

## 5年間屋外暴露した熔融スラグ再生コンクリート梁部材の付着性状

日大生産工

○師橋 憲貴

1. はじめに 本研究は、1700～1800℃の高温熔融帯で熔融処理された一般廃棄物から排出される熔融スラグの利用について検討を行ったものである<sup>1)</sup>。熔融スラグは、再生コンクリートとともに併用し、再生コンクリートの細骨材における普通細骨材(天然砂)を熔融スラグで置換して利用した。熔融スラグ再生コンクリート梁部材の耐久性を把握する観点から、本研究はコンクリート打設後から梁部材を屋外に暴露し、材齢5年目に梁部材を載荷して、熔融スラグ再生コンクリート梁部材の付着性状について検討を行った。

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。本研究では付着性状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<sup>2)</sup>で50%置換した。細骨材は普通細骨材(天然砂)を熔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、熔融スラグの置換率の変化が熔融スラグ再生コンクリート梁部材の付着割裂強度にどのような影響を及ぼすのか検討を行った。経年にもなう付着割裂強度の差違を検討するため、屋外暴露してから5年間経過する途中における実験棟内に保存した梁部材の5週時、1年時、2年時の結果との比較を行った<sup>3)~5)</sup>。本研究で用いた熔融スラグは千葉県習志野市芝園清掃工場のガス化高温熔融一体型直接熔融炉により製造されたもので

表-1 試験体詳細

試験体名	シリーズ 置換率	載荷時期
1) RM0S	RM0Sシリーズ: 中品質再生粗骨材50%・ 砕石50% 熔融スラグ0%・ 天然砂100%	材齢5週
2) RM0S1K		1年 保存後
3) RM0S2K		2年 保存後
4) RM25S	RM25Sシリーズ: 中品質再生粗骨材50%・ 砕石50% 熔融スラグ25%・ 天然砂75%	材齢5週
5) RM25S1K		1年 保存後
6) RM25S2K		2年 保存後
7) RM25S5E		5年 暴露後
8) RM50S	RM50Sシリーズ: 中品質再生粗骨材50%・ 砕石50% 熔融スラグ50%・ 天然砂50%	材齢5週
9) RM50S1K		1年 保存後
10) RM50S2K		2年 保存後
11) RM50S5E		5年 暴露後
12) RM75S	RM75Sシリーズ: 中品質再生粗骨材50%・ 砕石50% 熔融スラグ75%・ 天然砂25%	材齢5週
13) RM75S1K		1年 保存後
14) RM75S2K		2年 保存後
15) RM75S5E		5年 暴露後
16) RM100S	RM100Sシリーズ: 中品質再生粗骨材50%・ 砕石50% 熔融スラグ100%・ 天然砂0%	材齢5週
17) RM100S1K		1年 保存後
18) RM100S2K		2年 保存後
19) RM100S5E		5年 暴露後

置換率：普通骨材を再生骨材あるいは  
熔融スラグで置換する割合  
 $b \times D = 300 \times 300 \text{mm}$   
 重ね継手長さ  $l_s = 30d_b = 570 \text{mm}$

吸水率は 0.96%および 0.38%となっており、普通細骨材(天然砂)に比較し小さい。付

Bond Properties of Melt-solidified Slag Aggregate Recycled Concrete Beams  
Field-exposed for Five Years

Noritaka MOROHASHI

着割裂強度の検討にあたっては、熔融スラグを利用してない梁部材の2年時までの結果とも比較した。

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. コンクリート強度および乾燥収縮率 図-3

に材齢が5年経過するまでのコンクリートの圧縮強度の推移を、また図-4 に乾燥収縮率の推移を示す。圧縮強度の測定は封かん養生(厚地のビニールを用いて密閉)とした円柱供試体を用い、また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  $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 400\text{mm}$  の長さ変化角柱供試体を恒温恒湿室(室温  $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ , 湿度  $60\% \pm 5\%$ )に保存して行った。圧縮強度の推移についてみるとばらつきがあるものの5週実験時以降1年実験時および2年実験時は圧縮強度の上昇が認められたが、5年実験時は2年実験時と比較して圧縮強度の低下が認められた。これは、材齢の経過に際し封かん養生としたテストピースの水分逸散による乾燥収縮にともない強度が低下したものと考えられる。乾燥収縮率の推移についてみると5週実験時、26週、52週(1年実験時)に掛けて収縮率の増加が認められるが、1年実験時以降5年実験時に至るまでは乾燥収縮率は横ばいとなり、乾燥収縮率の増加は僅かであった。普通細骨材(天然砂)をごみ熔融スラグで25%置換したRM25S(○印)は5年実験時で  $1000 \times 10^{-6}$  を上回る値となった。一方、普通細骨材(天然砂)をごみ熔融スラグで100%置換したRM100S(△印)は5年実験時で  $600 \times 10^{-6}$  を上回る程度で、置換率が大きい場

表-2 調査表

シリーズ	W/C (%)	単位質量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )					
		水	セメント	細骨材		粗骨材	
				天然砂	熔融スラグ	砕石	再生
RM0S	65.0	180	277	816	-	503	455
RM25S	65.0	184	283	653	238	473	424
RM50S	72.5	184	254	448	490	473	424
RM75S	65.0	184	283	218	713	473	424
RM100S	69.4	184	265	-	968	473	424

呼び強度:  $18\text{N}/\text{mm}^2$ , 粗骨材の最大寸法: 20mm, 指定スランブ: 18cm

表-3 骨材の品質

シリーズ		絶乾密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	実績率 (%)	吸水率 (%)
RM0S	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
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
RM50S RM100S	熔融スラグ	2.79	61.3	0.96
	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
	熔融スラグ	2.82	61.3	0.38

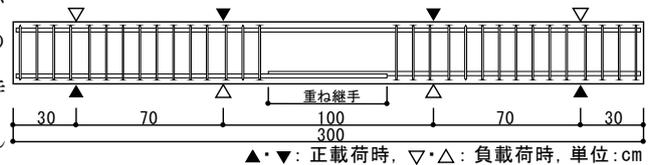


図-1 試験体形状

合には乾燥収縮率が小さい値を示した。

### 4. 実験結果

#### 4.1 変位性状 表-4

に実験結果一覧を示す。各試験体の破壊

形式は5週実験時は

曲げ降伏以前の付着割裂破壊, 5年実験時は曲げ降伏が先行する曲げ降伏後の付着割裂破壊となった。1年実験時および2年実験時は試験

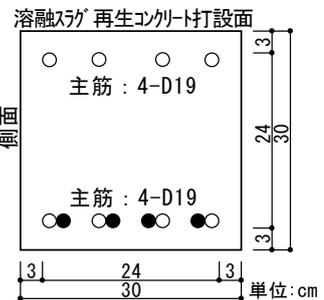


図-2 試験体断面

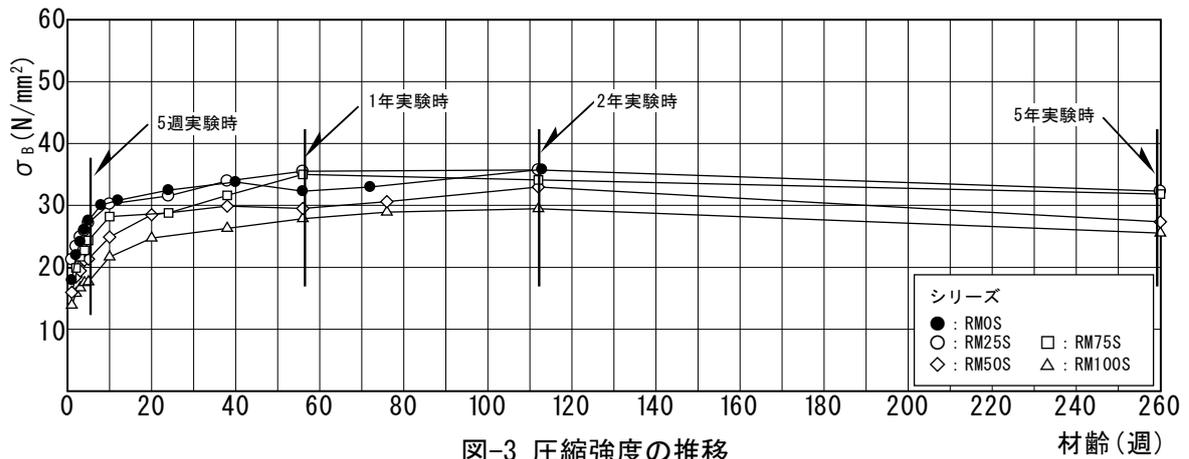


図-3 圧縮強度の推移

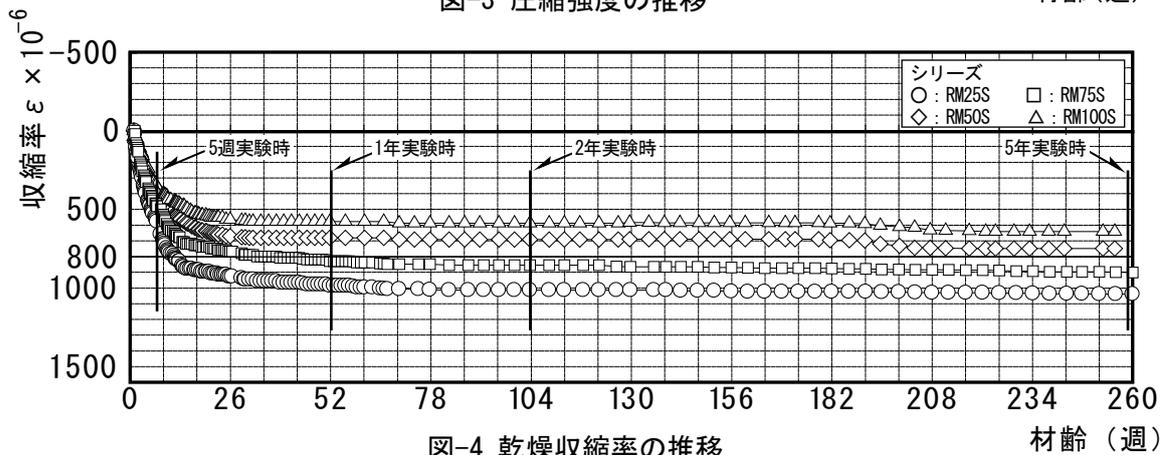


図-4 乾燥収縮率の推移

体により曲げ降伏前の付着割裂破壊および曲げ降伏後の付着割裂破壊が混在する結果となった。図-5 に荷重-変位曲線を RM75S シリーズを例に示した。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  $\sigma_t$  を  $100\text{N/mm}^2$  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。RM75S シリーズにおいては 5 週実験時、1 年実験時および 2 年実験時が曲げ降伏前の付着割裂破壊となり、5 年実験時は曲げ降伏後の付着割裂破壊となった。曲線が重なって解かり難いが、正加力時の曲げ剛性は、破線の 5 週実験時に比較して 1 年実験時、2 年実験時および 5 年実験時の剛性が若干低くなる傾向が認められた。これは 5 週実験時以降では乾燥収縮ひび割れによるき裂の発生により剛性が低下したものと考える。

4.2. 付着割裂強度の評価 付着割裂強度は式(1)により求めた。

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

表-4 実験結果一覧

試験体名	コンクリート強度 $\sigma_B$ ( $\text{N/mm}^2$ )	最大荷重 Pmax (kN)	付着割裂強度 $\tau_{u \text{ exp.}}$ ( $\text{N/mm}^2$ )	破壊形式
1) RM0S	27.5	264.0	2.96	S
2) RM0S1K	32.3	289.2	3.26	
3) RM0S2K	35.8	267.0	3.00	S
4) RM25S	27.2	278.0	3.12	
5) RM25S1K	35.5	260.0	2.92	
6) RM25S2K	35.8	293.5	(3.29)	FS
7) RM25S5E	32.3	290.0	(3.26)	
8) RM50S	21.3	296.8	3.33	S
9) RM50S1K	29.5	291.0	(3.27)	FS
10) RM50S2K	33.0	286.0	3.21	S
11) RM50S5E	30.8	298.5	(3.35)	FS
12) RM75S	24.4	223.0	2.50	S
13) RM75S1K	35.0	225.5	2.53	
14) RM75S2K	34.1	255.0	2.86	FS
15) RM75S5E	31.8	300.2	(3.37)	
16) RM100S	17.7	199.2	2.24	S
17) RM100S1K	27.9	235.5	2.64	
18) RM100S2K	29.5	250.5	2.81	
19) RM100S5E	29.1	315.5	(3.54)	FS

$\tau_{u \text{ exp.}}$  : 4.2節の式(1)による。  
破壊形式のSは付着割裂破壊、FSは曲げ降伏後の付着割裂破壊を示す。

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)  
 $\phi$  : 鉄筋周長 (4-D19 240mm)  
 $l_s$  : 重ね継手長さ ( $30d_b$  570mm)

図-6 に各シリーズの付着割裂強度を示す。5年間屋外暴露した梁部材(■印)の各シリーズにおける付着割裂強度は置換率を 25%~100%に変化させた差異は認められず 1年実験時および 2年実験時に比較して高い値を示す傾向が認められた。普通細骨材(天然砂)を熔融スラグで置換した梁部材の付着割裂強度は熔融スラグを利用していない梁部材(RMOS シリーズ)の 2年実験時を上回り、置換率を 75%(RM75S シリーズ)および 100%(RM100S シリーズ)とした場合は、特に 2年実験時との差が顕著となった。このことから屋外暴露により梁部材表面には微細な亀裂が生ずることとなったが、梁部材内部の構造体コンクリートの状態としては健全であり、良好な付着性状が得られているものとする。

5.まとめ 5年間屋外暴露した熔融スラグ再生コンクリート梁部材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に示す知見が得られた。

- 1) 乾燥収縮率の推移は 1年実験時以降 5年実験時に至るまで乾燥収縮率の増加は僅かであり、置換率が大きい場合(100%)に乾燥収縮率は小さい値となった。
- 2) 付着割裂強度は各置換率において屋外暴露した 5年実験時は、1年実験時および 2年実験時に比較して高い値を示す傾向が認められた。

### 謝辞

本研究は日本大学生産工学研究所所管大型研究機器構造物試験機自動計測制御システムを用いて行った。習志野市芝園清掃工場には熔融スラグの使用を快諾していただいた。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社の方々には調査に関して多

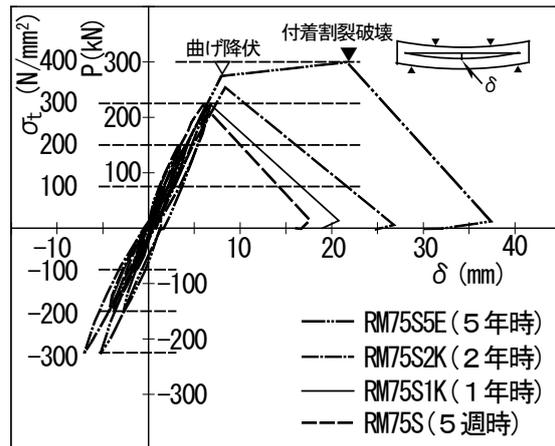


図-5 荷重-変位曲線 (RM75S シリーズ)

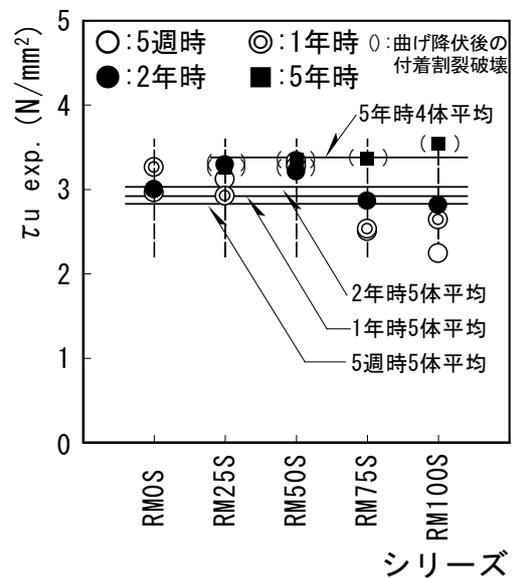


図-6 付着割裂強度

大なご協力をいただいた。ここに関係各位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 5031 一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を熔融固化したコンクリート用熔融スラグ骨材, 2010.7 改正
- 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, 2012.7 改正
- 3) 高橋幸裕, 師橋憲貴, 桜田智之 : ごみ熔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
- 4) 師橋憲貴, 桜田智之, 三橋博巳 : 普通細骨材をごみ熔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, 日本大学生産工学部第43回学術講演会, 2010年12月, pp. 109-112
- 5) 金子皓樹, 師橋憲貴, 桜田智之 : 材齢2年を経過した再生コンクリート梁部材の長期乾燥収縮性状, 日本大学生産工学部第44回学術講演会, 2011年12月, pp. 579-582