

コンクリート塊と石炭灰を用いた プレパックスドコンクリート工法に関する基礎研究

末 武 勇 人 舟 橋 政 司
渡 部 正

要 旨

生活水準の向上に伴って、産業廃棄物の量が増大しており、その処理能力は限界に近づいている。廃棄物の再資源化は、今後の経済成長、国民生活の向上を維持していく上で極めて重要である。

本研究は、石炭火力発電所の副産物である石炭灰と建設廃材である解体コンクリートを有効利用することを目的とし、粗骨材にコンクリート塊を用い、注入材を構成する細骨材の代替えとして石炭灰を使用したプレパックスドコンクリートの基本特性を確認した。

その結果、通常のプレパックスドコンクリートと比較すると圧縮強度が低く、乾燥収縮が大きいなどという問題は残されているが、人工岩盤、擁壁、あるいは簡易基礎などへの適用は十分可能であるという予測がついた。

キーワード 産業廃棄物／リサイクル／プレパックスド工法／解体コンクリート／コンクリート塊／石炭灰

目 次

- | | |
|----------|---------|
| 1. はじめに | 4. 試験結果 |
| 2. 研究の概要 | 5. まとめ |
| 3. 試験方法 | |

A FUNDAMENTAL STUDY ON PREPLACED AGGREGATE CONCRETE USING CRUSHED CONCRETE AND FLY ASH

Hayato SUETAKE Masashi FUNAHASHI
Tadashi WATANABE

Synopsis:

The purpose of this study is to make good use of fly ash produced from coal thermal power plants and crushed concrete produced from constructive waste. It was experimented that fundamental characteristics of preplaced aggregate concrete using crushed concrete for coarse aggregate and fly ash for grout.

As the result, it was concluded that this concrete has lower compressive strength and bigger drying shrinkage than ordinary concrete. It may be difficult to apply this concrete to permanent structures, but it is expected to apply it to man-made rock, retaining wall and simple foundation.

1. はじめに

生活水準の向上に伴って、廃棄物の排出量が増大し、既存の処理・処分能力は限界に達しつつある。廃棄物の再資源化を促進していくことは、今後の経済成長、国民生活の向上を維持していく上で極めて重要である。

本研究は、建設廃材であるコンクリート塊と石炭火力発電所の副産物である石炭灰を有効利用することを目的として、コンクリート塊を粗骨材の代替えとし、かつ、石炭灰を細骨材の代替えとした注入材によるプレパックドコンクリート工法の適用性を基礎的な試験により検討したものである。

2. 研究の概要

2.1 解体コンクリートの有効利用に関する既往の研究

建設廃材である解体コンクリートの発生は、年間3,700万トンにも達する¹⁾。この解体コンクリートは、路盤材、埋戻し材およびコンクリート用再生骨材として約65%が有効利用されている²⁾。しかし、今後20～30年後の排出量は現在の5～6倍に達することが予想され³⁾、益々の有効利用策を検討することが要求されている。

コンクリート用再生骨材としての利用例は最近多く、建設省をはじめとする公共機関での取り組みが積極的に行われている。一方、再生骨材を製造する場合には、破碎・分級などの製造処理工程が多く、かつ、原コンクリートの約80%の微粒分が発生し、その処分が難しいこと等の課題がある。

そのため、解体コンクリートを簡単な破碎機で大割りした状態（コンクリート塊）で利用する方法が研究されるようになってきた。河井ら³⁾、桜本ら⁴⁾は、20～200mmのコンクリート塊を粗骨材としたプレパックドコンクリートの圧縮強度、乾燥収縮およびクリープ等に関する実験を行い実構造物への適用性を検討している。また香川⁵⁾は、同様に、コンクリート塊を粗骨材として、プレパックド方式、ポストパックド方式および流し込み方式による重力式擁壁の試験施工を行っている。浅野⁶⁾は、河川・海岸工事に使用する異形ブロックの製造方法として、コンクリートを打ち込んだ後にコンクリート塊を混入する工法を検討している。

2.2 石炭灰の有効利用に関する既往の研究⁷⁾

石炭灰は、石炭火力発電所で微粉炭を燃焼した時に発生する。その発生量は2,000年には1,000万トンを超え、その後さらに急増することが確実視されている。現在、発生量の約50%が有効利用されているが、残りは埋立処分されている。今後は、大規模な灰捨場の確保が困難な状況となっていることから、その有効利用拡大が極めて重要な課題となっている。

石炭灰の有効利用全体の約70%は、セメント製造用

原料、セメント混和材等のセメントコンクリート分野である。その他、埋立材、盛土材、人工骨材、土壌改良材、肥料等に利用されている。

2.3 本研究の概要

本研究では、解体コンクリートを20～200mmに破碎・粒度処理をしたコンクリート塊を型枠に詰め、その空隙にセメント、石炭灰、水および混和剤からなるペースト（以下F Cペーストと称す）を注入して構造物を構築するプレパックドコンクリート工法を対象としている。解体コンクリートを大割の塊の状態で使用することで前述したような再生処理に要するコストの低減や微粒廃棄物を低減できること、ならびに細骨材の代替えとして石炭灰を有効に利用できることが本工法の特徴である。また従来のプレパックドコンクリートは、水中での施工を対象としているが、本研究では気中での施工を念頭に置いており、適用対象としては、人工地盤、簡易基礎、重力式擁壁、胸壁等を考えている。

今回の報告は、上記のような工法の適用性を検討するための基礎的な試験結果についてまとめたものである。試験は、石炭灰を使用した注入材のブリーディング、圧縮強度、ならびにそれを注入材としコンクリート塊を粗骨材としたプレパックドコンクリートの圧縮強度、乾燥収縮、中性化速度等について、通常のプレパックドコンクリートと比較して、実用化のための検討を行った。

3. 試験方法

3.1 使用材料

セメントは、普通ポルトランドセメント（比重3.16）を使用した。石炭灰は、北海道電力苫東厚真発電所産のもので、その品質は、表-1に示すように、活性度指数がJIS A 6201の規格値を若干下回っている非JIS灰である。

表-1 石炭灰の性質

品 質		規格値	試験値
二酸化珪素	%	45.0以上	50.3
湿分	%	1.0以下	0.1
強熱減量	%	5.0以下	1.3
比重		1.95以上	2.31
粉末度	比表面積（ブレン方法） cm^2/g	2400以上	3250
フロー値比	%	92以上	95
活性度指数	%	材令28日	80
	%	材令91日	89

細骨材は、大井川産の川砂で、1.2mmのふるいをとるもののみを使用した。

粗骨材は、表-2に示す砕石、コンクリート塊を使用した。今回のコンクリート塊は、再生骨材製造工場から取り寄せた。製造方法は、運搬されてきた余剰コンクリート（配合24-18-20）を工場敷地内に撒き出し、

そのままの状態2日後に破碎し、すぐに粒度処理を行うというものである。またこれとは別に圧縮強度試験用として、破碎後大きい塊のまま材齢91日まで気中養生したものからコア試験体を採取した。

コンクリート塊および碎石は、40～30mmと30～20mmに分級し、質量比で1:3の割合で混合し、表面の汚れや微粉を洗浄して24時間吸水させ、表面乾燥飽水状態に調整して使用した。

混和剤は、AE減水剤（標準型Ⅰ種：ポゾリスNo.70）を使用した。

表-2 粗骨材の性質

試験項目	碎石	コンクリート塊
表乾比重	2.65	2.26
絶乾比重	2.64	2.08
吸水率 %	0.53	8.82
単位容積質量 kg/m^3	1462	1258
実積率 %	55.4	60.5
圧縮強度 N/mm^2	—	32.0
静弾性係数 N/mm^2	—	19600

3.2 注入材の品質試験

注入材の品質目標は、土木学会コンクリート標準示方書「施工編 プレパックドコンクリート」を参考にして下記のように設定した。

- ・P漏斗流下時間：16～20秒
- ・ブリーディング率（3時間後）：3%以下

練混ぜは、土木学会基準JSCE-505に準拠してホバート型のモルタルミキサーを用いて行った。

注入材の配合条件は、表-3のように通常のもルタル1配合、細骨材を石炭灰に置き換えたペースト（FCペースト）3配合の計4配合とした。試験項目およびその方法は表-4のとおりとした。

表-3 注入材の配合条件

No.	W/C (%)	細骨材	石炭灰
1	50	○	—
2	50	—	○
3	60	—	○
4	70	—	○

表-4 注入材の試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
流動性試験	JSCE-F 521に準拠（P漏斗使用）
ブリーディング試験	JSCE-F 522に準拠
圧縮強度試験	JSCE-G 521に準拠 材齢は7日・28日・91日

3.3 プレパックドコンクリートの品質試験

コンクリートの品質を把握するため、表-3に示した配合条件の注入材を用いて各種試験を行った。すなわち、通常のもルタルと碎石を用いた1配合と、FCペーストとコンクリート塊を用いた3配合の計4配合について品質比較を行った。

硬化コンクリートの品質試験をするための供試体の

作製は図-1のとおりとし、土木学会規準JSCE-G 522に準拠した。ただし、粗骨材間の空隙部には水を満たさずに注入し、注入管は型枠側面に配置した。硬化コンクリートの品質試験項目および試験方法は表-5に示すとおりとした。

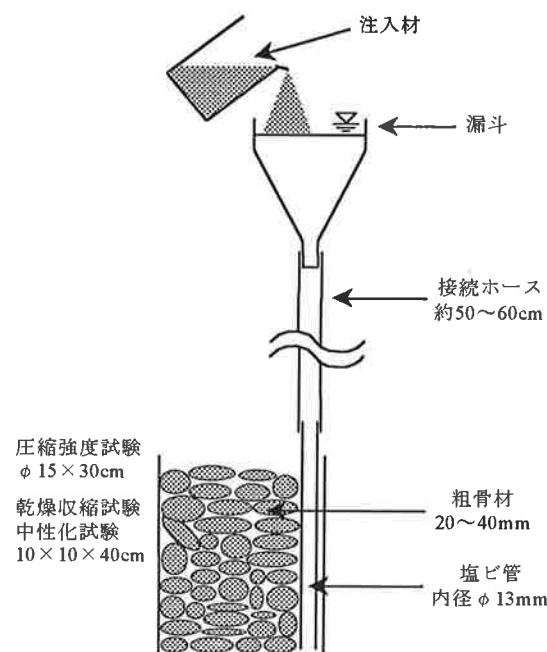


図-1 供試体の作製方法

表-5 試験項目・試験方法

試験項目	試験方法
圧縮強度試験	JSCE-G 521に準拠 材齢は7日・28日・91日
静弾性係数試験	JSCE-G 502(案)に準拠
乾燥収縮試験	JIS A 1129に準拠
中性化試験	コンクリートの促進中性化試験方法(案)に準拠 ：高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説(日本建築学会発行)

4. 試験結果

4.1 配合

配合試験によって選定した注入材の配合およびこれを使用したプレパックドコンクリートの配合を表-6、表-7に示す。

石炭灰を使用した配合は、通常のもルタルに比べて単位水量が約24～29%多くなった。それに伴い、コンクリートにおける単位水量も283～290 kg/m^3 と、普通コンクリートに比べて多い結果となった。

4.2 注入材のブリーディング率

図-2に注入材のブリーディング率の測定結果を示す。3時間後のブリーディング率の目標値である3%以下を全ての配合が満足していた。特に、石炭灰を使用したペーストは単位水量が多いにもかかわらず、同一水セメント比のもルタルよりブリーディング率が小さくなることが分かった。

表-6 注入材の配合

番号	配合条件			単位質量 (kg/m ³)					流下時間 (秒)		ブリーディング率(%)			圧縮強度 (N/mm ²)		静弾性係数 (N/mm ²)	
	W/C (%)	SorFa	混和剤 (%)	水 W	セメント C	石炭灰 Fa	砂 S	混和剤	3時間後		20時間後		試験値	材齢		材齢	
									目標	試験	目標	試験		7	28	7	28
1	50	S	0.40	435	870	0	756	3.5	16~20	18.7	3.0以下	2.3	1.1	7	23.8	7	—
														28	37.0	28	—
														91	44.9	91	21200
2	50	Fa	0.40	560	1120	198	0	4.5	16~20	20.0	3.0以下	1.3	0.6	7	30.6	7	—
														28	53.8	28	—
														91	63.9	91	18100
3	60	Fa	0.40	550	917	370	0	3.7	16~20	19.2	3.0以下	1.7	0.7	7	22.5	7	—
														28	39.5	28	—
														91	56.2	91	17600
4	70	Fa	0.40	540	771	500	0	3.1	16~20	19.5	3.0以下	2.8	2.3	7	16.1	7	—
														28	28.3	28	—
														91	46.8	91	16100

表-7 プレパックドコンクリートの配合

番号	配 合 条 件				粗骨材 実積率 (%)	単位質量 (kg/m ³)						圧縮強度 (N/mm ²)		静弾性係数 (N/mm ²)	
	W/C (%)	S or Fa	混和剤 (%)	粗骨材		水 W	セメント C	石炭灰 Fa	細骨材 S	粗骨材	混和剤				
	材 齢		材 齢												
1	50	S	0.40	砕石	52.1	208	416	0	362	1382	1.7	7	18.1	7	—
												28	26.1	28	25200
												91	26.8	91	26300
2	50	Fa	0.40	コンクリート塊	48.8	287	573	101	0	1104	2.3	7	14.5	7	—
												28	19.7	28	16500
												91	21.0	91	18700
3	60	Fa	0.40	コンクリート塊	47.2	290	484	195	0	1068	2.0	7	11.7	7	—
												28	16.9	28	16100
												91	18.0	91	18400
4	70	Fa	0.40	コンクリート塊	47.5	283	405	262	0	1074	1.6	7	8.5	7	—
												28	14.2	28	13300
												91	15.8	91	16000

※粗骨材実積率は各配合毎に試験を行った。

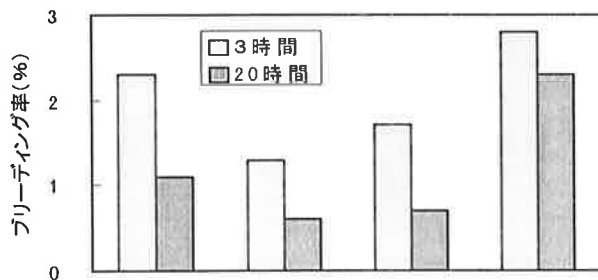


図-2 注入材のブリーディング率

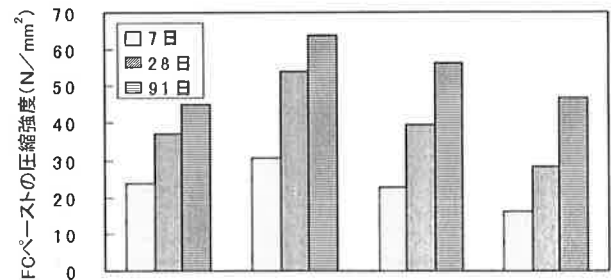


図-3 注入材の圧縮強度

4.3 注入材及びコンクリートの圧縮強度

注入材の圧縮強度試験結果を図-3に、石炭灰を使用したFCペーストのセメント水比と圧縮強度の関係を図-4に示す。

同一水セメント比のモルタルとFCペーストを比較すると、いずれの材齢においても、FCペーストの方が高い圧縮強度を示した。FCペーストにおける、材齢28日から材齢91日までの長期的な伸びは、水セメント比の大きい方が高くなる傾向を示した。これは水セメント比の大きいほど石炭灰が多い配合となっており、石炭灰のポズラン反応が寄与していることを意味している。

コンクリートの圧縮強度試験結果を図-5に、FCペ

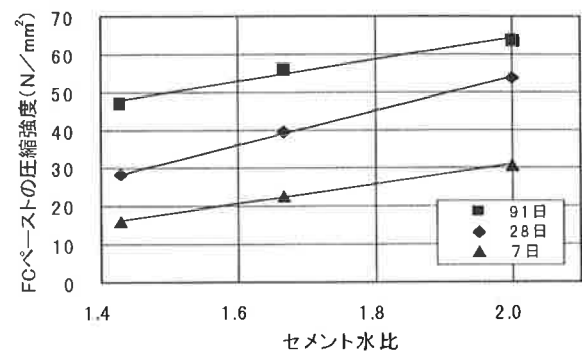


図-4 セメント水比と注入材圧縮強度の関係

ーストとコンクリート塊を用いたコンクリートのセメント水比と圧縮強度の関係を図-6に示す。また、注入

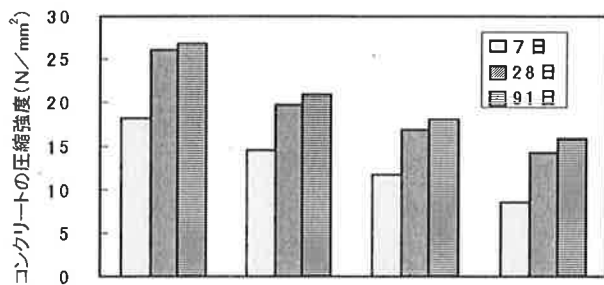


図-5 コンクリートの圧縮強度

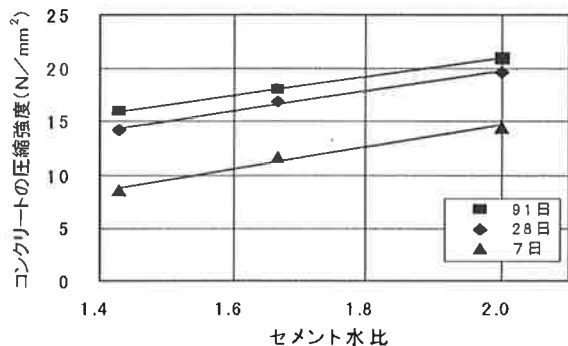


図-6 セメント水比とコンクリート圧縮強度の関係

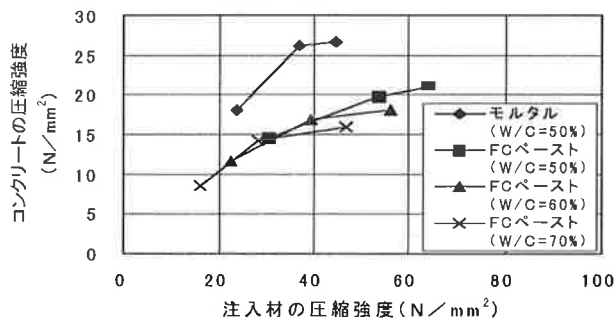


図-7 注入材強度とコンクリート強度の関係

材の圧縮強度とコンクリートの圧縮強度との関係を図-7に示す。砕石+モルタルの配合と、同一水セメント比のコンクリート塊+FCペーストの配合を比較すると、いずれの材齢においても前者の方が高い圧縮強度を示した。さらに、コンクリート塊+FCペーストにおける材齢28日から材齢91日までの長期的な伸びは非常に小さい。この傾向は、注入材自体の圧縮強度の時と異なっている。以上のことは、コンクリート塊自身の強度がプレパックドコンクリートの強度に影響しており、砕石の強度よりコンクリート塊の強度が低いためであると考えられる。今回使用したコンクリート塊は、前述したように、余剰の生コンクリートを十分硬化する前（材齢2日）に破碎、粒度処理したものであるが、その後の養生は気中養生であったために、強度が伸びなかったことが影響しているものと思われる。したがって、これに比べて強度の高い通常の解体コンク

リートを使用した場合には、今回の実験結果よりも大きな強度が得られるものと思われるが、従来の再生骨材を使用したコンクリートと同様、使用する再生骨材の品質が大きく影響を及ぼすことが分かった。

なお、供試体の型枠脱型後、注入材の充填性を目視によって確認したところ、モルタル、FCペーストのいずれの配合においても、供試体の外面や圧縮強度試験後の破壊面については、空隙が認められず、注入材は良好に充填されていることが確認できた。

4.4 注入材およびコンクリートの静弾性係数

注入材およびコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係を、図-8、図-9に示す。

これらの図より、砕石+モルタルの配合は、コンクリート標準示方書に示されている標準的な値（図-9の点線）にほぼ近いのに対し、コンクリート塊+FCペーストの配合は、標準的な静弾性係数より小さい結果を示した。これは、前述した圧縮強度と同様、コンクリート塊の品質が影響しているものと思われる。

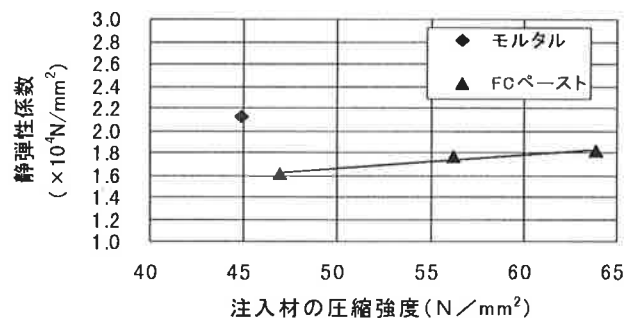


図-8 注入材圧縮強度と静弾性係数の関係

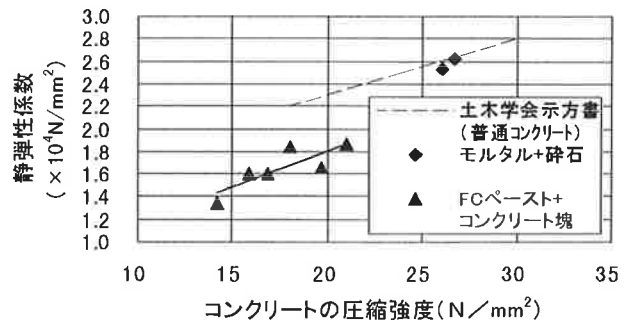


図-9 コンクリート圧縮強度と静弾性係数の関係

4.5 コンクリートの乾燥収縮

乾燥収縮による長さの変化を図-10、質量の変化を図-11に示す。これらの図より乾燥収縮量、質量減少率とも、砕石+モルタルの配合より、コンクリート塊+FCペーストの配合の方が大きいことが分かる。これは表-6、表-7に示したように、単位水量が多いことと、表-2に示したように、コンクリート塊の吸水率が大きいことに起因しているものと考えられる。乾燥収縮量を小さくするためには、単位水量を少なくすることが

必要であり、今回使用したAE減水剤よりも減水性に優れた高性能AE減水剤を使用するなどにより対処可能であると思われる。

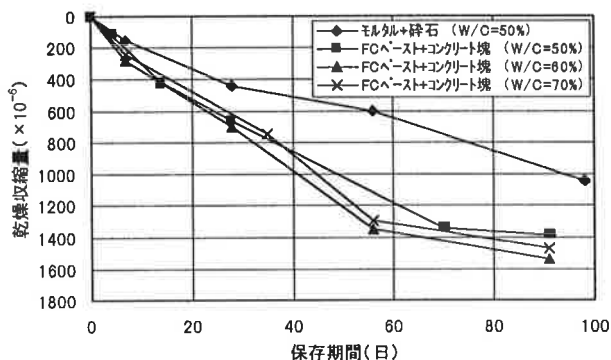


図-10 コンクリートの乾燥収縮量

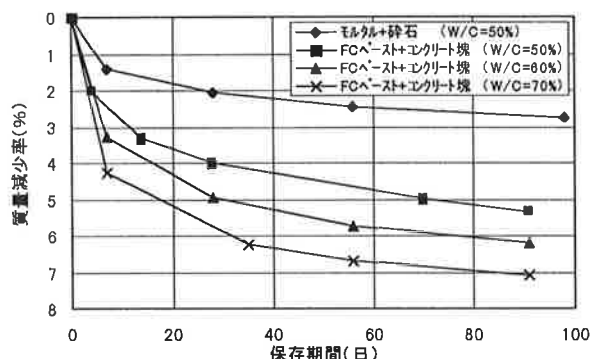


図-11 乾燥収縮による質量の変化

4.6 コンクリートの中性化深さ

コンクリートの促進中性化深さの測定結果を図-12に示す。この図より、砕石+モルタルの配合と同一水セメント比のコンクリート塊+FCペーストの配合では、ほぼ同程度の中性化深さを示している。また、コンクリート塊+FCペーストの配合では、水セメント比が大きくなるにしたがって中性化の進行も速くなっており、通常のコンクリートと同様な傾向を示すことが分かった。

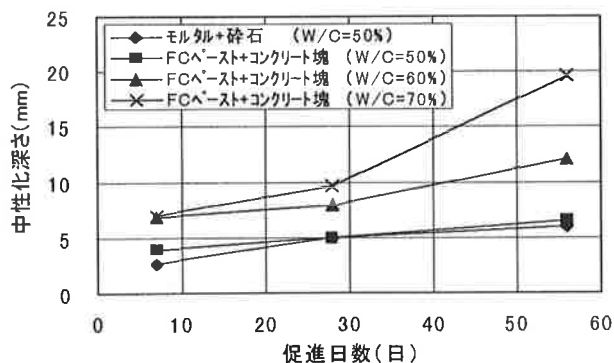


図-12 促進中性化試験の結果

5. まとめ

コンクリート塊を粗骨材とし、細骨材の代替えとして石炭灰を用いたプレパックドコンクリートの基礎的

な性状を把握するための試験を行った結果、次のようなことが分かった。

- (1) 細骨材の代替えとして石炭灰を用いた注入材は、通常のモルタルに比べて、同一の流動性を得るための単位水量は増加するが、ブリーディング率は小さくなった。
- (2) 粗骨材間空隙への充填性は良好であった。
- (3) 注入材自身の圧縮強度は通常のモルタルより高いが、コンクリートの圧縮強度はコンクリート塊の品質の影響を大きく受ける。今回の試験条件では、通常の配合より圧縮強度は低くなった。
- (4) 静弾性係数は、上記圧縮強度と同様、通常の配合より小さい結果を示した。
- (5) コンクリートの乾燥収縮は、単位水量が多いため、通常のコンクリートより大きくなる傾向を示した。
- (6) コンクリートの中性化深さは、水セメント比が同一の通常の配合とほぼ同一であった。

以上、今回の試験により、コンクリート塊と石炭灰を利用したプレパックドコンクリートの基礎的な性状を把握することができた。現段階では、単位水量が多く、コンクリートの乾燥収縮が大きいなどの問題はあがあるが、高性能AE減水剤などの使用により対処できると考えている。また、ひび割れ抵抗性、凍結融解抵抗性などの耐久性に関する確認事項が残されているが、人工岩盤や簡易的な基礎構造物への適用は十分可能であると考えられる。さらに、SEEDフォームなどの埋設型枠と組み合わせて使用することにより、適用範囲は広がるものと思われ、製造・施工法を含めて今後検討する予定である。

参考文献

- 1) 笠井芳夫：解体コンクリートの処理と再利用の現状，コンクリート工学，Vol.35，No.7，pp13-18，1997.7
- 2) 阿部道彦：コンクリート用再生骨材，コンクリート工学，Vol.35，No.7，pp42-48，1997.7
- 3) 河合徹，渡辺守成，長瀧重義：解体骨材を用いたプレパックドコンクリート工法，コンクリート工学，Vol.29，No.7，pp.91-95，1991.7
- 4) 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.1123-1128，1998.7
- 5) 香川明人：住宅団地におけるコンクリート廃材のリサイクル，コンクリート工学，Vol.32，No.4，pp.5-12，1994.4
- 6) 浅野保夫：コンクリート塊を混入して異形ブロックを製作，セメント・コンクリート，No.567，pp.10-12，1994.5
- 7) 石炭灰ハンドブック「平成7年版」，環境技術協会・日本フライアッシュ協会，I-p.16，1995.9