

# 論文 コンクリート塊を用いた再生コンクリートの強度特性

川西 貴士<sup>\*1</sup>・近松 竜一<sup>\*2</sup>・入矢 桂史郎<sup>\*3</sup>・十河 茂幸<sup>\*4</sup>

**要旨:** コンクリート塊を用いた再生コンクリートの構造部材への適用を想定し、コンクリート塊を先詰めし、その間隙をモルタルで充填した再生コンクリートの各種強度特性、およびこの再生コンクリートをプレキャスト型枠と一体化した場合の圧縮強度特性について実験により検証した。その結果、コンクリート塊を用いた場合の強度特性は一般のコンクリートとほぼ同様であるが、コンクリート塊の粒径が大きい場合にせん断強度特性が若干低下する傾向があること、プレキャスト型枠と一体化することで拘束効果により剛性が高まることを明らかにした。

**キーワード:** コンクリート塊, 再生コンクリート, 低品質再生骨材

## 1. はじめに

解体したコンクリート塊の再利用に関しては、これまでに数多くの研究開発が行われ、再生骨材を製造し再生コンクリートとして活用するシステムが実用化されている。しかし、再生骨材の回収コストや品質管理上の問題もあり、現状では低品質再生骨材を路盤材として使用する場合も多い。

著者らは、コンクリート塊（以下、ガラと呼称）の構造部材への適用を想定し、ガラを型枠に詰め込み、その間隙をモルタルで充填したコンクリート（以下、ガラ混入再生コンクリートと呼称）による構造体の構築方法について研究を進めてきた。これまでに、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を確認した<sup>1)</sup>。

本論文では、このガラ混入再生コンクリートの圧縮強度、引張強度およびせん断強度特性、さらにこの再生コンクリートをモルタル製のプレキャスト型枠と一体化したコンクリート（以下、ガラパクトコンクリートと呼称）の圧縮強度特性について実験により検証した。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験シリーズ

実験は、ガラ混入再生コンクリートの各種強度特性に関する検証（実験Ⅰ）およびこのガラ混入再生コンクリートをプレキャスト型枠と一体化したガラパクトコンクリートの圧縮強度特性に関する検証（実験Ⅱ）の2シリーズに大別して実施した。各実験シリーズに用いた供試体の概要を図-1に示す。

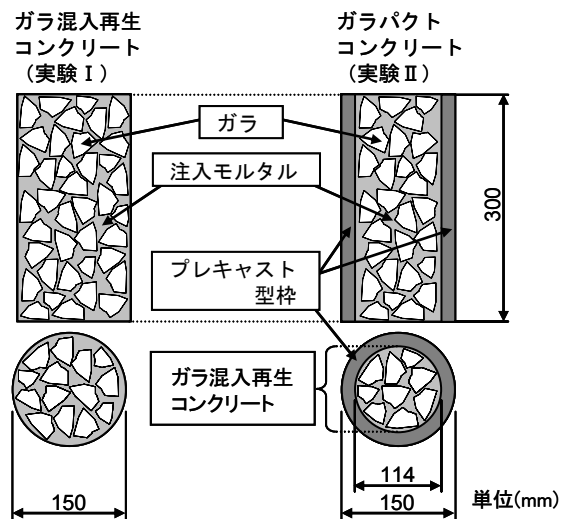


図-1 各実験シリーズに用いた供試体の概要

\*1 (株)大林組 技術研究所 土木材料研究室 材料施工グループ 工修 (正会員)

\*2 (株)大林組 技術研究所 土木材料研究室 材料施工グループ長 工修 (正会員)

\*3 (株)大林組 技術研究所 土木材料研究室 室長 工博 (正会員)

\*4 (株)大林組 技術研究所 副所長 工博 (正会員)

## 2.2 ガラ混入再生コンクリートの

### 実験概要 (実験 I)

#### (1) 使用材料

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粒径が 80mm 以下となるよう破砕して作製した。破砕前の原コンクリートの圧縮強度が 27, 36 および 35N/mm<sup>2</sup> の 3 種類のガラをそれぞれ A, B および D とし、比較のために砕石(G)を用いた。ガラの粒度は 80~20mm とし、粒径別に分級したガラを所定の割合で混合した。これらのガラの粒度および物理的性質を表-1 に示す。

注入モルタルには、セメントは普通ポルトランドセメント (NP)、混和材としてシリカフェーム (SF) または石灰石微粉末 (LF) を用いた。ブリーディングによる沈降を補償し、ガラとモルタルの一体性を確保するために発泡剤として金属アルミニウム粉末 (AI) を用いた。水結合材比は 41, 45 および 55% の 3 水準とし、ガラの間隙への充填性を確保するために P 漏斗流下時間を 20 秒以下に調整した<sup>1)</sup>。これらの注入モルタルの配合および品質を表-2 に示す。

表-1 ガラの粒度および物理的性質

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			
A8020	100	40	0	2.26	7.31	51.1
B8020	100	20	0	2.25	7.76	46.3
D8020	100	40	0	2.32	6.71	54.1
G8020*	100	40	0	2.65	0.60	51.1
A4020	100	100	0	2.27	7.15	46.1
B4020	100	100	0	2.28	7.54	44.5
D4020	100	100	0	2.34	6.47	55.5
G4020*	100	100	0	2.65	0.62	51.1

\*比較用として砕石を使用

表-2 注入モルタルの配合および品質

種類	水結合材比	水粉体比	砂粉体比	混和材	P漏斗時間(秒)	ブリーディング率(%)	自由膨張率(%)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	
								7日	28日
GM1	0.55	0.45	0.86	LF	14.4	0.6	2.2	28.4	44.2
GM2	0.45	0.40	0.47	LF	16.8	0.8	2.4	-	60.4
GM3	0.41	0.41	0.81	SF	17.8	0.3	1.5	-	50.3

表-3 ガラ混入再生コンクリートの種類

		ガラ							
		A8020	B8020	D8020	G8020	A4020	B4020	D4020	G4020
注入モルタル	GM1	○	○	-	○	-	-	-	-
	GM2	○	○	-	○	-	-	-	-
	GM3	-	-	○	○	○	○	○	○

#### (2) 供試体の作製および試験方法

実験には原コンクリートの強度水準と粒度を変化させた 8 種類のガラと 3 種類の注入モルタルを組み合わせた。これらのガラ混入再生コンクリートの種類を表-3 に示す。また、これらの比較用として水セメント比を 45, 55 および 65% の 3 水準に変化させたコンクリートも使用した。

ガラは、24 時間以上水中に浸漬させた後、表面を布で拭いて表乾状態で使用した。図-2 に示すように、鋼製型枠にガラを詰め込み、天端より約 30mm 上方から P 漏斗を介してモルタルを流し込み、ガラの間隙を充填させて供試体を作製した。

ガラ混入再生コンクリートの強度特性として、圧縮強度試験 (JIS A 1108)、引張強度試験 (JIS A 1113) および簡易一面せん断試験方法<sup>2)</sup> を実施した。せん断強度は、供試体の設置角度( $\theta$ )を 25°, 30° および 35° に変化させ、破壊荷重から算出した垂直応力とせん断応力を用いてモールのせん断破壊基準線を特定し、純せん断強度を算出した。この一面せん断試験装置の概要を図-3 に示す。

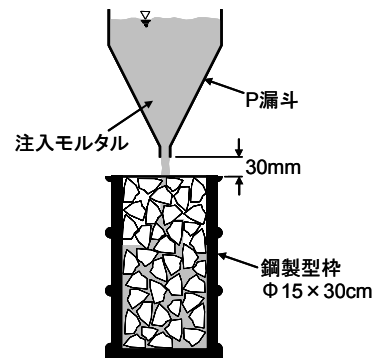


図-2 ガラ混入再生コンクリートの作製方法

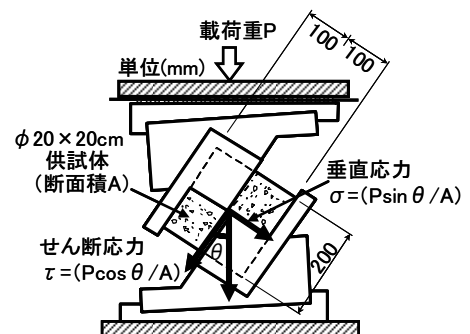


図-3 一面せん断試験装置

## 2.3 ガラパクトコンクリートの実験概要 (実験Ⅱ)

### (1) 使用材料

プレキャスト型枠の配合および品質を表-4に示す。プレキャスト型枠は水結合材比を36, 41および50%の3水準としたモルタルを用いた。

鋼製型枠(φ15×30cm)の内部に、凝結遅延シートを貼付けた塩ビ管(φ11.4cm)を設置し、モルタルを流し込んで製作した。脱型後に内側側面を高圧水で洗い出し、打継ぎ処理を行った。プレキャスト型枠の断面積は、ガラパクトコンクリートの全断面積の0.16~0.18とした。

ガラ混入再生コンクリートの配合および品質を表-5に示す。ガラは表-1に示すA4020, B4020および砕石G4020を使用し、注入モルタルは表-2に示すGM3を用いた。また、比較用に水セメント比を45, 55および65%の3水準に変化させた普通コンクリートをプレキャスト型枠に打ち込んだ供試体も作製した。

### (2) ガラパクトコンクリート供試体の

#### 作製および試験方法

実験には3種類のプレキャスト型枠と3種類のガラ混入再生コンクリートを組み合わせた。これらのガラパクトコンクリートの種類を表-6に示す。

ガラパクトコンクリート供試体の作製方法を図-4に示す。プレキャスト型枠を鋼製型枠に設置し、その中に表乾状態に調整したガラを上面まで外力を加えずに詰め込み、上方から注入モルタルを投入してガラの間隙を充填した。また、比較用コンクリートについては、プレキャスト型枠の中に2回に分けて投入し、JIS A 1132に準じて突き棒と木槌を用いて締め固めた。

ガラパクトコンクリートの圧縮強度試験はJIS A 1108に準じて実施した。また、JIS A 1149に準拠したコンプレッソメータを使用し、応力とひずみの関係を併せて計測した。さらに、プレキャスト型枠に用いたモルタルおよびガラ混入再生コンクリートそれぞれ単体供試体を作製して同様に圧縮強度試験を実施し、応力とひずみの関係を計測した。

表-4 プレキャスト型枠の配合および品質

No.	水結合材比	水粉体比	砂粉体比	混和材	ブリーディング率(%)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )
PM1	0.50	0.40	0.83	LF	0.3	54.0
PM2	0.41	0.41	0.83	SF	0.3	61.9
PM3	0.36	0.36	0.77		0.1	78.9

表-5 ガラ混入再生コンクリートの使用材料および圧縮強度

No.	ガラまたは砕石の種類	注入モルタルの種類	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )
IC1	A4020	GM3	26.4
IC2	B4020		28.8
IC3	G4020		41.3

表-6 ガラパクトコンクリートの種類

		プレキャスト型枠		
		PM1	PM2	PM3
ガラ混入再生コンクリート	IC1	○	○	○
	IC2	○	○	○
	IC3	○	○	○

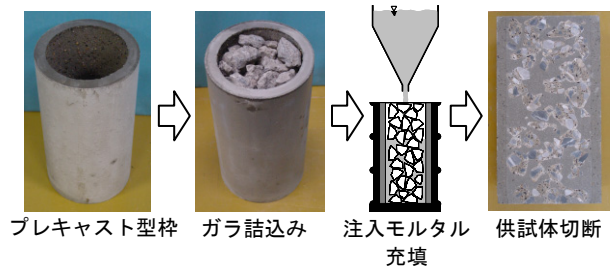


図-4 ガラパクトコンクリート供試体の作製方法

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 ガラ混入再生コンクリートの各種強度特性 (実験Ⅰ)

ガラ混入再生コンクリートの圧縮強度結果を注入モルタルの圧縮強度との関係で整理し、図-5に示す。各ガラを用いた場合の圧縮強度は、ガラAの場合が最大27N/mm<sup>2</sup>、ガラBの場合が最大33N/mm<sup>2</sup>、ガラDの場合が最大約37N/mm<sup>2</sup>であり、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とほぼ同水準の圧縮強度を付与できることが明らかとなった。

圧縮強度と引張強度の関係を図-6に示す。ガラ混入再生コンクリートの引張強度は、圧縮強度の約1/12~1/13の範囲にあり、両者の関係は普通コンクリートと同様の傾向にあることが確認できた。

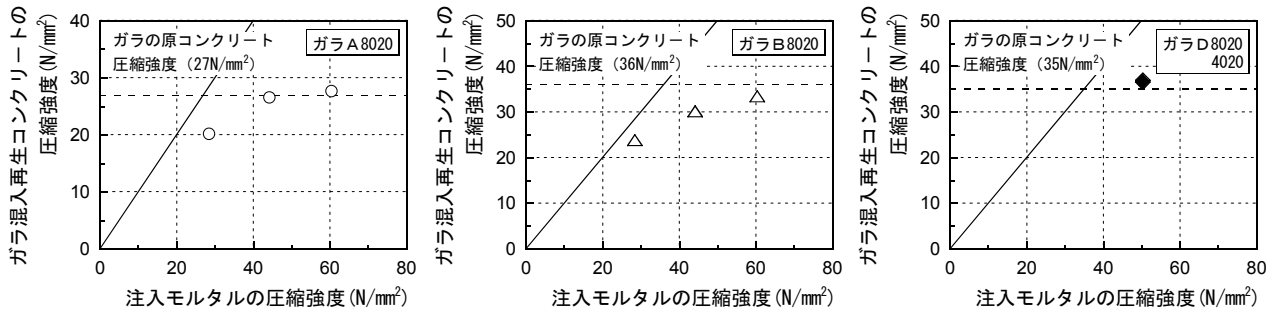


図-5 ガラ混入再生コンクリートの圧縮強度特性

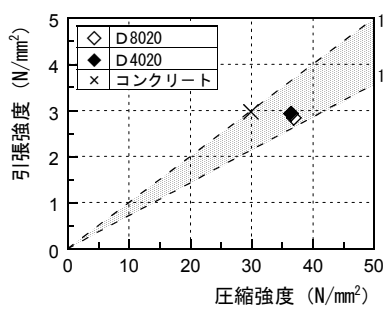


図-6 引張強度特性

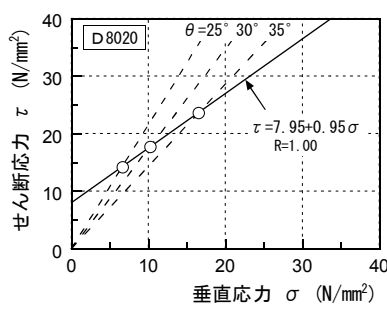


図-7 一面せん断強度特性

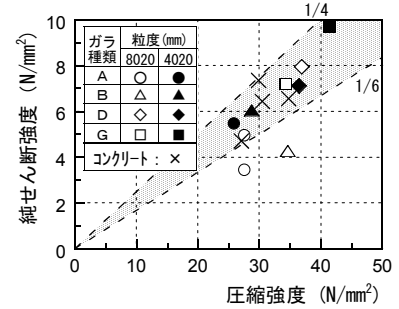


図-8 純せん断強度特性

一面せん断強度試験の一例を図-7に示す。また、圧縮強度と純せん断強度の関係を図-8に示す。最大寸法が40mmのガラを用いた場合、ガラ混入再生コンクリートの純せん断強度は、圧縮強度に対して概ね1/4~1/6の範囲にあり、一般的なコンクリートと同様のせん断強度特性を有する結果が得られた。ただし、最大寸法が80mmのガラを用いた場合には、一部の供試体で純せん断強度が圧縮強度の約1/8に低下する結果となった。せん断強度試験に用いた供試体は、直径および高さが20cmでガラの最大寸法の2.5倍しかないこともあり、粒径が大きいガラを用いた場合にガラとモルタルとの界面の連続性が高くなり、付着特性が低下しやすい傾向にあるものと考えられる。

### 3.2 ガラパクトコンクリートの強度特性(実験Ⅱ)

ガラパクトコンクリートの圧縮強度をプレキャスト型枠の内側に詰めたガラ混入再生コンクリート単体の圧縮強度と比較し図-9に示す。ガラパクトコンクリートの圧縮強度は、ガラ混入再生コンクリート単体の圧縮強度より全般的

に大きい結果となっており、プレキャスト型枠との一体化による改善効果が認められた。

そこで、次にガラパクトコンクリート供試体におけるプレキャスト型枠とガラ混入再生コンクリートの一体性について検討した。一体性の評価は、プレキャスト型枠に用いたモルタル単体の供試体、ガラ混入再生コンクリート単体の供試体における応力-ひずみの結果からそれぞれの断面積比に応じた負担応力を求め、両者を足し合わせた応力の計算値とガラパクトコンク

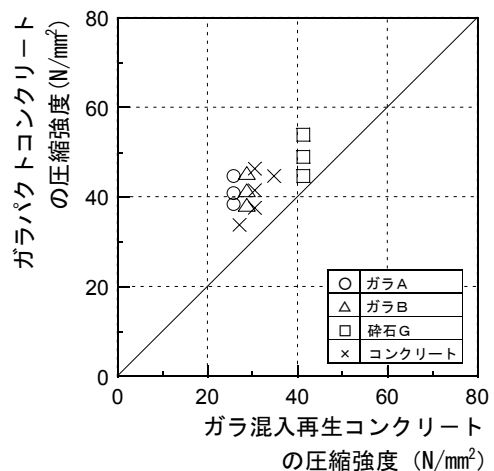


図-9 ガラパクトコンクリートの圧縮強度試験結果

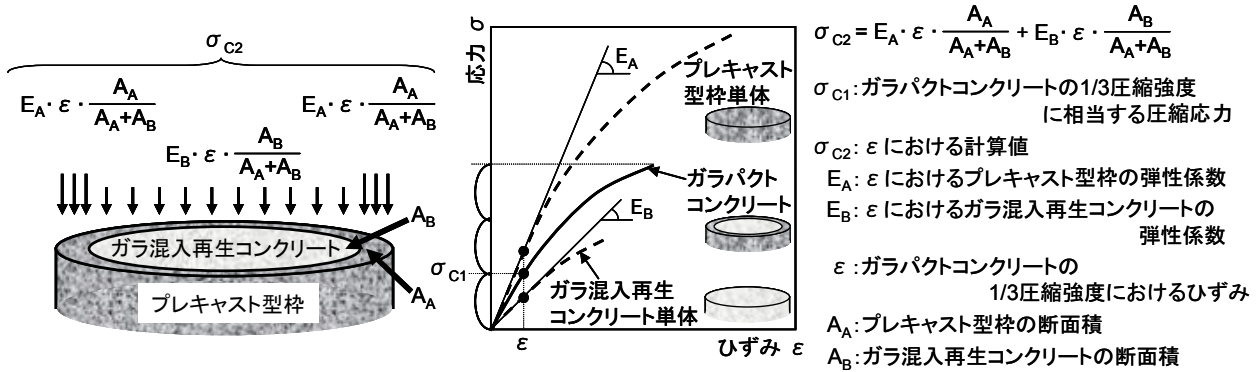


図-10 ガラパクトコンクリートの1/3 圧縮強度時のひずみにおける  
圧縮応力の計算値の算出および実測値との比較方法（検討Ⅰ）

リートの実測値を比較した。具体的には、弾性域での評価として、ガラパクトコンクリートの1/3 圧縮強度時のひずみにおける比較（検討Ⅰ）、また塑性域での評価として、ガラ混入再生コンクリート単体の供試体の終局ひずみにおける比較（検討Ⅱ）の2段階で検討した。

弾性域（検討Ⅰ）におけるガラパクトコンクリート供試体の圧縮応力の計算値の算出および実測値との比較方法を図-10 に示す。

ガラパクトコンクリートの圧縮強度の1/3 に相当する圧縮応力  $\sigma_{C1}$  を実測値とし、その圧縮応力に対応するひずみを  $\epsilon$  とした。

このひずみ  $\epsilon$  以下の範囲においてプレキャスト型枠の弾性係数  $E_A$  とガラ混入再生コンクリートの弾性係数  $E_B$  を計算し、これらの弾性係数をもとにひずみ  $\epsilon$  におけるガラパクトコンクリートの圧縮応力を求め（計算値  $\sigma_{C2}$ ）、実測値  $\sigma_{C1}$  と比較した。比較結果を図-11 に示す。

実測値  $\sigma_{C1}$  は計算値  $\sigma_{C2}$  と同等もしくは若干大きい、両者はほぼ一致する結果となり、弾性域においてプレキャスト型枠とガラ混入再生コンクリートの間には平面保持が成り立ち、両者は一体となって挙動することが確認された。

次に塑性域（検討Ⅱ）におけるガラパクトコンクリート供試体の圧縮応力の計算値の算出および実測値との比較方法を図-12 に示す。

ガラ混入再生コンクリート供試体の終局ひずみを  $\epsilon_U$  とし、その  $\epsilon_U$  に対応するガラパクトコンクリートの圧縮応力を実測値  $\sigma_{CU1}$  とした。

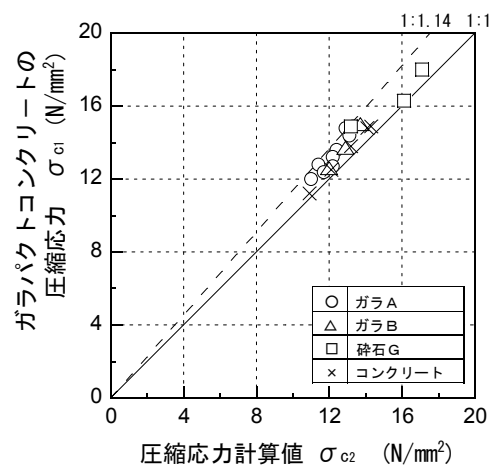


図-11 弾性域における圧縮応力の比較

このひずみ  $\epsilon_U$  におけるプレキャスト型枠に用いたモルタル単体の圧縮応力  $\sigma_{AU1}$  に断面積比を乗じた応力と、ガラ混入再生コンクリート単体の圧縮応力  $\sigma_{BU1}$  に断面積比を乗じた応力を足し合わせ、計算値  $\sigma_{CU2}$  とした。これらの結果を実測値の計算値に対する比 ( $\sigma_{CU1}/\sigma_{CU2}$ ) で整理し、プレキャスト型枠による拘束効果として評価した。この実測値の計算値に対する比 ( $\sigma_{CU1}/\sigma_{CU2}$ ) をガラ混入再生コンクリートの圧縮強度との関係で整理し、図-13 に示す。供試体の種類によらず、概ね 1.1~1.3 の範囲に集中する結果となった。プレキャスト型枠の拘束効果により、ガラパクトコンクリートの見掛けの剛性が若干増加していることを示すものと考えられる。

ガラパクトコンクリートの圧縮強度試験時の破壊状況の一例を写真-1 に示す。プレキャスト

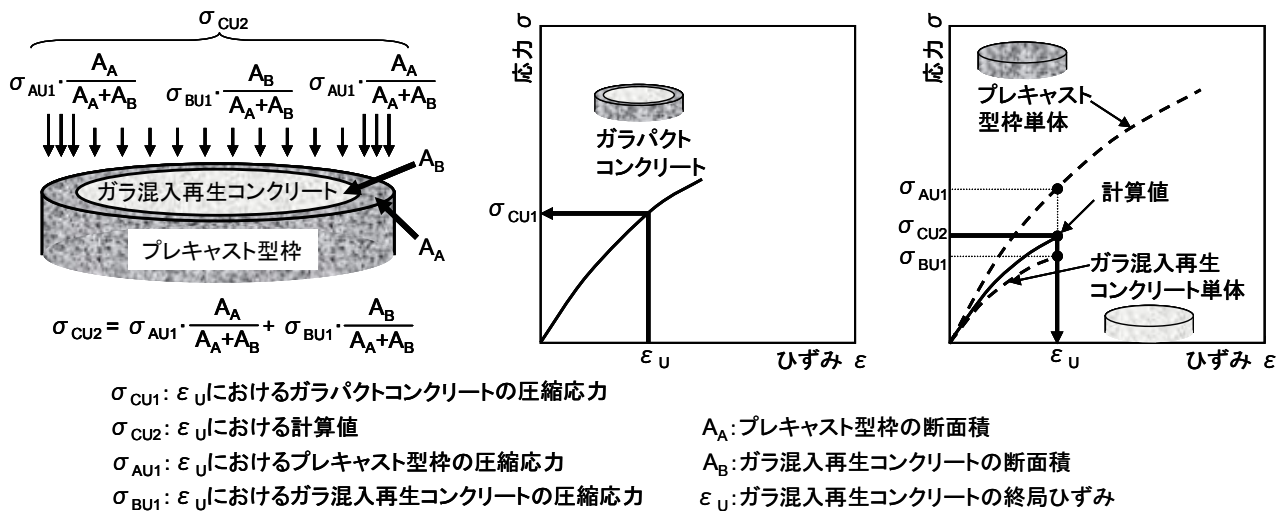


図-12 ガラ混入再生コンクリートの終局ひずみ時における  
ガラパクトコンクリートの圧縮応力の実測値と計算値の比較（検討Ⅱ）

ト型枠により、内側のガラ混入再生コンクリートが拘束されるが、はらみ出しを抑えきれなくなった段階でプレキャスト型枠が剥離して破壊に至っており、上記した拘束効果を裏付けるものと考えられる。

これらの検討結果によれば、ガラパクトコンクリートの圧縮強度特性については、弾性域において平面保持が成り立ち、プレキャスト型枠とガラ混入再生コンクリートが一体となって挙動するといえる。また、塑性域においてはプレキャスト型枠と一体化することで、拘束効果によってガラパクトコンクリートの剛性が向上するものと考えられる。

#### 4. まとめ

本論文の結果から得られた知見を以下に示す。

- (1) コンクリート塊を混入した再生コンクリートの強度特性は一般のコンクリートとほぼ同様である。ただし、最大寸法が 80mm のコンクリート塊を用いた場合には、せん断強度特性が若干低下する場合がある。
- (2) コンクリート塊を混入した再生コンクリートをプレキャスト型枠と一体化させたガラパクトコンクリートは、弾性域において平面保持が成り立ち、塑性域においてはプレキャスト型枠の拘束効果により剛性が向上する。

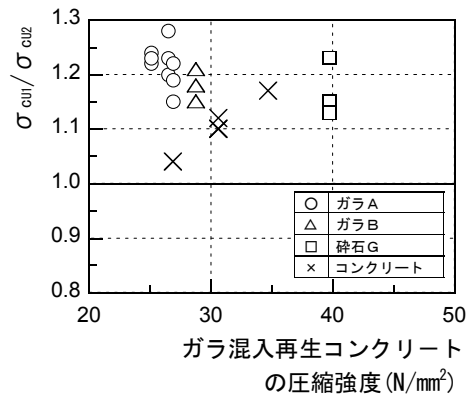


図-13 拘束効果の比較



写真-1 ガラパクトコンクリートの  
圧縮強度試験時の破壊状況

#### 参考文献

- 1) 近松竜一, 榊原泰造, 入矢桂史郎: 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, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.1, pp.1521-1526, 2004
- 2) 瀬古育二, 山口温朗, 自閑茂治: RCD コンクリートのせん断強度に関する検討, ダム技術, No.26, pp.56-65, 1988 増刊