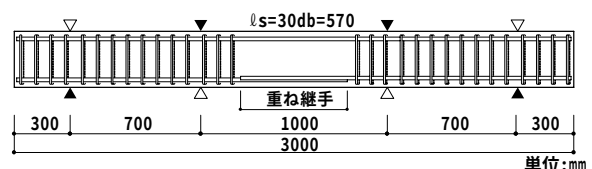


図-2 試験体形状

表-6 実験結果一覧

試験体名	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	最大曲げひび割れ幅 W_{max} (mm)	最大荷重 P_{max} (kN)	付着割裂強度 τu_{exp} (N/mm ²)	破壊形式
1) FM	35.5	0.14	299.0	3.36	S
3) A-FM	42.7	0.10	320.0	(3.59) ^{*1}	FS
5) FMM	36.0	0.15	299.0	(3.36) ^{*2}	FS
7) A-FMM	37.0	0.12	282.0	3.17	S
9) 00N ⁴⁾	28.8	0.08	268.0	3.01	S

最大曲げひび割れ幅は $\sigma_t=200\text{N/mm}^2$ ($P=150\text{kN}$) 時

S: 付着割裂破壊 FS: 曲げ降伏後の付着割裂破壊

*1 A-FMの曲げ降伏後の付着割裂破壊時

$P=320.0(\text{kN})$, $\delta=19.22(\text{mm})$

*2 FMMの曲げ降伏後の付着割裂破壊時

$P=299.0(\text{kN})$, $\delta=11.09(\text{mm})$

試験体ともフロー値は、目標の 60cm を下回る結果となったが、スランプで評価ができないコンクリートの性状であったため、概ね高流動コンクリートの性質を有するコンクリートであると判断した。

2.4 試験体形状 図-1 に試験体断面を、また図-2 に試験体形状を示す。主筋は上端と下端ともに 4-D19 を使用し、主筋から側面および底面までのかぶり厚さは 30mm とし、サイドスプリット型の付着割裂破壊を想定した。試験体は付着性状を検討するため下端に重ね継手を設けた単純梁形式で、重ね継手長さは 30db(db:主筋の公称直径)とし、重ね継手区間の横補強筋比は $p_w=0.0\%$ とした。

3. 実験結果

3.1 最終破壊形状 表-6 に実験結果一覧を示す。また、図-3 に最終破壊形状を FM を例に示す。表-6 の破壊形式に示すように FM は重ね継手区間に付着ひび割れが急激に進展するサイドスプリット型の付着割裂破壊で想定していた破壊形式となった。

3.2 長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅

図-4 に主筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅 W_{max} を示す。図中には既往の普通コンクリートの N シリーズの実験結果⁴⁾ を併せて示した。再生粗骨材の置換率を 50% とした FM、さらに再生細骨材の置換率も 50% とした FMM の W_{max} は同程度であり、既往の N シリーズと比較しても、若干のばらつきは見られるがほぼ同等であった。また、全ての試験体の W_{max} は RC 規準¹⁰⁾ のひび割れ制限目標値の 0.25mm 以内となった。

3.3 変位性状 図-5 に荷重-変位曲線の包絡線を例示する。載荷は 2 点集中による正負繰返し載荷を行った。加力の履歴は、梁の曲げ強度略算式¹⁰⁾ により計算した主筋の応力度 σ_t を 100N/mm^2 ずつ増加させ、それぞれの応力度で各 1 回正負繰返しを行った。再生粗骨材

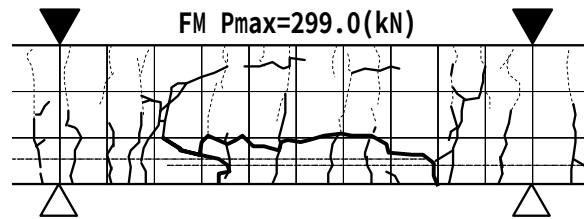


図-3 最終破壊形状(FM 側面)

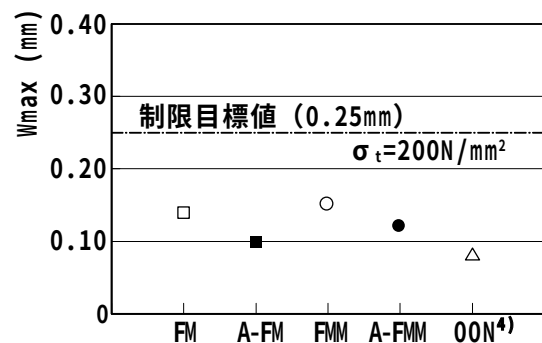


図-4 主筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅

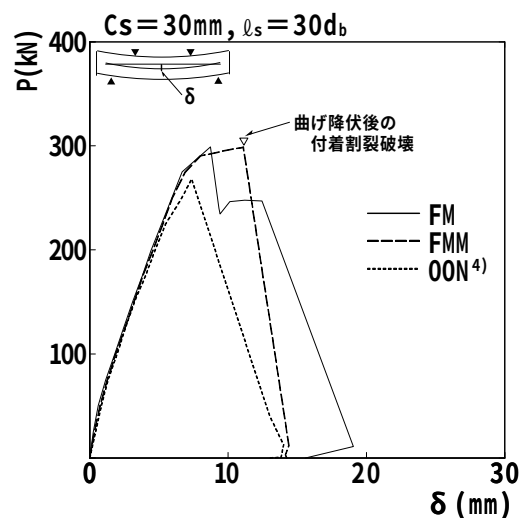


図-5 荷重-変位曲線(包絡線)

の置換率を 50% とした FM、さらに再生細骨材の置換率も 50% とした FMM の初期剛性は同等となり、既往の普通コンクリートの N シリーズと同様の傾向を示した。

4. 付着割裂強度の評価 付着割裂強度は式(1)により求めた。

$$\tau_{u \text{ exp.}} = \frac{M_u}{j \cdot \psi \cdot l_s} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1)$$

ここで M_u : 最大曲げモーメント ($N \cdot mm$)
 j : $(7/8)d$ (d : 梁有効せい 260.5mm)
 ψ : 鉄筋周長 (4-D19 240mm)
 ℓ_s : 重ね継手長さ (30db 570mm)

図-6 に付着割裂強度を示す。A-FM、FMM は、曲げ降伏後の付着割裂破壊となる破壊形式であったが、曲げ降伏後の変位の増加が少なかったため、付着割裂強度は付着割裂破壊時の荷重を用いて算出した。再生粗骨材の置換率を 50%とした FM、さらに再生細骨材の置換率も 50%とした FMM の付着割裂強度は同程度であり、再生細骨材の利用が付着割裂強度に及ぼす影響は認められなかった。また、本実験の中品質再生粗骨材を用いた高流動コンクリート梁の付着割裂強度は、既往の普通コンクリート梁と比較すると、若干高い値を示した。これは、高流動コンクリートでの混和剤の使用により、材料分離抵抗性が高められ、付着性状にとって有効であったためと思われる。

5.まとめ 中品質再生粗骨材を用いた高流動コンクリートの構造特性として、5 週経過実験時の付着性状について検討した結果、本実験の範囲内で以下の知見が得られた。

- 1) 主筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅は、若干のばらつきはみられたものの、普通コンクリート梁と同等であった。
- 2) 本研究で使用した高流動コンクリートは、普通コンクリートと比較して、材料分離抵抗性の向上に起因すると思われる付着割裂強度の上昇が認められた。

今後、打設後 1 年経過時の中品質再生粗骨材を用いた高流動コンクリート梁の乾燥収縮低減剤の効果と付着性状について、検討を行う予定である。

謝辞 本研究に際し、東京建設廃材処理協同組合 葛西再生コンクリート工場には再生コンクリートの手配で御協力をいただきました。また、株式会社フローリックの方々には調合計画において貴重な御助言をいただきました。ここに記して深謝いたします。

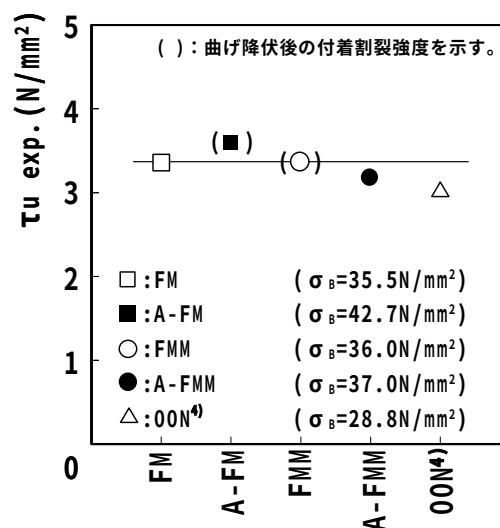


図-6 付着割裂強度

参考文献

- 1) 日本工業規格: JIS A 5021(コンクリート用再生骨材 H)、2005 年 3 月
- 2) 日本工業規格: JIS A 5022(再生骨材 M を用いたコンクリート)、2007 年 3 月
- 3) 日本工業規格: JIS A 5023(再生骨材 L を用いたコンクリート)、2006 年 3 月
- 4) 河井久直、師橋憲貴、桜田智之: 再生コンクリート梁の付着性状に及ぼす横補強筋の効果、日本大学生産工学部第 37 回学術講演会、2004 年 12 月、pp.17-20
- 5) 山本康弘、小野山貫造、本間礼人、許啓文: 高流動コンクリートの流動特性と充填性およびコンクリートの品質に関する研究、日本建築学会構造系論文集、1999 年 9 月、pp.25-31
- 6) 河野修平、嵩英雄、星野実、古賀康男: 高流動コンクリートの品質に及ぼす高品質再生骨材の影響に関する研究-その 1 調査及びフレッシュコンクリートの性状-、日本建築学会大会学術講演便概集(北海道)、2004 年 8 月、pp.545-546
- 7) 小山明男、菊池雅史、恩田吉朗: セルロース系増粘剤を用いたコンクリートの基礎的性質に関する検討-その 3 耐久性状および充填性について-、日本建築学会大会学術講演便概集(関東)、1993 年 9 月、pp.731-732
- 8) 佐原晴也、竹下治之: 増粘剤を添加した高流動コンクリートの実施調合例、日本建築学会大会学術講演便概集(近畿)、1996 年 9 月、pp.147-148
- 9) 西浦範昭、棚野博之、鹿毛忠継、濱崎仁、小山明男、杉本琢磨: 中品質再生骨材を用いた再生骨材コンクリートの性能評価と活用に関する基礎的研究-その 1 研究概要とフレッシュ時の物性-、日本建築学会大会学術講演便概集(関東)、2006 年 9 月、pp.657-658
- 10) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法-、1999