

減圧・瞬時復圧工法による再生骨材コンクリートの室内試験結果

Results of Indoor Test of Recycled Concrete by DC-RR Method

立松 和彦* 山崎 順二*

要 旨

再生骨材を用いたコンクリートの品質を向上させる手法のひとつとして、減圧・瞬時復圧工法がある。同工法を再生コンクリートに適用して室内試験練りを行い、耐久性試験、微細構造試験などを実施した。その結果、同工法による物性の著しい改善効果は認められなかったが、再生骨材を使用しても通常の骨材を使用した場合と同程度の耐久性を得ることができること、収縮低減剤を併用する場合には注意が必要であることなどが確認できた。

キーワード：再生骨材／減圧／再生コンクリート／クリープ／乾燥収縮／凍結融解／微細構造／細孔径分布

1. はじめに

骨材資源の有効活用を図るためには、解体されたコンクリート塊からリサイクルされた骨材を再びコンクリートの材料（再生骨材）として使用することが効果的である。しかし、再生骨材を用いたコンクリートの力学的性状や耐久性は普通骨材を用いたコンクリートよりも若干劣る場合が多いため、その品質改善を目的としてさまざまな角度からの研究が各方面で行われている。

減圧・瞬時復圧工法は、練上がったコンクリートを容器に入れて減圧（760mmHg→130mmHg）し、瞬時に復圧することによって骨材－ペースト界面の性状を改善する工法であり¹⁾²⁾、骨材表面に脆弱な付着モルタルを有する再生骨材を用いたコンクリートの物性改善に効果があると考え、研究会^{注1}を組織して研究に取り組んできた。

本報は、減圧・瞬時復圧工法を再生コンクリートに適用して行った室内試験練りの全体概要および、耐久性試験、微細構造試験の結果について述べる。

注1 高性能再生コンクリート研究会〔H11.4～H15.3まで活動；会長 森田司郎(財)日本建築総合試験所理事長〕のメンバーは、以下の通り。(五十音順) 浅沼組、新井組、エヌエムビー、大阪兵庫生コン工業組合、大林組、関西電力、京星、ケイコン、光洋機械産業、世紀東急工業、銭高組、大末建設、太平洋セメント、竹石産業、竹中工務店、東急建設、東京電力、都市基盤整備公団、日産化学、日本シーカ、前田建設工業、松村組

室内試験練りの目的は、骨材の種類、コンクリートの調合条件および減圧が、コンクリートの高性能化に及ぼす影響について検討することである。実験の主な要因は、使用する骨材の種類、水セメント比、減圧の有無、収縮低減剤の有無であり、以下のA,B,Cの3シリーズに分けて計画した。

シリーズA：基準となる骨材の組合せ（砕石＋山砂、再生2種粗骨材＋山砂、再生2種粗骨材＋再生2種細骨材）に関して、水セメント比（40%, 50%, 60%）、減圧の有無、収縮低減剤の有無による性状の変化について検討した。

シリーズB：基準以外の種々の骨材の組み合わせ（混合骨材も含む）に関して、水セメント比を一定にして、減圧の有無による性状の変化について検討した。

シリーズC：場所打ちくい、マスコンクリート、基礎・地中梁などへの適用を考慮して、高炉B種セメント、低熱ポルトランドセメント、単位水量増加（200kg/m³程度）の場合について検討した。

各シリーズの要因の組み合わせをシリーズごとに表にしたものが表－1である。なお、調合番号B-5およびB-6は目標とする品質の再生細骨材を入手できなかったため、試験を実施しなかった。

2. 実験概要

2.1 実験の目的および概要

2.2 使用材料・調合および試験項目

使用材料のうち、骨材の物性値を表－2に示す。粗骨

*建築研究グループ

材は吸水率4.60%の再生2種(RG2)のほか、比較用の再生2種(RG2s)、再生1種(RG1)、碎石を使用した。細骨材は山砂と再生2種(RS2)を使用した。RG1, RG2, RS2はK社製の、RG2sはT社製の再生骨材である。収縮低減剤は、低級アルコールのアルキレンオキシド付加物を成分とした、水に易溶の無色透明の液体である。収縮低減剤の標準使用量は6kg/m³である。高性能AE減水剤は、ポリカルボン酸系のものを使用した。空気量調整剤として、AE剤あるいは消泡剤を使用した。なお、本実験で使用する再生2種粗骨材(RG2)は、湿式で製造された再生1種粗骨材にモルタル小塊を混合して製造されたものである。そのため、骨材表面の付着モルタル量が本来の再生2種粗骨材よりも少なくなるので、実験結果に影響を及ぼすことが考えられた。そこで、比較用に、付着モルタル量が多いと思われる、乾式で製造された再生2種粗骨材(RG2s)を用いた試験も実施(記号はA-9S, A-10S, A-11Sとした)した。

コンクリートの目標スランプおよび目標空気量は、減圧前のスランプを20cm、空気量を6%とし、減圧後のスランプを18cm、空気量を4.5%とした。単位粗骨材かさ容積は減圧後のスランプ18cmにあわせて、0.610m³/m³とした。単位水量は、180kg/m³とした。なお調査C-3, C-6の単位水量は場所打ち杭などへの適用を考慮して200kg/m³程度とした。

フレッシュ状態での試験項目は、スランプ・スランプフロー・空気量・コンクリート温度・経時変化・単位水量の推定・ブリーディング・凝結・簡易断熱温度上昇とした。強度関係の試験項目は、圧縮強度・割裂強度・静弾性係数とした。耐久性関係の試験項目は、乾燥収縮・拘束ひび割れ・クリープ・凍結融解抵抗性・促進中性化とした。微細構造に関する試験項目は、細孔径分布・気泡分布・界面の観察とした。

2.3 練混ぜ方法および減圧方法

練混ぜは、傾胴型ミキサ(容量100L)を用いた。細骨材1/2、セメント、細骨材1/2、粗骨材を順に投入して空練りを15秒間行い、水を加えてさらに180秒間練混ぜた。収縮低減剤は180秒の混練の内の120秒経過時に投入した。なお、高性能AE減水剤・空気量調整剤・収縮低減剤は練混ぜ水の一部とした。

室内試験練りにおける減圧の

表－1 実験計画一覧

シリーズA

番号	粗骨材	細骨材	W/C (%)	減圧	収縮低減剤
A-1	普通 (碎石)	普通 (山砂)	40	なし	なし
2			50	なし	なし
3			50	あり	なし
4			50	あり	あり
5			60	なし	なし
6	再生2種	普通 (山砂)	40	なし	なし
7			40	あり	なし
8			40	あり	あり
9*			50	なし	なし
10*			50	あり	なし
11*			50	あり	あり
12			60	なし	なし
13			60	あり	なし
14			60	あり	あり
15			40	あり	なし
16	再生2種	再生2種	50	なし	なし
17			50	あり	なし
18			50	あり	あり
19			60	あり	なし

*A-9,10,11に加えてA-9S,10S,11Sがある

シリーズB

番号	粗骨材	細骨材	W/C (%)	減圧
B-1	再生1種	普通 (山砂)	50	なし
2			50	あり
3	再生1種	再生2種	50	なし
4			50	あり
5	再生2種	再生3種	50	なし
6			50	あり
7	普通+再生2	普通 (山砂)	50	なし
8	吸水3%以下		50	あり
9	普通+再生2	普通+再生2	50	なし
10	吸水3%以下		50	あり

シリーズC

番号	粗骨材	細骨材	W/C (%)	減圧	その他
C-1	普通 (碎石)	普通 (山砂)	50	なし	*1 *3
2			50	なし	*1 *4
3			50	なし	*2 *5
4	再生2種	普通 (山砂)	50	あり	*1 *3
5			50	あり	*1 *4
6			50	あり	*2 *5

*1 高性能AE減水剤 *3 高炉B種セメント

*2 AE剤のみ

*4 低熱ポルトランドセメント

*5 単位水量200kg/m³程度

表－2 骨材物性値

試験項目	骨材種類	粗骨材				細骨材	
		再生2種(RG2)	再生2種(RG2s)	再生1種(RG1)	砕石(高槻産)	再生2種(RS2)	山砂(枚方産)
表乾密度	g/cm ³	2.43	2.46	2.57	2.70	2.38	2.57
絶乾密度	g/cm ³	2.32	2.32	2.50	2.68	2.21	2.53
吸水率	%	4.60	5.89	2.52	0.81	7.67	1.71
実積率	%	60.1	65.4	62.7	57.8	—	—
洗い試験によって失われる量	%	0.92	—	—	0.92	0.71	2.05
粗粒率		6.67	—	6.67	6.74	3.16	2.63

手順は次の通りである。(写真-1参照)

- ①コンクリートを傾胴型ミキサで練混ぜる
- ②コンクリート試料の入ったミキサに減圧フタ・トラップ・真空ポンプを取り付ける
- ③静置状態で ミキサ内を630mmHg減圧して130mmHgになるようにする
- ④所定の減圧度(130mmHg)に達した直後に、瞬時に復圧バルブを解放する



写真-1 減圧ミキサ

3. 耐久性試験

本章では、コンクリートのクリープ・乾燥収縮、および凍結融解抵抗性試験の結果について述べる。

3.1 クリープ・乾燥収縮試験

(1)試験概要

クリープ・乾燥収縮の測定は $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の供試体を用いて行った。特に乾燥収縮供試体は、試験体端面をエポキシ樹脂でコーティングし、その部分の乾燥を抑制した。これは、クリープ供試体の上下端面の乾燥が荷重により抑制されており、乾燥条件の統一を図ったためである。クリープの荷重荷重は $W/C=60 \cdot 50 \cdot 40\%$ のコンクリートに対し、それぞれ $5 \cdot 7 \cdot 10\text{N/mm}^2$ とした。荷重時材齢は7日であり、この時点での応力強度比は約20%である。測定概要を図-1に示す。クリープひずみは、下式で求めた。

(クリープひずみ) =

(クリープ供試体ひずみ) - (乾燥収縮供試体ひずみ)

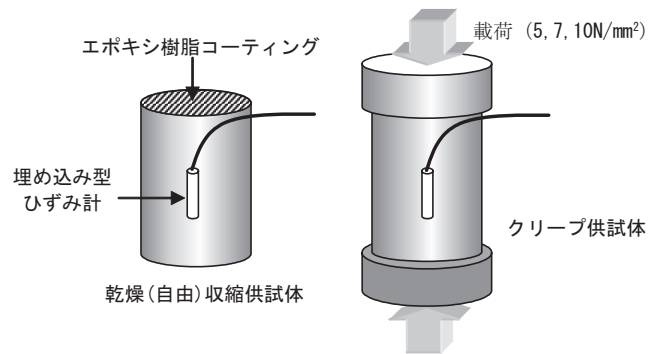


図-1 クリープ・乾燥収縮の測定概要

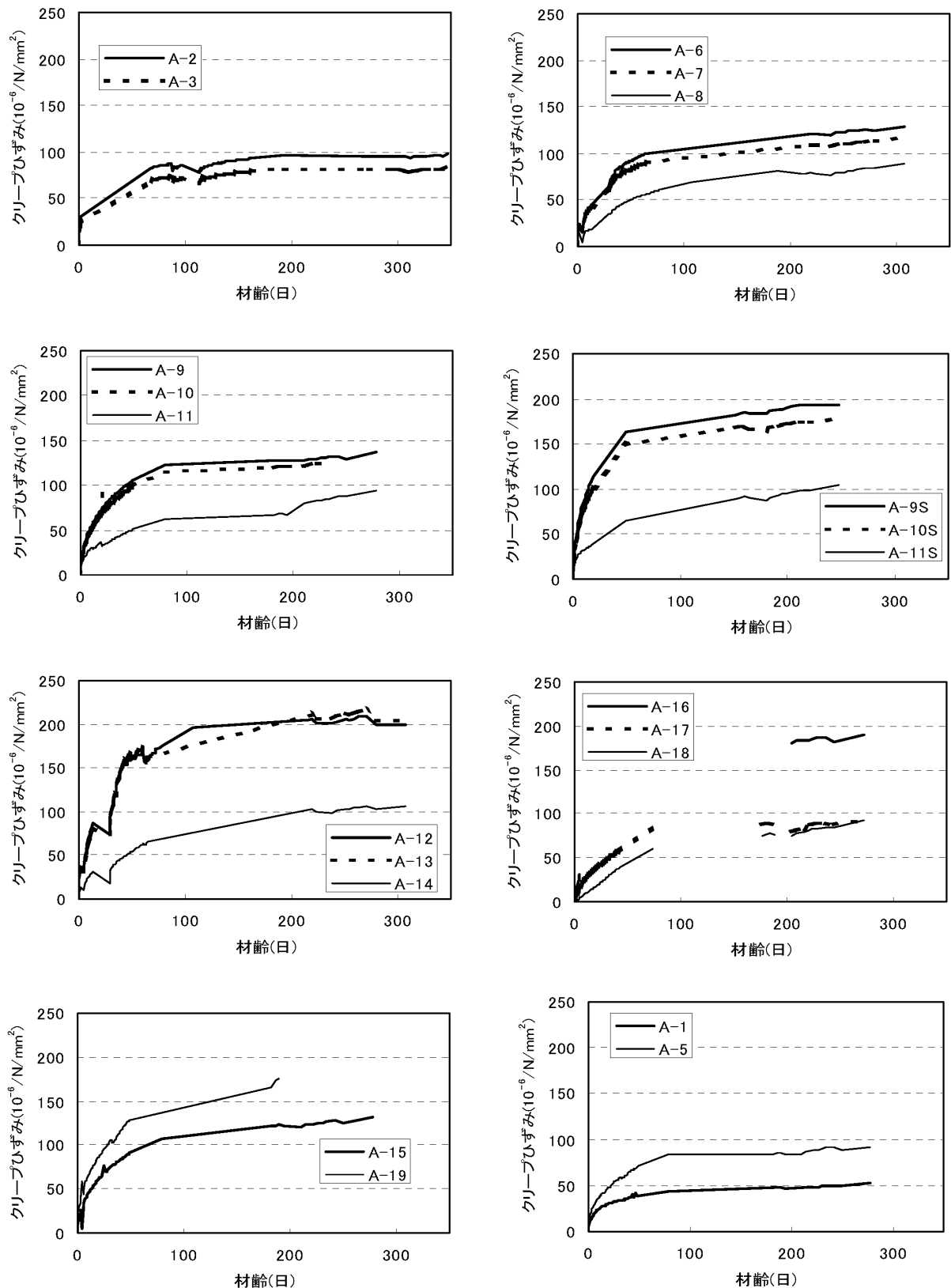
乾燥収縮供試体はクリープ同様、材齢7日の時点で乾燥開始した。いずれの供試体も、ひずみは試験体中心部に埋設したひずみゲージにより計測した。なお、全ての試験は $20^\circ\text{C} \cdot 60\%\text{R.H.}$ の恒温恒湿室内で実施した。

(2)クリープ試験の結果および考察

クリープ試験結果を図-2に示す。これらの図を概観すると以下の特徴が認められる。すなわち、乾燥収縮低減剤を使用したコンクリート(A-8,11,11S,14,18)のクリープひずみは、約50%低減される。乾燥収縮低減剤の使用によるコンクリート強度の著しい変化は認められないため、クリープひずみの低減の理由として、乾燥クリープの抑制が考えられる。また、T社製2種再生粗骨材を用いたA-9S,10S及び細骨材としてK社製2種を用いたA-16,17は、減圧によるクリープひずみの低減効果が認められる。なお、これらの骨材を用いたものは、圧縮強度においても、減圧による増大効果が認められた。

基準となる骨材の組み合わせを用いた場合の、クリープひずみを図-3に示す。ここでクリープひずみは荷重後材齢約250日の時点の値を用いた。図に示されるように、再生骨材を用いることによりコンクリートのクリープひずみは約 $30 \sim 100 \times 10^{-6}$ 大きくなることが認められる。減圧によりクリープひずみは小さくなる傾向にあるが、その度合いは骨材により大きく異なる。すなわち、T社製の2種再生粗骨材では10%程度であるのに対し、K社製の2種再生細・粗骨材を用いたものはクリープひずみが約50%低減されている。なお、これらのコンクリートの圧縮強度は減圧により約6%増大している。

コンクリートの水セメント比毎のクリープひずみを図-4に示す。図に示されるように、コンクリートのクリープひずみは水セメント比の低下に伴い減少し、水セメント比60%のものに対し40%のものは、約50%クリープひずみが低減されている。なお、材齢7日における圧縮強度は、水セメント比60%のものに対し40%のものでは、約60%増加している。



図－2 クリープ試験結果

(3)乾燥収縮試験の結果および考察

乾燥収縮試験結果を図－5 に示す。これらの図を概観すると以下の特徴が認められる。すなわち、乾燥収縮低

減剤を使用したコンクリート(A-4,8,11,11S,14,18)の乾燥収縮ひずみは約10%低減された。このことより、乾燥収縮低減剤は再生骨材コンクリートの乾燥収縮の低減にも

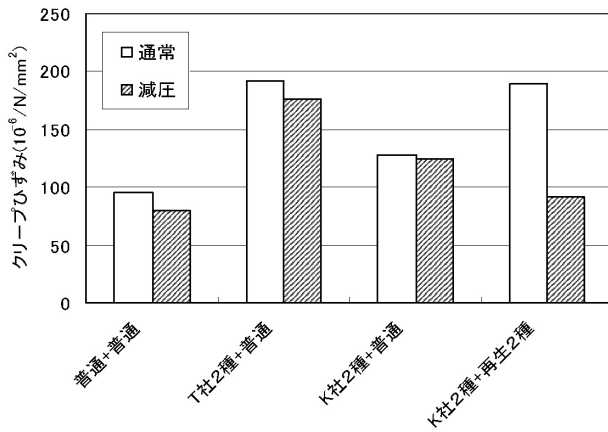


図-3 各種骨材を用いた場合のクリープひずみ

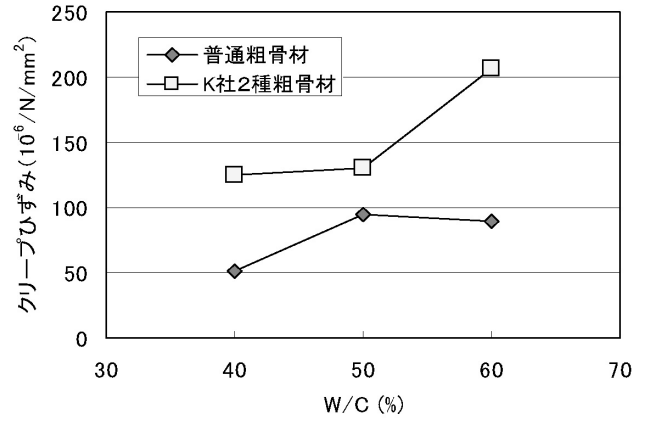


図-4 水セメント比とクリープひずみ

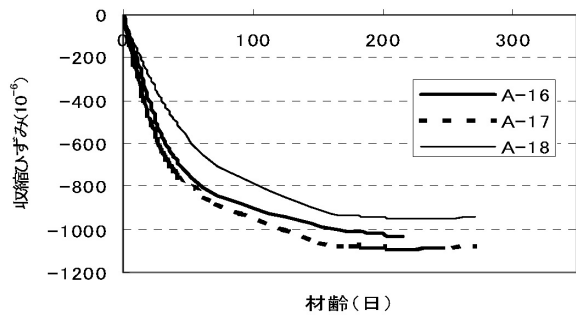
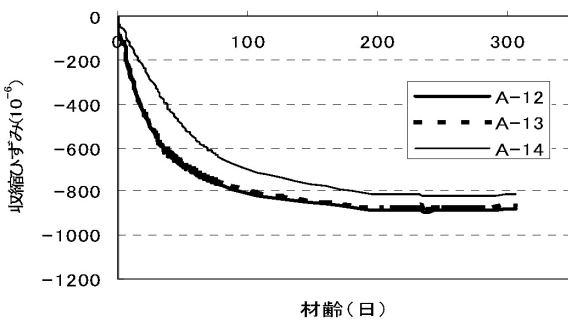
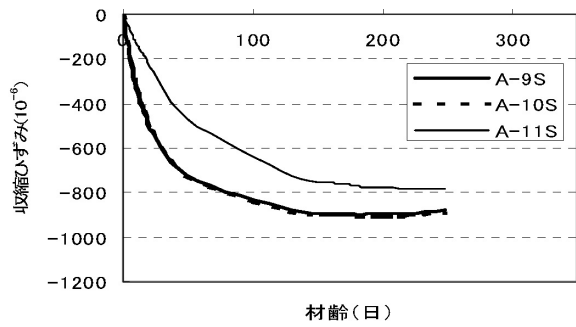
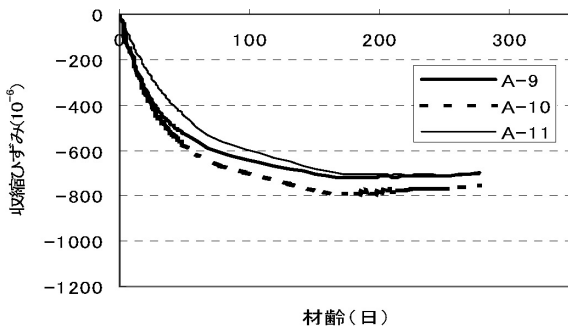
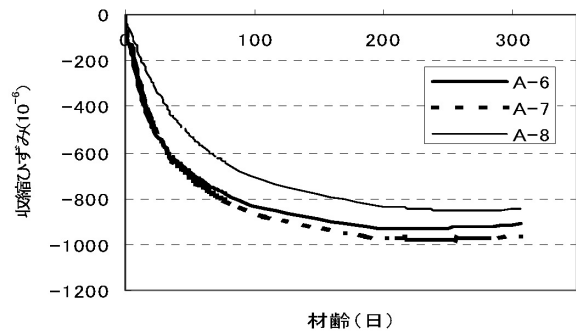
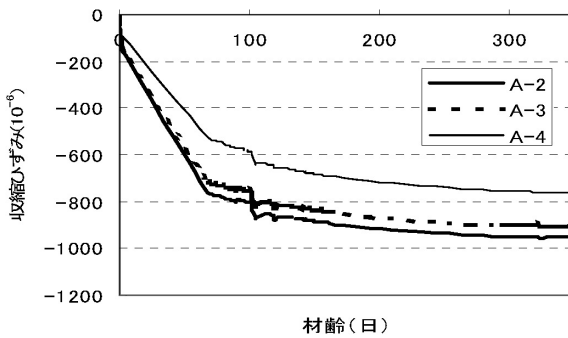
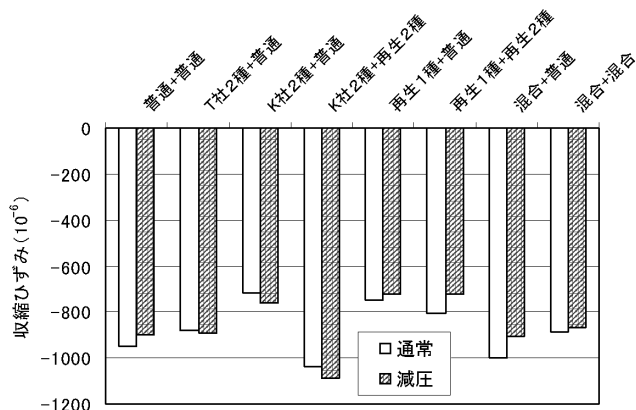


図-5 乾燥収縮試験結果

有効であることが判断される。また、乾燥収縮に及ぼす減圧の効果はほとんど認められなかった。

各種骨材を用いた場合の、W/C50%における乾燥収縮ひずみを図-6に示す。ここで乾燥収縮ひずみは乾燥開



図－6 各種骨材を用いた場合の乾燥収縮ひずみ

始後材齢約250日の時点の値を用いた。K社製の再生2種粗骨材+再生2種細骨材を用いたものだけが、基準となる普通骨材の乾燥収縮ひずみを上回った。他の組み合わせでは同等以下と判断される結果であり、再生骨材を用いることによる乾燥収縮の増加は認められない。むしろ比較の基となる普通骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮がやや大きいことが考えられた。なお、K社製2種再生粗骨材+普通細骨材、1種再生粗骨材+普通細骨材、および1種再生粗骨材+2種再生細骨材の組み合わせでは、再生骨材の使用であっても乾燥収縮ひずみの絶対量が小さくなった。既往の研究⁴⁾と同様に、再生骨材を使用しても必ずしも乾燥収縮が増加するとは限らないことが本実験でも確認された。このことより、コンクリートの収縮に及ぼす骨材の影響を検討するにあたっては、単に骨材の吸水率のみで評価することには限界があるものと思われる。この点については今後の課題である。

3.2 凍結融解抵抗性試験

(1) 試験概要

凍結融解抵抗性試験はJIS原案に準拠して実施した。

(2) 試験結果および考察

各コンクリートの凍結融解抵抗性試験結果を図－7に示す。各図より、概ね以下に示す傾向を捉えることができる。

- 普通骨材については、水セメント比の違いに関わらず、その凍結融解抵抗性は良好である (A-1,2,5)。
- 再生粗骨材2種 (K社) + 普通細骨材を用いたコンクリートについては良好な凍結融解抵抗性を示すが、収縮低減剤を使用することにより抵抗性が大きく低下する (A-9,10,11)。

- 再生粗骨材2種 (T社) + 普通細骨材を用いたコンクリートについても良好な凍結融解抵抗性を示すが、収縮低減剤を使用することにより、前記同様、その抵抗性が大きく低下する (A-9S,10S,11S)。
- 再生粗骨材2種 (T社) + 普通細骨材を用いたコンクリートであっても、水セメント比が大きくなることにより、凍結融解抵抗性が低下する (A-7,13)。
- 再生2種細・粗骨材 (K社) を用いた場合、水セメント比50%では、減圧により凍結融解抵抗性が低下する (A-16,17,18)。
- 再生2種細・粗骨材 (K社) を用いて減圧した場合であっても、水セメント比を40%とした場合、その凍結融解抵抗性は良好である (A-15,17,19)。

すなわち、2種クラスの再生粗骨材を用いても、凍結融解抵抗性が必ずしも劣るとは限らないことがわかる。しかし、収縮低減剤の使用により、全般的に凍結融解抵抗性が低下する傾向が認められ、また収縮低減剤を使用しない場合であっても、水セメント比が大きい場合 (本実験ではW/C=60%)、減圧を施すことにより凍結融解抵抗性が低下する。これは、コンクリート中の空気量が収縮低減剤あるいは減圧により大きく低下することが主な要因であると考えられる。また2種再生細骨材を使用した場合についても凍結融解抵抗性が低下する傾向にあり、この防止方法としては例えば水セメント比を小さくする (本実験ではW/C=40%程度) 必要があるものと考えられる。

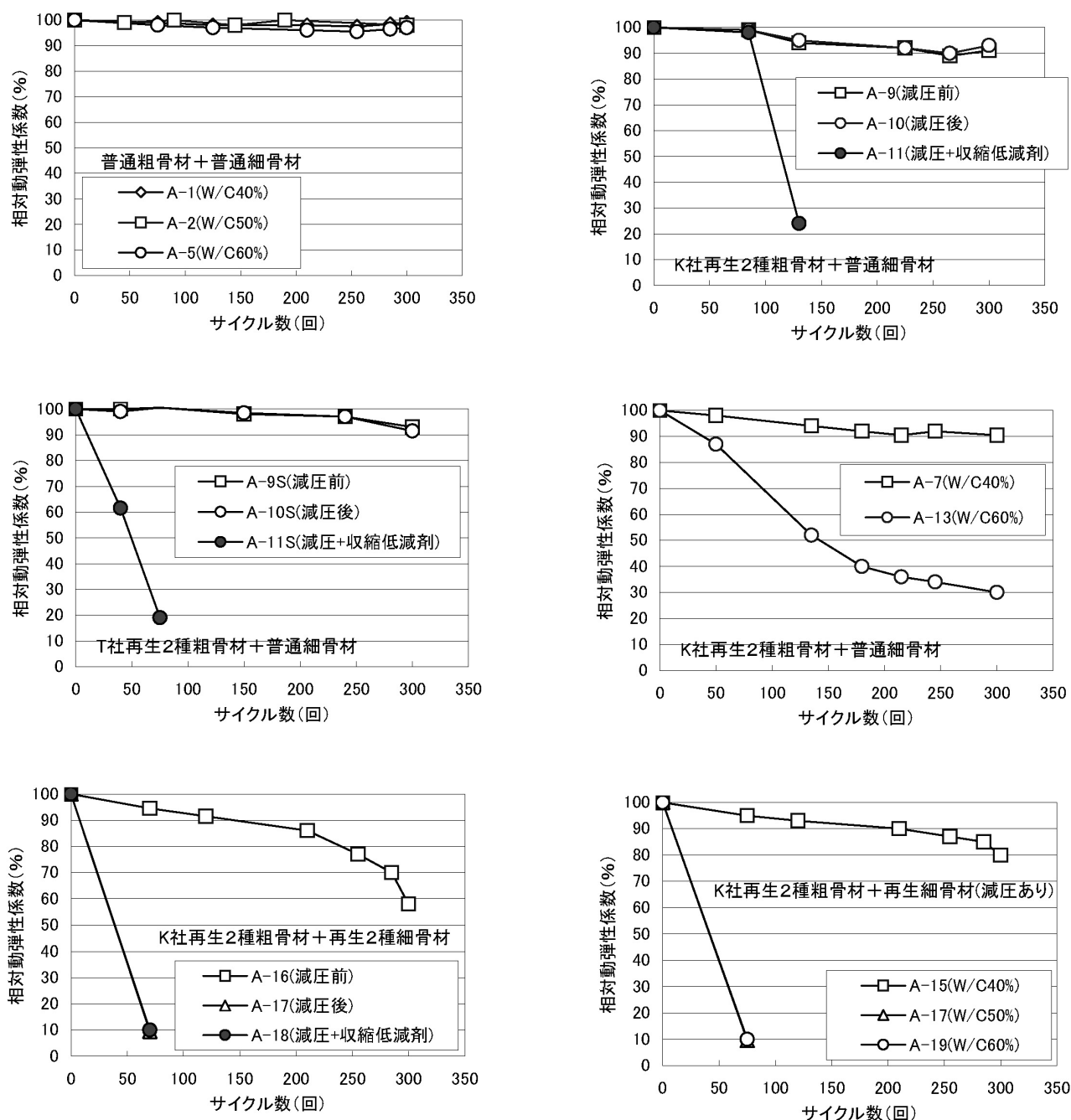
3.3 拘束ひび割れ試験

(1) 試験概要

拘束ひび割れの試験方法は、JIS原案改定案に準じた。試料は、A-2,3,4,9,10,11,16,17,18とし、各調合に対して試験体を3体作製した。写真－2に試験体および測定時の状況を示す。また、同じ試料で10×10×40cmの乾燥収縮 (自由収縮) 測定用供試体・圧縮試験用供試体・割裂試験用供試体をそれぞれ作製した。圧縮試験用供試体および割裂試験用供試体では所定材齢及びひび割れ発生時の強度を測定した。

(2) 試験結果および考察

拘束ひび割れ試験体におけるひび割れ発生日数を図－8に示す。また、図－9～12に、コンクリートの引張伸び能力、引張強度比およびそれらの関係を示す。なお、引張伸び能力は、ひび割れ発生直前のコンクリートの自由収縮ひずみと拘束収縮ひずみとの差によって求めた。



図ー 7 凍結融解抵抗性試験結果

引張強度比は、ひび割れ発生時のコンクリートの引張強度に対する拘束収縮応力度（ひび割れ発生直前の拘束鋼材のひずみから計算）の比である。減圧の有無でひび割れ発生日数を比較すると、碎石+山砂、RG2+RS2では減圧の有無による差は明確ではない。RG2+山砂では、減圧ありの方がひび割れ発生日数が若干長くなった。乾燥収縮測定用供試体でもRG2+山砂では、減圧により 50×10^{-6} とわずかではあるが収縮が（減圧なしより）小さくなったために、ひび割れ発生日数においても若干の差

が生じたものと思われる。収縮低減剤を用いたコンクリートについては、再生骨材を使用した場合に顕著にひび割れ発生日数が長くなった。一方、コンクリートの引張伸び能力は弾性係数の大きい碎石+山砂においてやや小さくなり、引張強度比が70%程度になった時点でひび割れが発生している。なお、ひび割れ発生日数、コンクリートの引張伸び能力および引張強度比に及ぼす減圧の有無の効果は明確には認められなかった。



写真-2 拘束ひび割れ試験の状況

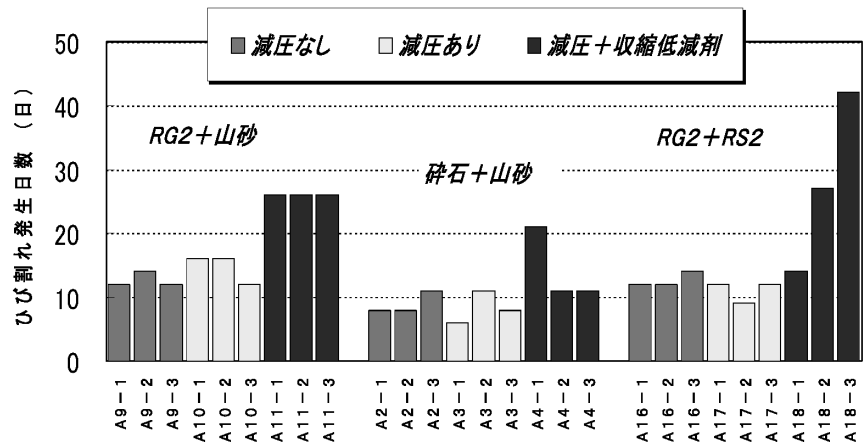


図-8 ひび割れ発生日数

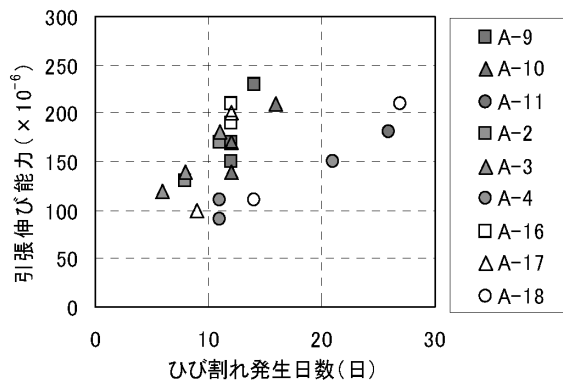


図-9 引張伸び能力とひび割れ発生日数

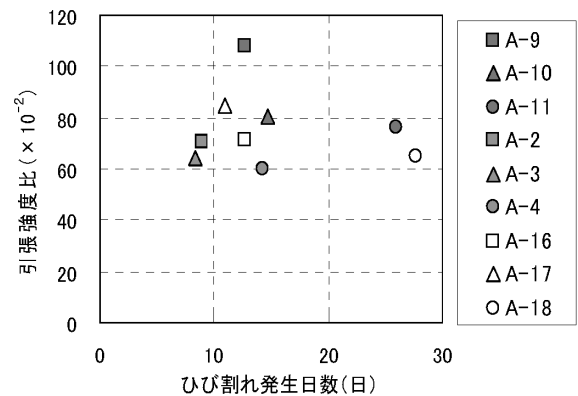


図-11 引張強度比とひび割れ発生日数

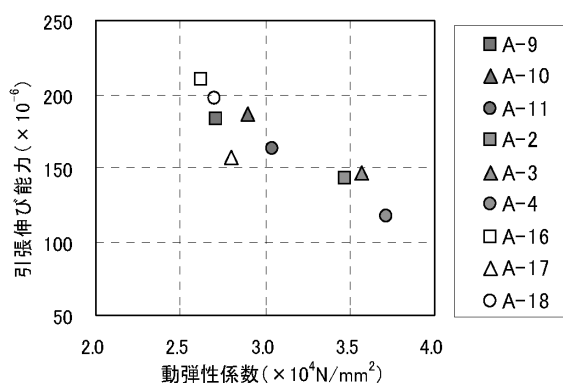


図-10 引張伸び能力と動弾性係数

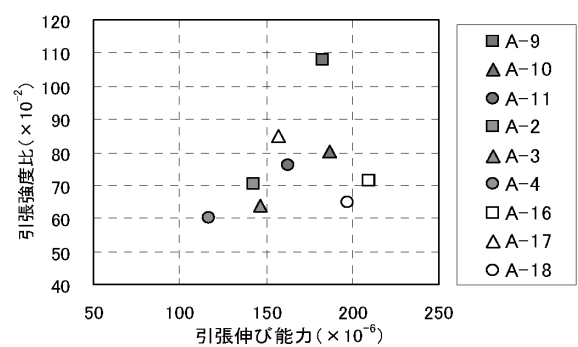


図-12 引張強度比と引張伸び能力

3.4 耐久性試験のまとめ

耐久性試験の結果をまとめると、以下のようになる。

- 1) クリープについては、乾燥収縮低減剤を使用したコンクリートのクリープひずみは約50%低減される。減圧による圧縮強度の増大が認められた再生粗骨材及び再

生細骨材を用いたものは、減圧によるクリープひずみの低減効果が認められる。

- 2) 乾燥収縮については、乾燥収縮に及ぼす減圧の効果はほとんど認められない。また、再生骨材を使用しても必ずしも乾燥収縮が増加するとは限らないことが確認された。なお、乾燥収縮低減剤は再生骨材コンクリートの乾燥収縮の低減にも有効である。なお、コンクリートの収縮に及ぼす骨材の影響を検討するにあたっては、

単に骨材の吸水率のみで評価することには限界があるものと思われる。

3)凍結融解抵抗性については、再生粗骨材2種+普通細骨材を用いたコンクリートについては良好な凍結融解抵抗性を示すが、収縮低減剤を使用することにより抵抗性が大きく低下する。水セメント比を40%とした場合、再生2種細・粗骨材を用いて減圧したものであっても、その凍結融解抵抗性は良好である。

4)拘束ひび割れについては、収縮低減剤を用いた場合にひび割れ発生日数が長くなる傾向にあるが、減圧による顕著な効果は認められなかった。

4. 微細構造試験

本章では、コンクリートの微細構造に関する検討として、細孔径分布、気泡分布、界面の観察の試験結果について述べる。

4.1 細孔径分布の測定

(1) 試験概要

細孔径分布の測定は、骨材の種類、減圧の有無、収縮低減剤の有無を要因として、A-2無,A-3無,A-3有,A-4無,A-4有,A-9無,A-10無,A-10有,A-11無,A-11有の、10種類の試料で行った(記号中の「有」「無」はそれぞれ減圧あり、減圧なしを示す。また「前」「後」は減圧前、減圧後を示す)。

細孔径分布の測定は、十分に水和の進んだ(13週以上標準水中養生に供した)φ10×20cm供試体の高さ方向中央部をスライスし、モルタル部分をチップングして得られた約5mm角の測定用試料で行った。チップングの後、アセトンに48時間以上浸けて水和反応を停止させ、その後、減圧乾燥を行い、水銀圧入式ポロシメータを用いて測定した。この測定機は、低圧部で細孔半径約300μm[0.3mm]~7μmまで、高圧部で細孔半径約1.8nm[0.0000018mm]まで測定可能である。測定は、3-5mm角の試料を10個前後(約1.5g)、測定用ガラスセルに入れて行った。1種類の試料につき原則として1回の測定とした。

(2)試験結果および考察

図-13に半径10μm以下の細孔量および細孔量比率を示す。

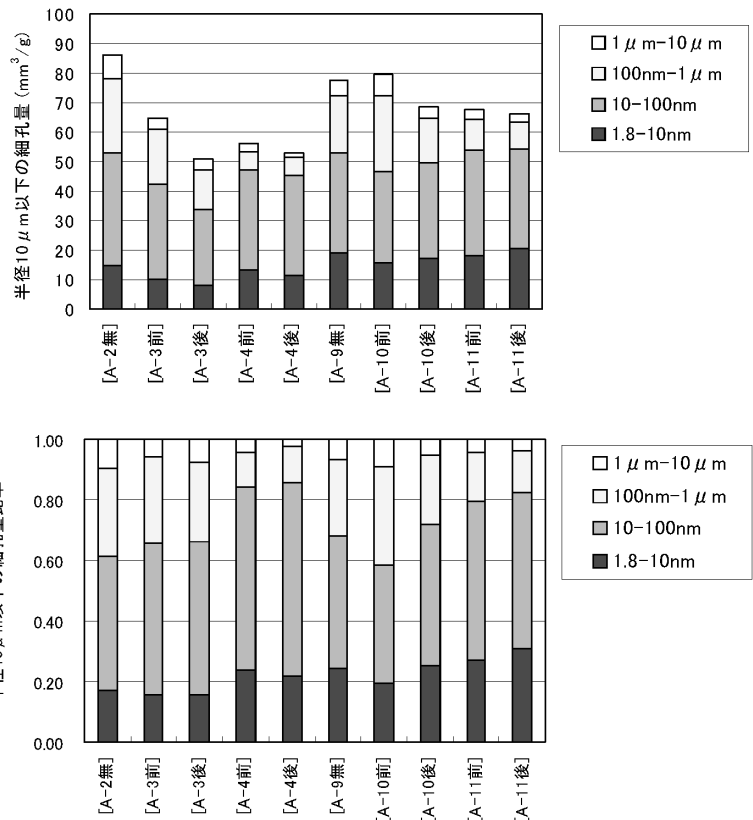


図-12 半径10μm以下の細孔量および細孔量比率

[A-3前]と[A-3後]、[A-4前]と[A-4後]、[A-10前]と[A-10後]、[A-11前]と[A-11後]を比較すると、減圧前後では、総細孔量はほとんど変化しないか若干減少する程度であった。細孔量の比率についても、A-10を除いてほとんど変化していない。これより、減圧はコンクリートの「空隙」や「細孔」レベルでの微細構造を大きく変化させるものではないことがわかる。

一方、[A-3前]と[A-4前]、[A-10前]と[A-11前]は収縮低減剤の有無の比較ができるが、半径100nm以下の細孔はほとんど等しいものの、半径100nm~1μm(0.001mm)の細孔が収縮低減剤の添加により減少していることがわかる。収縮低減剤による水の表面張力の低下作用のため、比較的大きな細孔が形成されにくくなり、若干ではあるが組織が緻密になっていると考えられる。

4.2 気泡分布の測定

(1) 試験概要

気泡分布の測定を行った試料は、表-3の4種類である。各試験体は、室内試験練り時に作製し材齢13週まで標準水中養生したφ10×20cmの供試体中央部(5cm)を切断して試験試料とした。試験方法は、ASTM C 457-98に規定されているリニアトラバース法に準じて行った。

(2) 試験結果および考察

試験結果の一覧を表-4に、気泡分布測定結果を図-14に示す。なお、再生骨材に付着しているモルタル中の気泡も測定値に含んでいる。

A-9R、A-10Rの気泡分布測定結果より、A-10Rでは直径0.1mm程度以下の気泡がA-9Rよりも少なくなっていることがわかる。減圧によってこの範囲の気泡が一部消失したと考えられる。収縮低減剤を使用したA-11R(前)、A-11R(後)では、A-10Rよりも0.1～0.2mm程度の範囲の気泡が少なくなっている。そして、1mm程度の径の気泡が多くなっていることがわかる。収縮低減剤によって小さな径の気泡(entrained air)が消え、大きな気泡(entrapped air)になって残ったのではないと思われる。収縮低減剤の添加によって減少している気泡の範囲は、AE剤によってコンクリート中に連行される独立気泡(一般に、直径30 μ m～1mmとされている)の範囲とほぼ一致する。このことは、収縮低減剤を添加する場合には凍結融解抵抗性に留意する必要があることを示している。

図-15に各試料の気泡間隔係数を示す。良好な耐凍害性を得るのに必要な気泡間隔係数は200～250 μ m(0.2～0.25mm)以下であるとされている⁵⁾。A-9Rでは0.196mmと良好な値を示した。再生粗骨材を使用したコンクリートでも、適切な空気量を連行すれば耐凍害性に優れたコンクリートをつくることが可能であることを示している。同様に、減圧を行ったA-10Rでも、気泡間隔

係数は0.267mmとほぼ良好な値であった。これより、再生粗骨材を使用し、さらに減圧したコンクリートでも、適切な空気量を連行させることによって気泡間隔係数の小さなコンクリートをつくることが可能であると考えら

表-3 気泡分布の測定試料

試料記号	骨材の組合せ	減圧	収縮低減剤	フレッシュ時の空気量(%)
A-9R	再生2種粗骨材+山砂	なし	なし	5.6
A-10R		あり	なし	4.5
A-11R(前)*		あり	あり	5.3
A-11R(後)*		あり	あり	3.7

* (前)は減圧前に採取した試料、
(後)は減圧後に採取した試料であることを示す。

表-4 試験結果一覧

試料記号	気泡全数 [N] (個)	空気量 [A] (%)	平均弦長 [$\bar{L}$] (mm)	気泡間隔係 数 [$\bar{L}$] (mm)
A-9R	865	5.7	0.167	0.196
A-10R	633	5.7	0.228	0.267
A-11R(前)	493	4.9	0.252	0.316
A-11R(後)	419	4.1	0.249	0.388

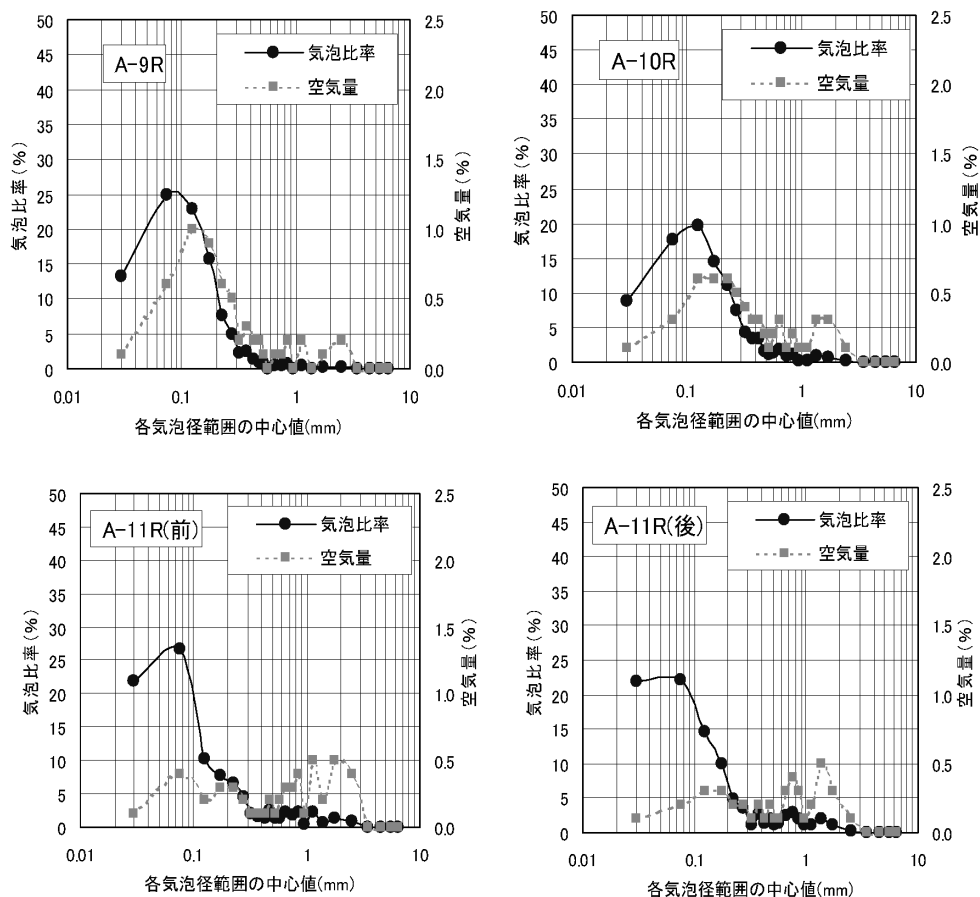
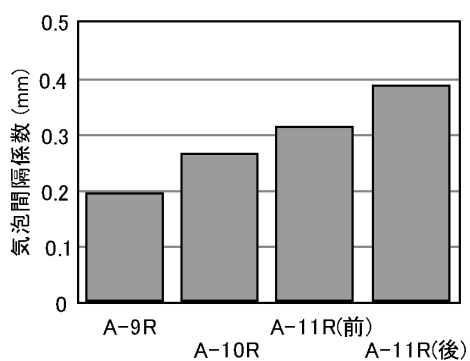


図-14 気泡分布測定結果

れる。収縮低減剤を用いたA-11R(減圧前)、A-11R(減圧後)は、ともに気泡間隔係数が大きくなっている。A-11R(減圧後)は収縮低減剤と減圧との相乗作用で気泡間隔係数が大きくなったと思われる。これより、収縮低減



図－15 気泡間隔係数

剤を用いたコンクリートを凍結融解作用に対する抵抗性が必要な部位に用いる場合には、所要の空気量の設定などに慎重な検討が必要になると考えられる。

なお、前述したように、今回の測定では、再生粗骨材に付着しているモルタル中の気泡も凍結融解作用に対する抵抗性に大きな影響を及ぼしていることを考慮し、区別せずにカウントした。それぞれの試料の測定面を観察したところ、A-11R(減圧前)、A-11R(減圧後)の試料では比較的大きな付着モルタルの断面およびモルタル塊の断面が認められた。

4.3 界面の観察

(1)試験概要

試験の目的は、減圧による骨材界面の変化および改善効果の観察である。試料は、気泡分布を測定したA-9R、A-10R、A-11R(減圧前)、A-11R(減圧後)の4試料とした。各試験体は、気泡分布測定後の試験体を用いた。観察は、デジタルマイクロスコープ（キーエンス製、VH-6300）で行った。倍率は、175倍または500倍とした。各試験体の両面（天・地）の中央部6cm×6cmの範囲から、骨材

界面部の空隙およびひび割れを観察した。

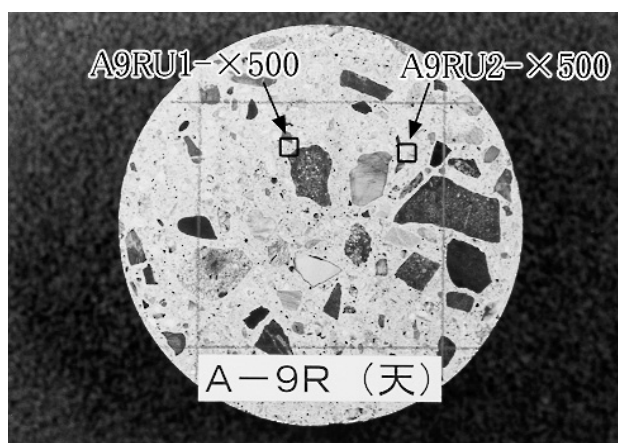
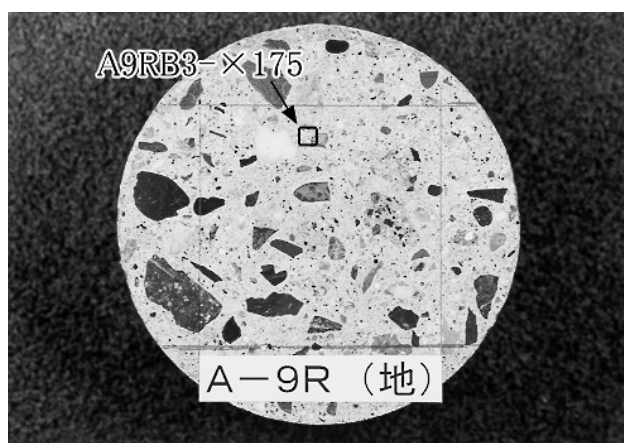
(2)試験結果および考察

写真－3に試験体の例を示す。写真中に枠および矢印で示した部分が写真－4に示した拡大部分である。A-9Rでは、骨材界面がわずかに（幅10μm前後）連続的に剥離していると思われる箇所が見られた。一方、他の試験体では、幅が広くて一様でない空隙や、長さの短いものなどの、モルタル充填が不完全なために生じた空隙と思われる箇所が見られたが、連続的な剥離部分はあまり見られなかった。これより、減圧によって骨材界面の性状が改善（連続的な剥離部分が少なくなる）されている可能性が高いと推察されるが、試験の方法等も含め、より詳細な検討が必要であろう。

4.4 微細構造試験のまとめ

微細構造に関する試験の結果をまとめると以下のようである。

- 1)減圧によって直径0.1mm程度の気泡が若干減少する傾向にあるが、コンクリートの「空隙」や「細孔」レベルでの微細構造を大きく変化させるものではない。このことから、再生粗骨材を使用し、さらに減圧したコンクリートでも、適切な空気量を連行させることによって気泡間隔係数の小さなコンクリートをつくることが可能である。
- 2)収縮低減剤によって0.1～0.2mm程度の範囲の気泡が少なくなり、1mm程度の大きな径の気泡が多くなっている。そのため、気泡間隔係数が大きくなりやすい。細孔構造においても、半径100nm～1μm（0.001mm）の細孔が収縮低減剤の添加により減少している。これらのことから、収縮低減剤を添加する場合には凍結融解抵抗性について慎重に検討する必要がある。

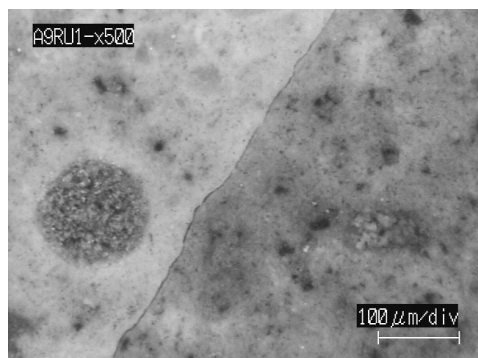


写真－3 界面観察用試験体の例（気泡分布測定試験体と同一）

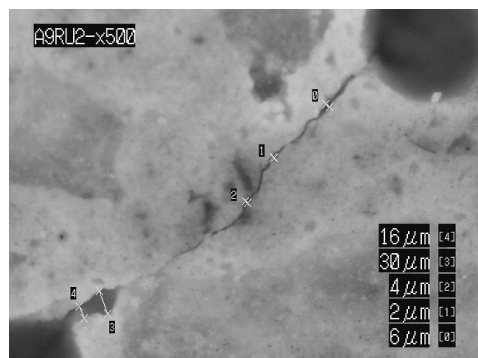
3)減圧によって骨材界面の性状が改善（連続的な剥離部分が少なくなる）されている可能性が高いと推察されるが、試験の方法等も含め、より詳細な検討が必要であろう。

5. おわりに

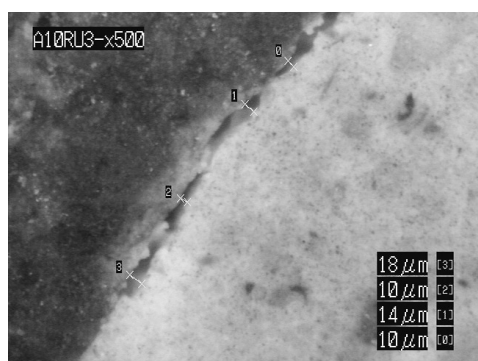
再生骨材を用いたコンクリートの品質改善を目的として、減圧・瞬時復圧工法を適用して行った室内試験練りの中から、耐久性試験、微細構造試験の結果について述べた。同工法による、物性の著しい改善効果を確認するには至らなかったが、再生骨材を使用した場合でも条件によっては通常の骨材を使用したコンクリートと同程度の耐久性を得ることができること、収縮低減剤を併用する場合には空気量の低下に伴う凍結融解抵抗性の低下などに注意が必要であることなどが確認できた。これらの成果をもとに、再生骨材コンクリートの普及に向けて今後も検討を重ねていきたい。



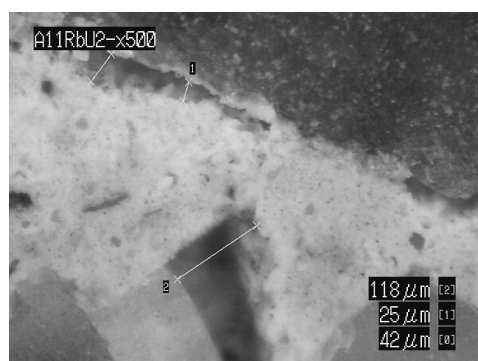
〔A9RU1〕 A-9R（天）500倍



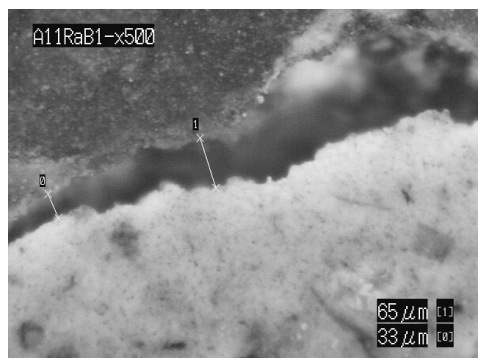
〔A9RU2〕 A-9R（天）500倍



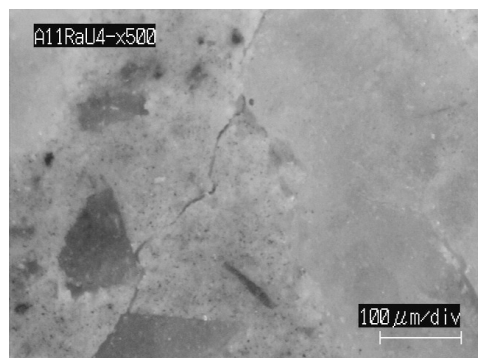
〔A10RU3〕 A-10R（天）500倍



〔A11RbU2〕 A-11R（天）500倍



〔A11RaB1〕 A-11R後（地）500倍



〔A11RaU4〕 A-11R後（天）500倍

写真－4 骨材界面の拡大写真

〔参考文献〕

- 1) 今本啓一ほか：減圧工法による再生骨材コンクリートの品質向上，コンクリート工学年次論文報告集，vol. 21, No.1, pp.175-180, 1999.
- 2) 今本啓一ほか：減圧工法の実機への適用性に関する研究，第54回セメント技術大会講演要旨，pp.432-433, 2000.
- 3) 嵩 英雄ほか：再生骨材の品質に及ぼす付着モルタルの影響に関する実験研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.689-690, 1998.9
- 4) 山崎順二、立松和彦：高品質の再生骨材を用いた再生コンクリートの特性に関する研究、浅沼組技術研究所報No.9、pp.43-50、1997
- 5) 後藤幸正、尾坂芳夫監訳：ネビルのコンクリートの特性、技報堂出版、1979