

報告 震災で発生したコンクリートがらと海水を使用した港湾用ブロックの製造

竹田 宣典*1・片野 啓三郎*2・久田 真*3・大即 信明*4

要旨: 東日本大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、破碎を極力省略した大割り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、施工方法について検討した。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より、大割りのコンクリートがらを粗骨材として多量に使用することが可能となる。また、練り混ぜ水として海水を使用することにより、コンクリートの早期強度発現や強度増進が図れ、工期短縮が期待できる。本報告では、大割りのコンクリートがらと海水を使用し、港湾用ブロックを製造した実証試験とそれらのコンクリートの品質について報告する。

キーワード: 東日本大震災、コンクリートがら、海水、プレパックドコンクリート、港湾用ブロック

1. はじめに

東日本大震災では、岩手、宮城、福島 の 3 県で約 1802 万トンの災害廃棄物が発生し、そのうち概算で約 400 万トンがコンクリートがらであると推計される¹⁾。発生したコンクリートがらの多くは破碎され、路盤材や盛土材として再利用されているが、被災地においては、より迅速かつ効率的な処理が求められ、できる限り破碎を行わない方法による処理の迅速化やコスト削減が望まれている。

また、震災直後はライフラインの寸断により、真水の調達が困難となることが危惧され、このような場合においても、比較的容易に調達できる海水を練り混ぜ水として使用することによって、コンクリートの早期強度発現や強度増進が図れ、工期短縮が期待される^{2),3),4)}。

また、東北地方ではコンクリート用骨材が不足する状況にあり、コンクリートがらを骨材として、有効利用することも期待されている。

これらのことを鑑み、プレパックドコンクリート工法^{5),6),7)}およびモルタル打設後に粗骨材を投入するポストパックドコンクリート工法^{6),7)}を応用し、破碎過程を極力省略した大割り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い、これらの方法を適用した港湾用の消波ブロックおよび根固めブロックの製造実証試験について報告する^{8),9)}。

2. コンクリートがらの有効利用の方法

震災で発生した大割りのコンクリートがら(写真-1)を、できるだけ破碎を行わずにコンクリート用材料として有効利用する場合、コンクリートがらの寸法は大きい



写真-1 震災で発生したコンクリートがら

ため、骨材として通常のみキサで練り混ぜることは難しい。そこで、下記の 2 つの方法の適用を検討した。

また比較のため、コンクリートがらを破碎して製造した RC40 相当の再生クラッシュラン(粒径 40mm 以下)を粗骨材として使用したコンクリート(再生骨材コンクリート)を用いて、同様の港湾用ブロックを製造した。

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の概要を図-1 に示す。大割りのコンクリートがらを型枠に投入し、型枠内に挿入した注入パイプから充填モルタルを注入する。型枠中のコンクリートがらの充填状況を注入前に確認し易いため、比較的複雑な形状の構造物にも適用できる。使用する充填モルタルは、材料分離やブリーディングが少なく、流動性が高いなどの性質が必要である。

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の概要を図-2 に示す。あらかじめ型枠内に充填モルタルを打ち込み、その

*1 株式会社大林組 技術研究所生産技術研究部 上級主席技師 博士(工学)(正会員)

*2 株式会社大林組 技術研究所生産技術研究部 主任 修士(工学)(正会員)

*3 東北大学大学院 工学研究科 土木工学専攻 教授 博士(工学)(正会員)

*4 東京工業大学大学院 理工学研究科 国際開発工学専攻 教授 工博(正会員)

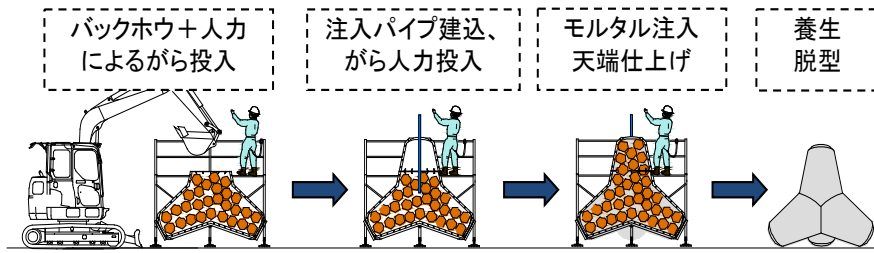


図-1 プレパックドコンクリート工法の概要

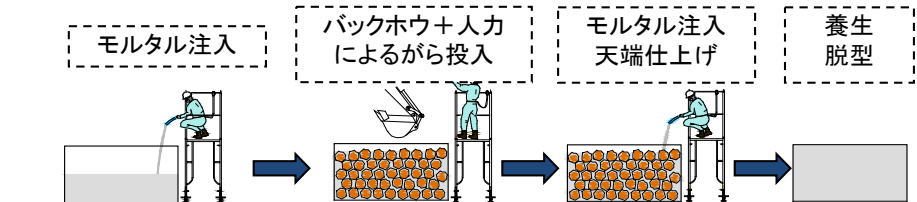


図-2 ポストパックドコンクリート工法の概要

後、大割りのコンクリートがらを投入する。比較的流動性の低いモルタルでも未充填の懸念は少なく施工できるが、投入後の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している。

3. コンクリートがらを用いた港湾用ブロックの製造

3.1 製造方法の概要

(1) 対象構造物

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。

(2) 使用材料および配合

膨大な量のコンクリートがらを効率よく利用するには、できるだけ破碎の手間を省いた形での利用が望まし

表-1 コンクリートがらの物性値

項目	物性値
寸法 (mm)	300~500
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	摘要
(W)	真水	上水道水
	海水	塩化物イオン濃度:1.88%
(B)	高炉セメント B種	密度:3.04g/cm ³
	膨張材	主成分:CaO, 密度:3.16g/cm ³
(S)	砕砂	密度:2.66g/cm ³ , 粒径:5mm以下
(Al)	アルミニウム粉末	反応遅延タイプ

表-3 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 (%)	単位量 (kg/m ³)					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
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: 再生クラッシュラン (RC40相当), 表乾密度 2.20 g/cm³, 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%

いことから、粒径 300～500mm の大割り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物性値を表-1 に示す。コンクリートがらの密度は 2.37g/cm³、圧縮強度は 37.2N/mm² であった。密度と吸水率試験は、JIS A 1110「粗骨材の密度及び吸水率試験方法」に準拠し、コンクリートがらを粗骨材として行い、圧縮強度試験は、JIS A 1107「コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法」に準拠し、コンクリートがらから直径 50mm のコアを採取して行った。

充填モルタルおよびコンクリートの使用材料を表-2 に示し、配合および品質を表-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。一般に海水の密度は 1.02～1.03g/cm³ 程度であるが、ここでは、練混ぜ水の密度は、いずれも 1.00g/cm³ として配合計算を行った。水結合材比 (W/B) は、ブロックの設計基準強度、打ち上がり高さの違いによるブリーディングの発生状況および施工性を考慮して、消波ブロックでは 40.0%、根固めブロックでは 45.0% とした。また、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膨張剤 (アルミ粉末) を使用し、収縮ひび割れ抑制を目的として膨張材を使用した。

表-4 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)	30～60 秒
空気量 (JIS A 1128)	8.0～12.0%
ブリーディング率 (JSCE F 522)	3%以下 (3 時間)
膨張率 (JSCE F 522)	2～5%

再生骨材コンクリートの配合は、現地付近のレディミクストコンクリート工場における呼び強度 18 N/mm² の配合を参考にして、W/B を 54.7% とした。

(3) 充填モルタルの性能

充填モルタルの目標性能を表-4 に示す。粗骨材として使用するコンクリートがらの寸法は 300～500mm であり、粗骨材間の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。また、凍結融解抵抗性の確保から、充填モルタルの空気量は 8.0±2.0%、コンクリートの空気量は 5.5±1.5% とした。なお、これらの充填モルタルは事前の室内実験によって、練上がり後 60 分まで可使時間があることを確認した。

(4) 強度の確認方法

圧縮強度は、ふるい分けにより粒径 40mm 程度に選別したコンクリートがらを粗骨材として用い、プレパック



(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 φ150mm 供試体の作製状況



写真-3 ブロックの作製状況
(プレパックドコンクリート)



(a) 消波ブロック (プレパックドコンクリート)



(b) 根固めブロック (ポストパックドコンクリート)

写真-4 港湾用ブロックの施工状況

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 (2. ①, 2. ②参照) に準じて作製した直径 150, 高さ 300mm の供試体 (φ150 供試体, 写真-2) と寸法 300~500mm のコンクリートがらを使用して作製した 1 辺 800mm の試験用ブロック (写真-3) から採取したコア供試体の 2 種類によって確認した。

(5) 製造・施工方法

港湾用ブロックの製造状況を写真-4 に示す。形状が複雑であるが、型枠中のコンクリートがらの充填状況を確認できる消波ブロックには、プレパックドコンクリート工法を適用し、単純な形状の根固めブロックには、ポストパックドコンクリート工法を適用した。いずれの工法においても、1 辺 800mm のブロックによる室内実験および実証試験において、型枠中へ投入したコンクリートがらあるいはモルタルの使用量を測定し、1m³ 当たり約 0.5m³ のコンクリートがらを使用できることを確認した。

充填モルタルおよびコンクリートの練混ぜには、写真-5 に示すような専用の現地プラントを使用した。



写真-5 専用現地プラント



(a) 消波ブロック
(プレパックドコンクリート)



(b) 根固めブロック
(ポストパックドコンクリート)

写真-6 港湾用ブロックの表面状態

3.2 品質の確認

(1) 注入モルタルの充填状況

脱型後の港湾用ブロックの表面状態を写真-6 に示す。消波ブロック、根固めブロックともに、コンクリートの表面に未充填箇所はなく、十分にモルタルが充填されていることが確認された。

また、試験用ブロックから採取したコア供試体の表面状態を写真-7 に示す。コアの表面に未充填箇所や空隙はなく、充填モルタルはコンクリートがらの間隙に十分に充填しており、コンクリートがらと充填モルタルの界面も良好に密着していることが確認された。

(2) 圧縮強度

プレパックドコンクリート工法により作製したφ150



写真-7 試験用ブロックより採取したコア供試体
(プレパックドコンクリート)

供試体およびコア供試体の圧縮強度を図-3 に示し、ポストパックドコンクリート工法の圧縮強度を図-4 に示す。

いずれのコア供試体においても、港湾用ブロックの設計基準強度（18N/mm²）が発現する時期は、充填モルタルの練混ぜ水に真水を使用した場合は材齢 28 日であったが、海水を使用した場合で材齢 7 日となり、海水を用いることにより、圧縮強度が著しく増大した。

また、海水使用の場合の真水使用に対するφ150 供試体の圧縮強度は、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 倍であり、海水の使用により、特に初期材齢における強度が増大し、脱枠時期を早めることが可能である。

海水を用いたコア供試体の材齢 28 日における圧縮強度は、消波ブロック（W/C=40.0%）では 30N/mm² 以上、根固めブロック（W/C=45.0%）では 25N/mm² 以上が得られた。震災で発生したコンクリートがらを使用して、プレパックドコンクリート工法あるいはポストパックドコンクリート工法を適用した場合においても、港湾用ブロックとして十分な強度が発現することが確認された。

また、材齢 7 日において、海水を使用した場合のφ150 供試体の圧縮強度は、真水使用の再生骨材コンクリート（W/C：54.7%）と比較して、プレパックドコンクリートで 1.7 倍程度となり、ポストパックドコンクリート工法では、ほぼ同等の圧縮強度が得られた。

φ150mm 供試体とコア供試体の圧縮強度を比較すると、ポストパックドコンクリートでは両者に大きな差はなかったが、プレパックドコンクリートでは、コア供試体よりもφ150mm 供試体の圧縮強度が高くなった。これは、コア供試体の場合、コアの直径（φ150mm）に対してコンクリートがらの寸法（300～500mm）が大きいため、コア供試体に占めるコンクリートがらの割合や位置、あるいはコンクリートがらの品質のばらつき等が影響しているためと考えられる。

(3) 単位容積質量

コア供試体および再生骨材コンクリートの単位容積質量を図-5 に示す。RC40 程度のクラッシャーランを用いた再生骨材コンクリートの単位容積質量は 2.0t/m³ 程度であったが、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 2.20～2.25t/m³ 程度に大きくすることができた。

これは、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は、充填モルタル（単位容積質量：約 2,000 kg/m³）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/m³）を容積比率で 50% 程度と多く使用できることに起因していると考えられる。

したがって、本工法では大量のコンクリートがらを迅

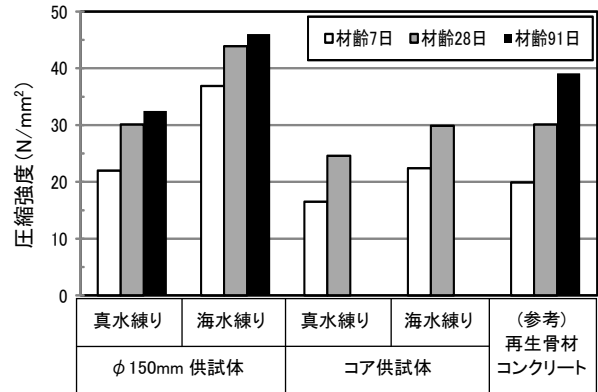


図-3 消波ブロック(プレパックドコンクリート)の圧縮強度

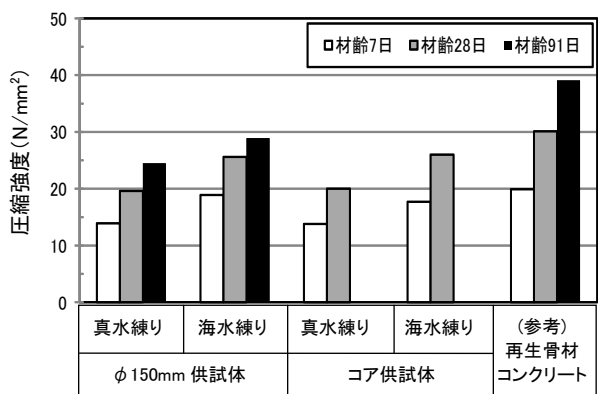


図-4 根固めブロック(ポストパックドコンクリート)の圧縮強度

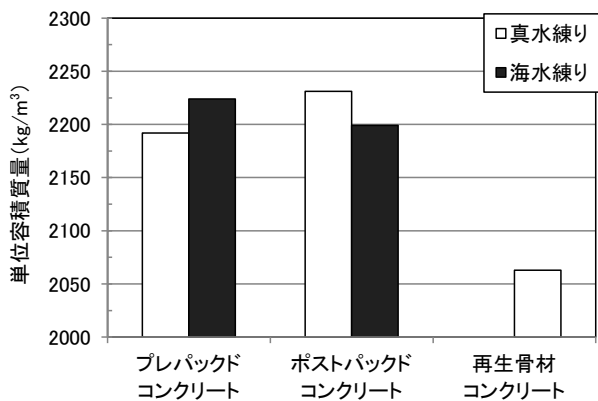


図-5 コア供試体の単位容積質量

速に処理することが可能なばかりでなく、コンクリートがらを破碎し粗骨材として練混ぜたコンクリートと比べて、単位容積質量の増大を図ることが可能である。

4. 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、極力破碎することなく、大割りのままのコンクリートがらと練混ぜ水として海水を使用し、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を適用することにより、港湾用ブロックを現地に製造することができることが確認された。主な結論を以下に示す。

- (1) 寸法 300～500mm のコンクリートがらを粗骨材として用い、港湾用ブロックの製造が可能である。
- (2) 充填モルタルの練混ぜ水として海水を使用することにより、早期強度が増大し、脱型時期を短縮することが可能である。また、材齢 28 日において、港湾用ブロックとしての十分な圧縮強度が得られる。
- (3) コンクリート 1m³中に約 0.5m³のコンクリートがらを利用でき、寸法 40mm 程度に破砕した再生骨材を用いたコンクリートに比べて、より多くのコンクリートがらを使用でき、単位容積質量を大きくできる。

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ある。港湾用ブロックによる実証実験に際し、日起建設株式会社殿および株式会社不動テトラ殿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) 公益社団法人日本コンクリート工学会：東日本大震災に関する特別委員会報告書，2013.3
- 2) 伽場重正，他：練り混ぜ水に海水を使用したコンクリートの諸性質について，材料，第 42 巻，第 260 号，1975.5
- 3) 大即信明，他：海洋環境におけるコンクリート中の塩素に関する一考察，土木学会論文報告集，第 322 号，1983.4
- 4) 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
- 5) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書[施工編]，2013.3
- 6) 小林一輔：コンクリートの文明誌，岩波書店，2004.10
- 7) 加賀谷誠，他：再生粗骨材を用いたプレパックドコンクリート及びポストパックドコンクリートの基礎性状，セメント・コンクリート論文集 No.50，pp.814-819，1996.12
- 8) 片野啓三郎，他：震災コンクリートがらと海水を使用したプレパックドコンクリートの品質，土木学会第 68 年次学術講演会講演概要集，pp.17-18，2013.9
- 9) 谷田部勝博，他：震災がらを利用した海水練りコンクリートの試験施工，土木学会第 68 年次学術講演会講演概要集，pp.19-20，2013.