4-30

普通細骨材をごみ溶融スラグで置換した再生コンクリート梁の付着割裂強度

日大生産工　○師橋　憲貴
日大生産工　桜田　智之
日大・理工　三橋　博巳

1.はじめに　近年，再生骨材とごみ溶融スラグの利用促進のため，それぞれの JIS が制定された[1)～4)]。ともに JIS 化された再生骨材とごみ溶融スラグの有効利用の観点から，両者の併用を試みることは大変意義深いものと考える。そこで本研究は，鉄筋コンクリート梁部材のコンクリートの原料として，中品質再生粗骨材とごみ溶融スラグをそれぞれ粗骨材と細骨材に利用した再生コンクリート梁の構造特性を知ることを目的として検討を行った。本研究では構造特性を知るための基礎的研究として，コンクリートの粗骨材は普通粗骨材（砕石）を中品質再生粗骨材で 50%置換し，細骨材は普通細骨材（天然砂）をごみ溶融スラグで置換する割合（以下，置換率という）を 25%，50%，75%，100%と変化させ，ごみ溶融スラグの置換率の変化が再生コンクリート梁の付着割裂強度にどのような影響を及ぼすかについて乾燥収縮の影響を考慮して検討を行ったものである。

2.実験概要　**表-1** に試験体詳細を，また**表-2** に調合表を示す。本研究で用いた再生コンクリートは再生コンクリート工場で製造されたレディーミクストコンクリートで細骨材として用いたごみ溶融スラグの置換率は，25%(RM25S シリーズ)，50%(RM50S シリーズ)，75%(RM75S シリーズ)，100%(RM100S シリーズ)の４シリーズを計画した。付着割裂強度の検討にあたっては，既往の粗骨材に普通骨材を中品質再生粗骨材で 50%置換した結果 (RM シリーズ)[6)] および普通コンクリートの結果 (N シリーズ)[7)] と比較した。**表-3** に骨材の品質を示す。ごみ溶融スラグは千葉県習志野市

表-1 試験体詳細

試験体名	シリーズ 置換率	載荷時期
1) RM25S	RM25Sシリーズ： 中品質再生粗骨材50%・ 砕石50% ごみ溶融スラグ25%・ 天然砂75%	材齢5週
2) RM25S1K		1年 保存後
3) RM50S[5)]	RM50Sシリーズ： 中品質再生粗骨材50%・ 砕石50% ごみ溶融スラグ50%・ 天然砂50%	材齢5週
4) RM50S1K[5)]		1年 保存後
5) RM75S	RM75Sシリーズ： 中品質再生粗骨材50%・ 砕石50% ごみ溶融スラグ75%・ 天然砂25%	材齢5週
6) RM75S1K		1年 保存後
7) RM100S[5)]	RM100Sシリーズ： 中品質再生粗骨材50%・ 砕石50% ごみ溶融スラグ100%・ 天然砂0%	材齢5週
8) RM100S1K[5)]		1年 保存後
9) RM[6)]	RMシリーズ： 中品質再生粗骨材50%・ 砕石50% ごみ溶融スラグ0%・ 天然砂100%	材齢5週
10) RM1K[6)]		1年 保存後
11) N[7)]	Nシリーズ： 中品質再生粗骨材0%・ 砕石100% ごみ溶融スラグ0%・ 天然砂100%	材齢5週
12) NK[7)]		1年 保存後

置換率：普通骨材を再生骨材あるいはごみ溶融スラグで置換する割合
b×D＝300×300mm
重ね継手長さ $l_s=30d_b=570$mm
注)試験体番号3),4),7)～12)のRM50S,RM100S,RM,Nシリーズは，参考文献5)～7)に発表したものであるが，ごみ溶融スラグの置換率を変化させた試験体との比較検討のため，本研究のシリーズに加えて表示をした。

Bond Splitting Strength of Recycled Aggregate Concrete Beams substituted Normal Fine Aggregate by Melt-solidified Slag Aggregate

Noritaka MOROHASHI, Tomoyuki SAKURADA and Hiromi Mitsuhashi

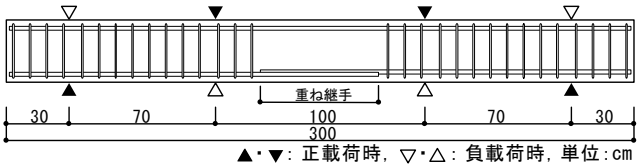
表-2 調合表

シリーズ	W／C (%)	単位質量(kg/m³)					
		水	セメント	細骨材		粗骨材	
				天然砂	ごみ溶融スラグ	砕石	再生
RM25S	65.0	184	283	653	238	473	424
RM50S[5]	72.5	184	254	448	490	473	424
RM75S	65.0	184	283	218	713	473	424
RM100S[5]	69.4	184	265	－	968	473	424
RM[6]	65.0	180	277	816	－	503	455
N[7]	63.5	182	287	870	－	940	－

呼び強度：18N/mm², 粗骨材の最大寸法：20mm, 指定スランプ：18cm

表-3 骨材の品質

シリーズ		絶乾密度 (g/cm³)	実績率 (%)	吸水率 (%)
RM25S RM75S	砕石	2.70	60.9	0.74
	再生粗骨材	2.36	61.7	4.58
	天然砂	2.54	68.3	1.85
	ごみ溶融スラグ	2.79	61.3	0.96
RM50S[5] RM100S[5]	砕石	2.72	63.8	0.77
	再生粗骨材	2.33	61.8	5.40
	天然砂	2.51	66.2	2.05
	ごみ溶融スラグ	2.82	61.3	0.38
RM[6]	砕石	2.70	61.5	0.60
	再生粗骨材	2.37	62.5	4.58
	天然砂	2.54	66.7	1.96
N[7]	砕石	2.68	60.0	0.76
	天然砂	2.53	66.9	1.61



▲・▼: 正載荷時, ▽・△: 負載荷時, 単位:cm

図-1 試験体形状

芝園清掃工場のガス化高温溶融一体型直接溶融炉により製造されたもので，吸水率は 0.96% および 0.38%となっており，再生粗骨材に比較し大変小さい。

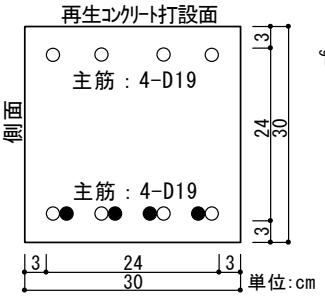


図-2 試験体断面

図-1 に試験体形状を，また図-2 に試験体断面を示す。試験体は純曲げ区間の下端に長さ $30d_b$(d_b：主筋の公称直径)の重ね継手を設け付着性状を検討する梁形式とした。主筋は上端と下端ともに 4-D19(SD345)を配筋し，主筋から側面および底面までのかぶり厚さは 30mm としてサイドスプリット型の付着割裂破壊を想定して付着割裂強度の検討を行った。

3. 乾燥収縮率　図-3 に乾燥収縮率の推移を示す。乾燥収縮率の測定は JIS A 1129 コンクリートの長さ変化試験方法で用いられる 100mm×100mm×400mm の長さ変化角柱供試体を用いて行った。普通細骨材をごみ溶融スラグで 25%置換した RM25S（○印）は既往の細骨材としてごみ溶融スラグを用いていない RM（●印）と同等の乾燥収縮率となっており，材齢 26 週で 900×10^{-6} を上回る値となった。一方，普通細骨材をごみ溶融スラグで 100%置換した RM100S（△印）は既往の普通コンクリートを用いた N（▼印）と同等の乾燥収縮率となっており，ごみ溶融スラグの置換率を高めることで乾燥収縮率が小さい値を示したものと考える。

4. 実験結果

4.1 最終破壊形状　表-4 に実験結果一覧を示す。各試験体の破壊形式は RM50S1K を除き曲げ降伏以前の付着割裂破壊であった。一方，

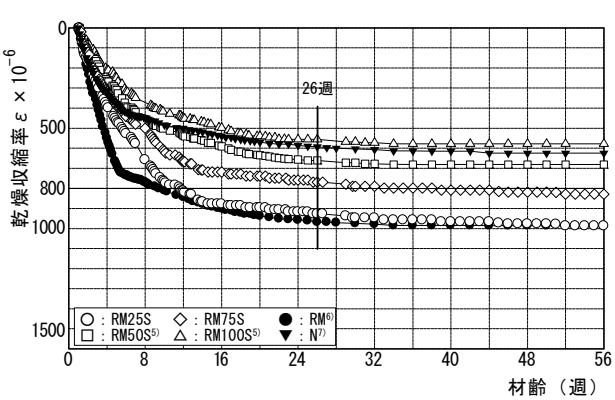


図-3 乾燥収縮率の推移

RM50S1K は付着割裂破壊に対して曲げ降伏が先行した。**図-4** に５週時と１年経過時の付着割裂実験の最終破壊形状を例示した。破線は梁の上端に発生した負載荷時の曲げひび割れを表したものである。最終破壊は５週時および１年経過時ともに重ね継手の主筋に沿って付着ひび割れが生じるサイドスプリット型の付着割裂破壊で想定した破壊形式となった。最終破壊形状は，ごみ溶融スラグの置換率を 25%，50%，75%，100%の４水準と変化させた影響は認められなかった。

4.2 長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅

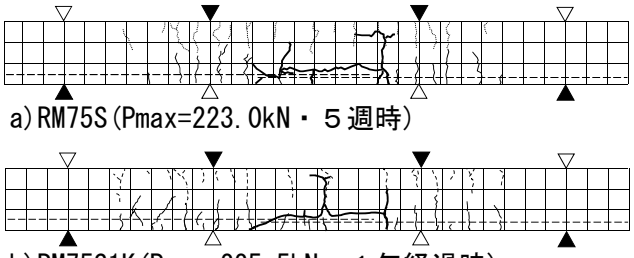
図-5 に１年経過時の主筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅 Wmax を示す。Wmax はごみ溶融スラグの置換率を４水準に変化させた影響は認められず，ごみ溶融スラグの使用が鉄筋コンクリート部材の構造的なひび割れに及ぼす影響は少ないものと考える。またごみ溶融スラグを使用した試験体の Wmax は 0.12mm～0.18mm となり，日本建築学会 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説の制限目標値の 0.25mm 以内でごみ溶融スラグの使用で Wmax が 0.25mm を上回ることはなかった。

表-4 実験結果一覧

試験体名	載荷時期	最大荷重 Pmax (kN)	付着割裂強度 $\tau_{u\ exp.}$ (N/mm^2)	破壊形式
1) RM25S	材齢5週	278.0	3.12	付着割裂破壊
2) RM25S1K	1年保存後	260.0	2.92	
3) RM50S[5)]	材齢5週	296.8	3.33	
4) RM50S1K[5)]	1年保存後	291.0	(3.27)	FS
5) RM75S	材齢5週	223.0	2.50	付着割裂破壊
6) RM75S1K	1年保存後	225.5	2.53	
7) RM100S[5)]	材齢5週	199.2	2.24	
8) RM100S1K[5]	1年保存後	235.5	2.64	
9) RM[6)]	材齢5週	264.0	2.96	
10) RM1K[6)]	1年保存後	289.2	3.26	
11) N[7)]	材齢5週	268.0	3.01	
12) NK[7)]	1年保存後	323.8	3.63	

$\tau_{u\ exp.}$ ：第5章の式(1)による

注) 4)RM50S1Kの破壊形式FSは曲げ降伏後の付着割裂破壊で，
$\tau_{u\ exp.}$ (3.27)はP=291.0(kN)，δ=10.85(mm)時の値を示す。


a)RM75S(Pmax=223.0kN・５週時)

b)RM75S1K(Pmax=225.5kN・１年経過時)

図-4 最終破壊形状

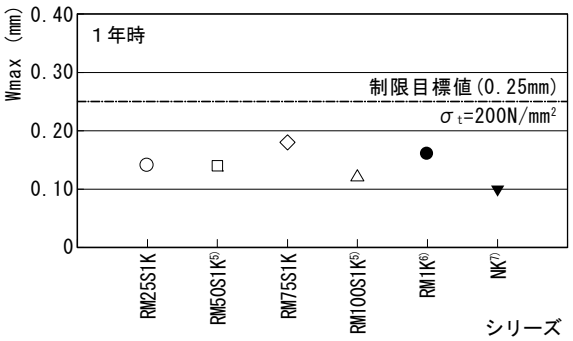


図-5 主筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅(１年時)

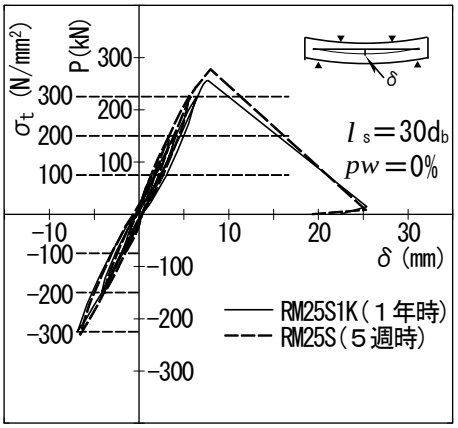


図-6 荷重－変位曲線

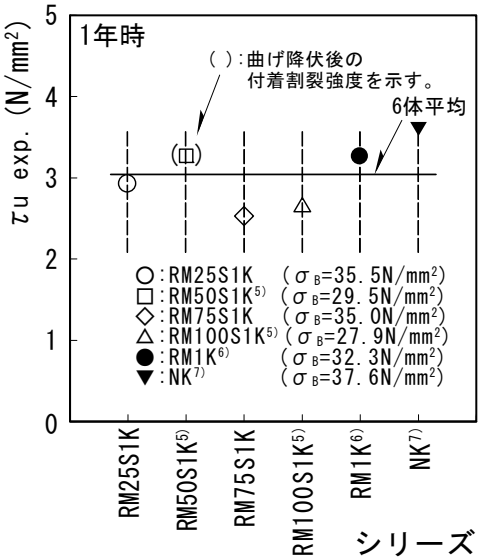


図-7 各シリーズの付着割裂強度(１年時)

4.3 変位性状　**図-6** に荷重－変位曲線を例示した。加力は2点集中による正負繰返し載荷を行い，加力の履歴は主筋の応力度 σ_t を 100N/mm² 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。各シリーズとも正加力時の曲げ剛性は，破線の5週時に比較して実線の1年経過時の方が若干低くなる傾向が認められた。これは1年経過時に載荷した場合は，梁部材内部のコンクリートに生ずる乾燥収縮による引張応力の発生などの要因により剛性が低下したものと考える。

5. 付着割裂強度の評価　付着割裂強度は式(1)により求めた。

$$\tau_{u\,exp.} = \frac{Mu}{j \cdot \phi \cdot l_s} \qquad (N/mm^2) \qquad (1)$$

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

図-7 に1年経過時の各シリーズの付着割裂強度を示す。RM75S1K および RM100S1K の2体は，6体の付着割裂強度の平均を下回る結果となった。このことから，ごみ溶融スラグの置換率を 75%および 100%とした場合は，置換率を 25%および 50%とした場合に比較して，付着割裂強度が著しく低下する傾向が明らかとなった。

6. まとめ　再生コンクリート梁の普通細骨材をごみ溶融スラグで置換した梁部材の付着割裂強度について乾燥収縮の影響を考慮して検討した結果，本実験の範囲内で以下に示す知見が得られた。

1) 再生コンクリートの乾燥収縮率は，普通細骨材をごみ溶融スラグで100%置換した場合は既往の普通コンクリートを用いた場合と同等の値となった。
2) 付着割裂強度はごみ溶融スラグの置換率を75%および100%とした場合は，置換率を25%および 50%とした場合と比較して著しく低下する傾向が認められた。

以上，粗骨材として中品質再生粗骨材を，また細骨材としてごみ溶融スラグを利用した再生コンクリートを使用した鉄筋コンクリート部材の付着割裂強度は，ごみ溶融スラグの置換率を 75%および 100%とした場合は，付着割裂強度の低下が認められたことから，ごみ溶融スラグの置換率の限界は 50%程度であると考える。

謝辞

本研究は文部科学省，平成 20 年度「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」(研究代表者：土木工学科教授 木田哲量)の一環として行われたものであり，関係各位に感謝の意を表します。また，習志野市芝園清掃工場にごみ溶融スラグの使用を快諾していただきました。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骨材を供与していただき，混和剤メーカーF 社の方々には調合に関して多大なご協力をいただきました。ここに記して深謝いたします。

参考文献

1) (財)日本規格協会：ＪＩＳ Ａ 5021 コンクリート用再生骨材H，2005.3
2) (財)日本規格協会：ＪＩＳ Ａ 5022 再生骨材Mを用いたコンクリート，2007.3
3) (財)日本規格協会：ＪＩＳ Ａ 5023 再生骨材Ｌを用いたコンクリート，2006.3
4) (財)日本規格協会：ＪＩＳ Ａ 5031 一般廃棄物，下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材，2006.7
5) 高橋幸裕，師橋憲貴，桜田智之：ごみ溶融スラグと中品質再生粗骨材を用いたＲＣ梁部材の基礎的研究 ―その２ 乾燥収縮性状―，日本大学生産工学部第 41 回学術講演会，2008 年 12 月，pp. 25-28
6) 渡辺真悟，師橋憲貴，桜田智之：普通骨材と中品質再生骨材を混合使用した鉄筋コンクリート梁 ―乾燥収縮性状と付着性状―，日本大学生産工学部第 40 回学術講演会，2007 年 12 月，pp. 35-38
7) 師橋憲貴，桜田智之：再生コンクリートを用いた梁部材の付着割裂強度 ―横補強筋の効果と乾燥収縮ひび割れ―，日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)，A-1 材料施工，pp. 639～640，2006.9