

論文 コンクリート塊を用いた再生コンクリートに関する基礎研究

近松 竜一^{*1}・榊原 泰造^{*2}・入矢 桂史郎^{*3}

要旨：コンクリート構造物を解体する際に発生するコンクリートのガラをそのまま使用し、ガラの間隙を注入モルタルで充填するコンクリートを対象として、ガラの物性や注入モルタルの配合選定、各種ガラと注入モルタルを組み合わせた場合の圧縮強度等について実験的に検討した。その結果、ガラの粒度と注入モルタルの配合を適切に組み合わせることで良好な充填性を確保できること、ガラを混入した再生コンクリートにおいてもガラの原コンクリート強度とほぼ同等の圧縮強度を付与することができ、構造材料としても活用できる可能性があることが明らかとなった。

キーワード：コンクリート塊, 再生コンクリート, 注入モルタル, 圧縮強度

1. はじめに

コンクリート構造物を解体する際に発生するコンクリート塊の再利用に関しては、資源の有効活用と環境負荷の低減の観点から、これまでに数多くの研究開発が行われている¹⁾。また、これらの成果として、コンクリートを数段階に粉砕して骨材を選別し、再生骨材として再利用するシステムが実用化されている²⁾。しかし、一方では、再生骨材の処理コストや流通、使用時の品質管理上の課題もあり、現状では一次破砕したコンクリート塊を路盤材として使用する場合も多い。コスト的には最も有効である破砕したコンクリート塊をなるべく手間をかけずに再利用するための研究も行われている³⁾。

本論文は、この一次破砕したコンクリート塊（以下、ガラと呼称）の構造部材への利用を想定し、ガラをそのまま型枠に詰め、間隙を注入モルタル材で充填するコンクリート部材の構築方法に関する研究の一環として、ガラの物性や注入モルタル配合の選定、各種のガラと注入モルタルを組み合わせることで製造したコンクリートの圧縮強度特性について実験的に検討した結果をとりまとめたものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料

(1) コンクリートガラ

ガラは、50cm程度の塊に小割りしたコンクリートを専用の破砕機により最大寸法が80mm以下となるように破砕した。破砕前の原コンクリートの圧縮強度が27, 36 および 80N/mm²の3種類をそれぞれガラA, BおよびCと呼称する。コンクリートの破砕状況を写真-1に示す。製造したガラの粒度構成を図-2に、表乾密度および吸水率を図-3に示す。実験では、粒度別に分級したガラを所定の割合に混合して用いた。また、比較用として砕石を一部使用した。粒度調整後のガラの物理的性質を表-1に示す。

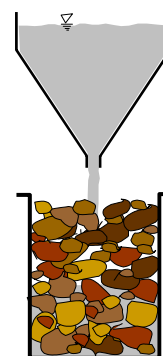


図-1 ガラを用いたコンクリートの製造イメージ

*1 榊大林組技術研究所 土木材料研究室 材料施工グループ (正会員)

*2 榊大林組技術研究所 土木材料研究室 LCCグループ(正会員)

*3 榊大林組技術研究所 土木材料研究室 材料施工グループ グループ長 (正会員)



写真-1 コンクリート塊の破碎状況

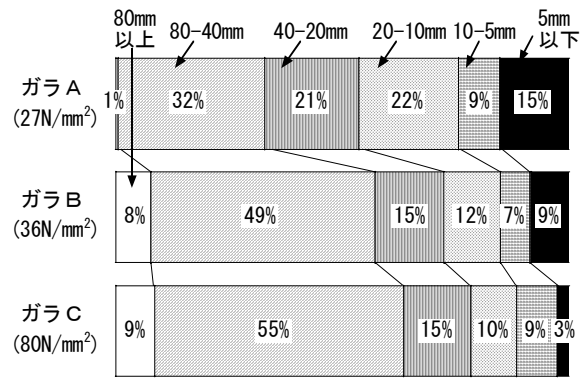


図-2 ガラの粒度構成

表-1 実験に用いたガラスの物理的性質

No.	ガラスの種類	ふるい通過百分率 (%)				表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	実積率 (%)
		80mm	40mm	20mm	10mm			
1	A8010	100	60	30	0	2.28	7.12	46.3
2	A8020	100	40	0	0	2.26	7.31	51.1
3	A4020	100	100	0	0	2.27	7.15	46.1
4	B8010	100	40	20	0	2.26	7.78	49.8
5	B8020	100	20	0	0	2.25	7.76	46.3
6	B4020	100	100	0	0	2.28	7.54	44.5
7	C8010	100	30	10	0	2.41	4.55	49.2
8	C8020	100	20	0	0	2.41	4.34	47.0
9	C4020	100	100	0	0	2.42	5.22	44.5
10	G8020	100	40	0	0	2.65	0.60	51.1

注) 充填性の検討にはNo.1, No.5を使用。No.10は砕石。

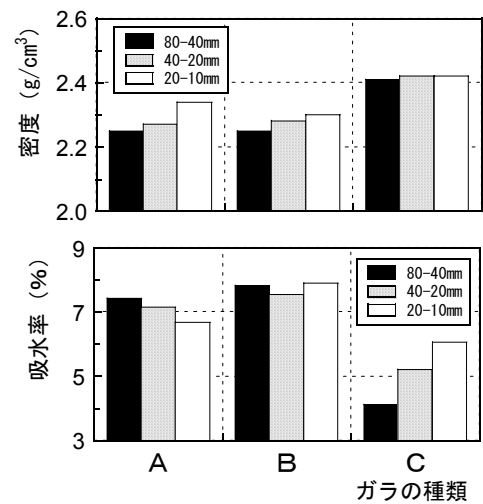


図-3 粒度別ガラスの物理的性質

(2) 注入モルタル

注入モルタル材料として、セメントには普通ポルトランドセメント (NP, 密度 3.15g/cm³) および低熱ポルトランドセメント (LP, 密度 3.22g/cm³) を用いた。また、混和材にはシリカフューム (SF, 密度 2.22g/cm³)、膨張材 (EX, 密度 3.05g/cm³) を使用した。細骨材は 6 号珪砂 (密度 2.60g/cm³, 最大寸法 0.6mm, 粗粒率 1.53) を使用した。混和剤としてメラミンスルホン酸系の高性能減水剤、ブリーディングによる沈降を補償するために発泡剤 (AI) として金属アルミニウム粉末を使用した。

2.2 各シリーズの概要

実験は、以下の 3 シリーズに分けて実施した。

(1) ガラ間隙への充填条件に関する検討

予め型枠に詰めたガラスの間隙を完全に充填す

るために、ガラスの物性と注入モルタルのコンシステンシーの関係について調べた。

ガラスは、表-1 に示す 2 種類 (A8010 および B8020) を用い、注入モルタルの配合は、水結合材比を 0.66~0.30、細骨材結合材比を 0~1.70 の範囲で変化させた計 30 種類について試験した。

エアメータの容器にガラスを詰め、天端より約 30mm 上方から P 漏斗を介して注入モルタルを投入しガラスの間隙を充填した。注入前後の試料質量差から求めたモルタルの注入量と予めガラスの間隙を水で満たして測定した空隙量をもとに注入モルタルの充填率を算出した。

なお、ガラスは水中に 24 時間以上浸漬した後、表面を布で拭き表面乾燥状態として試験に供したが、一部のケースでは絶乾状態にして試験を実施した。

表-2 注入モルタルの配合要因と水準

検討要因	水準
セメントの種類	普通ポルト, 低熱ポルト
混和材の種類	シリカフェーム, 膨張材
細骨材の種類	6号珪砂, 4.5号珪砂
水結合材比	0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5, 0.55
細骨材結合材比	0, 0.2, 0.3, 0.35, 0.4

表-3 注入モルタルの試験項目と方法

試験項目	準拠規準
P漏斗流下時間	JSCE-F 521-1999
JP漏斗流下時間	JSCE-F 531-1999
J ₁₄ 漏斗流下時間	JSCE-F 541-1999
ブリーディング率	JSCE-F 522-1999
圧縮強度	JSCE-G 541-1999

表-4 各種ガラとモルタルを組み合わせたコンクリート試験体の概要

No	注入モルタル				コンクリートガラの種類									粗骨材				
	使用材料				A			B			C				G			
	結合材	発泡剤			8010	8020	4020	8010	8020	4020	8010	8020	4020					
1	NP	-	-	-	○	○		○			○							
2	NP	SF	-	-	○	○	○	○	◎		○			○				◎
3	NP	SF	-	AI					◎									◎
4	NP	SF	EX	-	○	○	○	○			○							
5	NP	SF	EX	AI		◎			◎				◎					◎
6	LP	SF	EX	-	○	○	○	○			○							

注) SF(シリカフェーム), EX(膨張材)はセメント容積の5%をそれぞれ内割置換。
 水結合材比 0.40 (No.1), 0.41(No.2-6), 細骨材結合材比0.47, 高性能減水剤添加率 C*2.5%
 コンクリートの圧縮強度試験: ◎は材齢 7および28日, ○は材齢28日

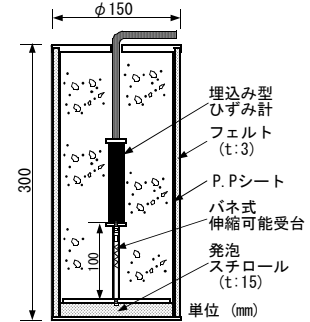


図-4 自由膨張ひずみ試験体の概要

(2) 注入モルタルの材料・配合選定

注入モルタルの材料・配合選定における検討要因および水準を表-2に、試験項目および方法を表-3に示す。モルタルの練混ぜは、ハンド型の攪拌ミキサ(羽根外径150mm, 回転数750rpm)を使用した。1バッチの練混ぜ量は5リットルとし、120秒間練り混ぜた。コンシステンシーの評価には3種類の漏斗(J₁₄, JP, P)を用い、強度用供試体はφ5×10cmを使用した。

(3) ガラを用いたコンクリートの強度特性

ガラ間隙の充填条件および注入モルタル配合の検討結果をもとに、表-4に示す組合せでコンクリート供試体を作製し、強度特性を確認した。

モルタルの練混ぜにはオムニミキサ(回転数480rpm)を用い、1バッチの練混ぜ量を10リットルとした。セメントと予め混和剤を溶解させた水を投入して30秒攪拌した後、細骨材を投入して60秒練り混ぜ、容器に付着したモルタルをかきおとした後90秒間練り混ぜた。

コンクリート供試体はφ15×30cmの型枠内にガラを詰めておき、注入用漏斗の流出口を型枠天端から高さ30mmの位置にセットし、モルタルが途切れないよう連続的に充填した。

なお、一部の供試体については、型枠内に無応力計を設置し、自由膨張特性を計測した。

3. 実験結果および考察

3.1 ガラ間隙の充填条件に関する検討

ガラの間隙に各種モルタルを注入した場合のコンシステンシー特性と充填率の関係をガラの種類毎に整理し図-5および図-6に示す。いずれの場合も注入モルタルのコンシステンシーをある範囲内に制御することにより十分な充填性が得られる結果が示されている。また、ガラの間隙への充填性を確保するための指標として、それぞれの漏斗毎に流下時間の上限値が存在し、ガラの粒度が80-20mmの場合には、P漏斗時間が約20秒以下、80-10mmの場合には約15秒以下であれば完全に充填できるものと判断される。

一般にプレパックドコンクリートにおいては、最小寸法が15mmの粗骨材が用いられ、注入モルタルの適正なコンシステンシーの範囲はP漏斗で16~20秒程度とされている⁴⁾。上記の結果によれば、ガラの間隙を充填する場合においても注入モルタルには概ね同等のコンシステンシー特性が必要となるものと考えられる。

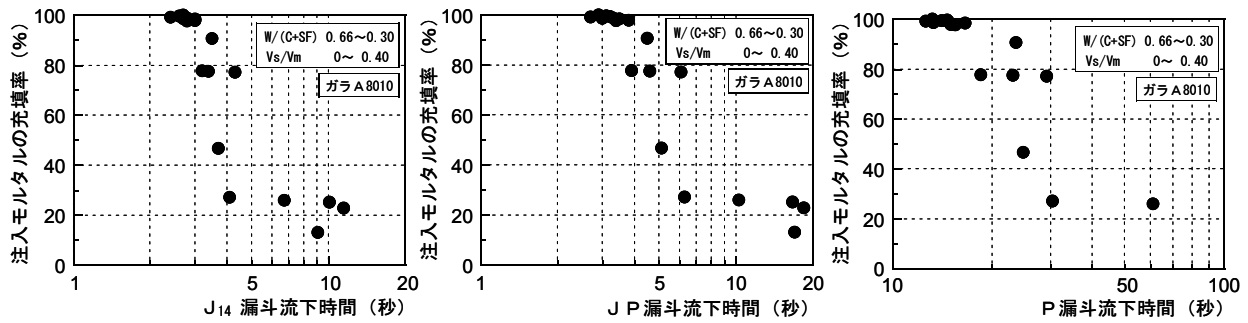


図-5 各種漏斗流下時間と注入モルタルの充填率（ガラ粒度 80-10mm の場合）

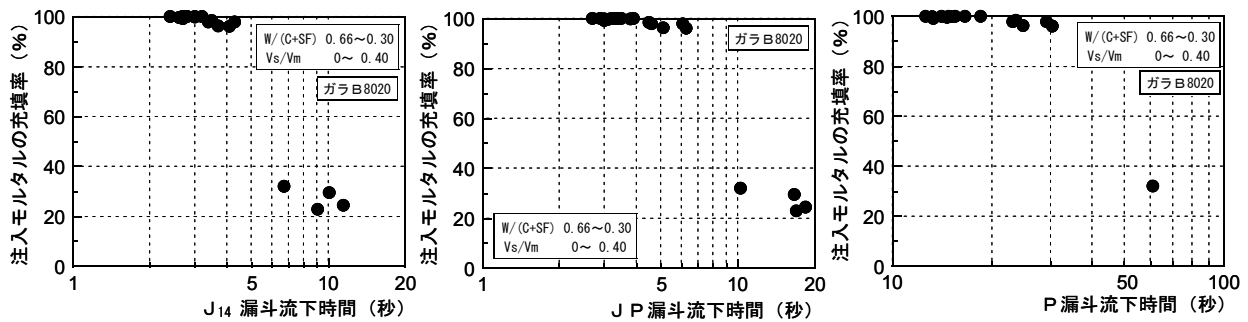


図-6 各種漏斗流下時間と注入モルタルの充填率（ガラ粒度 80-20mm の場合）

乾湿状態が異なる 2 種類のガラを $\phi 15 \times 30\text{cm}$ の型枠内に詰め、上方からモルタルを注入した場合の充填状況を写真-2 に示す。

表面が湿潤状態のガラを用いた場合はモルタルが間隙の隅々まで充填しているのに対し、表面が乾燥状態のガラの場合にはガラの周囲に未充填部が生じている。これはモルタル注入時にガラが吸水しモルタルの流動性が低下したためと推測され、吸水率が大きいガラを間詰め材として用いる場合には、表面を湿潤状態に管理することが重要であるといえる。



ガラを表乾状態に調整して用いた場合



ガラを絶乾状態に調整して用いた場合

写真-2 ガラの乾湿状態による充填性の相違

3.2 注入モルタルの配合に関する検討

各種結合材を用い、水結合材比と細骨材結合材比を変化させた配合の P 漏斗流下時間、ブリーディングおよび強度特性について水結合材比との関係で整理した結果をそれぞれ図-7～図-9 に示す。

結合材として普通ポルトランドセメントのみを用いた場合よりもシリカフュームを添加した方が同一配合での漏斗流下時間が小さく、さらに低熱ポルトランドセメントと組み合わせることで流動性が向上する結果となっている。また、

ブリーディングに関しては、シリカフュームの添加により大幅に低減され、3%を下回る結果が得られている。上述した充填性の検討結果を踏まえると、注入モルタルの配合条件として、水結合材比は下限値が 40%程度、モルタル中に占める細骨材の割合は約 30%程度（体積換算）が上限となる。なお、この場合のモルタル強度は最大で 70N/mm^2 程度を確保することができる。

参考までに、注入モルタルのコンシステンシー特性の評価に関して、各種漏斗による流下時

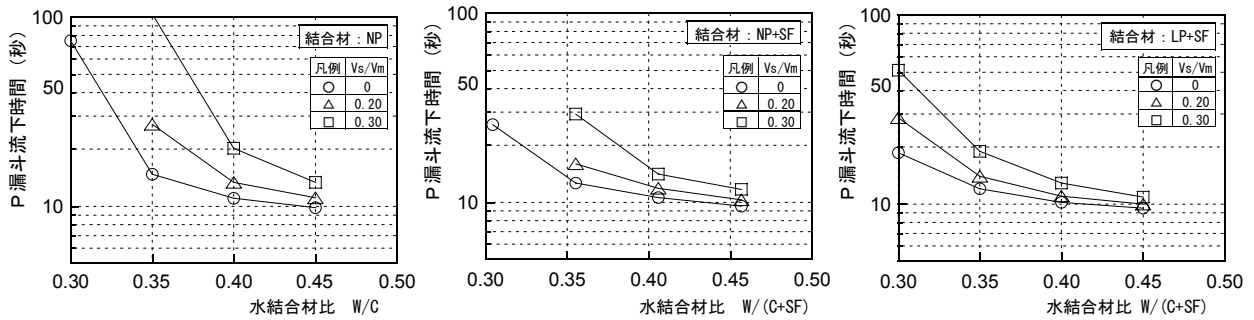


図-7 各種注入モルタルにおける水結合材比とP漏斗流下時間の関係

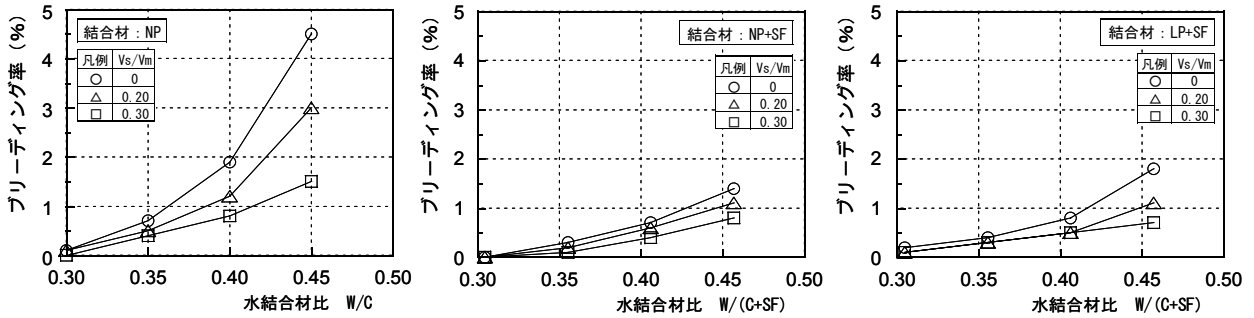


図-8 各種注入モルタルにおける水結合材比とブリーディング率の関係

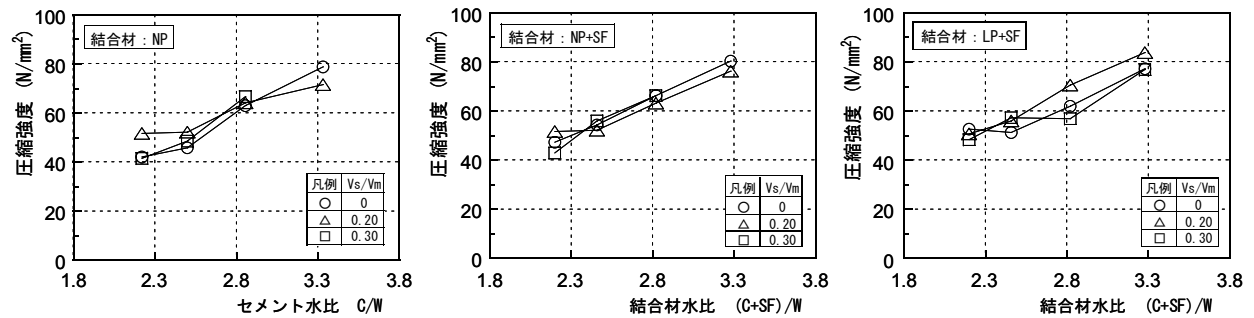


図-9 各種注入モルタルにおける水結合材水比と圧縮強度の関係

間の相関について整理した結果を図-10 に示す。 J_{14} 漏斗, JP 漏斗いずれもP漏斗と相関関係が認められ, コンシステンシーの評価指標として用いることが可能であると考えられる。

3.3 ガラを用いたコンクリートの圧縮強度特性

各種ガラと注入モルタルを組み合わせた場合の品質試験結果を表-5 に, コンクリートの圧縮強度試験結果を図-11 に示す。

コンクリートの圧縮強度は, 試験ケース毎にばらつきがあるものの, 平均値で16~40N/mm²の結果が得られている。ガラの種類については, 全般的には原コンクリートの強度が大きいものほど強度が増大する傾向にあり, 中にはガラの原強度とほぼ同等の結果も得られている。また, 粒度の影響については顕著な差は認められない。

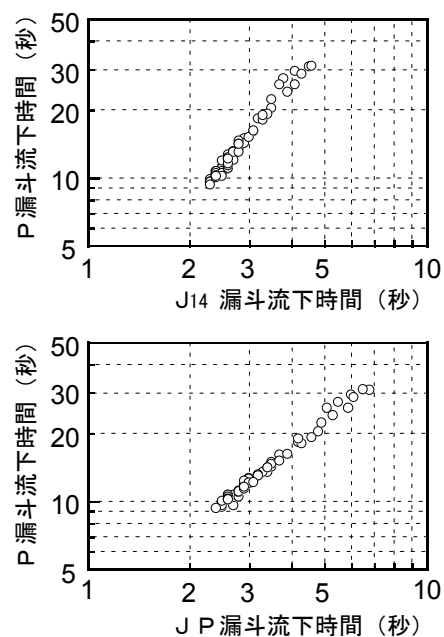


図-10 各種漏斗による流下時間の相関

表-5 モルタルおよびガラコンクリートの品質

No	注入モルタルの品質*1				コンクリート		
	結合材種類*1	ブリーディング率 (%)	膨張率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)		自由膨張ひずみ (10 ⁻⁶)	
				7日	28日	7日	28日
1	NP	1.2	-	52.3	68.3	-	-
2	NP+SF	0.7	-0.8	55.1	73.1	-10	-60
3	NP+SF+AI	0.5	+2.2	39.2	53.4	-	-
4	NP+SF+EX	0.3	-	41.8	48.0	565	529
5	NP+SF+EX+AI	0.6	+4.0	27.3	63.6	1127	1077
6	LP+SF+EX	0.8	-	18.4	36.5	1173	1145

注)*1 P漏斗流下時間 13.5~16.9秒

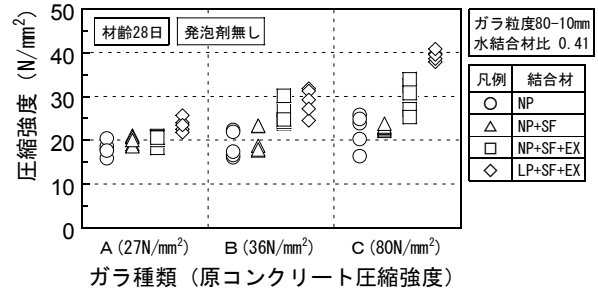
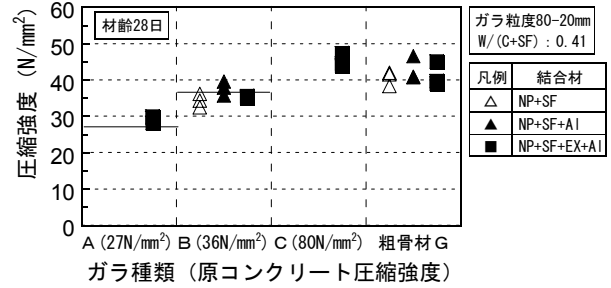
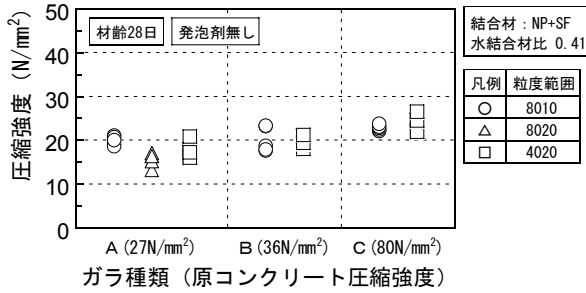


図-11 ガラを用いたコンクリートの圧縮強度

一方、注入モルタルの品質の影響については、膨張性を付与したモルタルをガラの間隙に充填した場合にコンクリートの圧縮強度が増大する傾向が認められる。また、無拘束条件下で計測したガラ混入コンクリートの自由膨張ひずみに着目すると、発泡剤や膨張材を使用することにより最大 1200 μ 程度の伸びが生じている。

ガラを用いたプレパックド工法では、ガラとモルタルの界面やガラに内在するひび割れなどの欠陥がコンクリートの圧縮強度を左右する要因となるが、注入モルタルに膨張性を付与することによりガラとモルタルとの界面の付着性が改善され、これが強度増大の一因になっているものと考えられる。

4. まとめ

本実験の結果から得られた知見を以下に示す。

(1) 型枠に詰めたガラの間隙を完全に充填するためには注入モルタルのコンシステンシーを制御する必要がある。φ20cm 程度の型枠を用いた場合、ガラの粒度が 80-20mm の場合は P 漏斗流下時間が約 20 秒以下、80-10mm の場合は約 15 秒以下であれば良好な充填性を確保できる。

(2) ガラを混入したコンクリートにおいても、注入モルタルの配合を適切に選定することで、ガラ起源の原コンクリート強度とほぼ同等の圧縮強度を付与することができる。

(3) ガラを用いたコンクリートの圧縮強度は、ガラの強度以外に注入モルタルの品質や両者の界面の影響を受ける。発泡剤や膨張材によりモルタルに膨張性を付与することでコンクリートの圧縮強度を高め、ばらつきを低減することができる。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：特集コンクリートのリサイクル，コンクリート工学，Vol.35，No.7，1997.7
- 2) 土木学会：資源有効利用の現状と課題、コンクリートライブラリー96，1999
- 3) 桜本文敏，原田実，依田和久：コンクリートガラを骨材としたプレパックドコンクリートに関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.2，pp.1123-1128，1998.9
- 4) 桜井紀朗，壺阪祐三，宮坂慶男：特殊コンクリートの施工，共立出版，1976