

論文 繰り返し利用された再生骨材コンクリートの耐凍害性

藤本 直史*1・佐藤 靖彦*2・今野 克幸*3・今村 晃久*4

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水セメン比、置換率、および、粗骨材を繰り返し利用することによる影響について検討した。さらに凍結融解試験後の供試体を用いた曲げ試験および圧縮試験を行い、力学特性に及ぼす凍害の影響についても検討した。その結果、粗骨材吸水率が大きくても、水セメント比を小さくバージン骨材との併用率を大きくすることにより耐凍害性が改善されること、再生骨材、再々生および再々再生コンクリート間に大きな差異が認められないことを示した。

キーワード：再生骨材コンクリート、凍害、力学特性

1. はじめに

現在、河川、山間部における自然環境の問題、処分地の不足問題がその深刻さを深めている。使用された骨材資源を含めコンクリート塊の有効活用をしなければならないという社会的な認識が年々増ってきている。これまで、国内外において、再生骨材コンクリートに関するさまざまなデータが得られているが、実施工においては、路盤材への適用が多く、コンクリート用骨材としての適用例はほとんどない。これは、特に寒冷地では、耐凍害性の低さによるところが大きく、現在、再生骨材の品質の改善に関する研究が精力的に行われている。

リサイクルという行為は、現在とともに将来の社会に対する我々の責務であり、長期的な視点に立った研究が望まれる。例えば、ただ一回の再利用性を想定するのではなく、複数回の再利用性を考えていくことも必要であろう。

そこで、本研究は、同一の骨材を用い、普通骨材コンクリートおよび再生骨材コンクリート、さらには、再々生骨材コンクリートおよび再々再生骨材コンクリートを作製し、それらの耐凍

害性に関する実験的検討を行った。また、凍結融解作用を受けたコンクリートから作製した再生骨材コンクリートおよび再々生骨材コンクリートの耐凍害性についても検討した。さらに、凍結融解試験後の供試体を用いた曲げ試験および圧縮試験を行い、力学特性に及ぼす凍害の影響についても検討した。

2. 実験概要

2.1 実験供試体

まず、原コンクリート GN-30 を作製し、これより再生骨材を作製する。この再生骨材を用い、大きく分けて2種類の再生骨材コンクリートを製作する。一つ目は次の段階に用いる再生骨材を作製するための供試体 GIR-30 であり、この再生骨材コンクリートは凍結融解を受けずに解体される。二つ目は再生骨材コンクリートとして凍結融解試験される供試体 1R 族である。次に供試体 GIR-30 より再生骨材を作製、上記と同様に2種類の再々生骨材コンクリート G2R-30 及び 2R 族を製作する。最後に供試体 G2R-30 から再生骨材を作製、凍結融解試験用

*1 (株) オリエンタルコンサルタンツ

*2 北海道大学大学院 工学研究科助手 社会基盤工学専攻

*3 北海道工業大学 土木工学科講師

*4 ドービー建設工業 課長

修士(工学)(正会員)

博士(工学)(正会員)

博士(工学)(正会員)

工修(正会員)

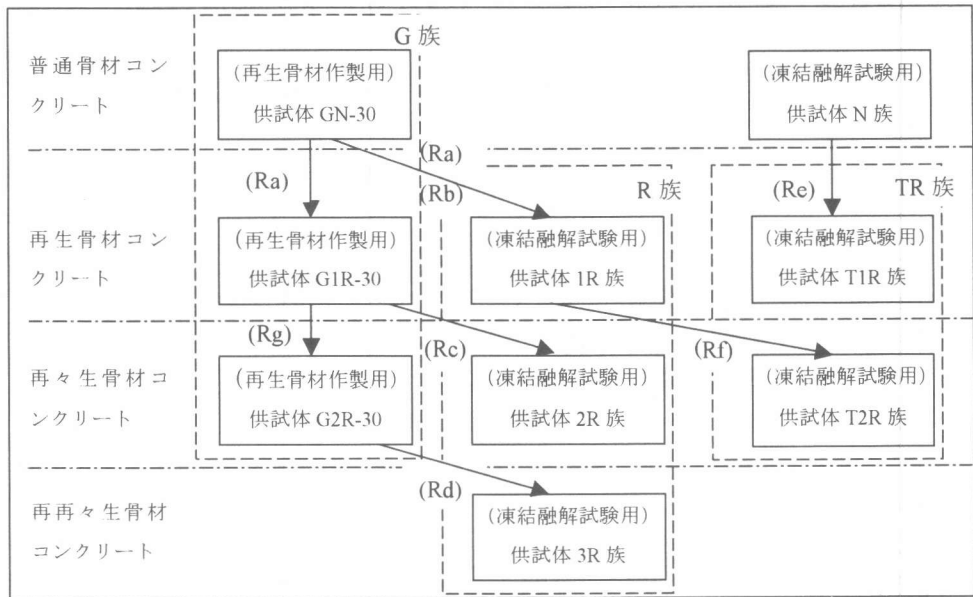


図-1 供試体製造の流れ

の再々再生骨材コンクリート3R族を製作した。さらに凍結融解作用を受けた供試体 N65、1R65-100 より粗骨材を取り出しそれぞれ供試体 T1R 族、T2R 族を作製した。この供試体製造の流れを図-1 に示す (図中の括弧内は骨材名を示す)。再生粗骨材の作成方法は、GN-30,G1R-30 においては、まずジョークラッシャーで、G2R-30 では万能試験機で最大寸法40mm 程度に砕いた。その後ロサンゼルス試験機を用い目標吸水率 5%になるようモルタル部分を除去し、粒度 5mm-25mm の範囲の骨材を再生粗骨材として使用した。

2.2 使用材料および骨材の特性

セメントは供試体 GN-30 には普通ポルトランドセメント (比重3.16) を、それ以外の供試体には早強ポルトランドセメント (比重3.14) を用いた。全ての供試体の粗骨材には額平川産砂利を用い、細骨材には富川産陸砂(吸水率 1.29、比重 2.67) を使用した。混和剤は供試体 GN-30 には AE 減水剤を、それ以外の供試体には AE 剤を用いた。粗骨材の物性を表-1 に、各コンクリートの配合と各供試体に使用した骨材の種類を表-2 に示す。また表-3 には各試験時の

材齢を示す。

2.3 実験方法

凍結融解試験は ASTM C666 「A 法」の試験方法に準じて行い、供試体には 100mm×100mm×400mm の角柱供試体を用いた。また、本実験においては供試体を湿潤養生し凍結融解試験開始前に約 24 時間吸水させた。曲げ強度試験は凍結融解作用を受けていないものと、凍結融解試験後の供試体を用い、RILEM 推奨法¹⁾に準拠した切欠きを有するはりの曲げ試験を行った。さらに曲げ試験を終了した供試体より立方体を切り出し、圧縮試験を行った。なおこの立方体供試体においては、シリンダーの圧縮試験と対応するよう補正した。図-2 に試験の流れを示す。

表-1 粗骨材の物性値

粗骨材名	吸水率 (%)	表乾比重	粒度 (mm)
N	1.55	2.72	5-25
Ra	5.15	2.47	5-25
Rb	5.15	2.48	5-25
Rc	5.39	2.47	5-25
Rd	5.40	2.46	5-25
Re	4.50	2.53	5-25
Rf	4.60	2.49	5-25
Rg	5.15	2.47	5-25

表-2 コンクリートの配合と使用骨材

族名	供試体	f'_c (MPa)	C (kg/m ³)	W (kg/m ³)	s (kg/m ³)	G ¹⁾ (kg/m ³)	A E 剤 (kg/m ³)	W/C (%)	s/a (%)	A i r (%)	スラン プ (cm)	再生骨 材置換 率(%)	使用粗 骨材
G 族	GN-30	24.5	336	149	707	1183	3.62	44.5	38.0	4.5±1	12.0	0	N
	G1R-30	25.3	279	173	796	988	0.138	62.0	43.0	4.0	18.0	100	Ra
	G2R-30	27.5	279	173	796	988	0.138	62.0	43.0	4.0	15.0	100	Rg
N 族	N65	27.8	267	174	811	1081	0.133	65.0	43.0	4.0	18.0	0	N
	N50	33.3	337	168	731	1103	0.169	50.0	40.0	4.5	7.5	0	N
	N35	44.9	473	166	646	1107	0.237	35.0	37.0	3.5	4.5	0	N
1R 族	1R65-100	30.3	267	174	811	982	0.133	65.0	43.0	4.0	19.0	100	Ra
	1R65-77	31.1	271	176	822	再 750 バ 250	0.135	65.0	43.9	3.5	17.5	77	N+Rb
	1R65-52	31.6	271	176	821	再 500 バ 500	0.135	65.0	44.4	4.5	18.5	52	N+Rb
	1R50-100	40.9	340	170	739	1016	0.171	50.0	40.0	3.5	11.5	100	Rb
	1R35-100	50.8	475	166	650	1014	0.238	35.0	37.0	3.0	2.0	100	Rb
	2R65-100	24.4	267	174	811	982	0.133	65.0	43.0	4.0	20.0	100	Rc
2R 族	2R65-77	30.1	269	175	814	再 740 バ 247	0.134	65.0	43.9	4.5	21.0	77	N+Rc
	2R65-52	32.9	273	177	826	再 501 バ 501	0.136	65.0	44.5	4.0	19.5	52	N+Rc
	2R50-100	38.9	340	170	739	1012	0.170	50.0	40.0	3.5	6.0	100	Rc
	2R35-100	41.7	478	167	653	1015	0.239	35.0	37.0	2.5	2.0	100	Rc
	3R65-100	33.7	268	174	812	980	0.134	65.0	43.0	3.8	15.5	100	Rd
	TR	T1R65-100	31.6	267	174	811	1006	0.133	65.0	43.0	4.0	17.0	100
T2R65-100		31.9	267	174	811	990	0.133	65.0	43.0	4.0	16.5	100	Rf

1) 再：再生骨材、バ：バージン骨材

表-3 試験材齢 (日)

供試体名	凍結融 解試験 開始	圧縮 試験	曲げ試験		試験 後の 圧縮 試験
			未	後	
GN-30	—	30	—	—	—
G1R-30	—	51	—	—	—
G2R-30	—	97	—	—	—
N65	54	57	—	188	—
N50	20	49	35	83	103
N35	20	49	35	—	103
1R65-100	54	57	—	188	—
1R65-77	75	97	66	145	213
1R65-52	75	97	66	—	—
1R50-100	75	97	67	145	213
1R35-100	75	97	67	145	213
2R65-100	82	104	73	152	220
2R65-77	82	104	74	152	220
2R65-52	82	104	73	152	220
2R50-100	82	104	74	152	221
2R35-100	82	104	74	152	221
3R65-100	15	44	30	78	99
T1R65-100	15	44	—	78	99
T2R65-100	15	44	—	78	99

注) 未：凍結融解作用を受けていない供試体
 後：凍結融解作用を受けた後の供試体
 試験後の圧縮試験：凍結融解試験、曲げ試
 験を終了後の供試体

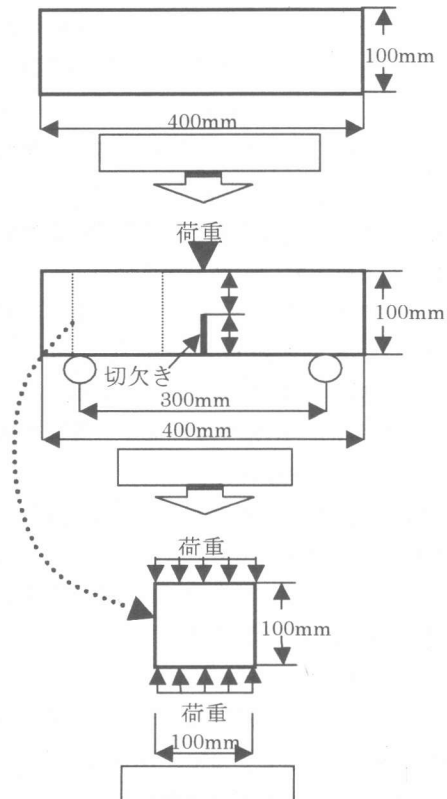


図-2 試験の流れ

3. 実験結果および考察

3.1 質量減少率

質量減少に対する W/C の影響、置換率の影響をそれぞれ図-3、図-4 に示す。1R 族の W/C の影響は、比較のために載せた普通骨材コンクリートとともに、W/C=35%、W/C=50%ではほとんど質量減少率が見られないが、W/C=65%では普通骨材コンクリートで約 4%、再生骨材コンクリートでは約 7%も減少している。2R 族でも同様に W/C=65%で大きく減少し、減少率は約 11%にも及んでいる。TR 族は普通コンクリートよりも質量減少率が小さかった。

図-4 では、1R 族、2R 族とも再生骨材置換率を小さくするに伴い、減少率は小さくなっている。2R においては置換率を 52%にすることでほとんど普通骨材コンクリートと変わらない減少率にとどまっている。

図-5 には 300 サイクル後の質量減少率と W/C の関係を示した。なお測定点横に示した値は再生骨材置換率である。これを見ると W/C の影響が大きいことが明らかである。W/C が 35%、50%ではほとんど質量減少は見られないが、W/C=65%では 1R 族、2R 族とも再生骨材置換率が小さくなるほど減少率は小さくなっている。スケーリング防止には、W/C を小さくし、組織を緻密化することが最も有効な方法で、W/C=35%、50%では 2R 族においても質量減少は見られず、W/C=65%では再生骨材置換率を 52%にすることで普通骨材コンクリートと変わらない減少率にとどめることが出来た。繰返し使用された骨材においても、W/C を小さくし、組織を緻密にすることが有効であるという既往の研究²⁾と同様の結果が得られた。

3.2 相対動弾性係数

図-6 に W/C による影響、図-7 には再生骨材置換率による影響を示した。1R 族、2R 族とも W/C=50%より 65%の方が相対動弾性係数の低下が大きい。TR 族は 1R 族、2R 族より高い値を示している。W/C=35%で低下が大きいのが、これは空気量が他に比べ小さかったことによる。

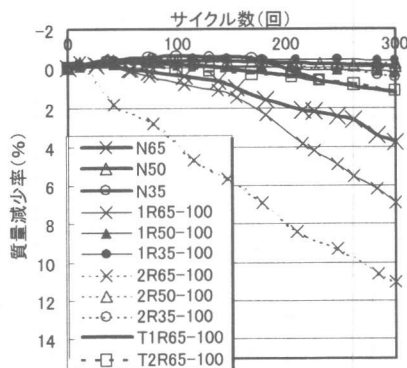


図-3 質量減少率に及ぼす W/C の影響

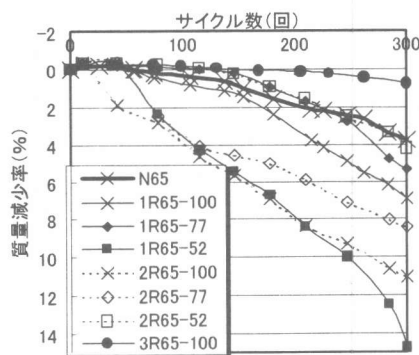


図-4 質量減少率に及ぼす置換率の影響

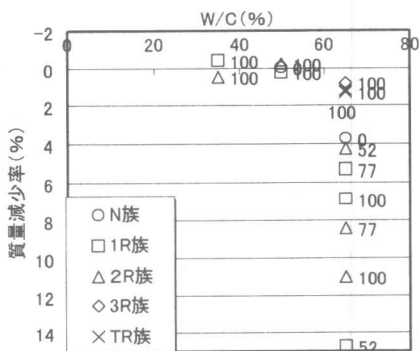


図-5 質量減少率と W/C の関係

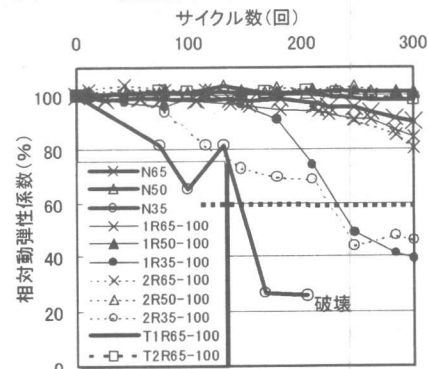


図-6 相対動弾性係数に及ぼす W/C の影響

再生骨材置換率においては、1R族で再生骨材置換率を77%にすることで相対動弾性係数の低下に改善が見られ、2R族では置換率100%と77%では違いは見られないが、52%にすると改善されている。

図-8に300サイクル終了時の相対動弾性係数と粗骨材の吸水率との関係を示す。バージン骨材が置換されているものに関しては骨材全体の平均を吸水率とした。なお測定点横の値は再生骨材置換率を表わす。粗骨材の吸水率が大きくなるにつれ相対動弾性係数の低下が大きくなる傾向が見られる。しかし粗骨材吸水率が5%以上の供試体でも、再生骨材コンクリート、再々生骨材コンクリート、ともに空気量を4%、置換率を77%にすることで相対動弾性係数の低下を抑制することが出来た。これは後藤³⁾らの研究においても同様の結果が得られている。

図-9には300サイクル終了時の相対動弾性係数と空気量との関係を示した。空気量が大きくなると相対動弾性係数の低下が小さくなっていることが分かる。AE剤による空気泡導入が相対動弾性係数低下防止に極めて有効な手段であることが分かる。

図-10に相対動弾性係数と凍結融解前後での弾性係数の低下率の関係を示す。測定点横の値は質量減少率を表わす。相対動弾性係数の低下は凍害による内部の劣化の指標となるといわれているが、弾性係数の低下率と大きな相関があることが確認できた。なお供試体N35においては凍結融解サイクル205回目で2つのブロックに分かれるように破壊した。その為205回目の測定値を記した。

3.3 凍害と強度

図-11に弾性係数と圧縮強度の関係を示す。凍結融解作用を受けていない普通骨材コンクリートは太線の土木学会コンクリート標準示方書による値に沿っているが、凍結融解作用を受けていない再生骨材コンクリート(2R族、3R族、TR族を含む)は、それよりも全体的に弾性係数が低下している(破線)。凍結融解作用を

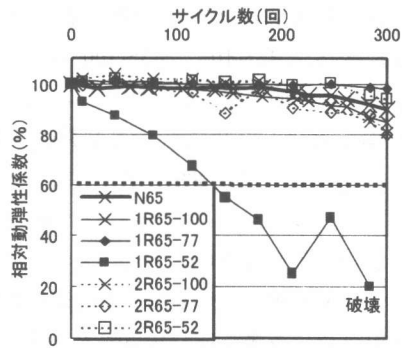


図-7 相対動弾性係数に及ぼす置換率の影響

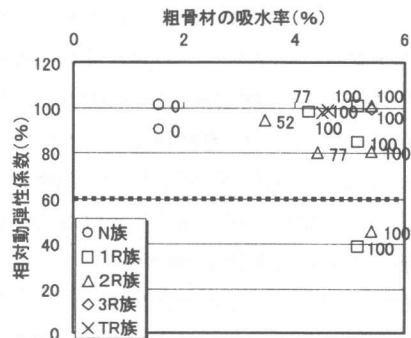


図-8 相対動弾性係数と粗骨材吸水率の関係

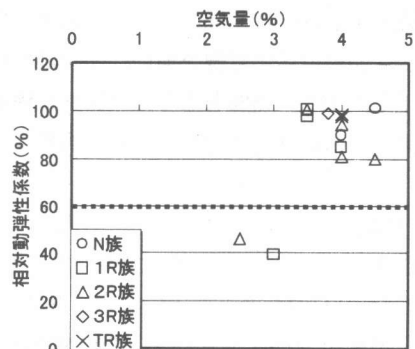


図-9 相対動弾性係数と空気量の関係

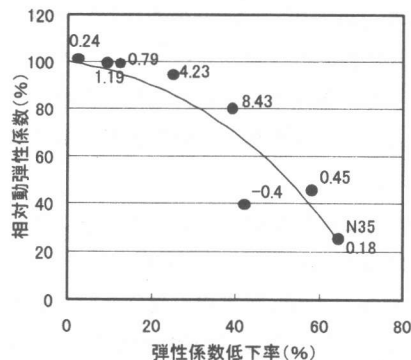


図-10 相対動弾性係数と弾性係数低下率

受けた後では更に低下していることが分かる(実線)。N35、2R65-100、2R35-100で低下が大きくなっているのは相対動弾性係数の低下と質量減少率が大きいので、相対動弾性係数が80%以上、質量減少率が8%以下であれば実線で近似することが出来た。弾性係数と圧縮強度の関係において普通骨材コンクリートと再生骨材コンクリートの差、凍結融解作用前後の差は見られたが、骨材を繰り返し利用することと、再生骨材コンクリートが凍害を受けているか否かの違い(R族とTR族)は見られなかった。なお、再生骨材コンクリートの弾性係数は普通骨材コンクリートの85%程度、凍結融解作用後の弾性係数は受ける前の80%程度であった。

図-12に相対動弾性係数と質量減少率の関係を示す、なお測定点横に示す値は凍結融解試験前後の曲げ強度低下率を示し、値が大きくなると低下が大きいかを意味する。原点からの距離が離れるほど曲げ強度低下率は増す、すなわち質量減少率が大きく、かつ相対動弾性係数が低下するほど曲げ強度の低下が大きくなっている。図中に示す点線で描いた曲線は曲げ強度低下率が15%、45%となる相対動弾性係数と質量減少率の関係を予想したものである。

4. 結論

- 1)普通骨材コンクリート、再生(再々生、再々々生を含む)骨材コンクリートにおいてW/C=65%では置換率を50%、またはW/Cを50%以下にすることで質量減少率の低下を抑えられる。
- 2)再生(再々生、再々々生を含む)骨材コンクリートにおいて、粗骨材吸水率が5%のコンクリートでも空気量を4%、再生骨材置換率を77%以下にすることで相対動弾性係数の低下を抑制できる。
- 3)全体的に骨材を繰り返し利用することによる違いはほとんど見られなかった。
- 4)全体的に凍結融解作用を受けたコンクリートから取り出した粗骨材を用いたコンクリートと再生(再々生、再々々生を含む)骨材コ

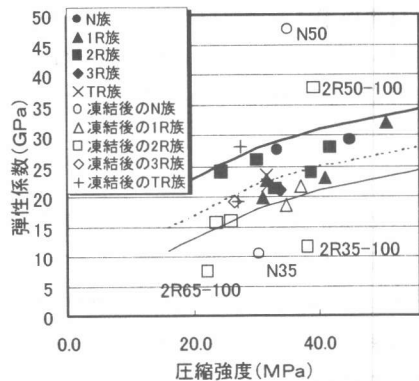


図-11 弾性係数と圧縮強度の関係

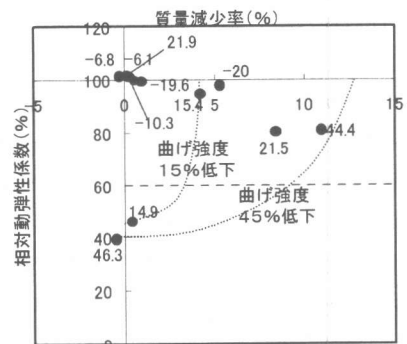


図-12 相対動弾性係数と質量減少率の関係

ンクリートの違いはほとんど見られなかった。

謝辞：本研究を進めるにあたり、北海道大学角田與史雄教授より貴重なご助言を賜りました。また、本実験を行うにあたり、北海道開発土木研究所材料研究室、ならびに、北海道コンクリート技術センターの方々にも多大なるご助力を賜りました。ここに厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1)RILEM : Determination of the Fracture Energy of Mortar and Concrete by Means of Three-Point Bent Tests on Notched Beams, Materials and Structures, Vol.18, No.93, pp.285-290, 1983
- 2)鎌田英治：コンクリートの凍害とは—その現象とメカニズムについて—、日本建築学会材料施工委員会 コンクリート構造物の凍害とその対策シンポジウム
- 3)後藤彰、堺孝司：再生骨材を用いたコンクリートの耐凍害性と乾燥収縮、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.19、No.1、pp.1105-1110、1997