

論文 乾燥収縮低減剤を添加し長期保存した再生骨材コンクリート梁部材の付着性状

師橋 憲貴*1・児玉 健太郎*2

要旨：本論文は、乾燥収縮低減剤を用いた再生骨材コンクリート梁部材の実験を行い、乾燥収縮が抑制できるかを究明した。屋内保存した梁部材は材齢5週時と材齢1年時に実験を行った。屋外暴露した梁部材は材齢5年時まで保存し、その後実験を行った。屋外暴露した梁部材は、屋内保存した梁部材とは異なり、微細な多くの乾燥収縮ひび割れが発生した。結果として、乾燥収縮低減剤を添加することにより乾燥収縮率の改善が認められた。しかし、乾燥収縮低減剤を用いることにより付着割裂強度は低下する傾向にあることが認められた。

キーワード：再生細骨材, 乾燥収縮低減剤, 置換率, 重ね継手, 屋外暴露

1. はじめに

高度経済成長期の「大量生産・大量消費」の裏返しとして、わが国の廃棄物の発生量は増大し、これに伴いごみ処理量は年々増加してきた。平成25年度の環境省の報告¹⁾によれば、わが国の一般廃棄物の総資源化量とリサイクル率は年々増加傾向にあり、ごみの処分量は減少してきている。しかし、最終処分場の残余年数は上がっているものの、最終処分場数は減少し、現状のままでは許容量を超えると予想されている。このような社会的課題を背景にごみを資源化する方法が模索され、その一つとして一般廃棄物を再資源化してできる溶融スラグが開発されるようになった²⁾。溶融スラグは一般廃棄物を高温で溶融、固化させたもので、ごみの減量化が可能になり最終処分場の延命化などが図れ、ごみの処理方法として全国に普及し始めている。溶融スラグは表面がガラス質で吸水率が低く、セメントペーストとの保持性は低下し、溶融スラグを使用するとコンクリートの流動性は高くなる。一方、産業廃棄物においてはコンクリート塊の増加が予想され、その再資源化の方法は再生骨材としての利用がある。今後の再生骨材の用途の拡大を図るためには再生細骨材の多角的な利用を考える必要がある³⁾。しかし、再生細骨材は原骨材の周りに付着するモルタル分の影響、あるいはほとんどがモルタル分であったりするため吸水率が高い。以上のことを鑑み一般廃棄物から製造された溶融スラグを骨材に全て用いたり、あるいは溶融スラグと産業廃棄物である再生骨材を併用した建築構造部材の研究が見られている^{4),5)}。既往の研究では普通細骨材を溶融スラグで50%を超えて置換すると付着割裂強度が低下するという報告がある⁶⁾。これを踏まえ、本研究では溶融スラグの置換率を25%とし、再生細骨材との併用によりコンクリートにおける細骨材の代替材料としての可能性を期待した。また、乾燥収縮に対する

乾燥収縮低減剤の有効性も併せて検討する。本研究は、再生細骨材と普通細骨材の置換率を変化させた再生骨材コンクリート梁部材の重ね継手の性状を検討したものである。本研究では重ね継手の性状として特に付着割裂強度に着目して検討を行った。その理由として、重ね継手は鉄筋周囲の再生骨材コンクリートを介して梁部材の応力が伝達される。その際、より直接的に溶融スラグおよび再生細骨材を併用したコンクリートに発生する乾燥収縮ひび割れが付着割裂強度を低下させるような影響を及ぼすか否かについて着目したためである。

2. 実験概要

2.1 試験体のシリーズ

梁部材の試験体一覧を表1示す。普通骨材を再生骨材で置換した再生骨材コンクリートは、併用した骨材の容積比から算出される相対吸水率が高くなると乾燥収縮ひび割れが発生し易い³⁾。そこで、まず粗骨材については乾燥収縮ひび割れの発生を低減させる目的として普通粗骨材を再生粗骨材で50%置換することとした。細骨材については溶融スラグ25%、再生細骨材25%、普通細骨材50%としたRM25RSシリーズ、溶融スラグ25%、再生細骨材50%、普通細骨材25%としたRM25NSシリーズの2種類とした。RM25NSシリーズは再生細骨材の置換率が50%でRM25RSシリーズに比べ再生細骨材の使用量を高めた設定とした。各シリーズでは乾燥収縮低減剤を添加した梁部材と添加しない梁部材を作製し、乾燥収縮低減剤の有無による影響を検討した。

本研究での乾燥収縮低減剤の使用量は $10\text{kg}/\text{m}^3$ の割合で投入した。各シリーズとも再生細骨材と溶融スラグの併用および乾燥収縮低減剤の添加が乾燥収縮性状に及ぼす影響について検討するため、載荷時は材齢5週および材齢1年とした。これらの梁部材は実験室内の常温の

*1 日本大学生産工学部建築工学科 教授 博士(工学)(正会員)

*2 日本大学大学院生産工学研究科 博士前期課程 建築工学専攻

状態で気中に保存した。また、屋外暴露による影響を検討するため、乾燥収縮低減剤を添加した2梁部材では5年の屋外暴露を試みた。屋外暴露した2梁部材は建物の庇がなく日光、風雨などの自然作用を受ける条件で保存した。全梁部材は再生骨材コンクリートの打設時に同時に作製した。また、普通コンクリートを使用した梁部材と比較するため乾燥収縮性状および実験結果においては既往の梁部材(00N・00NK)⁷⁾の結果と併せて検討を行う。

2.2 試験体形状

試験体断面を図1に、試験体形状を図2に示す。試験体は梁部材中央の下端に重ね継手を設けた単純梁形式として付着割裂実験を行った。梁部材の幅は300mm、側面および底面に対する主筋表面からのかぶり厚さは30mm(1.6d_b)と一定にした。主筋は上端・下端ともに4-D19(SD345)を使用した。横補強筋はD10(SD295A)を使用し、4-D10、配筋間隔を80mmとした。また、重ね継手長さは30d_b(570mm)と一定にした。使用した鉄筋の材料特性を表2に、使用したコンクリートの材料特性を表3に示す。

表1 試験体一覧

試験体名*	シリーズ**	乾燥収縮低減剤	載荷時期(材齢)
1)RM25RS	RM25RS	無し	5週時
2)A-RM25RS		有り	
3)RM25RS1K	普通粗骨材:50% 再生粗骨材:50%	無し	1年時
4)A-RM25RS1K		有り	
5)A-RM25RS5E	普通細骨材:50% 再生細骨材:25%	有り	5年時
6)RM25NS	RM25NS	無し	5週時
7)A-RM25NS		有り	
8)RM25NS1K	普通粗骨材:50% 再生粗骨材:50%	無し	1年時
9)A-RM25NS1K	普通細骨材:25% 再生細骨材:50%	有り	
10)A-RM25NS5E	再生粗骨材:50% 再生細骨材:50% 熔融スラグ:25%	有り	5年時

※ 試験体名 A-は乾燥収縮低減剤(グリコールエーテル系)を10kg/m³添加した試験体
 ※※シリーズ中の%の値は再生粗骨材、再生細骨材、熔融スラグで普通骨材を置換する割合(置換率)を意味する。

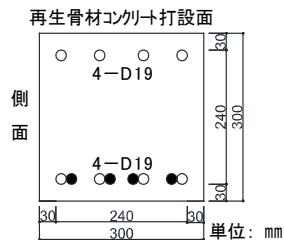


図1 試験体断面

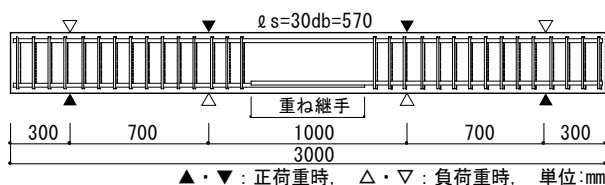


図2 試験体形状

2.3 骨材の品質

使用した骨材の品質を表4に示す。再生骨材はコンクリート塊をジョークラッシャーで破砕して製造された再生骨材である。細骨材として併用した熔融スラグは習志野市芝園清掃工場に建設されたガス化・高温熔融一体型直接熔融炉で製造されたものを使用した。この熔融スラグは水砕処理によって得られたものであり、後処理として、粒度調整(磨砕、篩い分け)および磁気選別されたものである。熔融スラグはJIS A 5031²⁾の基準値である絶乾密度2.5g/cm³以上、実積率53%以上、吸水率3%以下を満たしていた。

2.4 再生骨材コンクリートの調査

本実験で用いた再生骨材コンクリートの調査表を表5に、フレッシュ性状を表6に示す。本実験ではスランブ18±2.5cm、空気量4.5±1.5%を目標とし、材齢28日において圧縮強度が24N/mm²程度になるよう試し練りを行い、調査を決定した。

表2 鉄筋の材料特性

使用鉄筋	使用箇所	降伏点 σ_y (N/mm ²)	降伏ひずみ ϵ_y (%)	引張強度 σ_{max} (N/mm ²)	弾性係数 E (N/mm ²)
D10(SD295A)	横補強筋	354	0.19	514	1.86×10 ⁵
D19(SD345)	主筋	366	0.20	556	1.84×10 ⁵

表3 コンクリートの材料特性

試験体名	載荷時期(材齢)	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	ヤング係数 E (×10 ⁴ N/mm ²)
1)RM25RS	5週時	25.8	2.16
2)A-RM25RS		21.4	1.92
3)RM25RS1K	1年時	31.7	2.19
4)A-RM25RS1K		26.8	1.96
5)A-RM25RS5E	5年時	25.7	1.90
6)RM25NS	5週時	26.0	2.16
7)A-RM25NS		22.6	1.94
8)RM25NS1K	1年時	30.8	2.19
9)A-RM25NS1K		27.5	2.00
10)A-RM25NS5E	5年時	26.2	2.12

表4 骨材の品質

骨材	絶乾密度 (g/cm ³)	表乾密度 (g/cm ³)	実積率 (%)	吸水率 (%)
普通粗骨材	2.68	2.71	61.1	0.84
再生粗骨材	2.35	2.46	61.5	4.67
普通細骨材	2.53	2.58	64.6	1.88
再生細骨材	2.02	2.25	72.3	11.55
熔融スラグ	2.82	2.83	61.2	0.48

表5 調査表

シリーズ	W/C (%)	単位質量(kg/m ³)						
		W	C	粗骨材		細骨材		
RM25RS	59.6%	184	309	普通 466	再生 420	普通 430	再生 188	熔融スラグ 235
RM25NS	57.5%	184	320	普通 466	再生 420	普通 213	再生 373	熔融スラグ 232

表 6 フレッシュ性状

シリーズ	スランプ (cm)	空気量 (%)	外気温度 (°C)	コンクリート温度 (°C)
RM25RS	19.5	3.0	26.0	28.0
RM25NS	16.0	3.3	25.0	29.0

2.5 加力方法および測定方法

加力は日本大学生産工学研究所所管構造物試験機自動計測制御システムを介した加力ビームにより行った。裁荷は 2 点集中加力とし、正負繰り返し裁荷を行った。加力の履歴は重ね継手始点の主筋応力度が $\pm 100\text{N}/\text{mm}^2$ ずつ増加するように荷重で制御し、正負各 1 回の繰り返し載荷を行った。主筋応力度は日本建築学会発行の鉄筋コンクリート構造計算規準⁸⁾(以下 RC 規準という)に示される梁の降伏曲げモーメントを算定する略算式により求めた。重ね継手部の付着割裂破壊が発生するまでは荷重制御による単調載荷とし、付着割裂破壊発生後は変位により制御した。変位測定位置は載荷点と梁中央とし、アルミホルダーに設置した電気式変位計により、支点と梁中央の相対変位を測定した。曲げひび割れ幅はマイクロスコープ(精度 1/50mm)により純曲げ区間の重ね継手部の主筋重心線上を測定した。

3. 乾燥収縮性状

3.1 乾燥収縮率

乾燥収縮率の測定は JIS A 1129-2(コンタクトゲージ法)⁹⁾に準じて 100mm×100mm×400mm の長さ変化試験体を作製した。長さ変化試験体は 1 シリーズにつき 3 本の試験体を作製し、コンクリート打設後 1 週間水中養生した後、湿度 $60\pm 5\%$ 、室温 $20\pm 2^\circ\text{C}$ の恒温恒湿室保存とした。図 3 に長さ変化試験体から求めた収縮ひずみを乾燥収縮率として示す。A-RM25NS シリーズ(図中の■印)および A-RM25RS シリーズ(図中の●印)では両シリーズとも乾燥収縮低減剤を添加していない RM25NS シリーズおよび RM25RS シリーズと比較して乾燥収縮率の値が低下し改善したことが認められた。

乾燥収縮率の値について見ると材齢 5 週で乾燥収縮低減剤を添加していないもの(図中の○, □印)で 800×10^{-6} 程度を示し、乾燥収縮低減剤を添加したもの(図中の●, ■印)では 500×10^{-6} 程度を示した。その後、乾燥収縮低減剤を添加していないものでは材齢 1 年まで緩やかに値が増加して 1000×10^{-6} を超える程度となり、乾燥収縮低減剤を添加したものでは $800\sim 1000\times 10^{-6}$ 程度となった。材齢約 1 年半位まで測定を継続したが、乾燥収縮率の値の増加は僅かで材齢 5 年でも値はさほど変化しなかった。各シリーズとも乾燥収縮率は 800×10^{-6} を超え、構造体コンクリートの乾燥収縮ひび割れ制御のために鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針

(案)・同解説(以下収縮ひび割れ制御設計指針案という。)に示される乾燥収縮率の制限値の目安とされる値の 800×10^{-6} を上回った¹⁰⁾。これは普通コンクリートを使用した N シリーズ(図中の△印)と比較しても乾燥収縮率の値はかなり大きく、吸水率の高い再生細骨材の使用が要因と考える。また、RM25NS シリーズ(図中の□印)は RM25RS シリーズ(図中の○印)と比較して乾燥収縮率の値の増加が認められた。これは再生細骨材の使用量を多くしたためと考える。

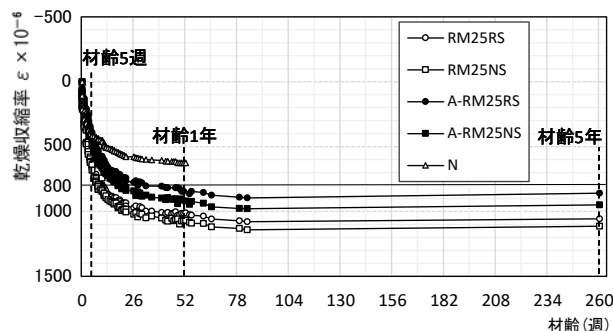


図 3 長さ変化試験体の乾燥収縮率

3.2 乾燥収縮ひび割れの発生状況

写真 1 に屋外暴露した材齢 5 年の乾燥収縮ひび割れの発生状況を示す。写真は A-RM25RS5E の付着割裂実験時の荷重 $P=75\text{kN}$ における梁部材の一部を示したものである。荷重 $P=75\text{kN}$ 時には載荷による曲げひび割れは発生しておらず乾燥収縮ひび割れのみが見られる状態である。乾燥収縮ひび割れは付着割裂実験時に発生する構造耐力上のひび割れと区別するため色鉛筆でなぞったが、写真では屋外暴露によって発生した梁部材の汚れと区別がつかないくらいの微細なひび割れが梁部材側面の全面に渡ってランダムに多く発生が見られた。乾燥収縮ひび割れ幅は材齢 44 週目で 0.02mm、材齢 52 週目で 0.04 mm 程度が測定された。乾燥収縮ひび割れの大きさは収縮ひび割れ制御設計指針案に示される劣化抵抗性を確保するための設計ひび割れ幅 0.2 mm(屋外)¹⁰⁾を大きく下回っており、耐久性に影響を及ぼさずひび割れ幅ではないものとする。



写真 1 乾燥収縮ひび割れの発生状況

4. 実験結果

4.1 実験結果一覧

実験結果一覧を表7に示す。Wmaxは正載荷時において純曲げ区間の主筋重心線上に発生した長期許容応力度時の曲げひび割れ幅の最大値を示したものである。長期許容応力度時は、主筋にSD345を用いているため、本来は $\sigma_t=215\text{N/mm}^2$ であるが、主筋の種類がSD295Aのように低い場合は $\sigma_t=195\text{N/mm}^2$ となるので、本研究では基本的な重ね継手の性状を把握するため $\sigma_t=200\text{N/mm}^2$ 、 $P=150\text{kN}$ 時の曲げひび割れ幅の値を示した。重ね継手の最大荷重時平均付着応力度 $\tau_{u\text{ exp.}}$ は最大荷重 P_{max} を用いて式(1)より求めた。

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

ここで、Mu：最大曲げモーメント、j：7/8d(d：梁有効せい)、 ϕ ：鉄筋の周長(mm)、 l_s ：重ね継手長さ(mm)である。

表7 実験結果一覧

試験体名	載荷時期 (材齢)	σ_B (N/mm^2) [E]	最大 荷重 P_{max} (kN)	最大曲げ ひび割れ幅 W_{max} (mm)	付着割裂 強度 $\tau_{u\text{ exp.}}$ (N/mm^2)	破壊 形式
1)RM25RS	材齢5週時	25.8 [2.16]	259.0	0.18	2.91	S
2)A-RM25RS		21.4 [1.92]	212.0	0.10	2.36	S
3)RM25RS1K	材齢1年時	31.7 [2.19]	284.5	0.12	3.19	S
4)A-RM25RS1K		26.8 [1.96]	230.5	0.12	2.59	S
5)A-RM25RS5E	材齢5年時	25.7 [1.90]	222.7	0.20	2.50	S
6)RM25NS	材齢5週時	26.0 [2.16]	275.0	0.20	3.09	S
7)A-RM25NS		22.6 [1.94]	225.0	0.18	2.53	S
8)RM25NS1K	材齢1年時	30.8 [2.19]	275.0	0.20	3.09	S
9)A-RM25NS1K		27.5 [2.00]	225.0	0.20	2.53	S
10)A-RM25NS5E	材齢5年時	26.2 [2.12]	225.0	0.10	2.53	S

σ_B :コンクリートの圧縮強度 E:ヤング係数 S:付着割裂破壊

4.2 最終破壊形状

最終破壊形状を図4に示す。正加力時(▲・▼印)のひび割れを実線で、負加力時(△・▽印)のひび割れを破線で示した。全梁部材とも、引張側下縁から曲げひび割れが発生し、荷重を上昇させるとともに圧縮側に曲げひび割れが進展した。その後、継手端部に発生した付着ひび割れが順次継手内部に進展し、最終的には付着割裂破壊を起こした。最終破壊形状の純曲げ区間における付着割裂破壊に伴うひび割れは太線で示した。置換率および材齢が異なる梁部材の側面のひび割れの発生状況は違いが認められず、全ての梁部材でサイドスプリット型の付着割裂破壊となった。

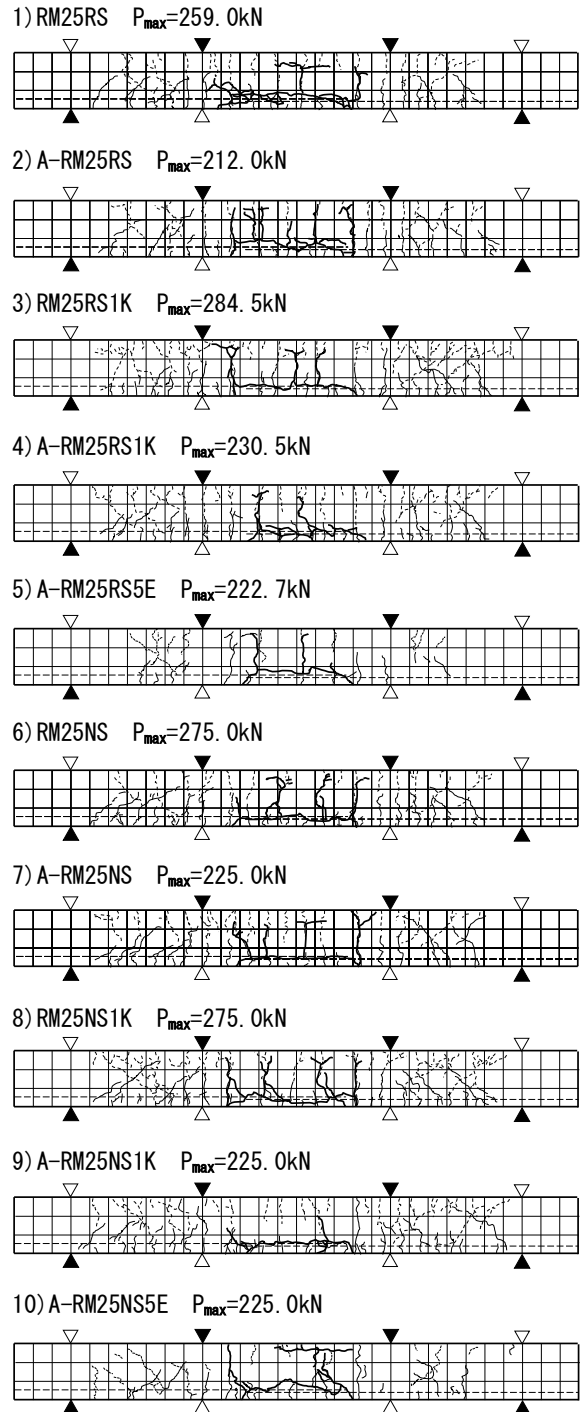


図4 最終破壊形状(側面)

4.3 たわみ性状

RM25RS シリーズおよび RM25NS シリーズで乾燥収縮低減剤の添加の有無で分類した荷重-たわみ曲線を図5に示す。荷重-たわみ曲線の付着割裂破壊後の負勾配は下り傾向の向きのみを示す。たわみは梁部材の中央変位 δ を示した。主筋長期許容応力度時($\sigma_t=200\text{N/mm}^2$, $P=150\text{kN}$)の曲げ剛性を比較すると、各シリーズともに正方向と負方向の長期許容応力度時の剛性に概ね差異は見られず、最大荷重時以降は付着割裂破壊を生じたため、急激な耐力低下を示した。

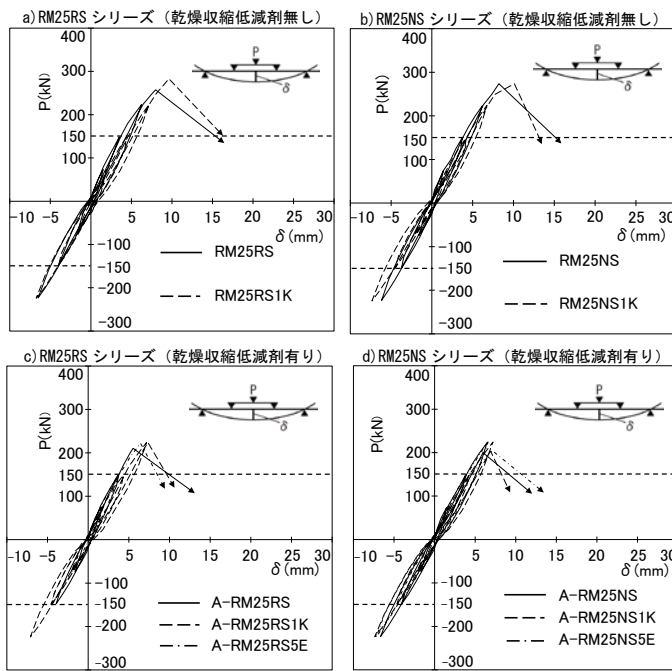


図5 荷重-たわみ曲線

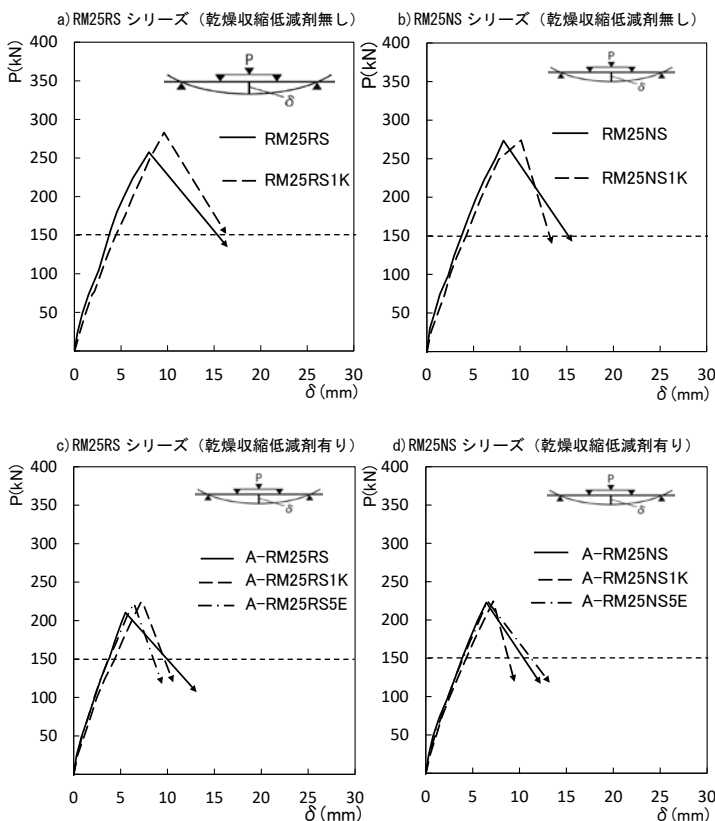


図6 荷重-たわみ曲線(包絡線)

図5では正負繰り返し荷重を行ったため履歴が重なり長期許容応力度時の剛性の判別が難しいため、2シリーズの正加力時の荷重-たわみ曲線の包絡線を図6に示した。包絡線は正加力時の初荷重における荷重-たわみ曲線を連続して描き、付着割裂破壊後は下り傾向の向き

みを示した。c)RM25RSシリーズ(乾燥収縮低減剤有り)およびd)RM25NSシリーズ(乾燥収縮低減剤有り)では若干の差異は見られるが屋外暴露した材齢5年の梁部材(A-RM25RS5EおよびA-RM25NS5E)であっても剛性は低下することなく材齢5週、材齢1年の梁部材と同等となった。

4.4 長期許容応力度時の最大曲げひび割れ

長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅 W_{max} を図7に示す。図7中には表7で示した W_{max} のプロットに加え、既往の普通コンクリートの梁部材(00N・00NK)⁷⁾を併せて示した。普通コンクリートの梁部材(00N・00NK)と比較して再生骨材コンクリートの梁部材は W_{max} が大きくなる傾向が認められたが、 W_{max} は全ての梁部材においてRC規準⁸⁾の制限目標値である0.25mmを下回る結果となった。実験値に若干のばらつきが見られたが再生細骨材の置換率および材齢の違いによる影響はあまりみられなかった。特に5年間屋外暴露したことにより乾湿繰り返しを受けたA-RM25RS5Eにおいても W_{max} は0.20mmとなっており、耐久性上の問題を見出すことはなかった。

4.5 付着割裂強度

式(1)より求めた付着割裂強度を図8に示す。図8中には表7で示した $\tau_{u,exp}$ のプロットに加え、既往の普通コンクリートの梁部材(00N・00NK)⁷⁾を併せて示した。乾燥収縮低減剤を添加していない梁部材は材齢5週、材齢1年において付着割裂強度 $\tau_{u,exp}$ は $3.00N/mm^2$ 程度であり、材齢5週時の普通コンクリートと同等であった。このため、再生細骨材の置換率および材齢5週を過ぎると乾燥収縮率が 800×10^{-6} を超え乾燥収縮ひび割れが発生した梁部材があったがその乾燥収縮ひび割れによる付着割裂強度に与える影響は少ないものとする。しかし、乾燥収縮低減剤を添加した梁部材は乾燥収縮低減剤を添加することにより付着割裂強度は低下する傾向が認められた。なお、コンクリートの圧縮強度は荷重時期およびシリーズの違いにより $21.4 \sim 37.6kN/mm^2$ の範囲となったが、普通強度コンクリートの領域における付着割裂強度の比較を基本的に行うためコンクリート強度で除するなどの無次元化は行わなかった。乾燥収縮低減剤を添加した梁部材は材齢5週、材齢1年、材齢5年で付着割裂強度 $\tau_{u,exp}$ は $2.50N/mm^2$ 程度とほぼ一定となった。これはコンクリートの圧縮強度が材齢でさほど差異が認められなかったことによるものとする。

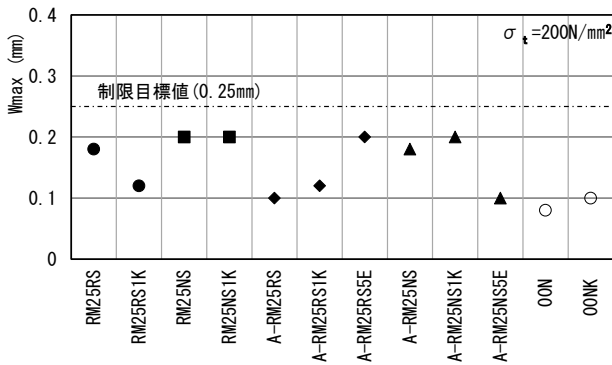


図7 長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅

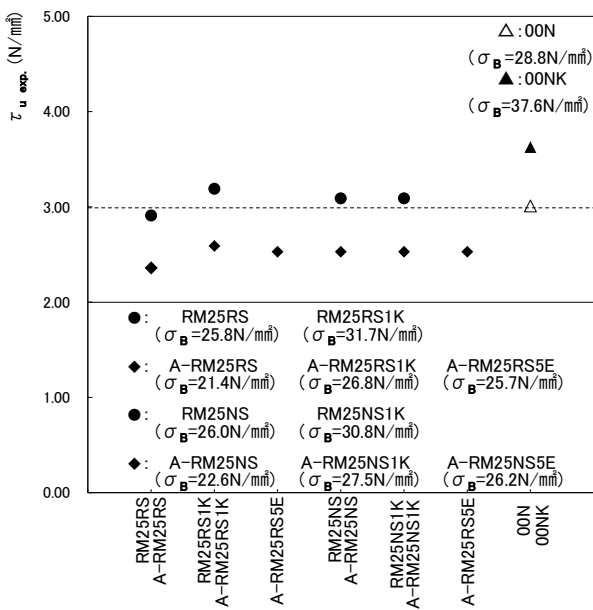


図8 付着割裂強度

5. まとめ

乾燥収縮低減剤を添加し長期保存した再生骨材コンクリート梁部材の付着割裂強度について検討を行った結果、本実験の範囲内で以下の知見が得られた。

- 1) 本実験の再生骨材コンクリートの乾燥収縮率は 800×10^{-6} を超えた。再生細骨材の置換率を 25% および 50% としたことにより大きい値となった。
- 2) 屋外暴露によって微細な乾燥収縮ひび割れが多数発生したが、その幅は鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説に定められる値を下回っていた。
- 3) 乾燥収縮低減剤を添加し材齢 5 年まで屋外暴露したたわみ性状における梁部材の初期剛性は、材齢 5 週の梁部材と比較しても同等であり顕著に低下するようなことはなかった。
- 4) 長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅は RC 規準に示される制限目標値 0.25mm を下回り、再生細骨材の置換率の違いおよび乾燥収縮低減剤の添加の有無による影響は認められなかった。

- 5) 乾燥収縮低減剤を添加していない梁部材の付着割裂強度は再生細骨材の置換率、材齢による影響はほとんど認められず、普通コンクリートの材齢 5 週時の梁部材と同等であった。しかし、乾燥収縮低減剤を添加した梁部材は乾燥収縮低減剤を添加していない梁部材と比較して付着割裂強度の低下が認められた。

以上本研究では乾燥収縮低減剤を添加し長期保存した再生骨材コンクリート梁部材の付着割裂強度について検討を行った結果、乾燥収縮率に関しては改善が認められた。しかし、付着割裂強度に関しては乾燥収縮低減剤を添加した場合に低下する傾向があり、乾燥収縮低減剤を添加した再生骨材コンクリートの力学的性質については今後さらに検討する必要があると考える。

謝辞

習志野市芝園清掃工場には溶融スラグの使用を快諾して頂きました。再生骨材コンクリートの打設にあたって、東京建設廃材処理協同組合葛西再生コンクリート工場および混和剤メーカーの F 社に大変お世話になりました。関係各位に記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本の廃棄物処理(平成 25 年度実績), 環境省, 平成 28 年 3 月 25 日
- 2) 日本工業規格: 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定化したコンクリート用溶融スラグ骨材, 2016 年 10 月 20 日改正
- 3) 道正泰弘: 低品質再生骨材の構造用コンクリートへの利用, コンクリート工学 Vol. 55 No. 8, 2017 年 8 月, pp. 635-643
- 4) 崔正龍, 大芳賀義喜, 北辻政文, 田中礼治: 都市ごみ溶融スラグを骨材として用いた鉄筋コンクリート柱の曲げせん断実験研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 25, No. 2, 2003 年, pp. 271-276
- 5) 西浦範昭, 崔正龍, 北辻政文, 田中礼治: 再生粗骨材とごみ溶融スラグ細骨材を用いた RC 柱部材の曲げせん断実験に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 26, No. 1, 2004 年, pp. 1557-1562
- 6) 島田崇弘, 師橋憲貴, 桜田智之: ごみ溶融スラグと再生粗骨材を併用した RC 梁部材の構造特性に関する実験研究 - その 2 材齢 1 年経過後の乾燥収縮性状 -, 日本建築学会大会学術講演概要集(東北), 2009 年 8 月, pp. 241-242
- 7) 師橋憲貴, 桜田智之: 乾燥収縮の抑制を目的とした再生コンクリート梁の付着性状, 日本建築学会大会学術講演概要集(中国), 2008 年 9 月, pp. 1165-1166
- 8) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 2010 年
- 9) 日本工業規格: JIS A 1129 モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法 - 第 2 部: コンタクトゲージ方法, 2001 年 6 月
- 10) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説, 2006 年 2 月 10 日