

# ガラパクトコンクリート工法の開発

## コンクリート塊を用いた再生コンクリートの基礎的性質

近松 竜一 入矢 桂史郎  
十河 茂幸

### Development of “Gara Packed Concrete” Placing Method

#### Basic Properties of Recycled Concrete with Concrete Masses

Ryuichi Chikamatsu Keishiro Iriya  
Shigeyuki Sogo

#### Abstract

“Gara Packed Concrete” comprises precast concrete frame and recycled concrete combined concrete masses and special mortar. This reports examines the consistency requirements of mortar to completely fill up the gaps among pieces of concrete masses, the mix proportion of mortar to ensure good fluidity and keeps the unification after hardened. As a result, it was showed that concrete containing concrete masses which compressive strength is less than 36 N/mm<sup>2</sup> can attain the same strength as normal concrete before crushed, and it applicable to structure members.

#### 概要

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（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再生コンクリートを開発対象として、ガラの物理的性質や注入モルタルの配合選定、各種のガラにモルタルを注入して作製したコンクリートの圧縮強度特性、等について実験的に検討した。その結果、ガラの粒度構成とモルタルの配合を適切に組み合わせることで一体化した再生コンクリートが得られること、36N/mm<sup>2</sup>以下のガラを用いた場合は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、構造材料として十分に活用できる可能性があることが明らかになった。

### 1. はじめに

最近では、構造物の解体、更新の需要が増大しており、建設廃棄物の再利用は環境保全の観点から必須の工事要件となっている。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、廃棄物の有効活用と環境に対する負荷を低減する観点からこれまでに数多くの研究開発が行われている<sup>1)</sup>。また、これらの成果として、コンクリートを数段階に分けて粉砕することにより高品質で均一な骨材を選別し、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<sup>2)</sup>。しかし、解体コンクリートから規格に合致した骨材を取り出すには高度な再生処理が必要であり、また再生処理に伴って発生する微粉や細骨材の処理も課題となっている。さらに再生処理には膨大なコストがかかることからコンクリート塊を路盤材として使用する場合が多いのが現状である。破砕したコンクリート塊をなるべく手間をかけず再生に伴い発生する廃棄物をなくして現場内で再利用するための研究も行われている<sup>3)</sup>。

本論文では、解体コンクリートを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、ガラをプレキャスト型枠の中に詰め込み、モルタルにより間隙を充填し一体化させる“ガラパクト工法”

の実用化に向けた研究の一環として、ガラの物性や注入モルタル配合の選定、各種のガラにモルタルを注入して作製したコンクリートの圧縮強度特性、等について実験的に検討した結果をまとめたものである。

### 2. 実験概要

#### 2.1 使用材料

##### 2.1.1 コンクリートガラ

ガラは、約50cm程度に小割りしたコンクリートを専用の破砕機を用いて最大寸法が80mm以下となるように破砕した。コンクリートの破砕状況をFig. 2に示す。

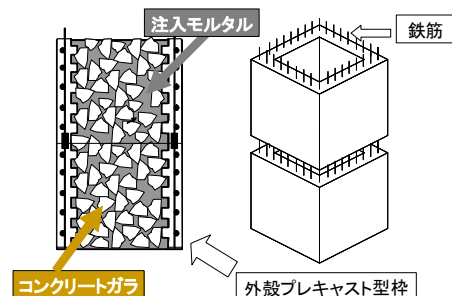


Fig. 1 ガラパクトコンクリートのイメージ  
Concept of Gara Packed Concrete



Fig. 2 コンクリート塊の破砕状況  
Crushing Concrete for using Gara Packed Concrete

Table 1 実験に用いたガラの実験的性質  
Properties of Concrete Masses

No.	ガラの種類	ふるい通過百分率(%)				表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	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	B8010	100	40	20	0	2.26	7.78	49.8
4	B8020	100	20	0	0	2.25	7.76	46.3
5	B4020	100	100	0	0	2.28	7.54	44.5
6	C8020	100	20	0	0	2.41	4.34	47.0
7	G8020	100	40	0	0	2.65	0.60	51.1

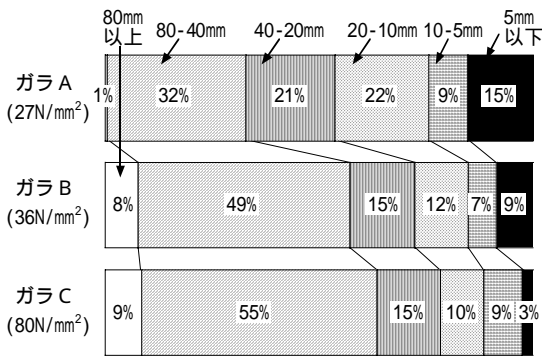


Fig. 3 コンクリートガラの粒度構成  
Gradings of Concrete Masses

破砕前の原コンクリートには、圧縮強度がそれぞれ27、36および80N/mm<sup>2</sup>の3種類を使用し、これらの原コンクリートをもとに作製したガラ試料をそれぞれガラA、BおよびCと呼称する。製造したガラの粒度構成をFig. 3に、粒度別の物理的性質をFig. 4に示す。本実験では、これら粒度別に分級したガラを所定の割合に混合して使用した。また、比較用骨材として砕石(G8020)を一部使用した。粒度調整後のガラの物理的性質をTable 1に示す。

2.1.2 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(OPC、密度 3.15g/cm<sup>3</sup>)を用いた。また、混和材にはシリカフューム(SF、密度 2.22g/cm<sup>3</sup>)、膨張材(EX、密度 3.05g/cm<sup>3</sup>)および石灰石微粉末(LF、密度 2.71g/cm<sup>3</sup>)を使用した。細骨材は粒度構成の異なる珪砂(密度 2.60g/cm<sup>3</sup>)を混合して使用した。混和剤としては、ポリカルボン酸系の高性能減水剤、セルローズ系の増粘剤を用いた。また、ブリーディングによる沈

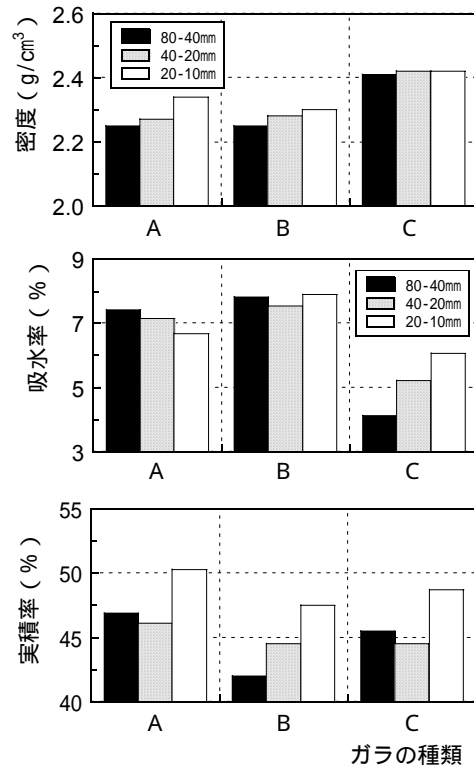


Fig. 4 各粒度別ガラの物理的性質  
Properties of Concrete Masses

降を補償するために発泡剤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。

2.2.1 ガラ間隙への充填条件に関する検討

型枠に詰めたガラの間隙を完全にモルタルで充填するために、ガラ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。

ガラは、Table 1に示す2種類(A8010およびB8020)を使用し、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0~1.7の範囲で変化させた合計30種類について試験した。

エアメータ容器にガラを詰めて充填した状態で、容器天端の約30mm上方からP漏斗を介して注入モルタルを投入しガラの間隙を充填した。注入前後の試料質量差から計算したモルタル注入量と予めガラ間隙を水で満たし

Table 2 注入モルタル用材料の概要  
Materials of Mortar for Gara packed Concrete

分類	種類	記号	物性, 他
セメント	普通ポルト	OPC	密度 3.16g/cm <sup>3</sup> , プレーン値 3260cm <sup>2</sup> /g
混和材	シリカフューム	SF	密度 2.22g/cm <sup>3</sup>
	膨張材	EX	密度 3.05g/cm <sup>3</sup> , プレーン値 2810cm <sup>2</sup> /g
	石灰石微粉末	LF	密度 2.70g/cm <sup>3</sup> , プレーン値 7400cm <sup>2</sup> /g
細骨材	珪砂	S <sub>A</sub>	密度 2.60g/cm <sup>3</sup> , 最大寸法0.6mm, 粗粒率1.53
		S <sub>B</sub>	密度 2.60g/cm <sup>3</sup> , 最大寸法1.2mm, 粗粒率2.52
混和剤	高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系
	増粘剤	VA	メチルセルロース系
	発泡剤	AI	金属アルミニウム粉末

Table 3 注入モルタルの検討要因と水準  
Primary Testing Factor of Mortar

検討要因	水準
結合材の種類	OPC OPC+SF OPC+SF+EX
混和材料の種類	石灰石微粉末, 増粘剤
細骨材の種類	最大寸法 0.6 ~ 1.2 mm
水結合材比	0.35 ~ 0.65
細骨材結合材比	0 ~ 0.40

Table 4 試験項目および方法  
Testing methods of Mortar and Concrete

対象	試験項目	準拠規準
モルタル	P漏斗流下時間	JSCE-F 521-1999
	JP漏斗流下時間	JSCE-F 531-1999
	J <sub>14</sub> 漏斗流下時間	JSCE-F 541-1999
	ブリーディング率	JSCE-F 522-1999
	自由膨張率	JSCE-F 522-1999
	圧縮強度	JSCE-G 541-1999
コンクリート	自由膨張ひずみ	Fig.6 参照
	圧縮強度	JSCE-G 531-1999



Fig. 5 各種漏斗試験器および圧縮強度供試体作製状況  
Funnel Test and Production of Strength Specimens

Table 5 各種ガラとモルタルを組み合わせた試験体の概要  
Combination of Mortar and Concrete Masses for Compressive Strength

No	水結合材比 (%)	砂モルタル容積比 V <sub>s</sub> /V <sub>m</sub>	使用材料			コンクリートガラの種類					
			細骨材	混和材	発泡剤	コンクリートガラの種類					
						A	B		C	G	
1-1	41	0.2	S <sub>A</sub>	SF	—	○	○	○	—	○	
1-2				SF	AI	—	—	○	—	—	○
1-3				SF+EX	AI	○	—	○	—	○	○
2-1	45	0.2	S <sub>B</sub>	LF	AI	○	—	○	—	○	
3-1				LF	—	○	—	○	—	○	
3-2				LF	AI	○	○	○	○	○	
3-3	55	0.3	S <sub>B</sub>	LF+EX	AI	○	○	○	○	○	
3-3				LF+EX	AI	○	—	—	—	○	

注) No.1-3: SF, EXはセメント容積の5%を内割置換。No.3-3: EXはセメント容積の2%を内割置換。

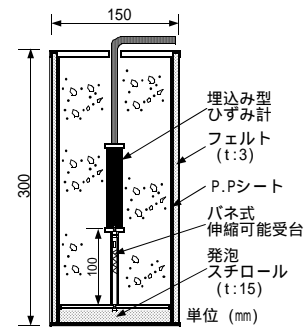


Fig. 6 自由膨張ひずみ供試体  
Autogeneous Shrinkage Measuring

測定した空隙量から注入モルタルの充填率を算出した。なお、ガラは水中に24時間以上浸漬した後、表面を布で拭き表面乾燥飽水状態として試験に供したが、ガラの乾湿の影響を確認するため、一部のケースでは絶乾状態にして試験を実施した。

2.2.2 注入モルタルの材料・配合選定

注入モルタル用材料の概要を Table 2 に示す。また、配合選定における検討要因および水準を Table 3 に、試験項目および方法を Table 4 に示す。

モルタルの練混ぜはオムニミキサ (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加えた水を投入して 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。コンシステンシーの評価には、Fig. 5 に示すように3種類の漏斗 (J<sub>14</sub>, JP, P) を用い、モルタルの圧縮強度用供試体は 5×10cm を各ケースにつき3本使用した。

2.2.3 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、Table 5 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。

コンクリート供試体は 15×30cm の型枠内にガラを詰めおき、注入用漏斗を型枠天端から高さ 30mm の位置にセットし、モルタルを連続的に充填した (Fig. 5 参照)。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 (Fig. 6 参照)。



Fig. 7 注入モルタルの充填性確認状況

Filling State of Mortar into The Gap of Concrete Masses

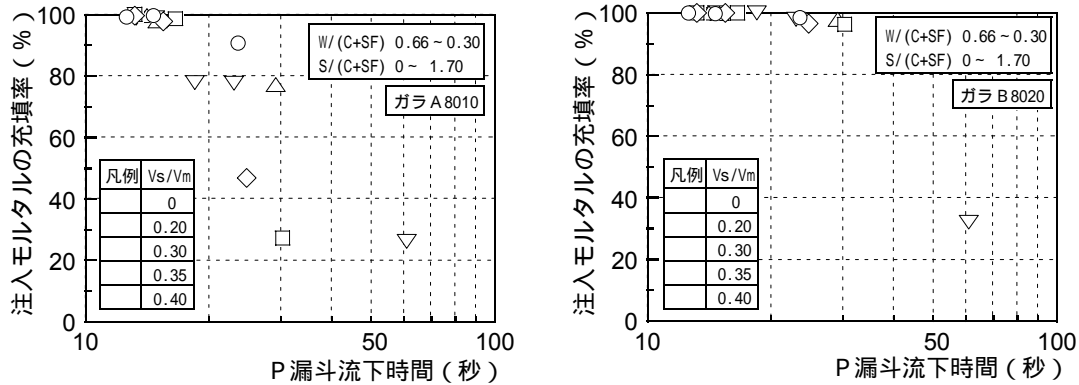


Fig. 8 P漏斗流下時間と注入モルタルの充填率 (ガラ種類別)

P Funnel Efflux time and Filling Capacity of Mortar

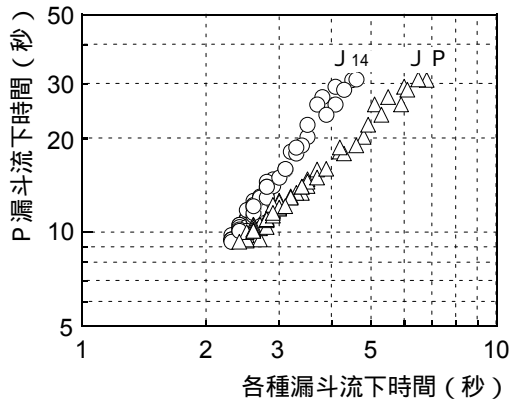


Fig. 9 各種漏斗流下時間とP漏斗流下時間の関係  
Relationship between P and J14, JP Funnel



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

Fig. 10 ガラの乾湿状態による充填性の相違  
Difference of Filling Capacity by Condition of Gara

### 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充填状況の一例を Fig. 7 に示す。また、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、Fig. 8 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で十分な充填性が確保される結果となっている。この結果から、80-20mm のガラの場合は P 漏斗時間が約 20 秒以下、80-10mm の場合は約 15 秒以下であれば完全に充填できるものと判断される。

一般にプレバ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範囲は P 漏斗で 16~20 秒程度とされている<sup>4)</sup>。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になるものと考えられる。なお、参考までに各種漏斗を用いた場合の流下時間には Fig. 9 に示すように良好な相関が認められ、いずれの漏斗によっても充填性の良否を適正に評価できると考えられる。

乾湿状態を変化させたガラを 15×30cm 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の相違を Fig. 10 に示す。表面が湿潤状態に調整したガラを使用し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、ガラを絶乾状態にした場合にはガラの周囲に

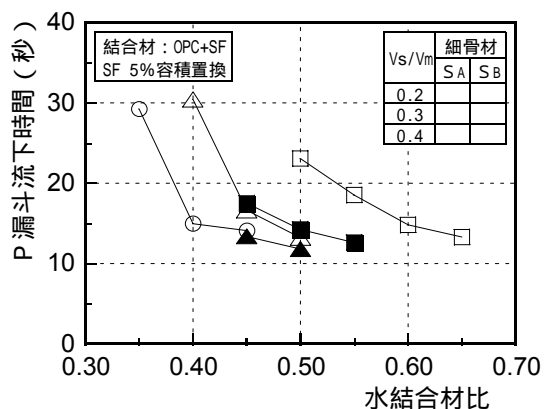


Fig. 10 水結合材比とP漏斗流下時間の関係  
Cement Water Ratio and P Funnel Time

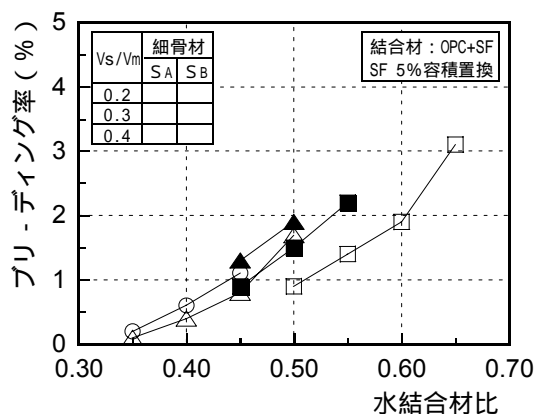


Fig. 11 水結合材比とブリーディング率の関係  
Cement Water Ratio and Bleeding Ratio

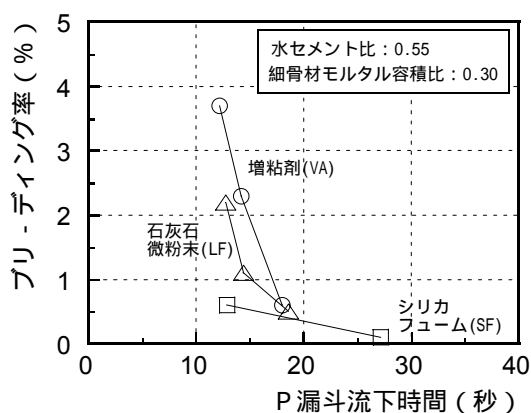
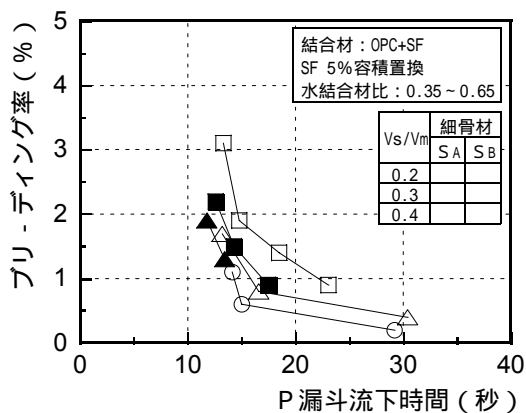


Fig. 12 P漏斗流下時間とブリーディング率の関係  
P Funnel Time and Bleeding Ratio



未充填部が生じている。これは注入時にモルタルの水分をガラが吸水し流動性が低下したことによるものと推測され、吸水率が大きいガラを用いる場合には、表面を湿潤状態に管理するか、予め吸水分を見込んでモルタルの配合を調整することが重要であると考えられる。

### 3.2 注入モルタルの配合に関する検討

各種の結合材を用い、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整理した結果をそれぞれFig. 10 ~ Fig. 13に示す。

水結合材比が大きく、細骨材結合材比が小さく、粗粒の細骨材を用いたモルタルほど流動性に優れるが、ブリーディングは増大する傾向にある。注入モルタルは、充填後の沈降補償に発泡剤を用いるのが一般的であるが、硬化後の一体化を確保するうえでできるだけブリーディングを低減することが望ましい。Fig. 12 によれば、P漏斗が約 15 秒でブリーディング率が 1%以下に抑制できるケースも認められ、シリカフュームや石灰石微粉末等を適切に組み合わせることで充填性と一体性を両立させた注入モルタルの配合設計が可能であると考えられる。

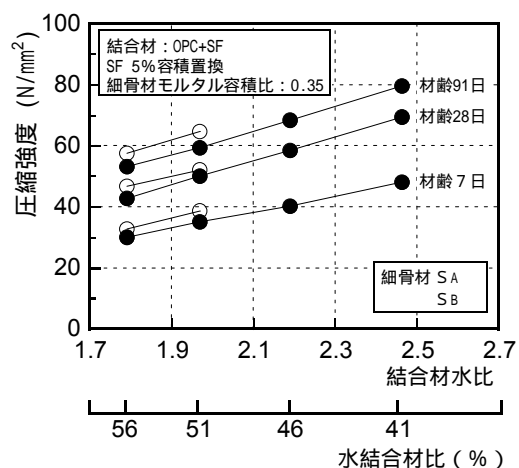


Fig. 13 結合材水比と圧縮強度の関係  
Cement Water Ratio and Compressive Strength

前節の充填性とコンシステンシーの相関を踏まえると、注入モルタルの配合として水結合材比は下限が約 40%、モルタル中の細骨材比率は約 30% (体積換算) が上限となる。なお、この場合のモルタルの圧縮強度は材齢 28 日で 70N/mm<sup>2</sup>程度を確保することができる。

Table 6 注入モルタルの品質および各種ガラを組み合わせた再生コンクリートの強度，膨張特性  
Test Results of Mortar and Gara Packed Concrete

No	水結合材比 (%)	砂モルタル容積比 Vs/Vm	使用材料			P漏斗時間 (秒)	フリーディング率 (%)	自由膨張率 (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		ガラコンクリートの圧縮強度*1 (N/mm <sup>2</sup> )				コンクリート自己膨張量 (10 <sup>-6</sup> )	
			細骨材	混和材	発泡剤				7日	28日	ガラA	ガラB	ガラC	粗骨材G	7日	28日
1-1	41	0.2	S <sub>A</sub>	SF	—	15.7	0.9	-1.2	54.0	73.1	—	22.8	—	25.6	-10	-60
1-2				SF	AI	15.9	0.5	+2.2	55.1	74.7	—	34.3	—	40.6	—	—
1-3				SF+EX	AI	15.5	0.6	+4.0	27.3	33.6	29.2	35.3	45.2	41.3	1127	1077
2-1	45	0.2	S <sub>B</sub>	LF	AI	16.8	0.8	+2.4	42.4	60.4	27.7	33.4	37.8	37.1	—	—
3-1	55	0.3	S <sub>B</sub>	LF	—	14.3	1.1	-0.1	35.9	54.2	23.6	26.9	32.1	28.5	25	-8
3-2				LF	AI	14.4	0.6	+2.2	28.4	44.2	26.6	30.1	35.4	30.3	172	141
3-3				LF+EX	AI	14.2	0.3	+2.7	29.4	43.9	25.3	30.6	36.0	31.4	301	279

注) No.1-3: SF, EXはセメント容積の5%を内割置換。No.3-3: EXはセメント容積の2%を内割置換。\*1 材齢28日, ガラ粒度80-20mm

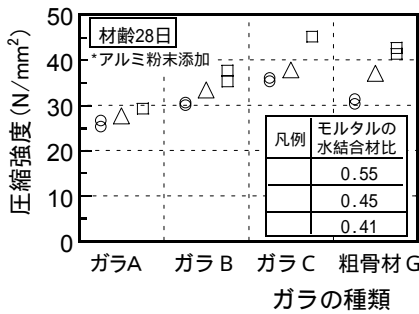


Fig. 14 ガラ種類とガラ混入コンクリート強度  
Type of Gara and Gara Concrete Strength

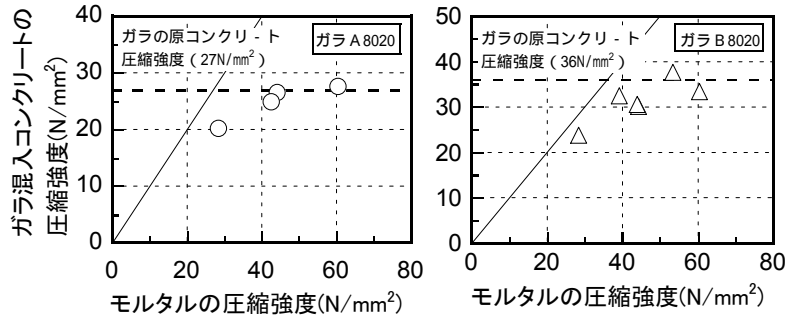


Fig. 15 モルタル強度とガラ混入コンクリート強度  
Mortar Strength and Gara Concrete Strength

### 3.3 ガラを用いたコンクリートの圧縮強度特性

前節の結果をもとに選定した各種モルタルとガラを組み合わせた場合の品質を Table 6 に，ガラコンクリートの圧縮強度結果を Fig. 14 ~ Fig. 15 に示す。

発泡剤を添加したモルタルの自由膨張率は約 2~4%で，沈降に対する収縮が補償されている。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，材齢 28 日で発泡剤や膨張材を使用することで最大 1000 μ を超える伸びが生じている。

一方，ガラを混入したコンクリートの圧縮強度に関しては，全般的に原コンクリートの強度が大きいほど増大する傾向が認められる。また，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。なお，粒度の影響については顕著な差は認められなかった。

ガラ A を使用したコンクリートの場合は圧縮強度が最大で約 28N/mm<sup>2</sup>，ガラ B を使用した場合には最大約 37N/mm<sup>2</sup> であり，適切なモルタルを配合することで原コンクリートの圧縮強度とほぼ同等の強度が確保できることが確認された。

ガラバクト工法では，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ことが懸念されるが，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

本実験の結果より得られた知見を以下に示す。

- 1) 型枠に詰められたガラの間隙を充填する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。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することができる。
- 2) ガラとモルタルの一体性を確保するには，混和材料を用いてフリーディングを低減するとともに，モルタルに適度な膨張性を付与する必要がある。
- 3) 各種の混和材料を用い，フレッシュ時の沈降や硬化後の収縮を補償することにより，36N/mm<sup>2</sup> 以下のガラを用いた場合は原コンクリートとほぼ同等の圧縮強度を有するガラ混入コンクリートを製造することができる。

#### 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。
- 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) 桜本文敏他：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) 桜井紀朗他：特殊コンクリートの施工，共立出版，1976