

ガラパクトコンクリート工法の開発（その2）

外殻にプレキャスト型枠を用いた低品質再生コンクリートの強度特性

川西 貴士 近松 竜一
入矢 桂史郎

Development of Gara Packed Concrete (Part 2)

- Strength Properties of Recycled Concrete Containing Crushed Concrete Grain,
Combined with Pre-cast Form -

Takashi Kawanishi Ryuichi Chikamatsu
Keishiro Iriya

Abstract

Mechanical properties of crushed concrete grains (“Gara”) in which voids are filled with special cement grout are experimentally assessed for application to structural members. Since this recycled concrete is used in combination with pre-cast outer walls, the uniformity of both members are investigated. The mechanical behavior of the recycled concrete is similar to that of ordinary concrete, except for shear strength, which is slightly smaller due to the large size of Gara. The stiffness increases in combination with pre-cast outer walls.

概 要

コンクリート塊を用いた再生コンクリートの実構造部材への適用を目的とした研究の一環として、コンクリート塊を型枠に先詰めし、その間隙をモルタルで充填して作製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検討した。その結果、コンクリート塊を混入した再生コンクリートの各種強度特性は一般のコンクリートとほぼ同様であるが、大粒径のコンクリート塊を用いた場合にせん断強度特性が若干低下する傾向があること、この再生コンクリートをプレキャスト型枠と一体化させることで拘束効果によって強度が高まることを明らかにした。

1. はじめに

解体したコンクリート塊の活用に関しては、これまでに数多くの研究開発が行われ、コンクリート塊から骨材を取り出し、再利用するシステムが既に実用化されている。しかし、解体再生骨材を回収する際のコストやその品質管理などの問題もあり、コンクリート塊をそのまま路盤材として使用する場合も多いのが現状である。

著者らは、コンクリート塊（以下、ガラと呼称する）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するコンクリート構造体の構築方法を考案した。前報¹⁾においては、強度水準が異なる原コンクリートから作製した各種ガラの物理的性質を調査するとともに、ガラの間隙を充填する注入モルタルの配合および品質について実験的に検討した。その結果、ガラの粒度に応じて注入モルタルの配合を適切に選定することでガラの間隙を充填できることを確認した。

本論文では、このガラの間隙をモルタルで充填した再生コンクリートの圧縮、引張およびせん断強度特性について検討した。また、この再生コンクリートをプレキャスト型枠と組み合わせた場合の圧縮強度特性についても検討し、その一体性について確認した。

2. 実験概要

2.1 実験シリーズ

実験は、コンクリート供試体の作製方法ごとに2シリーズに分けて実施した。実験シリーズでは、ガラを型枠に先詰めし、その間隙をモルタルで充填して作製した再生コンクリート（以下、ガラ混入再生コンクリートと呼称する）の各種強度特性を調べた。実験シリーズでは、このガラ混入再生コンクリートをプレキャスト型枠と組み合わせた試験体（以下、ガラパクトコンクリートと呼称する）の圧縮強度特性について検証した。これら各種再生コンクリート試験体の概要を Fig. 1 に示す。

2.2 ガラ混入再生コンクリートの実験概要（実験）

2.2.1 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。ガラは、破砕前の原コンクリートの圧縮強度が27, 36および35N/mm²の3種類でそれぞれA, BおよびDとする。なお、比較のために砕石(G)も使用した。実施に用いたガラは80~20mmの範囲とし、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 Table 1 に示す。

注入モルタルの作製には、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。細骨材として最大寸法が1.2mmの珪砂を使用した。混和剤はポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を使用した。ま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付与するために発泡剤として金属アルミニウム粉末(Al)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¹⁾。これらの注入モルタルの配合および品質をTable 2に示す。

2.2.2 供試体の作製および試験方法 実験にはガラを作製する原コンクリートの強度水準とガラの粒度が異なる8種類のガラと3種類の注入モルタルを組み合わせた。ガラ混入再生コンクリートの種類をTable 3に示す。また、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、表面乾燥飽水状態に調整して使用した。注入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秒間練り混ぜた後、細骨材を投入して60秒間練り混ぜ、容器に付着したモルタルをかきおとし、さらに90秒間練り混ぜた。

供試体は15×30cmの鋼製型枠中にガラを詰め込み、型枠の天端より約30mm上方からP漏斗を介して注入モル

タルを連続的に流し込み、ガラの間隙を充填させて作製した。(Fig.2参照)

ガラ混入再生コンクリートの強度試験は、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²⁾を実施した。せん断強度は、供試体の設置角度(θ)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。試験装置の概要をFig. 3に示す。

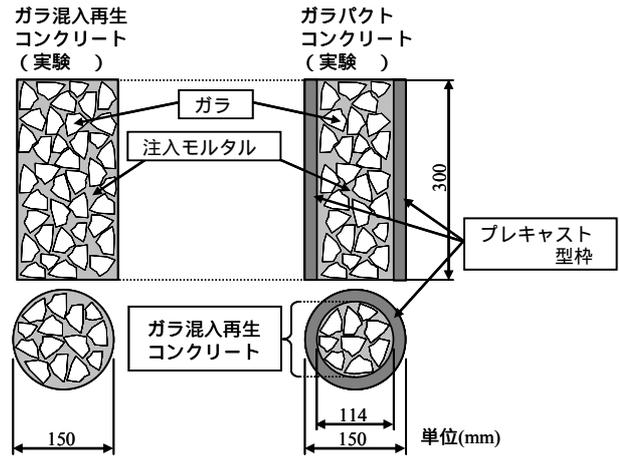


Fig. 1 各シリーズに用いた供試体の概要 Compo of Recycled Concrete Containing Masses

Table 1 ガラの粒度および物理的性質 Physical Properties of Concrete Masses

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			
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

Table 2 注入モルタルの配合および品質 Mix Properties of Mortar for inverted into and Qualities

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 ²)	
								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	-	61.9

Table 3 ガラ混入再生コンクリートの種類 Type of Recycled Concrete Containing Masses

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

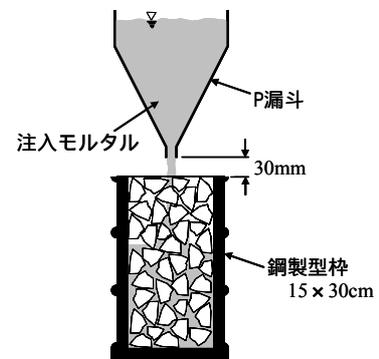


Fig. 2 ガラ混入再生コンクリートの作製方法 Making Method of Gara Concrete

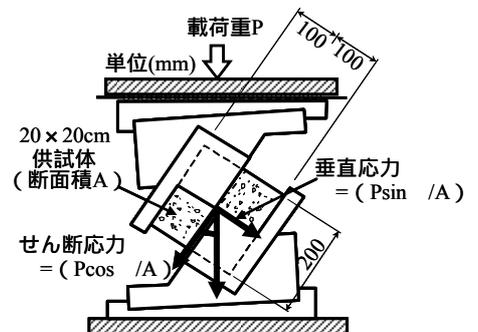


Fig. 3 一面せん断試験装置 One Side Shear Test Fixture

2.3 ガラパクトコンクリートの実験概要(実験)

2.3.1 使用材料 プレキャスト型枠の配合および品質を Table 4 に示す。プレキャスト型枠は、水結合材比 36, 41 および 50%のモルタルを用い、強度水準を変化させた。

プレキャスト型枠の作製状況を Fig. 4 に示す。鋼製型枠(15×30cm)の内部に、凝結遅延シートを貼り付けた塩ビ管(11.4cm)を設置し、鋼製型枠と塩ビ管の隙間にモルタルを流し込んで作製した。モルタルの練混ぜは前節に示した方法で練り混ぜた。モルタル製型枠の内側側面は、硬化後に高圧水で洗い出して打継ぎ処理を行った。ガラ混入再生コンクリートの配合および品質を Table 5 に示す。

2.3.2 ガラパクトコンクリート供試体の作製方法および試験方法 実験には 3 種類のプレキャスト型枠と原コンクリートの強度が異なる 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 Table 6 に示す。また、比較用として水セメント比 45, 55 および 65%の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。

ガラパクトコンクリート供試体の作製方法を Fig. 5 に示す。プレキャスト型枠を鋼製型枠に設置し、その中に表面乾燥飽水状態に調整したガラを上向きに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、コンプレッソメータを使用し、JIS A 1149に準拠して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をそれぞれ単体で打ち込んだ供試体についても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。

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)

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、Fig. 6 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27 N/mm²、ガラBの場合が最大33N/mm²、ガラDの場合が最大約37N/mm²であり、注入モルタルの配合を適切に選定することで、ガラを作製した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確認された。

圧縮強度と引張強度の関係を Fig. 7 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1/10 ~ 1/14の範囲にあり、両者の関係は普通コンクリートの場合とほぼ同様であった。

一面せん断強度試験の一例を Fig. 8 に示す。また、圧縮

Table 4 プレキャスト型枠の配合および品質 Mix Proportion and Qualities of Pre-cast Form

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 ²)
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

Table 5 各種ガラ混入再生コンクリートの圧縮強度 Compressive Strength of Recycled Concrete Containing Masses several

No.	コンクリートの種類	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 ²)
IC1	ガラ+注入	A4020	GM3	26.4
IC2	ガラ+注入	B4020		28.8
IC3	砕石+注入	G4020		41.3

Table 6 ガラパクトコンクリートの種類 Combination of Recycled Concrete Containing Masses and Pre-cast Form

		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			



Fig. 4 プレキャスト型枠の作製状況 Production Procedure of Pre-cast Form

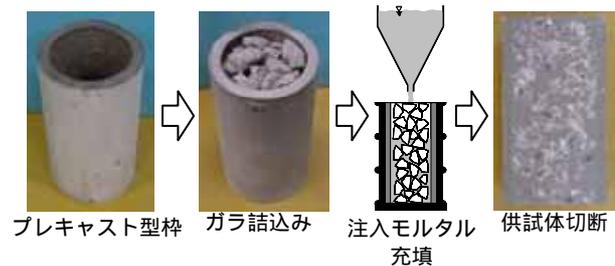


Fig. 5 ガラパクトコンクリート供試体の作製方法 Production Procedure of Gara Packed Concrete Specimen

強度と純せん断強度の関係を Fig. 9 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、圧縮強度に対し概ね1/4 ~ 1/6の範囲にあり、一般的なコンクリートの場合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

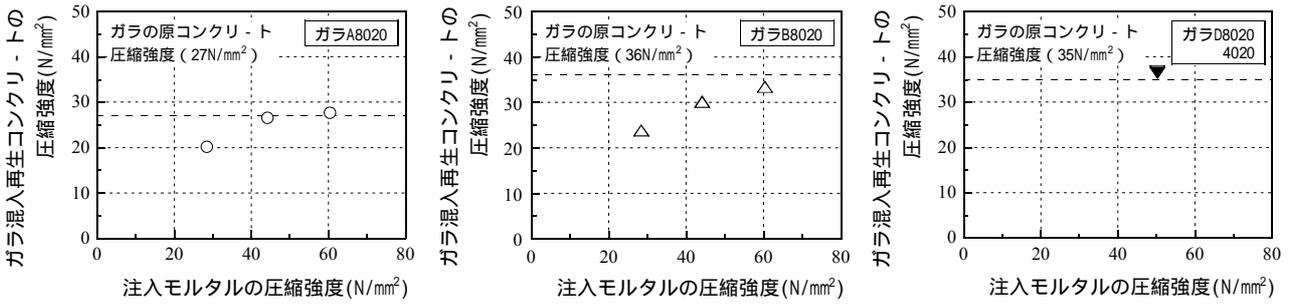


Fig. 6 ガラ混入再生コンクリートの圧縮強度特性
Compressive Strength of Recycled Concrete Containing Masses

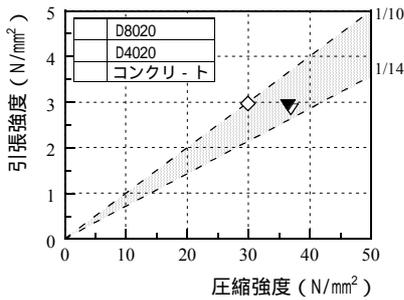


Fig. 7 引張強度特性
Tensile Strength and Compressive Strength

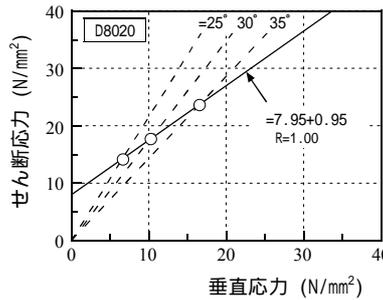


Fig. 8 一面せん断強度特性
Shear Strength Test

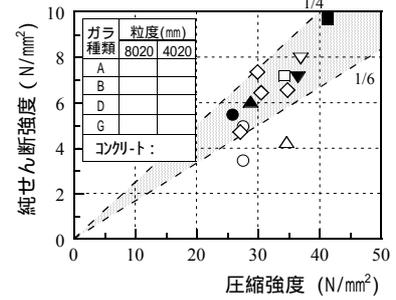


Fig. 9 純せん断強度特性
Shear Strength and Compressive Strength

験に用いた供試体は、直径が20cmでガラ最大の2.5倍であり、粒径が大きいガラを用いた場合に付着面積が減少し、ガラとモルタルとの界面の連続性が高くなるため、付着特性が低下しやすい傾向にあることを示すものと考えられる。

3.2 ガラパクトコンクリートの強度特性（実験）

ガラパクトコンクリートの圧縮強度を、内部に詰められたガラ混入再生コンクリート単体の圧縮強度と比較し、Fig. 10に示す。ガラパクトコンクリートの圧縮強度は、全体的にガラ混入再生コンクリート単体の圧縮強度より大きい結果が得られた。プレキャスト型枠強度とその拘束効果により、強度の増大効果が認められた。

そこで、次にこの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と強度増加に関して検討を加えた。

一体性の評価は、プレキャスト型枠に使用し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-ひずみの結果をもとに、それぞれの断面積比に応じた負担応力を求め、両者を加算した計算値と実測値を比較した。具体的には、まず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、次に、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の2段階について検討した。

3.2.1 弾性域における圧縮応力の比較 弾性域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Fig. 11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 σ_{c1} を実測値とし、その圧縮応力に対応するひずみを ϵ_Y とした。このひずみ ϵ_Y 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におけるガラパクトコンクリートの平均圧縮応力を式(1)により求め（計算値 σ_{c2} ）、実測値 σ_{c1} と比較した。

$$\sigma_{c2} = E_A \cdot \epsilon_Y \cdot \frac{A_A}{A_A + A_B} + E_B \cdot \epsilon_Y \cdot \frac{A_B}{A_A + A_B} \quad (1)$$

σ_{c2} : ϵ_Y におけるひずみ一定を仮定した場合の平均応力度

E_A : ϵ_Y におけるプレキャスト型枠の弾性係数

E_B : ϵ_Y におけるガラ混入再生コンクリートの弾性係数

ϵ_Y : ガラパクトコンクリートの1/3圧縮強度におけるひずみ

A_A : プレキャスト型枠の断面積

A_B : ガラ混入再生コンクリートの断面積

結果をFig. 12に示す。実測値 σ_{c1} は計算値 σ_{c2} と同等もしくは若干大きいですが、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荷重を負担していることが確認された。

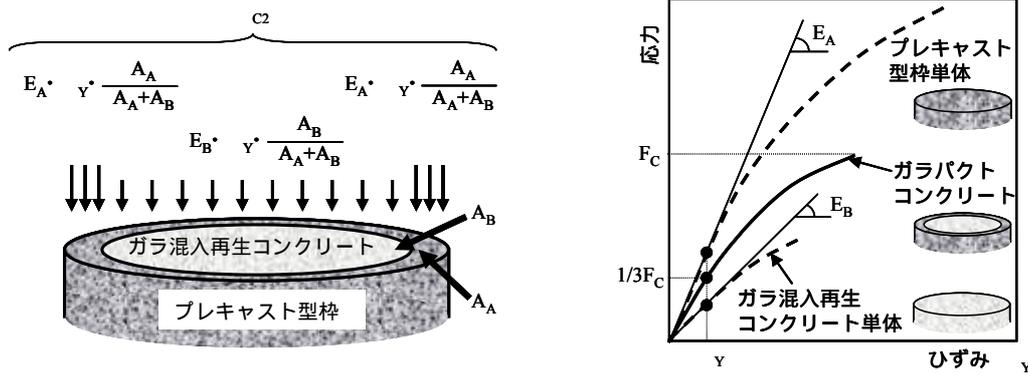


Fig. 11 ガラバクトコンクリートの1/3圧縮強度時のひずみにおける圧縮応力の計算値の算出および実測値との比較方法

Analysis of Compressive Stress of Recycled Concrete Containing Masses Combined with Pre-cast Form

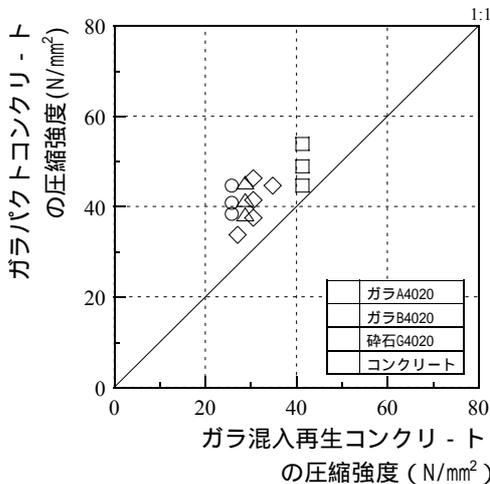


Fig. 10 ガラバクトコンクリートの圧縮強度試験結果
Compressive Strength of Recycled Concrete Containing Masses Combined with Pre-cast Form

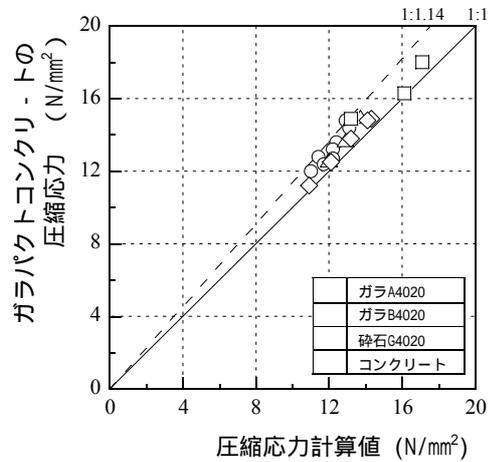


Fig. 12 弾性域における圧縮応力の比較
Calculation Results of Compressive Stress

3.2.2 プレキャスト型枠による拘束効果 塑性域におけるガラバ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Fig. 13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 ϵ_U とし、その ϵ_U に対応するガラバクトコンクリートの圧縮応力を実測値 σ_{CU1} とした。このひずみ ϵ_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 σ_{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 σ_{BU1} に断面積比を乗じた応力を式(2)により足し合わせて計算値 σ_{CU2} とし、実測値 σ_{CU1} と比較した。

$$\sigma_{CU2} = \sigma_{AU1} \cdot \frac{A_A}{A_A + A_B} + \sigma_{BU1} \cdot \frac{A_B}{A_A + A_B} \quad (2)$$

σ_{C2} : ϵ_U における計算値

σ_{AU1} : ϵ_U におけるプレキャスト型枠の圧縮応力

σ_{BU1} : ϵ_U におけるガラ混入再生コンクリートの圧縮応力

A_A : プレキャスト型枠の断面積

A_B : ガラ混入再生コンクリートの断面積

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、Fig. 14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、ガラバクトコンクリートの強度が若干増加していることを示すものと考えられる。またガラバ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Photo 1に示す。プレキャスト型枠により、内側に詰められた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

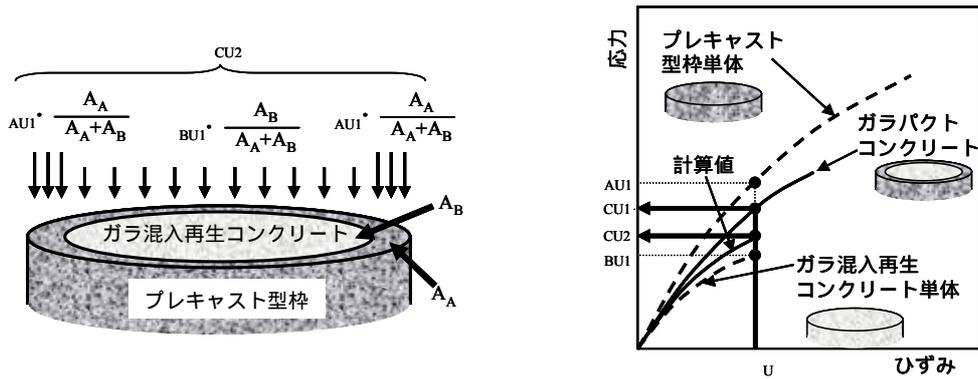


Fig. 13 ガラ混入再生コンクリートの終局ひずみ時における
ガラパクトコンクリートの圧縮応力の実測値と計算値の比較

Analysis of Compressive Stress of Recycled Concrete Containing Masses Combined with Pre-cast Form

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強度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強度が向上する。
- 3) コンクリート塊を用いた再生コンクリートをプレキャスト型枠と組み合わせることにより、圧縮力を受ける構造物への適用が可能である。ただし今後曲げやせん断を受ける実構造物への適用に際しては、実規模モデルの試験体を用いて、構造的な検討が必要である。

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

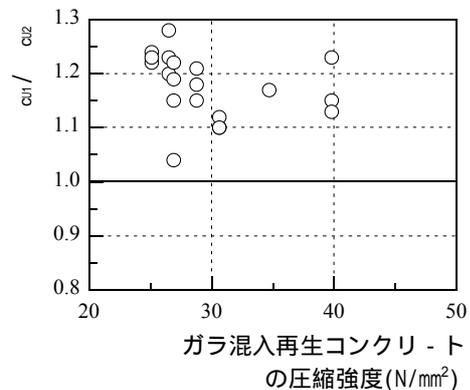


Fig. 14 拘束効果の比較
Restrain Effects by Pre-cast Form



Photo 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
Destruction Mode of Compressive Strength Specimen

- 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