

震災がらを利用した海水練りコンクリートの試験施工

株式会社大林組 正会員 ○谷田部勝博 新村 亮 竹田宣典 片野啓三郎
東京工業大学 フェロー 大即 信明
東北大学 正会員 久田 真
国土交通省東北地方整備局 神原 晋

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。筆者らは、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（以下、震災がら）の有効利用に着目した。被災地においては迅速かつ効率的な処理が求められており、廃棄するのではなく、かつできる限り手を加えずに使用できれば有効である。そこで、破碎過程を極力省略した震災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。これにより、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り、大割の震災がらを粗骨材として使用することが可能となる。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¹⁾。

本報では、海水を使用したモルタルの配合を選定し、震災がらを粗骨材としたコンクリートブロックの品質を確認した。また、本技術を適用して築造した港湾用ブロックの施工事例について報告する。

2. 震災がらの有効利用方法

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、型枠に粗骨材をあらかじめ詰め、注入管によりモルタルを注入する工法である。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必要である。震災がらを用いたプレパックドコンクリート工法の概要を図-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、モルタルを型枠内に打込み、その後、粗骨材を投入する工法である。震災がらを用いたポストパックドコンクリート工法の概要を図-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を検討し、目標性能を満足する配合を決定した。このモルタルを使用し、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のコン

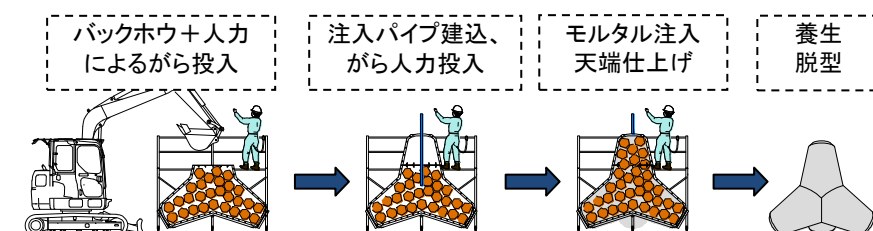


図-1 プレパックドコンクリート工法

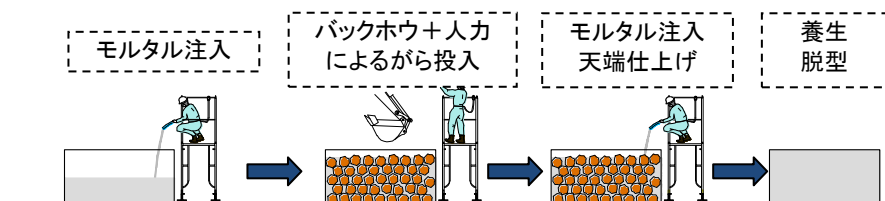


図-2 ポストパックドコンクリート工

キーワード 震災がら、海水練り、プレパックド工法、ポストパックド工法、港湾構造物

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 TEL03-5769-1322

クリートブロックを作製し、その品質を評価した。粗骨材として寸法 200～400mm の震災がらを使用した。震災がらの外観を写真-1に、物性を表-1に示す。

実験に用いたモルタルの使用材料を表-2に、目標性能を表-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表-4に示す。基本配合に対し、モルタルと震災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。

モルタルの試験は、表-3に示す方法により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の寸法は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、モルタルの空気量は8.0～12.0%を目標とした。作製したブロックについて、モルタルの充填性を目視により確認し、コアを採取して圧縮強度試験を実施した。

3.2 試験結果

3.2.1 モルタルの品質

P漏斗流下時間とS/Bの関係を図-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高くなった。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の関係を図-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図-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/m³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/m³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表-5に示す。ブリーディング率についても目標値（3%以下）



写真-1 コンクリートがら

表-1 コンクリートがらの物性

項目	測定結果
寸法 (mm)	200～400
密度 (g/cm ³)	2.37
吸水率 (%)	7.18
圧縮強度 (N/mm ²)	37.2

表-2 モルタルの使用材料

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 ³
	膨張材	Ex	主成分：CaO, 密度：3.16g/cm ³
細骨材	砕砂	S	密度：2.66g/cm ³ , 寸法：5mm 以下
発泡剤	アルミニウム粉末	Al	反応遅延タイプ

表-3 モルタルの目標性能

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%

表-4 モルタルの基本配合

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

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写真-2に、材齢28日において採取した直径150mmのコアの表面を写真-3に示す。ブロックの表

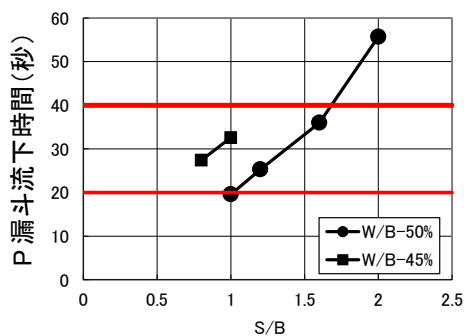


図-3 P 漏斗流下時間と S/B の関係

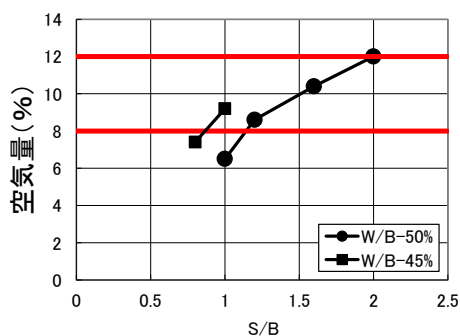


図-4 空気量と S/B の関係

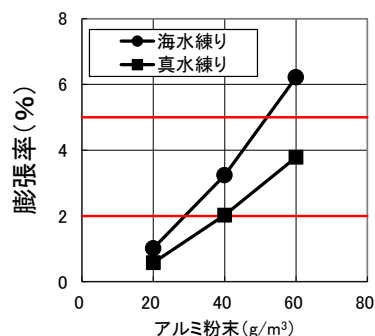


図-5 膨張率とアルミ粉末添加量の関係

表-5 決定配合と品質

W/B (%)	S/B	単位量 (kg/m ³)					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

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、コアの表面状態から、震災がらは内部に均一に分布し、モルタルは震災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、寸法 200～400mm の震災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震災がらのブロック中の容積率は 50～53% であり、コンクリート 1m³ の製造によって 0.5m³ 程度の震災がらを処理できる。すなわち、震災がらを破碎して製造した φ25mm 程度の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、単位粗骨材容積は一般に 0.37m³/m³ 程度であるので、本工法を用いることで 1.3 倍以上の震災がらを処理できることが分かった。

実験に使用した震災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) の圧縮強度を図-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/mm² から 36N/mm² (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 1.5 倍、ポストパックドコンクリートで 1.8 倍に増加し、27 N/mm² 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

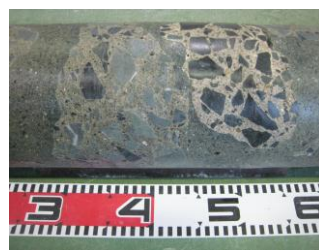


(a)プレパックドコンクリート



(b)ポストパックドコンクリート

写真-2 ブロックの外観



(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

写真-3 コアの表面

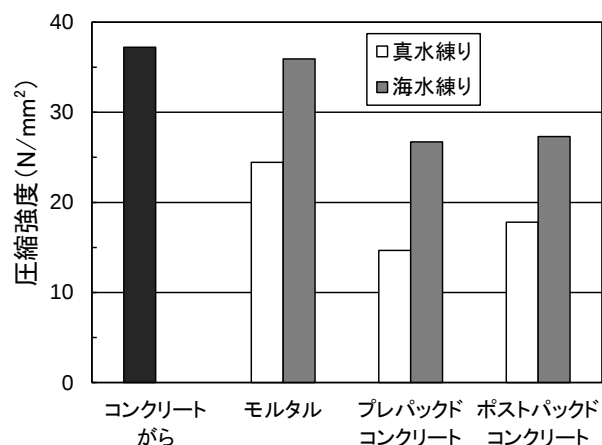


図-6 圧縮強度試験結果 (材齢 28 日)

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. 港湾用ブロックへの適用

4.1 概要

4.1.1 対象構造物と施工方法

膨大な量の震災震災がらを効率よく利用するには、できるだけ破碎の手間を省いた形での利用が望ましいことから、寸法300～500mmの震災がらを使用した。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/mm²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ドコンクリート工法を採用し、形状が複雑で、後から震災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ドコンクリート工法を採用した。これらの港湾用ブロックの施工状況を写真-4、5に示す。モルタル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表-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。3章において十分にモルタルが充填されたこと、粗骨材寸法が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震災がらは、被災した既設ケーソンの破碎がらを用いた。

圧縮強度は、寸法40mm程度の震災がらを用いてプレパッドコンクリートおよびポストパッ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、写真-6）および寸法300～500mm程度の震災がらを使用した1辺800mmのブロックから成形したコア供試体（コア供試体と称する、写真-7および写真-8）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

脱型後の港湾用ブロックの表面状態を写真-9および写真-10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



(a) がら投入状況



(b) モルタル注入状況

写真-4 消波ブロックの施工状況
(プレパッドコンクリート工法)



(a) がら投入状況



(b) モルタル注入（仕上げ）状況

写真-5 根固めブロックの施工状況
(ポストパッドコンクリート工法)

表-6 モルタルおよびコンクリートの配合と品質

種別	練混ぜ水	W/B (%)	S/B	s/a (%)							P漏斗 流下時間(秒)	スラン プ(cm)	空気 量 (%)
					W	B		S	G*	Al			
						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

*G：再生クラッシャーラン，密度 2.31 g/cm³，寸法 40mm 以下



(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

写真-6 φ150 供試体の作製状況

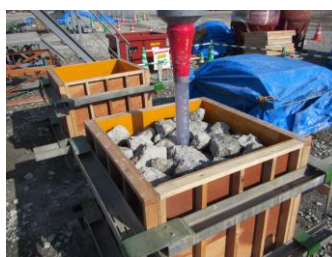


写真-7 ブロック作製状況
(プレパックドコンクリート工法)



写真-8 ブロックより
採取したコア供試体

れていることが確認できた。圧縮強度試験結果を図-7 および図-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/mm²）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/B=40.0%の海水練りの消波ブロックの強度は材齢 28 日で 30N/mm² 以上、W/B=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/mm² 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。したがって、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。

早期強度については、海水練りプレパックドコンクリートで材齢 1 日強度が 5.4N/mm² を発現し、消波ブロックの転地強度 5N/mm² を満足することが確認できた。

φ150mm 供試体とコア供試体を比較すると、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



写真-9 震災がらと海水を用いて
製造した消波ブロック



写真-10 震災がらと海水を用いて
製造した根固めブロック

かった。これはコア供試体の場合、コア径（φ150mm）に対して震災がらが大きい（φ300mm 以上）ため、コア供試体に占める震災がらの割合や位置、震災がらの品質のばらつき等が影響していると考えられる。

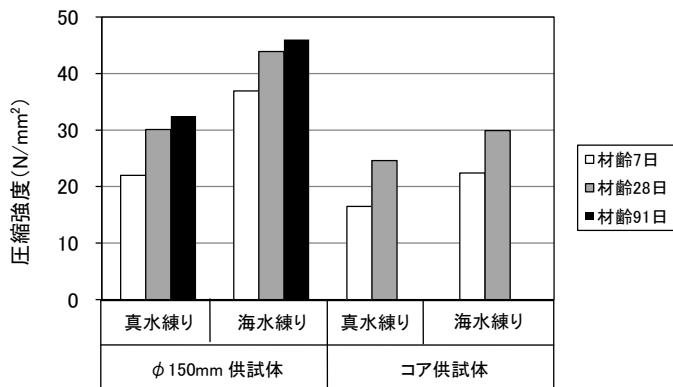


図-7 消波ブロックの圧縮強度
(プレパックドコンクリート)

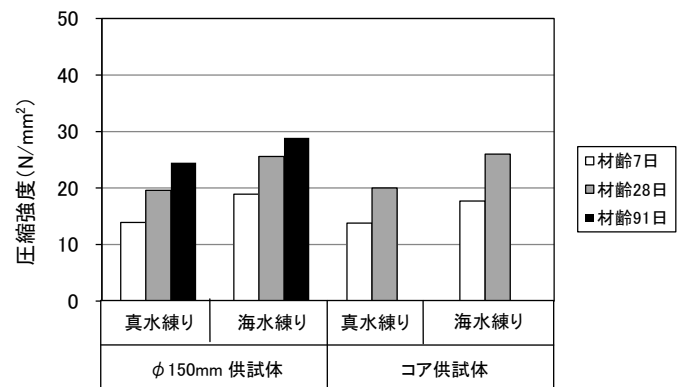


図-8 根固めブロックの圧縮強度
(ポストパックドコンクリート)

4.2.2 単位容積質量

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で施工した各ブロックの質量を測定した結果、単位容積質量は2.24～2.25 t/m³であった。

5. まとめ

震災によって発生した震災がらの有効利用を目的として、破碎過程を省略した震災がらと海水を使用したコンクリートを開発し、港湾用構造物への適用によって実証試験を行った。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) 寸法300～500mmの震災がらを粗骨材として使用する場合、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。
- 2) 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。
- 3) 本工法により震災がらの破碎工程を大幅に省略することができ、かつ一度に大量の震災がらを有効利用することができる。
- 4) 寸法300～500mmの震災がらを粗骨材として使用した、プレパックドコンクリートまたはポストパックドコンクリートの単位容積質量はおよそ2.25t/m³であった。

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」に応募し、実証試験として実施されたものである。港湾用ブロックの試験施工に際し、日起建設株式会社および株式会社不動産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

- 1) 竹田宣典ほか：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)