

V-6

凍結融解作用を受ける再生骨材コンクリートの耐凍害性と強度

北海道大学大学院 ○学生員 藤本 直史

北海道工業大学 正会員 今野 克幸

北海道大学大学院 正会員 佐藤 靖彦

北海道大学大学院 フェロー会員 角田 興史雄

1. はじめに

現在、コンクリートに用いられる骨材は、河川、山間部における自然環境の問題、処分地の不足などの問題を抱えている。これらの観点から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してきている。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、実際にはその多くが路盤材として用いられており、コンクリート用骨材としての適用例はほとんどない。これまでの研究により、再生骨材コンクリートが普通骨材コンクリートに比べて品質が劣ることが分かり、この原因は骨材の周りにモルタルが付着しているために骨材の比重が小さくなり、吸水率が大きくなるためだと考えられている。しかしその研究のほとんどが、比較のための普通骨材コンクリートと、再生骨材コンクリートとで、同一の骨材を使用していない。

本研究では同一の骨材を用い、普通骨材コンクリートと、再生骨材コンクリートさらに再々生骨材コンクリート、再々再生骨材コンクリートを作製し、耐凍害性について比較検討する。また、再生骨材コンクリート、凍害を受けた再生骨材コンクリートの曲げ強度試験を行い、再生骨材を用いたこと、および凍害を受けた履歴があることが曲げ強度に及ぼす影響を明らかにする。

2. 実験概要

2. 1 粗骨材の流れおよび再生粗骨材作製

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作製する。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 G1R-30、すなわち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 G1R-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 族を作製する。最後に供試体 G2R-30 から再生骨材を作製、凍結融解試験用の再々再生骨材コンクリート 3R65-100 を製作した。この供試体製造の流れを図-1 に示す。

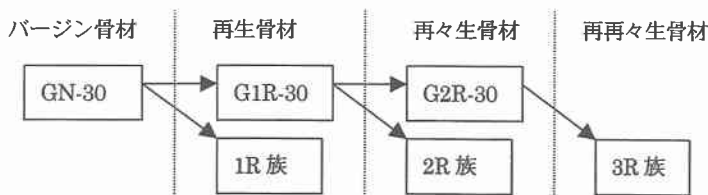


図-1 供試体製造の流れ

Frost Resistance and Strength of Recycled Concrete subjected to Freezing and Thawing
by Naofumi FUJIMOTO, Katsuyuki KONNO, Yasuhiko SATO and Yoshio KAKUTA

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 使用材料および実験供試体

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。全ての供試体の原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。各コンクリートの配合を表-1 に、各供試体に用いた粗骨材の物性を表-2 に示す。

表-1 コンクリートの配合

供試体	f_c (MPa)	C (kg)	W (kg)	s (kg)	G (kg)	AE 剤 (kg)	W/C (%)	s/a (%)	A i r (%)	スラン プ (cm)	コンクリ ート吸水率 (%)	再生粗材 置換率 (%)
GN-30	24.5	336	149	707	1183	3.62	44.5	38.0	4.5±1	12.0		0.0
G1R-30	25.3	279	173	796	988	0.138	62.0	43.0	4.0	18.0		100.0
G2R-30	27.5	279	173	796	988	0.138	62.0	43.0	4.0	15.0		100.0
N65	27.8	267	174	811	1081	0.133	65.0	43.0	4.0	18.0	6.37	0.0
N50	33.3	337	168	731	1103	0.169	50.0	40.0	4.5	7.5	6.15	0.0
N35	44.9	473	166	646	1107	0.237	35.0	37.0	3.5	4.5	4.55	0.0
1R65-100	30.3	267	174	811	982	0.133	65.0	43.0	4.0	19.0	7.79	100.0
1R65-75	31.1	271	176	822	再 750 バ 250	0.135	65.0	43.9	3.5	17.5	6.8	76.7
1R65-50	31.6	271	176	821	再 500 バ 500	0.135	65.0	44.4	4.5	18.5	6.12	52.3
1R50-100	40.9	340	170	739	1016	0.171	50.0	40.0	3.5	11.5	7.47	100.0
1R35-100	50.8	475	166	650	1014	0.238	35.0	37.0	3.0	2.0	6.25	100.0
2R65-100	24.4	267	174	811	982	0.133	65.0	43.0	4.0	20.0	7.73	100.0
2R65-75	30.1	269	175	814	再 740 バ 247	0.134	65.0	43.9	4.5	21.0	8.80	76.8
2R65-50	32.9	273	177	826	再 501 バ 501	0.136	65.0	44.5	4.0	19.5	8.03	52.4
2R50-100	38.9	340	170	739	1012	0.170	50.0	40.0	3.5	6.0	8.17	100.0
2R35-100	41.7	478	167	653	1015	0.239	35.0	37.0	2.5	2.0	6.99	100.0
3R65-100	33.7	268	174	812	980	0.134	65.0	43.0	3.8	15.5	9.06	100.0

「再」は再生骨材、「バ」はバージン骨材を表わす

表-2 粗骨材の物性

2. 3 実験方法

凍結融解試験は ASTM C666 の試験方法に準じて行い、供試体は 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润養生し凍結融解試験開始前に約 24 時間吸水させた。コンクリート吸水率測定においては、100mm×100mm×133mm の供試体を約 48 時間吸水させ、110℃で一定重量となるまで乾燥させ測定した。

3. 実験結果および考察

3. 1 質量減少率

1 R 族、2 R 族の質量減少に対する W/C の影響、置換率の影響をそれぞれ図-2、図-3 に示す。1 R 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

供試体名	吸水率 (%)	表乾比重	粒度 (mm)
GN-30	1.55	2.72	5-25
G1R-30	5.15	2.47	5-25
G2R-30	5.15	2.47	5-25
N65 N50 N35	1.55	2.72	5-25
1R65-100	5.15	2.47	5-25
1R65-75 1R65-50 1R50-100 1R35-100	再 5.15 バ 1.55	再 2.48 バ 2.72	5-25
2R65-100	5.39	2.47	5-25
2R65-75 2R65-50 2R50-100 2R35-100	再 5.39 バ 1.55	再 2.47 バ 2.72	5-25
3R65-100	再 5.40	再 2.46	5-25

ンクリートでは約 7 % も減少している。2 R 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。

置換率の影響では、1 R 族、2 R 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。2 R においては置換率を 50 % 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。

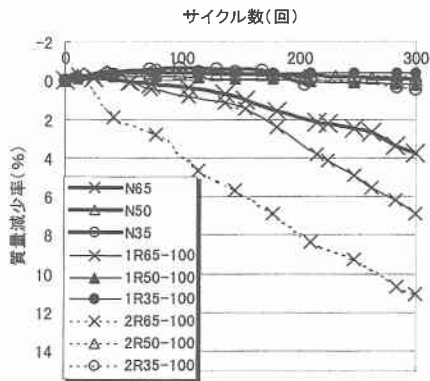


図-2 質量減少率に及ぼす W/C の影響

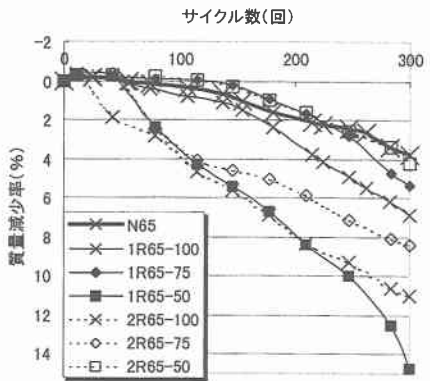


図-3 質量減少率に及ぼす置換率の影響

図-4 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 1 R 族、2 R 族とも再生骨材置換率が小さくなるほど減少率は改善されている。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 2 R 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 50 % 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[1]と同様の結果が得られた。

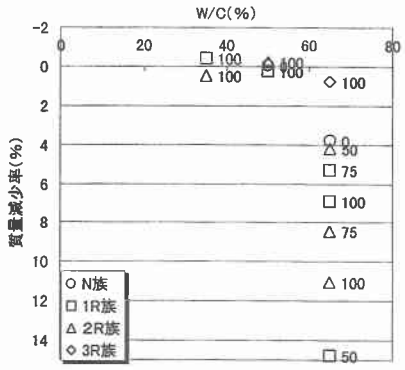


図-4 質量減少率と W/C との関係

3. 2 相対動弾性係数

図-5 に 1 R 族、2 R 族の W/C による影響、図-6 には 1 R 族、2 R 族の再生骨材置換率による影響を示した。1 R 族、2 R 族とも W/C=50 % より W/C=65 % の方が相対動弾性係数の低下が大きい。また普通骨材に比べて再生骨材が、再生骨材に比べて再生骨材の方が若干ではあるが低下の割合が大きい傾向が見られる。再生骨材置換率においては、1 R 族で再生骨材置換率を 75 % にすることで相対動弾性係数の低下に改善が見られ、2 R 族では置換率 100 % と 75 % では違いは見られないが、50 % にすると改善されている。

図-7 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。

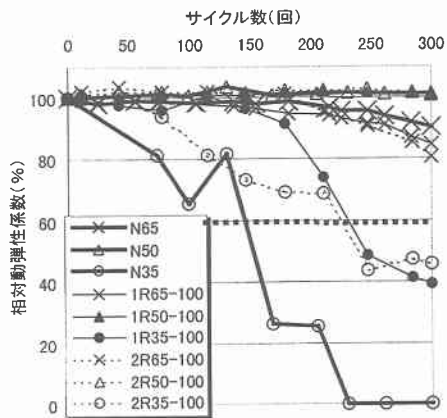


図-5 相対動弾性係数に及ぼす W/C の影響

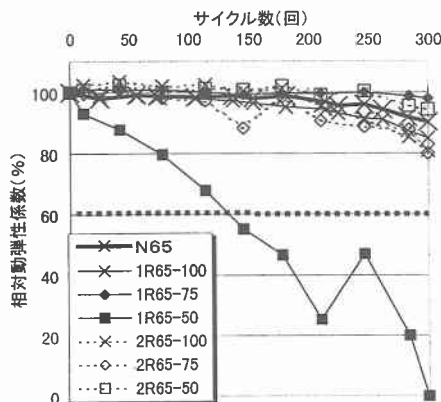


図-6 相対動弾性係数に及ぼす置換率の影響

図-8 には空気量 4% 以上の供試体の相対動弾性係数とコンクリート吸水率との関係を示す。全体的にコンクリート吸水率が増加すると相対動弾性係数の低下が大きくなる傾向が見られる。一般にはコンクリートの表層から水が凍結しはじめ、体積が膨張するためにモルタルに微小なひび割れを形成し、未凍結の水が内部へと移動する[2]。当然コンクリート内の水量が多いほどより内部へと未凍結の水が移動していくため内部劣化は激しくなることによる。

図-9 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。パ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。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 75% 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]、渡辺[4]らの研究においても同様の結果が得られている。

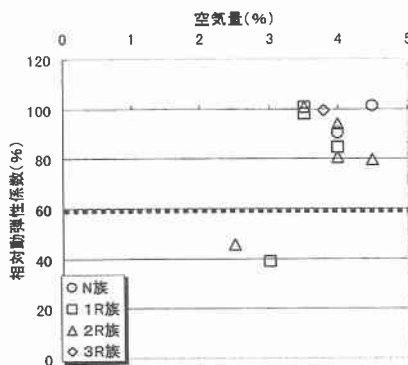


図-7 相対動弾性係数と空気量の関係

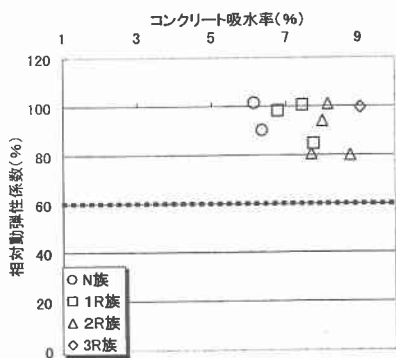


図-8 相対動弾性係数とコンクリート吸水率の関係

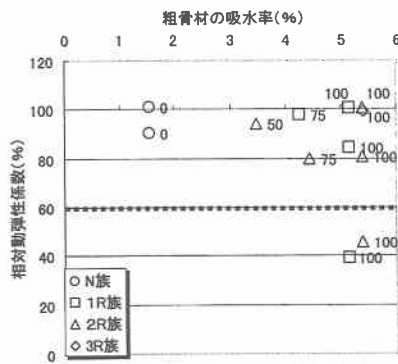


図-9 相対動弾性係数と粗骨材吸水率の関係

3. 3 凍害と曲げ強度

凍結融解試験前後の供試体で曲げ試験を行い、質量減少率、相対動弾性係数が曲げ強度に及ぼす影響を観察した。試験は RILEM 推奨法に準拠した切欠きはりの曲げ試験で行った (図-10)。

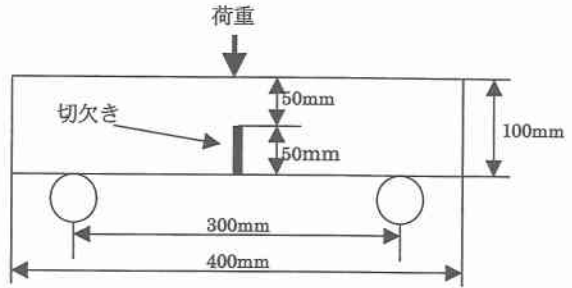


図-10 曲げ試験供試体

図-11 に曲げ強度低下率と質量減少率の関係を示す。測定点横の値は 300 サイクル終了時の相対動弾性係数を表わす。質量減少率が大きい供試体で曲げ強度の低下が大きくなっている。そのことは 2R65 シリーズで顕著である。これはスケーリング劣化が激しいために曲げ試験においてリガメント面積が小さくなっていることによる。なお 1R35-100 の曲げ強度の低下が大きいのは、相対動弾性係数が極端に低下しているためだと推測できる。

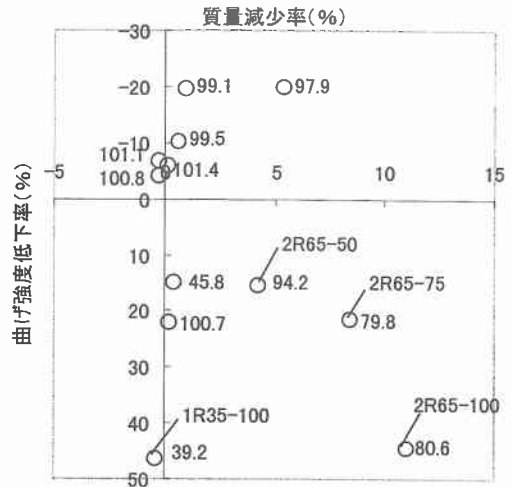


図-11 曲げ強度低下率と質量減少率の関係

図-12 に、曲げ強度低下率と相対動弾性係数の関係を示す。測定点横の値は 300 サイクル終了時の質量減少を表わす。全体的に相対動弾性係数の低下とともに曲げ強度低下率も大きくなる傾向が見られる。2R35-100 では相対動弾性係数が 60% を切っているにもかかわらず、質量減少が少ないために曲げ強度の低下が抑えられている。一方 2R65-100 では相対動弾性係数が 80% を保っているにもかかわらず、質量減少率が極端に大きいため曲げ強度の低下も大きくなっている。

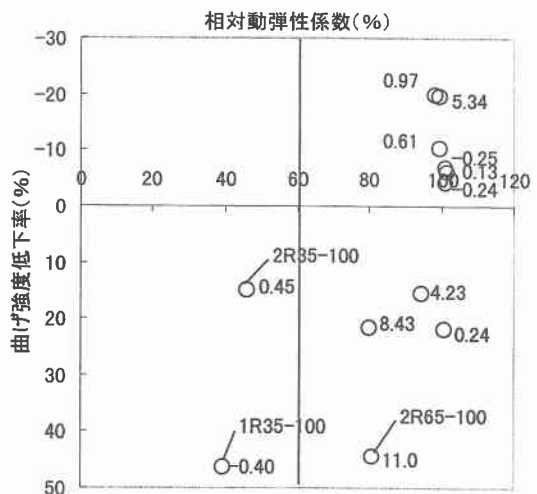


図-12 曲げ強度低下率と相対動弾性係数の関係

図-13 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ことを意味する。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。

相対動弾性係数低下による曲げ強度の低下は内部に微小なひび割れが生じていることを表わし、曲げ強度に深く影響する。質量減少に関しては、スケーリングによりリガメント面積が減少したことによるものと思われる。

4. 結論

- 1) 質量減少率に関しては、普通骨材コンクリート、再生骨材コンクリート、再々再生骨材コンクリートにおいて $W/C=65\%$ では低下が大きい W/C を 50% にすることで低下を抑えられる。
- 2) 再生骨材コンクリート、再々再生骨材コンクリートにおいて、 $W/C=65\%$ の供試体でも再生骨材置換率を 50% にすることで質量減少を改善できる。
- 3) 相対動弾性係数に関しては粗骨材を繰返し使用することの違いは見られない。
- 4) 再生骨材コンクリート、再々再生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% 、置換率を 75% にすることで相対動弾性係数の低下を抑制できる。
- 5) 相対動弾性係数の低下と質量減少が曲げ強度に及ぼす影響は大きい。

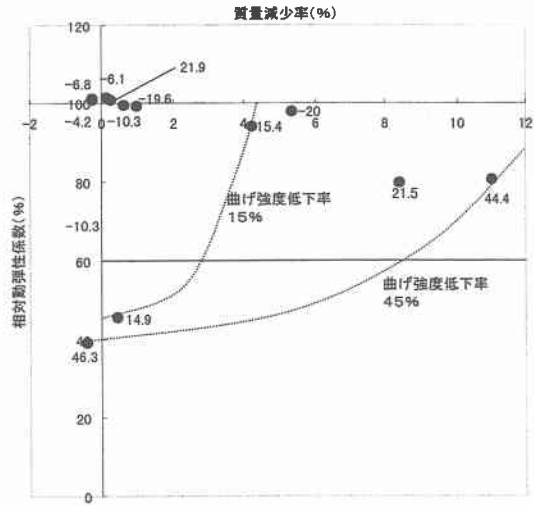


図-13 相対動弾性係数と質量減少率の関係

参考文献

- [1]鎌田：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
- [2]T.C.Powers：A Working Hypothesis for Further Studies of Frost Resistance of Concrete
Proc. of ACI, Vol.41, 1945
- [3]後藤、堺：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, 1997
- [4]渡辺、堺：再生骨材を用いたコンクリートの強度発現および耐凍害性
開発土木研究所月報 No.506、1995年7月

謝辞

再生骨材作成には、大変な労力と協力を必要とし多くの方々に協力頂いた。角山開発株式会社の寺嶋氏をはじめ、北海道ケミカル（株）の白井所長、そして凍結融解試験においては北海道コンクリート技術センターの太田利隆理事長、今井益隆所長、星野健一氏、ならびに北海道開発局開発土木研究所材料研究室の熊谷守晃室長、遠藤裕丈氏、高柴保明氏には、ここに感謝の意を表わしたい。そして骨材製造から供試体作成、あらゆる作業において終始協力してくれた、北海道工業大学4年の高橋克史君、戸部貴重君、三浦剛志君にも、ここに感謝の意を表わす。