

論文 再生骨材を用いたコンクリートの耐凍害性と乾燥収縮

後藤彰*¹・堺孝司*²

要旨：再生骨材を用いたコンクリートの耐凍害性に及ぼす骨材の品質および配合ならびに再生骨材のコンクリートへの利用条件について検討した。また、乾燥収縮特性についても検討した。その結果、再生骨材の代わりに一部を未使用の普通骨材（以下バージン骨材という）を用いることでコンクリートの耐凍害性や乾燥収縮特性が改善されること、および吸水率と水セメント比を指標として耐凍害性を評価できることなどが明らかとなった。

キーワード：コンクリート、再生骨材、吸水率、耐凍害性、乾燥収縮

1. まえがき

近年、地球環境問題に関する一般の認識が高まり、あらゆる産業分野で発生する副産物のリサイクルが大きな課題となっている。このようなことから日本においては、1991年にリサイクル法が施行され、再生資源の利用促進が図られることとなった。建設産業も例外ではなく、建設省では、取り壊しコンクリートの再利用率を2000年までに90%にするとしている。この目標を実現するための技術的な指針として、1994年に「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準（案）」[1]をとりまとめている。本基準（案）では、再生骨材の品質を吸水率と安定性により分類し、それぞれの品質に応じた用途を示している。しかしながら、これらの規定は、例えば耐凍害性などについてその基になるデータが必ずしも明らかでなく、また配合との関係などについてはほとんど言及されていない。このように、現状は再生骨材をコンクリートの材料として有効利用するための基本的な情報が十分とはいえない。

このことを背景に、本研究では再生骨材を用いたコンクリートの耐凍害性に及ぼす骨材の品質および配合ならびに再生骨材のコンクリートへの利用条件について検討した。また、再生骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮特性についても検討した。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

本実験に用いた細骨材および粗骨材の物理試験結果をそれぞれ表-1および表-2に示す。一般の再生骨材製造プラントはその用途として主に路盤材を対象にしていることからその最大寸法は40mmとしている場合が多い。本実験においてはこれらをそのまま用いることとし、バージン粗骨材および再生粗骨材の最大寸法を40mmとした。また、細骨材はバージン材を使用した。再生骨材RBについてはコーンクラッシャ、RCはジョークラッシャ、RDおよびREはジョークラッシャとインパクトクラッシャの組み合わせにより製造されたものである。

* 1 北海道開発局開発土木研究所構造部材料研究室主任研究員（正会員）

* 2 北海道開発局開発土木研究所構造部材料研究室室長、工博（正会員）

2. 2 コンクリートの製造および配合

コンクリートの練り混ぜは、容量100リットルのパン型ミキサーを用い、練り混ぜ時間は全材料投入後3分とした。コンクリートの練り混ぜ温度および養生温度は20℃とした。養生は供試体作製直後から脱型までの1日間を湿気養生とし、その後、所定の材齢まで水中養生を行った。コンクリートの配合を表-3に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。実験変数として、水セメント比は、35、45、53%の3水準を、また再生骨材置換率は30、50、70、100%の4水準を考慮した。コンクリートの目標スランブは 8 ± 1 cmとした。また、目標空気量として $4.5 \pm 1\%$ および $6.5 \pm 1\%$ を考慮した。混和剤は、リグニンスルホン酸化合物ポリオール複合体を主成分とするAE減水剤と変性ロジン酸化合物を主成分とする空気連行剤を用いた。

表-1 細骨材の物理的性質

表乾比重	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	実積率 (%)	洗い損失量 (%)	有機不純物	安定性試験損失質量 (%)	塩分含有量 (%)	粒度分布(残留率%)						粗粒率
								5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
2.73	1.11	1.85	68.3	0.27	合格	0.3	0.002	0	7	25	53	83	98	2.66

表-2 粗骨材の物理的性質

種別	記号	粗骨材の最大寸法 (mm)	表乾比重	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	実積率 (%)	安定性試験損失質量 (%)	粒度分布(残留率%)						粗粒率	
								40	30	25	20	15	10		5
パーソン粗骨材A	VA	40	2.69	0.95	1.56	58.1	0.7	0	17	32	54	60	84	98	7.36
再生骨材B	RB		2.44	5.86	1.31	56.9	25.1	0	14	32	59	71	91	100	7.50
再生骨材C	RC		2.38	6.66	1.25	56.0	32.5	0	9	34	62	71	88	99	7.44
再生骨材D	RD		2.42	5.54	1.36	59.0	54.3	0	10	24	47	56	77	96	7.19
再生骨材E	RE		2.45	6.13	1.39	60.0	51.0	0	8	21	51	65	80	97	7.28

表-3 コンクリートの配合

配合番号	記号	水セメント比 (%)	空気量 (%)	再生骨材置換率 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)						圧縮強度 (28日材齢) (N/mm ²)			
						水 W	セメント C	細骨材 S	パーソン粗骨材 G _s	再生骨材 Gr	AE減水剤				
													W	C	S
1	VA	45	4.5	0	40	129	287	803	1,184	0	0.9	45.2			
2	RB			100		135	300	792	0	1,048	0.93	37.8			
3				50		132	293	797	588	527	0.91	42.3			
4				30		131	291	799	659	317	0.91	44.6			
5				100		139	309	784	0	1,032	0.96	39.1			
6	RC			50		134	298	794	586	522	0.93	41.6			
7				30		133	296	795	822	314	0.92	41.0			
8				100		149	426	696	0	997	1.33	47.9			
9	RD			35		4.5	100	38	148	423	691	0	1,010	1.32	44.8
10				6.5		100	36.5	143	409	653	0	1,019	1.27	40.0	
11				4.5		100	40	138	307	778	0	1,046	0.96	38.0	
12				6.5		100	38.5	129	287	742	0	1,065	0.9	36.9	
13				4.5		50	40	138	307	778	580	523	0.96	41.8	
14				4.5		50	40	133	251	842	0	1,044	0.78	31.6	
15				6.5		100	42	124	234	837	0	1,051	0.73	31.3	
16				4.5		50	40	133	251	842	579	522	0.78	35.2	
17				100		135	300	783	0	1,068	0.93	38.1			
18				RE		45	4.5	70	40	135	300	783	351	747	0.93
19	50					135	300	783	584	534	0.93	42.2			

2. 3 凍結融解試験および長さ変化試験

コンクリートの凍結融解試験は、10×10×40cmの供試体を用い土木学会基準 JSCC-G501-1986に準拠して行った。なお、試験材齢は28日とした。長さ変化の測定は、10×10×40cmの供試体を用い、JIS A 1129-1993に準拠し、コンパレータ法により温度20℃および相対湿度60%の環境下で行った。なお、試験開始材齢は7日とした。この試験で得られた結果を以後、乾燥収縮ひずみとみなす。

3. 実験結果および考察

3. 1 凍結融解抵抗性に及ぼす各種変数の影響

凍結融解抵抗性に及ぼす各種変数の影響を図-1～4に示す。これらの図には比較のためにバージン骨材 (VA) のみを用いた場合の実験結果も載せた。図-1は水セメント比の影響を示したもので、この粗骨材 (RD) の場合、相対動弾性係数はバージン骨材と再生骨材の間で大きな差は見られなかった。しかし、質量減少率は水セメント比の増加とともに増大している。図-2は再生骨材置換率の影響を示したものであり、相対動弾性係数は置換率の増加とともに低下し、100%置換の場合は60%以下となった。これに対して、質量減少率は必ずしも置換率の影響は明確でなく、70%置換の場合が最も大きな値を示した。図-3は凍結融解抵抗性に及ぼす空気量の影響を示したものである。水セメント比35%では質量減少率

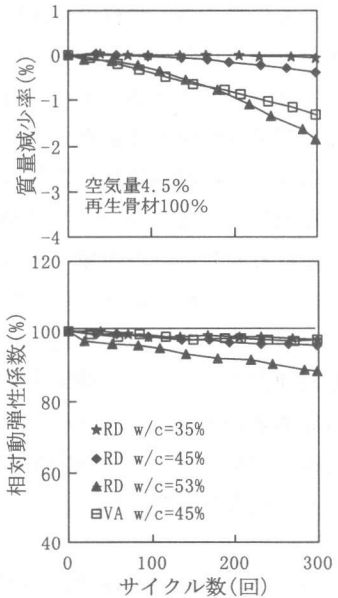


図-1 凍結融解抵抗性に及ぼす水セメント比の影響

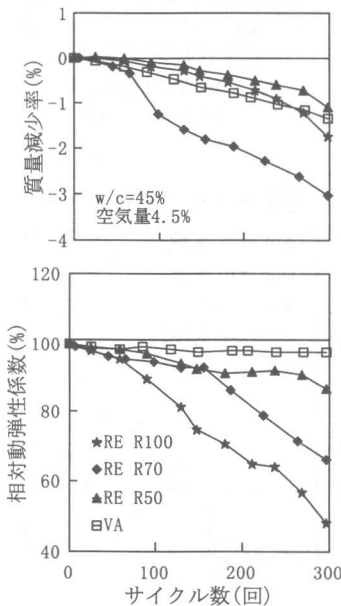


図-2 凍結融解抵抗性に及ぼす再生骨材置換率の影響

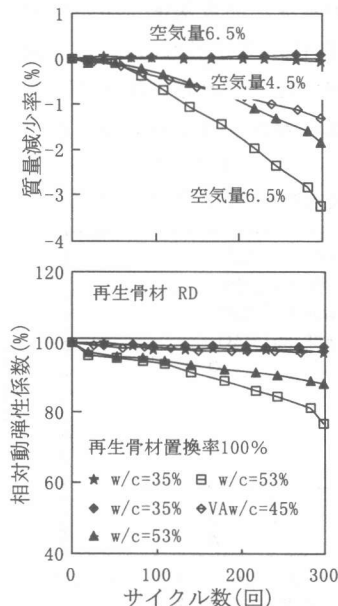


図-3 凍結融解抵抗性に及ぼす空気量の影響

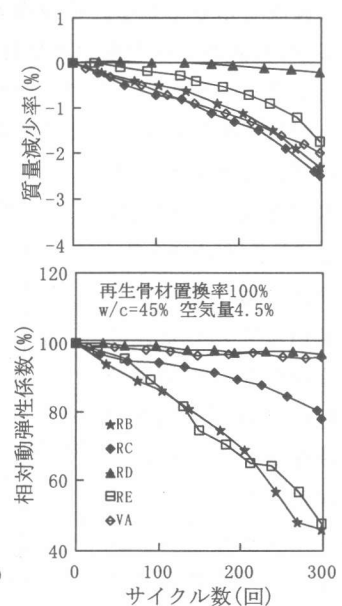


図-4 凍結融解抵抗性に及ぼす再生粗骨材の種類の影響

および相対動弾性係数とも空気量による差は見られなかった。水セメント比53%では質量減少率および相対動弾性係数とも目標空気量が6.5%より4.5%のほうが良好な結果を示しており、単純な空気量の増大は必ずしも耐凍害性の改善とはならないことが分かった。また、図-4は再生骨材の種類の影響を示したものであり、骨材の種類によって、耐凍害性が著しく異なることが分かる。再生骨材RBとREを用いた場合の相対動弾性係数の値が他と比べて著しく低下しているが、これらの結果は耐凍害性が必ずしも骨材の吸水率あるいは安定性試験による損失質量と直接関連づけることができないことを示している。図-5は凍結融解試験の300サイクル時における相対動弾性係数と再生骨材置換率の関係を示したものである。再生骨材RDは、ほとんど耐凍害性に問題のない骨材と言えるが、その他の骨材は置換率が大きくなるほど耐凍害性が失われる傾向を示している。しかし、再生骨材置換率が50%程度になると、耐凍害性はかなり改善され、置換率70%においても相対動弾性係数60%程度は確保できることが明らかとなった。

3. 2 凍結融解抵抗性に及ぼす吸水率の影響

図-6および7は、それぞれ再生骨材置換率と吸水率および安定性の関係を示したものである。なお、以後の検討においては既往の研究で得られたデータも用いた。再生骨材の吸水率および安定性は置換率が大きくなると大きくなる傾向を示している。建設省の用途別品質基準（案）による第1種領域は吸水率および安定性がそれぞれ3%、12%以下である。しかし、これらの図では、それらの値を超えても耐久性指数が60%以上となる例がかなり見られる。図-8は、再生骨材の吸水率と安定性の関係を示したものである。同図には上述の第1種領域を示した。この図から、第1種領域内であれば耐久性は確保されることが分かる。しかし、吸水率3%を超えると安定性が12%以下でも耐久性は得られない場合や、安定性が

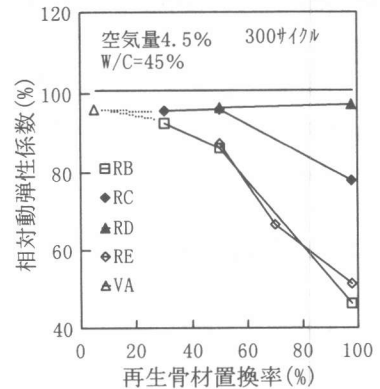


図-5 再生骨材置換率と相対動弾性係数の関係

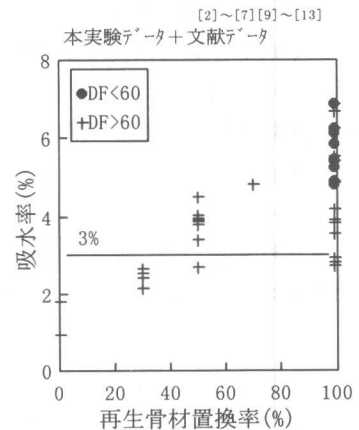


図-6 再生骨材置換率と吸水率の関係

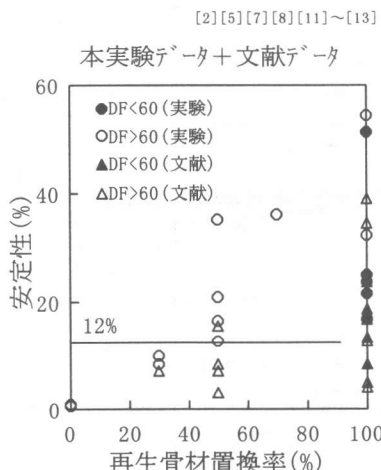


図-7 再生骨材置換率と安定性の関係

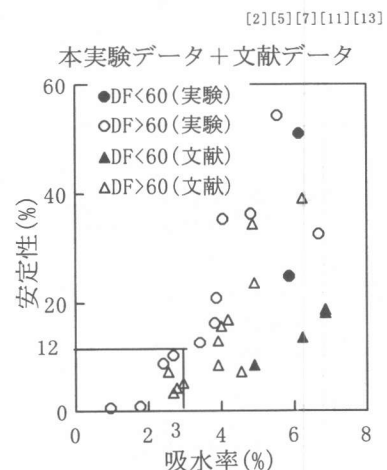


図-8 吸水率と安定性の関係

50%を超えても耐久性指数60が確保されている場合が見られた。このように、再生骨材の吸水率と安定性試験損失質量の制限によってコンクリートの耐凍害性を評価することは必ずしも十分でないことが明らかとなった。

3. 3 凍結融解抵抗性を確保するための水セメント比および吸水率

図-9は吸水率と水セメント比の関係を、コンクリートの耐久性指数の境界値60により區別して示したものである。図中の境界線に示すように、耐久性指数60が確保される吸水率と水セメント比の領域が存在することが分かる。コンクリートの耐凍害性を評価する場合、耐久性指数に加えコンクリートのスケーリングの程度も考慮に入れなければならない。図-10は吸水率とスケーリングの程度を表わす質量減少率の関係を示したもので、質量減少率を2%程度に抑えるためには吸水率は、ほぼ5%が上限となると思われる。また質量減少率を3%程度まで許すとすれば、例外はあるが利用できる骨材の吸水率の範囲は6%を超える。図-11は吸水率と水セメント比の関係を質量減少率3%を境界値として示したものである。データのばらつきが大きく必ずしもそれらの結果の一般化はできないが、図-9に示した境界線を図-11にも当てはめて見ると、質量減少率が3%を超えるデータが一個あるもののほぼこの直線を境にして、質量減少率3%以下とすることができると言える。このように、再生骨材を用いたコンクリートの耐凍害性は、水セメント比と骨材の吸水率の適切な組み合わせによって確保されることが明らかとなった。

3. 4 乾燥収縮ひずみ

再生骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみを図-12に示す。比較のためにバージン骨材を用いた場合につ

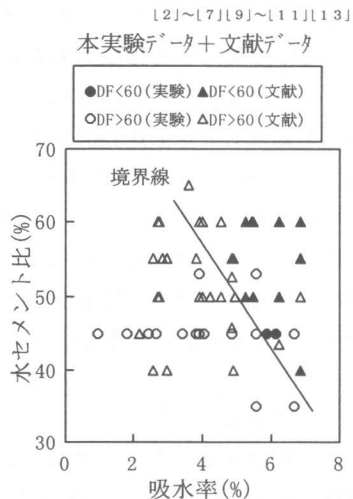


図-9 吸水率と水セメント比の関係

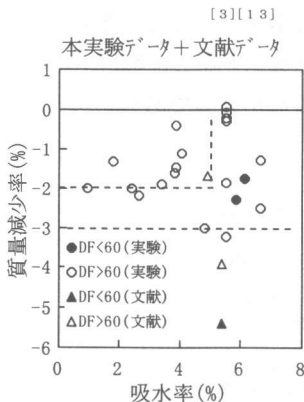


図-10 吸水率と質量減少率の関係

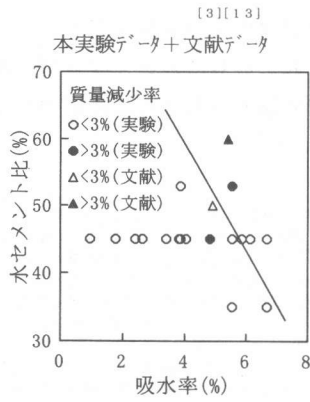


図-11 吸水率と水セメント比の関係

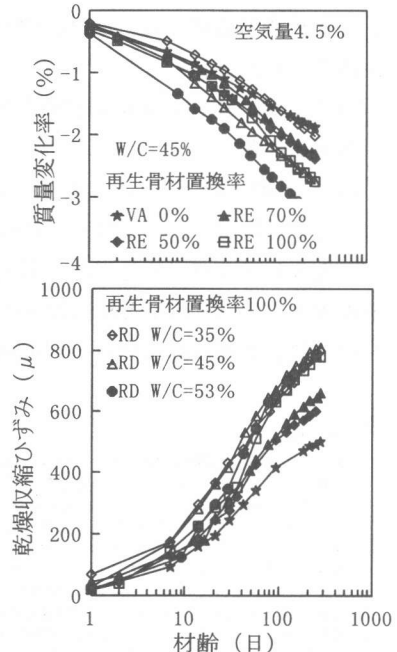


図-12 乾燥収縮ひずみ測定結果

いても載せた。また、同図では、再生骨材置換率と水セメント比の影響についても比較した。乾燥による質量変化率は置換率および水セメント比の増大とともに大きくなる。また、乾燥収縮ひずみは置換率が大きくなると大きくなるが水セメント比の影響は小さいといえる。ちなみに、質量変化率は最大でバージン骨材の約1.7倍、また、乾燥収縮ひずみで約1.6倍となっている。図-13は吸水率と乾燥収縮ひずみの関係を示したものである。データはばらついてはいるが全体としては吸水率および水セメント比の増大とともに乾燥収縮ひずみは増加する傾向がある。図-14は吸水率と水セメント比の関係を、耐久性指数60以上のものについてのみ、乾燥収縮ひずみ750 μ を境界値として示したものである。図-9で示した境界線も載せたが、この境界線はほとんど意味のないことが分かる。乾燥収縮ひずみの制限値と水セメント比および吸水率の関係については、今後、更に検討が必要である。

4. まとめ

再生骨材を用いたコンクリートの耐凍害性と乾燥収縮について検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 凍結融解抵抗性は、用いる再生骨材、再生骨材置換率、および水セメント比に影響される。
- (2) 再生骨材置換率を50%程度にすることで凍結融解抵抗性は著しく改善される。
- (3) 空気量の増加は凍結融解抵抗性の改善に必ずしも効果があるとは限らない。
- (4) 凍結融解抵抗性は、水セメント比と骨材の吸水率の適切な組み合わせによって確保できる。
- (5) 乾燥による質量変化率は、再生骨材置換率および水セメント比の増大とともに大きくなり、乾燥収縮ひずみは再生骨材置換率の増大とともに大きくなるが、水セメント比の影響は小さい。
- (6) 今後、乾燥収縮ひずみの制限値を評価するための指標について検討が必要である。

(参考文献)

- [1] 建設大臣官房技術調査室長:コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準(案)について、平成6年4月11日
- [2] 桂修ほか:再生コンクリートの凍害・初期凍害に関する研究、日本建築学会学術梗概集、1995年8月
- [3] 柳啓ほか:再生骨材の微粉末が再生粗骨材コンクリートの2,3の性質に及ぼす影響、第49回セメント技術大会公演集、1995
- [4] 大和竹史:再生骨材コンクリートの強度および耐久性、土木学会第44回年次学術講演会、V-58、平成1年10月
- [5] 神山行男ほか:再生骨材を用いたコンクリートの耐久性に関する1,2の実験、土木学会第47回年次学術講演会、V-415、平成4年9月
- [6] 笠井芳夫ほか:再生コンクリートの二次製品への適用、コンクリート工学年次論文報告集、VOL.14、N01、1992
- [7] 南波篤志ほか:再生コンクリートの品質改善に関する実験、コンクリート工学年次論文報告集、NOL、17、N02、1995
- [8] 江本幸雄ほか:再生骨材コンクリートの諸性質について、コンクリート工学年次論文報告集、VOL.14、N01、1992
- [9] 河野広隆ほか:再生骨材に含まれる混在物の影響に関する実験、土木学会第50回年次学術講演会、平成7年9月
- [10] 小林裕二ほか:再生骨材に含まれるアスファルト混合物がコンクリートの物性に与える影響、土木学会第50回年次学術講演会平成7年9月
- [11] 増子隆行ほか:再生骨材を使用したコンクリートの強度と耐久性に関する一実験、土木学会第48回年次学術講演会、平成5年9月
- [12] 江本幸雄ほか:再生骨材の品質および再生骨材コンクリートの性状に関する研究、土木学会第46回年次学術講演会、平成3年9月
- [13] 杉山一弥:解体コンクリートのコンクリート用骨材への適用性に関する研究、コンクリート工学年次論文集第7巻第1号、1996年1月

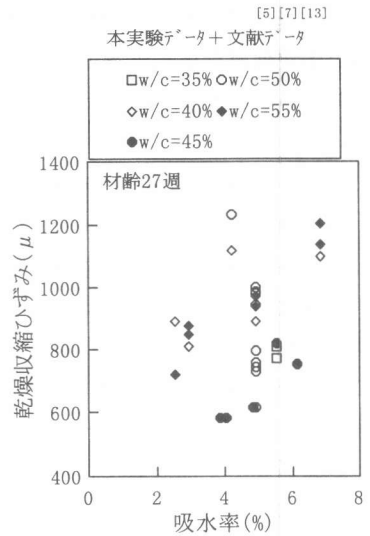


図-13 吸水率と乾燥収縮ひずみの関係

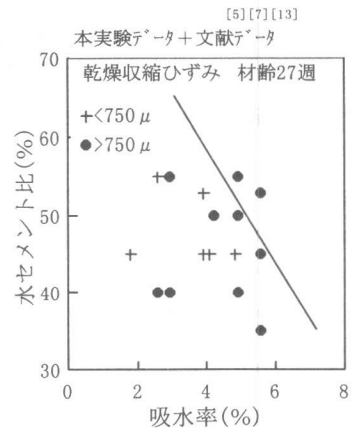


図-14 吸水率と水セメント比の関係