

## 震災コンクリートがらと海水を使用したコンクリートの開発

片野 啓三郎  
谷田部 勝博  
(本社生産技術本部)

竹田 宣典  
新村 亮  
(本社生産技術本部)

### Development of Concrete by using Sea Water and Concrete Debris from the Earthquake Disaster

Keisaburo Katano Nobufumi Takeda  
Masahiro Yatabe Akira Shinmura

#### Abstract

In the Great East Japan Earthquake, a large amount of concrete debris was generated, now, the effective use of this debris has become a problem. However, port and harbor structures in the affected area have suffered serious damage from the tsunami, and a large amount of concrete will be required for reconstruction. With such a back-ground, we developed production methods of concrete structures from concrete debris, not processed by crushing methods, and sea water. Our methods, termed “pre-packed concrete method” and “post-packed concrete method,” enable the use of large concrete debris not processed by crushing methods, as coarse aggregate. In addition, the use of sea water for mixing concrete can improve the early strength of concrete. This paper describes the processed production methods of concrete that use large concrete debris and sea water, and the properties of mortar required for these methods and the concrete.

#### 概要

東日本大震災の被災地では大量のコンクリートがらが発生し、その処理が課題となっている。一方、港湾施設は津波により甚大な被害を受けており、今後、施設の復旧のためには大量のコンクリートが必要になる。しかしながら、震災復旧・復興のための生コンクリート需要の高まりから骨材が不足し、円滑なコンクリートの調達が困難な状況にある。このような背景より、コンクリートがらを有効利用するために、「震災コンクリートがら」と「海水」を使用したコンクリートによる港湾構造物築造技術を開発した。プレパックドコンクリートおよびポストパックドコンクリート工法を適用することにより、破砕過程を極力省略した大割のコンクリートがらを粗骨材として使用することが可能となり、練混ぜ水として海水を使用することにより、早期強度発現や強度増進が図れ、脱型時期を短縮できる。

#### 1. はじめに

東日本大震災で発生した大量のがれきの処理が社会的な課題となっている。ここでは、震災で発生したのがれきのうち、被災したコンクリート構造物の解体材（震災コンクリートがら）に着目した。被災地においては迅速かつ効率的な処理が求められているため、できる限り破砕を行わないことによるコスト削減や処理時間の短縮が望まれる。また、練混ぜ水として海水を使用することで、コンクリートの早期強度発現や強度増進が図れ、工期短縮や耐久性の向上が期待できる<sup>1)</sup>。そこで、プレパックドコンクリート工法およびポストパックドコンクリート工法に着目し、破砕過程を極力省略した大割のコンクリートがらと海水を使用したコンクリートの製造方法について検討を行った。

本報では、海水を使用したモルタルの配合を選定し、震災コンクリートがらを粗骨材として使用したコンクリートブロックによって品質を確認した実験結果について

述べる。また、本技術を適用して築造した港湾用根固めブロックおよび消波ブロックに関する実証実験について報告する。

#### 2. コンクリートがらの有効利用の方法

破砕過程を省略したコンクリートがらを粗骨材として有効利用する場合、ミキサにコンクリートがらを投入して練り混ぜることが困難であるため、別途製造したモルタルを使用した下記の2つの工法を採用した。

##### 2.1 プレパックドコンクリート工法

プレパックドコンクリート工法は、型枠にコンクリートがらを投入し、型枠内に挿入された注入パイプからモルタルを注入する工法である。事前に投入したコンクリートがらの充填状況を確認しやすいため、比較的複雑な形状の構造物にも適用できる。使用するモルタルは、材料分離が少なく、流動性が高いなどの性質を有することが

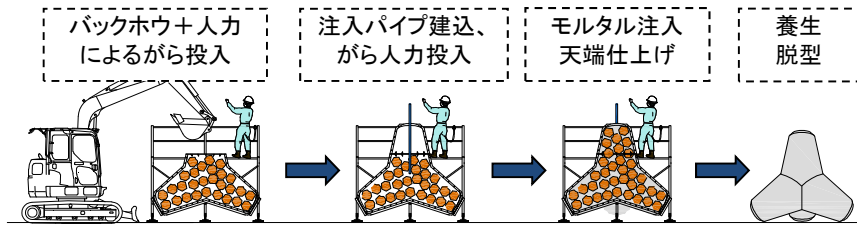


Fig. 1 プレパックドコンクリート工法  
Pre-packed Concrete Method

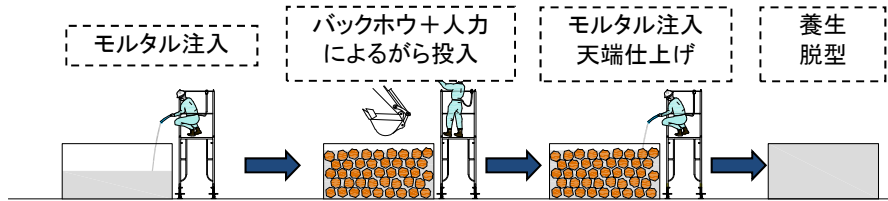


Fig. 2 ポストパックドコンクリート工法  
Post-packed Concrete Method



Photo 1 コンクリートがら  
Concrete Debris

Table 1 コンクリートがらの物性  
Properties of Concrete Debris

項目	測定結果	(参考) JIS規格値 (再生粗骨材L)
粒径 (mm)	200~400	5~25
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.37	—
吸水率 (%)	7.18	7 以下
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	37.2	—

Table 2 モルタルの使用材料  
Materials of Mortar

分類	種類	記号	摘要
水	真水	W	上水道水
	海水		塩化物イオン濃度：1.88%
結合材 (B)	高炉セメントB種	C	密度：3.04g/cm <sup>3</sup>
	膨張材	Ex	主成分：CaO, 密度：3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	砕砂	S	密度：2.66g/cm <sup>3</sup> , 粒径：5mm以下
発泡剤	アルミニウム粉末	Al	反応遅延タイプ

Table 3 モルタルの目標性能  
Targeted Performance of Mortar

試験項目	目標値
P漏斗流下時間 (JSCE F 521)	20~40秒
空気量 (JIS A 1128)	8.0~12.0%
ブリーディング率 (JSCE F 522)	3時間で3%以下
膨張率 (JSCE F 522)	2~5%

Table 4 モルタルの基本配合  
Base of Mix Proportion of Mortar

W/B (%)	S/B	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )		
		W	C	S
50.0	1.2	352	703	844

必要である。コンクリートがらを用いたプレパックドコンクリート工法の概要をFig. 1に示す。

## 2.2 ポストパックドコンクリート工法

ポストパックドコンクリート工法は、先に型枠内にモルタルを注入し、その後コンクリートがらを投入する工法である。比較的流動性の低いモルタルでも未充填の心配はなく容易に施工できるが、コンクリートがらの充填状況を目視で確認することが困難なため、直方体のブロックのような単純な形状の構造物に適用できる。ポストパックドコンクリート工法の概要をFig. 2に示す。

## 3. モルタルの配合選定とコンクリートブロックの作製

### 3.1 実験概要

試験練りにより、モルタルの配合に関する検討を行い、目標性能を満足する配合を決定した。そして、決定した配合のモルタルを使用して、コンクリートブロックを作製し、その品質を評価した。粗骨材として粒径 200~

400mmのコンクリートがらを使用した。コンクリートがらは、相馬港で津波の被害を受けたために撤去したコンクリートケーソンをジャンボブレーカ等で破碎したものである。コンクリートがらの外観をPhoto 1に、物性をTable 1に示す。なお、Table 1には参考としてJIS A 5023に規定される再生粗骨材Lの品質を併記した。

実験に用いたモルタルの使用材料をTable 2に、目標性能をTable 3に示す。セメントには高炉セメントB種、練混ぜ水には海水あるいは真水を使用した。モルタルの基本配合をTable 4に示す。基本配合に対し、モルタルとコンクリートがらの一体性の確保を目的として発泡剤（アルミ粉末）を、収縮によるひび割れを抑制する目的で膨張材を使用した。

モルタルの配合選定では、水結合材比（W/B）および砂結合材比（S/B）をパラメータとし、P漏斗流下時間、空気量、ブリーディング率および膨張率の測定を行った。コンクリート標準示方書〔施工編〕に規定される「プレパックドコンクリート」では、注入モルタルの流動性はP漏斗流下時間が16～20秒にあるのを標準としているが、本実験における粗骨材は粒径が200～400mmと大きいため、20～40秒を目安として充填性の確保を試みた。凍結融解作用を受けることを想定し、コンクリート中の空気量を4.0～6.0%とするためにモルタルの空気量は8.0～12.0%を目標とした。

決定した配合のモルタルを用いて、プレパックドコンクリート工法およびポストパックドコンクリート工法によって1辺800mmのブロックを作製し、モルタルの充填状況の目視による確認に加え、コアを採取して圧縮強度試験を実施した。ブロックの作製状況をPhoto 2に示す。

### 3.2 実験結果

**3.2.1 モルタルの品質** P漏斗流下時間とS/Bの関係をFig. 3に示す。W/Bが大きいほど、またS/Bが小さいほど流動性が向上した。一方、W/B=50.0%でS/Bを0.8まで小さくした場合、材料分離が発生し、細骨材が沈降して漏斗が閉塞した。また、空気量とS/Bの関係をFig. 4に示す。空気量はS/Bが大きいほど大きくなった。この結果

より、W/B= 50.0%の場合はS/B=1.2, W/B= 45.0%の場合はS/B=1.0とすることにより目標を満足した。

海水および真水を使用したモルタルにおいて、アルミ粉末の添加量を変化させた場合の膨張率をFig. 5に示す。海水を使用した場合の方が真水の場合より膨張率が大きくなる傾向にあった。試験結果より、目標の膨張率（2～5%）を満足するためのアルミ粉末の添加量を40g/m<sup>3</sup>とした。また、膨張材は、コンクリートにおける標準使用量を参考にモルタルに対して40kg/m<sup>3</sup>をセメントに置換した。

以上より決定したモルタルの配合と品質をTable 5に示す。ブリーディング率についても目標値（3%以下）を満足した。

**3.2.2 コンクリートの品質** プレパックドコンクリート工法およびポストパックドコンクリート工法によって作製したブロックの外観をPhoto 3に、材齢28日において採取した直径150mmのコアの断面をPhoto 4に示す。ブロックの表面状態から、型枠の隅々までモルタルが充填されていることが確認できた。また、コアの表面状態か



(a) プレパックドコンクリート (b) ポストパックドコンクリート

Photo 2 ブロックの作製状況  
Casting of Blocks

Table 5 決定配合と品質

Decided Mix Proportion and Properties of Mortar									
W/B (%)	S/B	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					P漏斗流下時間 (秒)	空気量 (%)	ブリーディング率 (%)
		W	B		S	Al			
			C	Ex					
50.0	1.2	352	663	40	844	0.040	22.0	8.1	2.4

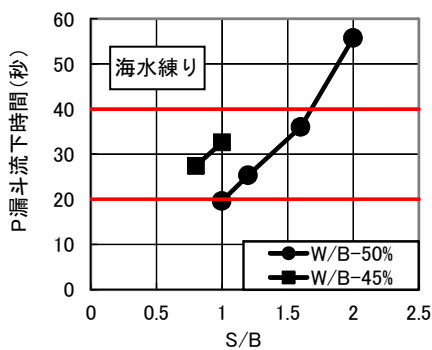


Fig. 3 P漏斗流下時間とS/Bの関係  
Relationship of Flow Time and S/B

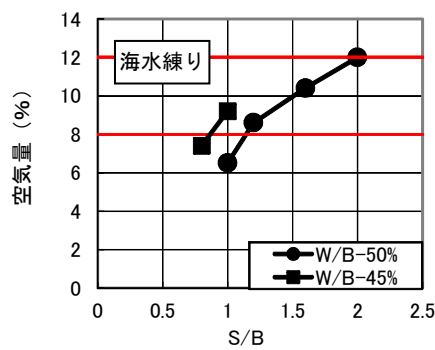


Fig. 4 空気量とS/Bの関係  
Relationship of Air Content and S/B

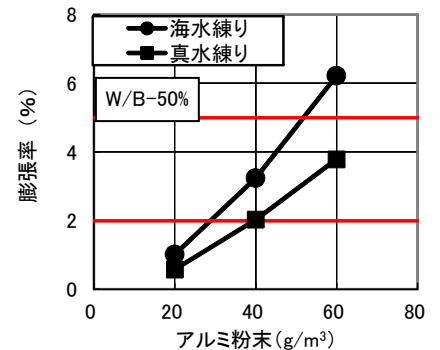


Fig. 5 膨張率とアルミ粉末添加量の関係  
Relationship of Expansion Rate and Aluminum Content

ら、コンクリートがらは内部に均一に分布し、モルタルはコンクリートがらの周囲に隙間なく充填されていることを確認できた。したがって、粒径200~400mmのコンクリートがらを粗骨材として使用する場合、モルタルのP漏斗流下時間は22秒程度で十分に充填できることが分かった。

また、粗骨材として使用したコンクリートがらのブロック中の容積率は50~53%であり、コンクリート1m<sup>3</sup>の製造によって0.5m<sup>3</sup>程度のコンクリートがらを処理できる。すなわち、コンクリートがらを破砕して製造した再生骨材を粗骨材として使用した練混ぜコンクリートの場合、粗骨材容積は一般に最大0.35m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>程度となるため、本工法を用いることで1.4倍以上のコンクリートがらを処理できることが分かった。

実験に使用したコンクリートがらの圧縮強度および材齢28日におけるコンクリートコアおよびモルタル（φ50×100mm）の圧縮強度をFig. 6に示す。モルタルの圧縮強度は、海水で練り混ぜることによって、真水練りの24N/mm<sup>2</sup>から36N/mm<sup>2</sup>（1.5倍）に増加した。また、海水を使用したコンクリートの圧縮強度は、真水の場合と比較して、プレパックドコンクリートで1.8倍、ポストパックドコンクリートで1.5倍に増加し、27 N/mm<sup>2</sup>程度となった。したがって、練混ぜ水として海水を使用したモルタルの強度が増加することにより、これを用いて作製したプレパックドコンクリートおよびポストパックドコンクリートの強度も増加することが分かった。

#### 4. 港湾用ブロックによる実証実験

##### 4.1 概要

4.1.1 対象構造物と施工方法 膨大な量の震災コンクリートがらを効率よく利用するには、できるだけ破砕の手間を省いた形での利用が望ましいことから、粒径300~500mmのコンクリートがらを使用した。対象とする港湾用ブロックは、無筋構造物である消波ブロック（25t型、高さ3.3m×幅3.94m）および根固めブロック（40t型、高さ1.5m×幅3.0m×長さ4.0m）とした。消波ブロックおよび根固めブロックの設計基準強度は18N/mm<sup>2</sup>である。製造方法は、形状が単純な根固めブロックはポストパックドコンクリート工法を採用し、形状が複雑で、後から

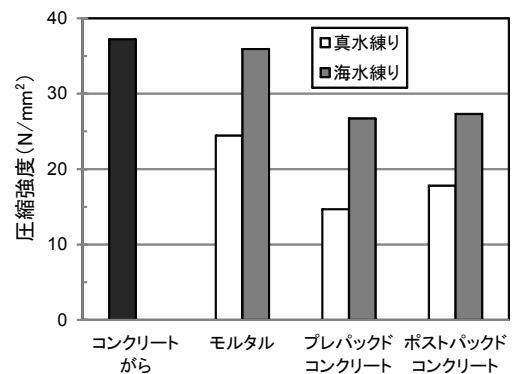
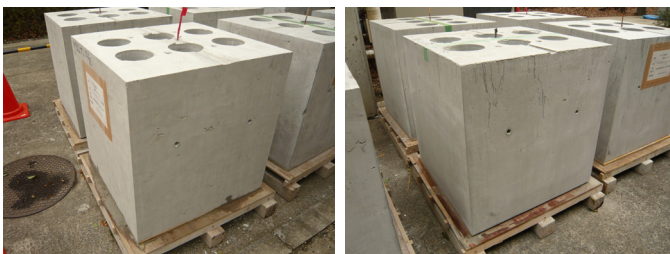
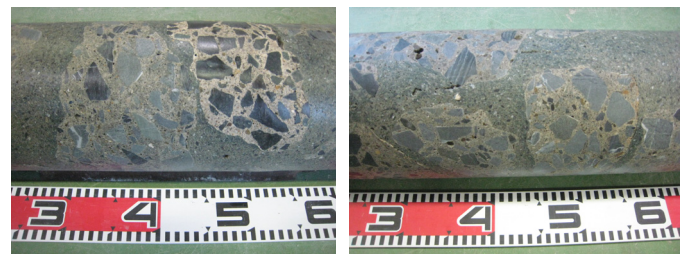


Fig. 6 圧縮強度試験結果（材齢28日）  
Compressive Strength (age of 28 days)



(a) プレパックドコンクリート (b) ポストパックドコンクリート

Photo 3 ブロックの外観  
Appearance of Blocks



(a) プレパックドコンクリート (b) ポストパックドコンクリート

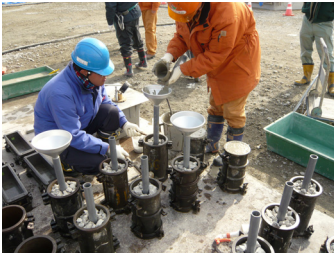
Photo 4 コアの断面  
Cut Surface of Core Sample

Table 6 モルタルおよびコンクリートの配合と品質  
Mix Proportion of Mortar and Concrete, and those Properties

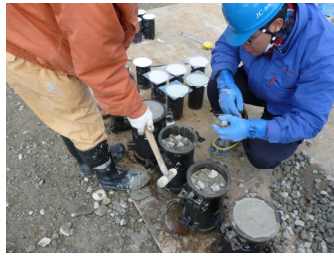
種別	練混ぜ水	W/B (%)	S/B	s/a (%)	配合					P漏斗流下時間(秒)	スランプ(cm)	空気量 (%)	
					W	B		S	G*				AI
					C	Ex							
プレパックドコンクリート用モルタル	海水	40.0	1.7	—	263	618	40	1119	—	0.04	58.3	—	10.0
	真水	40.0	1.7	—	263	618	40	1119	—	0.04	49.2	—	10.7
ポストパックドコンクリート用モルタル	海水	45.0	1.7	—	286	595	40	1080	—	0.04	33.0	—	9.0
	真水	45.0	1.7	—	286	595	40	1080	—	0.04	31.4	—	9.7
再生骨材コンクリート	真水	54.7	—	46.4**	175	320	—	269	1303	—	—	11.0	5.6

\*G：再生クラッシャーラン、表乾密度 2.20 g/cm<sup>3</sup>、吸水率12.4%、最大粒径 40mm  
\*\*Gのうち35%を占める5mm以下を砂とみなした場合、s/a=46.4%





(a) プレパックド  
コンクリート



(b) ポストパックド  
コンクリート

Photo 5 φ150mm供試体の作製状況  
Casting of Test Pieces



Photo 6 ブロックの作製状況  
(プレパックドコンクリート工法)  
Casting of Block  
(Pre-packed Concrete Method)



Photo 7 ブロックより  
採取したコア供試体  
Core Samples



(a) 消波ブロック  
(プレパックド  
コンクリート工法)



(b) 根固めブロック  
(ポストパックド  
コンクリート工法)

Photo 8 港湾用ブロックの施工状況  
Casting of Blocks for Port and Harbor



(a) 消波ブロック  
(プレパックド  
コンクリート工法)



(b) 根固めブロック  
(ポストパックド  
コンクリート工法)

Photo 9 港湾用ブロックの外観  
Appearance of Blocks for Port and Harbor

コンクリートがらの充填状況を確認できない消波ブロックはプレパックドコンクリート工法を採用した。また、比較のために、コンクリートがらを破碎して製造したRC-40相当の再生クラッシャーラン（粒径40mm以下）を粗骨材として使用した真水練りコンクリート（以下、再生骨材コンクリートと称す）を用いて同様の港湾用ブロックを製造した。モルタルおよびコンクリートの練混ぜには専用に建設した現地プラントを使用した。

**4.1.2 配合および品質管理** モルタルとコンクリートの配合をTable 6に示す。W/Bは消波ブロックで40.0%、根固めブロックで45.0%とした。再生骨材コンクリートの配合は、現地付近の市中プラントにおける設計基準強度18N/mm<sup>2</sup>の生コンクリートの配合計画書を参考に、W/Bを54.7%とした。3章において十分にモルタルが充填されたこと、粗骨材の粒径が300～500mmと大きく、注入する空隙が大きいことから、P漏斗流下時間の目標値を30～60秒程度とした。モルタルの空気量は8～12%、コンクリートの空気量は5.5±1.5%とした。3章における実験とはミキサの性能が異なるため、改めて試験練りを実施し、目標を満足する配合を決定した。粗骨材として使用したコンクリートがらは、被災した既設ケーソンの破碎がらを用いた。

圧縮強度は、粒径40mm程度のコンクリートがらを用いてプレパックドコンクリートおよびポストパックドコンクリートの製造方法に準じて作製したφ150×300mmの供試体（φ150供試体と称する、Photo 5）および粒径300～500mm程度のコンクリートがらを使用した1辺800mmのブロック（Photo 6）から成形した供試体（コア

供試体と称する、Photo 7）の2種類によって確認した。

## 4.2 試験結果

**4.2.1 圧縮強度** 港湾用ブロックの施工状況をPhoto 8に示す。脱型後の港湾用ブロックの表面状態をPhoto 9に示す。消波ブロック、根固めブロックともに、表面に空隙がなく、十分にモルタルが充填されていることが確認できた。圧縮強度試験結果をFig. 7およびFig. 8に示す。真水練りの場合、材齢28日において消波ブロックおよび根固めブロックの設計基準強度（18N/mm<sup>2</sup>）を上回ったが、海水練りの場合では材齢7日において設計基準強度を上回った。W/C=40.0%の海水練りの消波ブロックの強度は材齢28日で30N/mm<sup>2</sup>以上、W/C=45.0%の海水練りの根固めブロックの強度は材齢28日で25N/mm<sup>2</sup>以上となった。

消波ブロック、根固めブロックに関わらず、圧縮強度は真水練りと比較して海水練りの方が高かった。真水練りに対する強度の増加割合は特に若材齢で大きく、材齢7日で1.3～1.7倍、材齢28日で1.2～1.5倍、材齢91日で1.2～1.4倍であった。この結果から、練混ぜ水として海水を使用することによるコンクリートの強度増加は実構造物においても実証された。

材齢7日の圧縮強度に対する各材齢の圧縮強度について、再生骨材コンクリートの場合は材齢28日で1.5倍、材齢91日で2.0倍だったのに対し、海水練りのプレパックドコンクリートおよびポストパックドコンクリートの場合は、材齢28日で1.2～1.3倍、材齢91日で1.3～1.5倍とさらに低い傾向にあった。これは、粒径の大きいコンクリートがらを粗骨材として使用した場合、圧縮強度はコンク

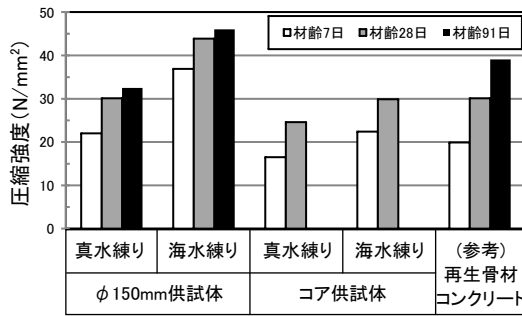


Fig. 7 消波ブロック（プレパックドコンクリート工法）の圧縮強度  
Compressive Strength of Wave-dissipating Block

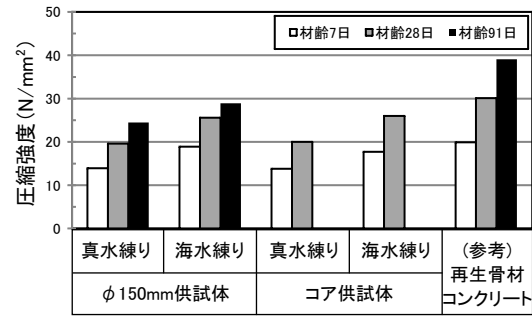


Fig. 8 根固めブロック（ポストパックドコンクリート工法）の圧縮強度  
Compressive Strength of Foot Protection Block

リートがらやコンクリートがらとモルタルとの界面の強度に依存することや、練混ぜ水に海水を使用することで早期に強度が発現するため、長期の強度増加が緩やかになることが原因であると考えられる。

φ150mm供試体とコア供試体を比較すると、海水練りの場合の真水練りに対する圧縮強度の増加割合は、コア供試体よりもφ150mm供試体の方が大きい傾向にあった。また、ポストパックドコンクリートでは両者の圧縮強度に大きな差がなかったが、プレパックドコンクリートの場合はコア供試体よりもφ150mm供試体の圧縮強度が高かった。これはコア供試体の場合、コア径（φ150mm）に対してコンクリートがらが大きい（φ300mm以上）ため、コア供試体に占めるコンクリートがらの割合や位置、コンクリートがらの品質のばらつき等が影響していると考えられる。

**4.2.2 単位容積質量** 供試体（プレパックドコンクリート、ポストパックドコンクリートの場合はコア供試体）の単位容積質量をFig. 9に示す。再生骨材コンクリートの単位容積質量は2,060 kg/m<sup>3</sup>であったのに対し、破碎を省略したコンクリートがらを使用したプレパックドコンクリートおよびポストパックドコンクリートの単位容積質量は2,190～2,230 kg/m<sup>3</sup>と比較的大きかった。これは、モルタル（単位容積質量約2,000 kg/m<sup>3</sup>）よりも単位容積質量の大きいコンクリートがら（単位容積質量2,370 kg/m<sup>3</sup>）の容積比率が50%程度と多いことに起因していると考えられる。したがって、本工法では一度に大量のコンクリートがらを処理することが可能なおうえ、破碎したコンクリートがらを使用した練混ぜコンクリートと比較して単位容積質量が大きくなることが分かった。

## 5. まとめ

震災によって発生したコンクリートがらの有効利用を目的として、破碎過程を省略したコンクリートがらと海水を使用したコンクリートを開発するとともに、港湾用ブロックによる実証試験を行った。プレパックドコンクリート工法およびポストパックドコンクリート工法に関する検討を行った結果、得られた主な結論を以下に示す。

1) 粒径300～500mmのコンクリートがらを粗骨材とし

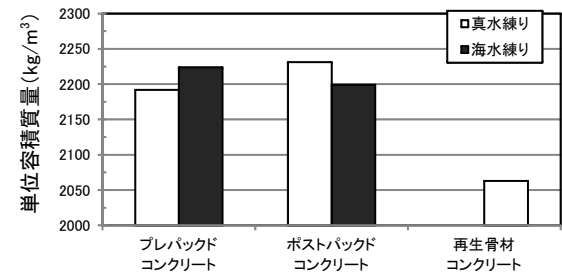


Fig. 9 単位容積質量  
Unit Weight

- て使用する場合、プレパックドコンクリート用モルタルの流動性は、P漏斗流下時間30～60秒で十分に充填することができる。同様のモルタルを用いてポストパックドコンクリート工法でも施工が可能である。
- 練混ぜ水として海水を使用することで、早期強度が増大し、脱型時期を短縮することができる。材齢91日においても、圧縮強度は真水を使用した場合と比較して高い。
  - 本工法によりコンクリートがらの破碎工程を大幅に省略することができ、かつ一度に大量のコンクリートがらを有効利用することができる。さらに、再生骨材コンクリートと比較して単位容積質量が大きくなる。

## 謝辞

本技術は、国土交通省東北地方整備局「東北港湾の災害復旧工事における技術の応募」において実証試験として実施されたものです。港湾用ブロックによる実証実験に際し、日起建設株式会社および株式会社不動テトラに多大なご協力を賜りました。ここに深く感謝いたします。

## 参考文献

- 竹田宣典, 他: 海水を使用したコンクリートの強度および水密性の向上効果, 土木学会第66回年次学術講演会講演概要集, pp.581-582, (2011.9)