

震災がれきのコンクリート殻を用いた リサイクルコンクリートのブロックへの適用

東洋建設(株) ○正会員 末岡 英二 正会員 森田 浩史 フェロー 佐野 清史
小倉 勝利 石井 英久
(独)港湾空港技術研究所 正会員 山路 徹
東洋大学 フェロー 福手 勤
九州大学 正会員 濱田 秀則

1. はじめに

現在、東日本大震災で被災した港湾の災害復旧工事が進められているが、当初から骨材不足等による生コンクリートの調達が困難になるなど、港湾建設資材の円滑な調達が課題とされた。また、被災した港湾構造物を撤去する際に発生するコンクリート殻は、主としてケーソンの中詰めとして活用されているが、その他の用途として、コンクリート用骨材等の港湾工事資材として有効活用する技術も求められている。本稿では、国土交通省東北地方整備局が公募した「震災がれき等を港湾建設資材として活用する技術」の一つとして、震災がれきのコンクリート殻を用いたリサイクルコンクリートを、防波堤ブロックの一部に適用した事例を紹介する。

2. 技術の概要

コンクリート殻の活用方法として、コンクリート殻を骨材としたプレパックドコンクリートとしての利用¹⁾、²⁾、コンクリート殻を粗く破碎して、そのまま水とセメントと混合する転圧コンクリートとしての利用³⁾、コンクリート殻を破碎機により破碎して、その全量を骨材としてコンクリートを製造する現場再生コンクリートとしての利用⁴⁾などが考えられている。当該技術は、一般的な構造物の解体によって発生するコンクリート殻（主に路盤材として使用されている80mm程度の殻）を対象として、高度な処理することなく、簡易な方法でそのまま使用できることを目的とした技術であり、震災がれきのコンクリート殻を用いた防波堤ブロックへの適用を検討した。本技術の特徴として、あらかじめ型枠内に充填したコンクリート（以下、充填コンクリートと称す）内に、コンクリート殻をポストパックド方式により投入し、バイブレータ等により混合・締固めることがあげられる。プレパックド方式の場合、充填モルタルの製造管理が必要となることや、硬化後のコンクリート表面の一部に沈下ひび割れを生じる場合もあり、コンクリート殻とコンクリートをポストパックド方式で一体化させることにより、良好な強度発現や長期強度の確保が確認されている⁵⁾、⁶⁾。本技術でのリサイクルコンクリートの作製イメージを図-1に示す。

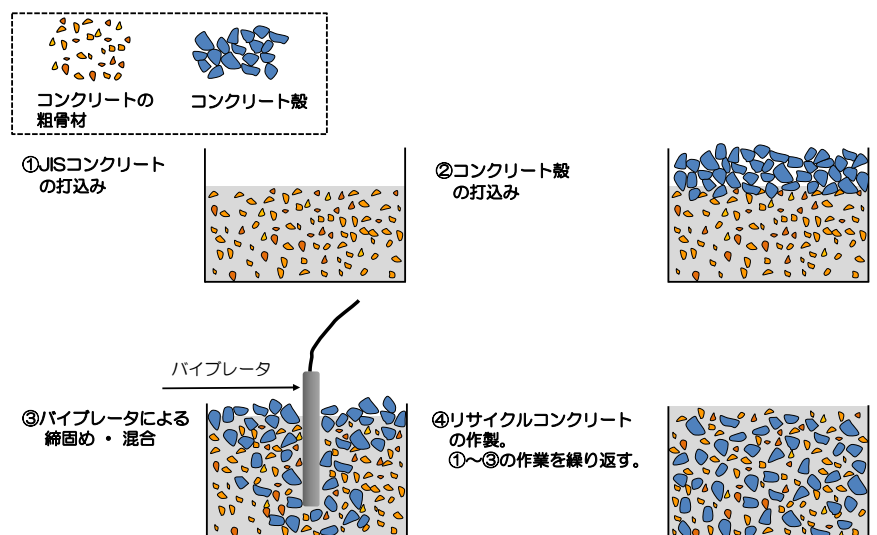


図-1 リサイクルコンクリートの作製イメージ

キーワード 震災がれき、コンクリート殻、リサイクルコンクリート、ポストパックド、ブロック

連絡先 〒300-0424 茨城県稲敷郡美浦村受領 1033-1 東洋建設(株)美浦研究所 TEL 029-885-7511

3. 実証実験の概要

(1) 適用構造物

防波堤本体のコンクリートブロック（以下、ブロックと称す）3基に適用した。防波堤の構造一般図を図-2に、本体ブロックの平面図・断面図を図-3に示す。

(2) コンクリート殻

コンクリート殻の状況を写真-1に示す。使用したコンクリート殻は、被災したケーソン、上部コンクリートや、ブロック等を取り壊した震災がれきから製造したものである。ある程度破碎した後、自走式スクリーンにより、粒径が25～80mmとなるようふるい分けを行った。その後、コンテナバックに保管し、施工当日に真水により散水して使用した。また、コンクリート殻の物性値を表-1に、粒度分布を図-4に示す。コンクリート殻にはコンクリートとの付着を阻害するような油分や有機物は見られなかった。その密度は一般的なコンクリートの設計値2.3ton/m³と同等であり、コンクリート用砕石のJIS規格に対して、吸水率はやや大きい値を示し、微粒分量や実積率は規格値を満足した。

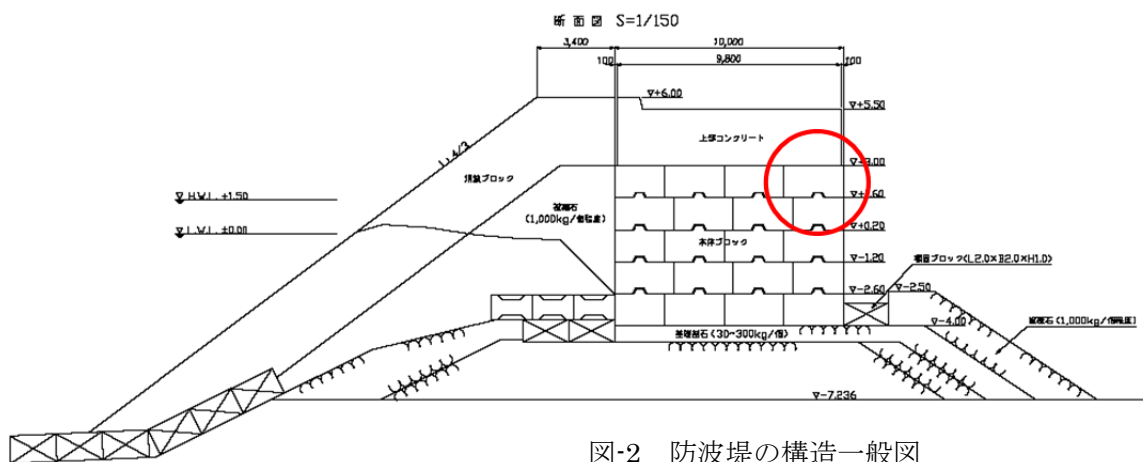


図-2 防波堤の構造一般図

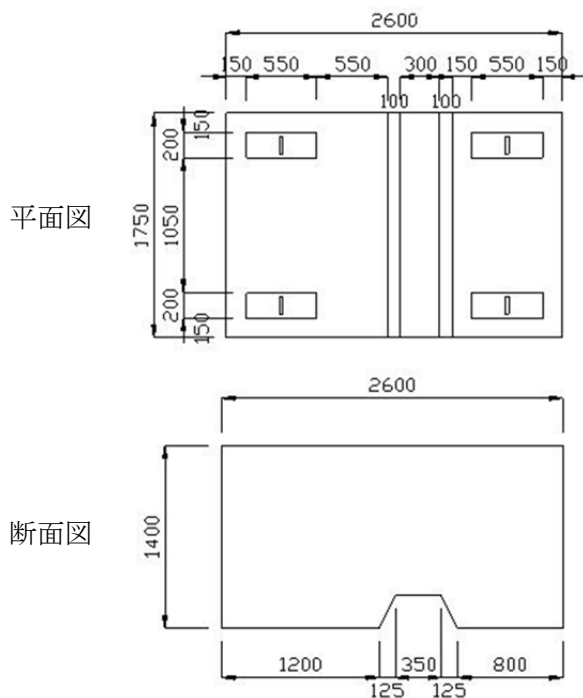


図-3 ブロックの仕様



写真-1 コンクリート殻の状況

表-1 コンクリート殻の物性値

項目	測定値	砕石のJIS規格
骨材寸法	25～80 mm	—
絶乾密度	2.32 g/cm ³	2.5 g/cm ³ 以上
表乾密度	2.43 g/cm ³	—
吸水率	4.79 %	3.0 % 以下
微粒分量	1.1 %	3.0 % 以下
実積率	58.1 %	56 % 以上

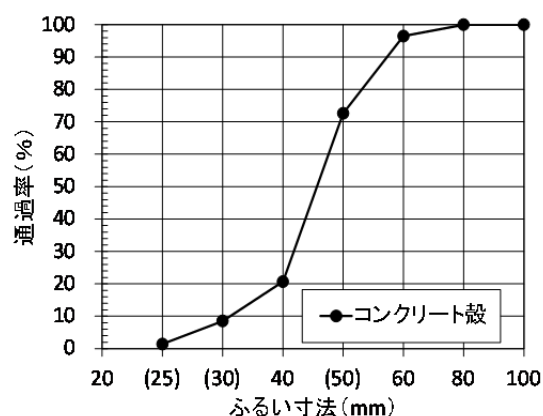


図-4 コンクリート殻の粒度分布

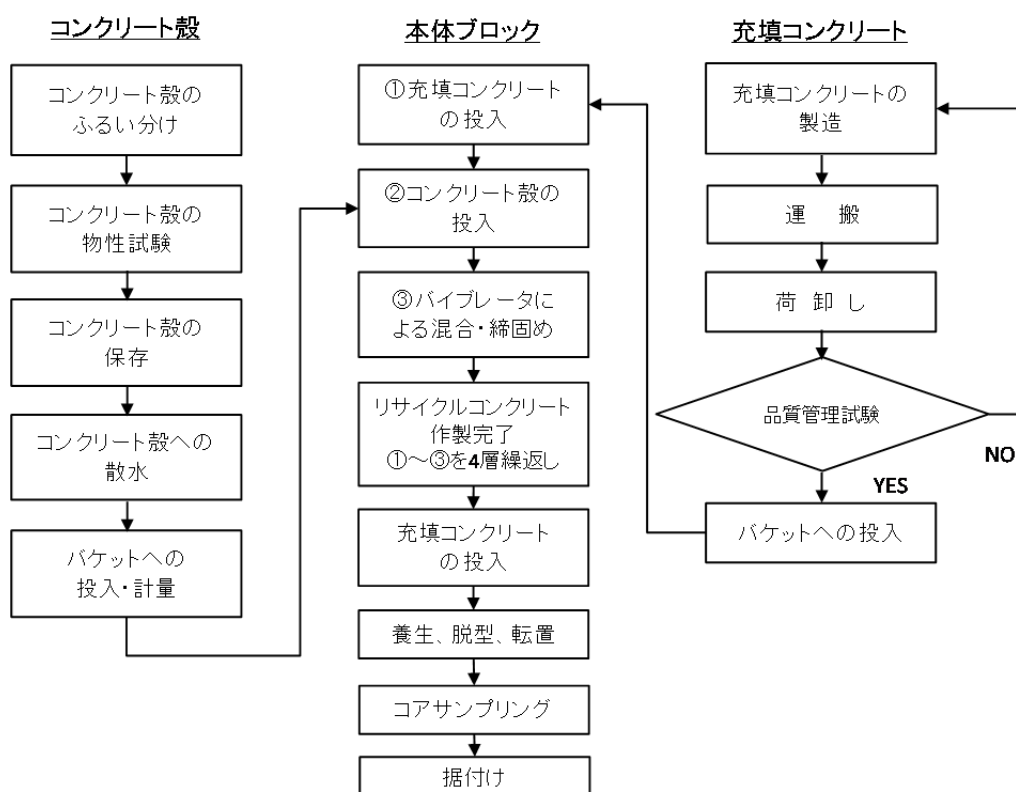


図-5 施工手順

(3) 施工

ブロックの施工手順を図-5に示す。ブロックの高さは1.4mであり、コンクリート殻とコンクリートとの良好な混合・締固めを行うためには、できるだけ1層の高さを低くするのが良いが、施工速度を考えるとできるだけ層数を少なくすることが望ましい。通常の施工は3層で行うことから、300～400mm/層の4層とコンクリートのみの仕上げ層の合計5層で打ち込んだ。リサイクルコンクリートの圧縮強度は、充填コンクリートの圧縮強度の8割程度となることや、ばらつきが生じやすいことが確認されている⁵⁾。これらのことを考慮して、充填コンクリートはブロックの設計基準強度 18N/mm² に対して、より高強度となる呼び強度 27 のコンクリートとした。また、コンクリート殻の充填性を考慮すると、より流動性が高く、粗骨材の少ないコンクリートが望ましいが、調達が容易なスランプ 18cm の JIS コンクリートを使用した。今までの実験により、φ150×H300mm

の円柱供試体で作製した場合のコンクリート殻の容積率は 30%程度、600×600×600mm のモデル供試体を作製した場合のコンクリート殻の容積率は 36～46%であった⁵⁾。ただし、これら試験体作製に用いた充填コンクリートは、通常の JIS コンクリートに比較して粗骨材量が少なかったことや、事前に施工を模擬して作製したリサイクルコンクリートの断面をカッティングして、コンクリート殻の分布状況を観察すると均一でなく、上部に偏る傾向にあったため、コンクリート殻の計画投入量として、既往の知見より少なめの 25%を目標とした。

4. 実証実験の結果

(1) 施工状況

ブロック製作における施工機械の配置を図-6 に示す。コンクリート殻は、施工直前に水が垂れない程度の散水をしてバックホウによりバケットに投入し、容積計量した後に使用した。コンクリート殻と充填コンクリートが各々入った2つのバケットを用いて、同一のクローラークレーンを用いて交互に打ち込んだ。

施工状況を写真-2 に示す。各層とも充填コンクリートを打込んだ後に、コンクリート殻をポストパッキング方式で投入して、一般的な棒状バイブレータにより、混合・締固めを行った。その際、図-7 に示すように、コンクリート殻が充填コンクリート内に半分以上埋まった状態で、上層コンクリートを打込むことが重要であり、コンクリート殻の上に直接コンクリート殻がある状態で上層コンクリートを打ち込んだ場合は、コンクリート殻と充填コンクリートとの付着が十分取れない可能性があった。また、3層で打込む通常の方法におけるブロック製作時間は、今までの実績から約 30 分であったが、今回の方法での製作時間は、平均 61 分であり、通常の 2 倍程度を要した。この理由として、層数が 5 層と多いこと、コンクリート殻と充填コンクリートが入

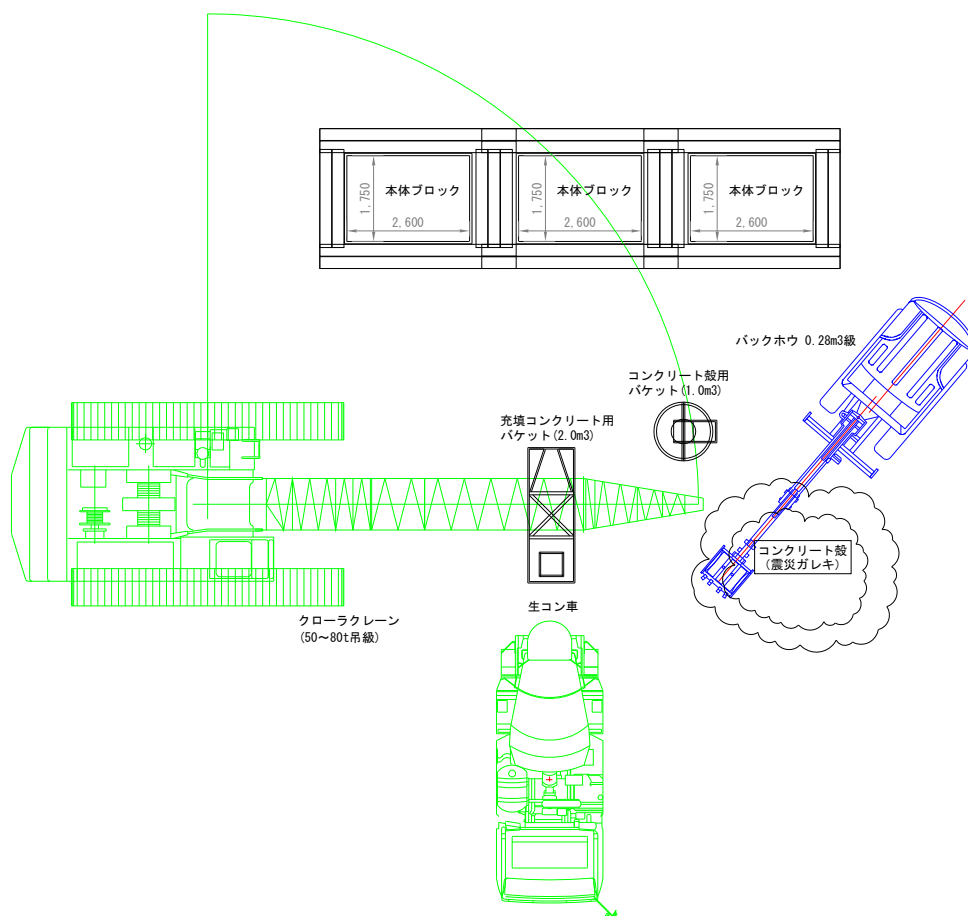


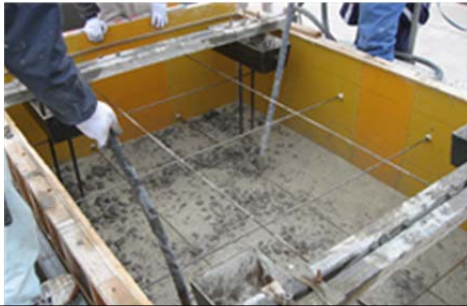
図-6 施工機械の配置



コンクリート殻投入状況



コンクリート殻の締固め混合状況(下層)

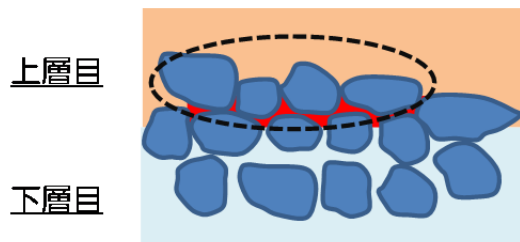


コンクリート殻の締固め混合状況(中層)

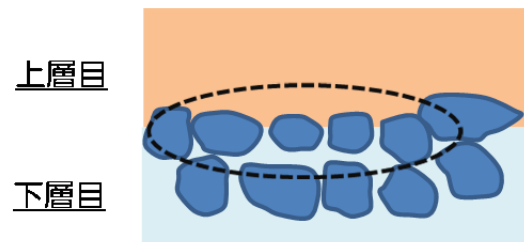


コンクリート殻の締固め混合状況(上層)

写真-2 施工状況



上層のコンクリート殻が下層コンクリート中に沈んでない状態



上層のコンクリート殻が下層コンクリート中に沈んでいる状態

図-7 コンクリート殻および充填コンクリートの投入方法

ったバケットを同一のクレーンを用いて交互に打ち込んだこと、およびコンクリート殻の混合・締固めに時間を要したことが考えられた。

(2) 出来形

ブロックの出来形と供用状況を写真-3 に示す。ブロックは通常の施工に準じて、リサイクルコンクリートの圧縮強度が 3.5N/mm^2 に達していることを確認した後に材齢 3 日で脱型し、 18N/mm^2 に達していることを確認した後に材齢 10 日で転置した。天端表面の沈下や初期ひび割れの発生は見られず、底面に配置されたほぞ周辺における未充填箇所も見られなかった。

(3) コンクリート殻の混合率

各ブロックのコンクリート殻の混合量と混合率の実績を表-2 に示す。目標混合率 25% に対して、実績は 12～16% と少なかった。この理由として、一般的な棒状バイブレータによる振動のみでは、コンクリート殻を充填コンクリート内に混合・締固めすることに時間を要し、長時間の振動を加えることで、コンクリートのブリ

ーディング量が増大する恐れがあったため、途中でコンクリート殻の投入を中止したことによる。コンクリート殻の混合・締固めに時間がかかった理由として、コンクリート殻が一般的な骨材に比較して大きいこと、密度が小さいこと、供試体作製型枠に比較してバイブレータの振動が伝わりにくいことが考えられた。

(4) リサイクルコンクリートの品質

ブロックからのコアサンプリングによって、リサイクルコンクリートの品質を調査した。コアはブロック上面から底面に向けて鉛直方向に採取した。採取したコアの直径は150mmとし、長さは1,000～1,200mmであった。コアの外観を写真-4に示す。コンクリート殻の分布は不均一であったが、充填コンクリートとコンクリート殻の界面に異状は認められず、良好な付着状態で一体化していた。



写真-3 ブロックの出来形と供用状況

表-2 各ブロックのコンクリート殻の混合量と混合率

実証実験 ブロックNo.	コンクリート殻投入量(m ³)					コンクリート殻 混合率(%)
	1層目	2層目	3層目	4層目	合計	
1	0.21	0.17	0.13	0.25	0.76	12.4
2	0.19	0.20	0.22	0.26	0.88	14.4
3	0.21	0.26	0.25	0.26	0.98	16.1

計画投入量: 1.52m³ 計画混合率: 25%

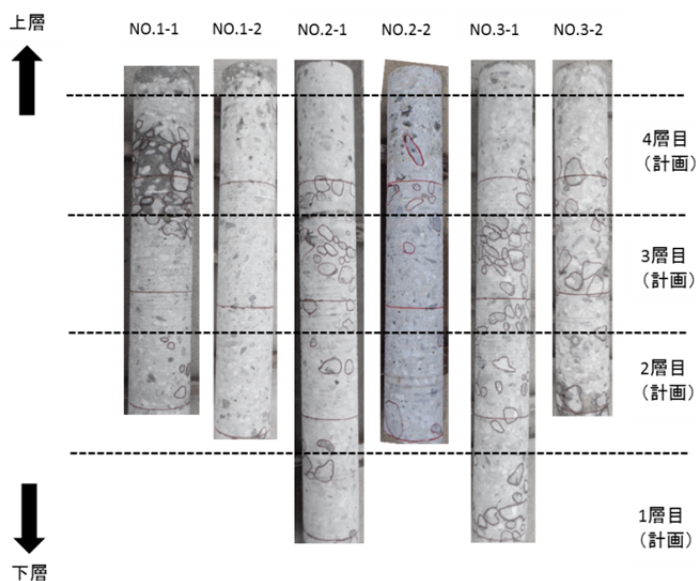


写真-4 サンプルングコアの外観

表-3 採取コアの圧縮強度、単位容積質量および面積率

材齢28日			
No.	圧縮強度 (N/mm ²)	単位容積質量 (kg/m ³)	コンクリート殻 面積率 (%)
1-1	25.2	2360	7.5
1-2	27.1	2372	11.2
1-3	33.5	2346	3.0
2-1	34.9	2427	0.5
2-2	27.2	2408	15.0
2-3	33.9	2426	9.4
2-4	33.8	2397	4.1
3-1	34.0	2378	0.3
3-2	29.4	2401	9.3
3-3	31.5	2403	13.8
3-4	29.1	2387	13.5

└─ 本体ブロックNo.
└─ 供試体No.

採取コアの表面を外観からトレースすることにより、コンクリート殻の面積が採取コアの面積に占める割合（以下、コンクリート殻の面積率と称す）を求めた。その結果を表-3 に示す。コンクリート殻の面積率は均一ではなく、0.3～15%とばらついた。材齢 28 日における採取コアの圧縮強度および単位容積質量の試験結果を表-3 に示す。また、材齢 28 日におけるリサイクルコンクリートの品質管理試験用供試体と採取コアの品質の比較を図-8 に示す。採取コアの材齢 28 日での圧縮強度は 25.2～34.9N/mm²であり、設計基準強度 18N/mm²を十分満足した。また、その平均値は 30.9N/mm²であり、品質管理用試験体と同等であった。単位容積質量は、材齢 28 日において 2.35～2.43kg/m³であり、コンクリートの単位容積質量の設計値 2,300kg/m³に対して同等以上であった。なお、品質管理用供試体は、φ150×H300mm のモールドを用いて 3 層で作製し、コンクリート殻の混合率は各層ともに 25%とした。

品質管理試験用供試体の材齢と圧縮強度の関係を図-9 に示す。リサイクルコンクリートは、材齢 28 日において設計基準強度 18N/mm²を十分満足し、材齢 7 日以降の圧縮強度は、充填コンクリートの 8 割程度であった。これは、発生したコンクリート殻の原構造物の呼び強度は、27 より小さいものが含まれていると予想さ

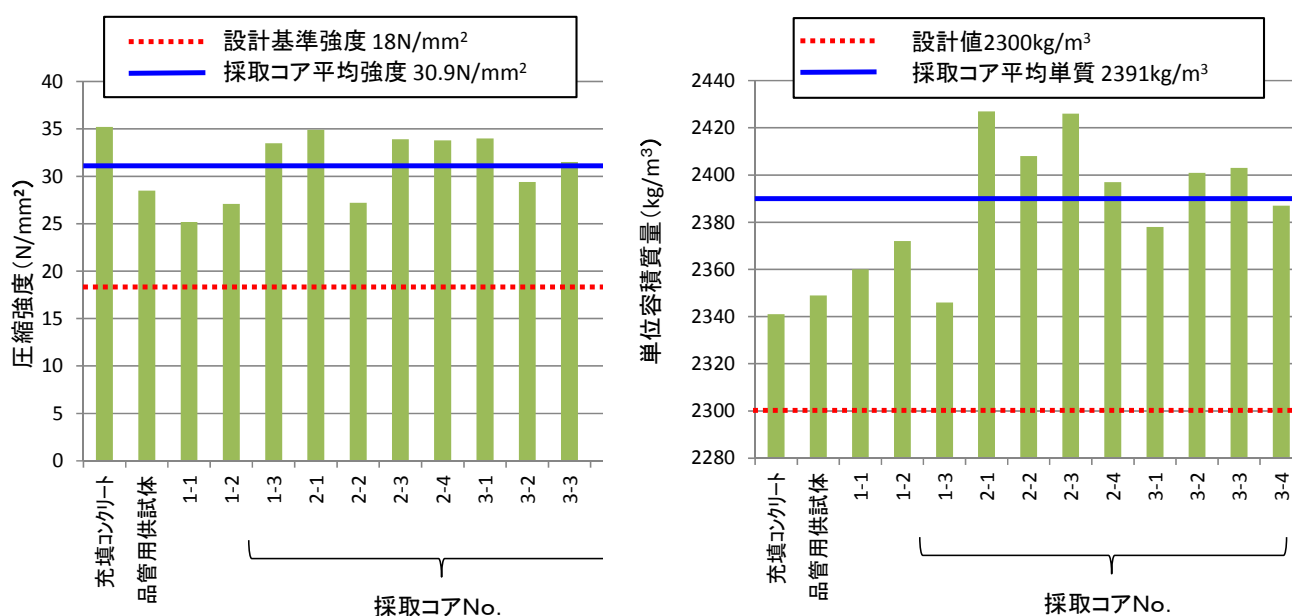


図-8 採取コアの圧縮強度および単位容積質量

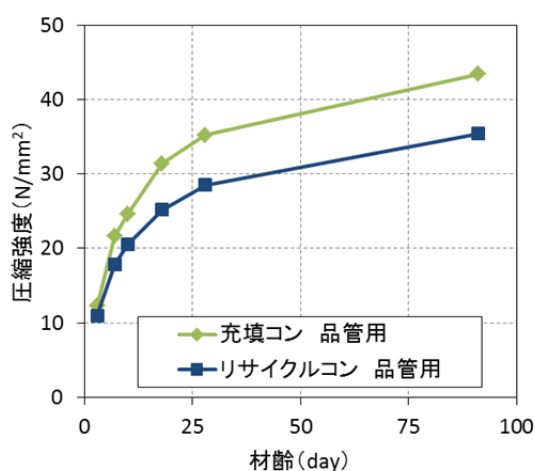


図-9 材齢と圧縮強度の関係

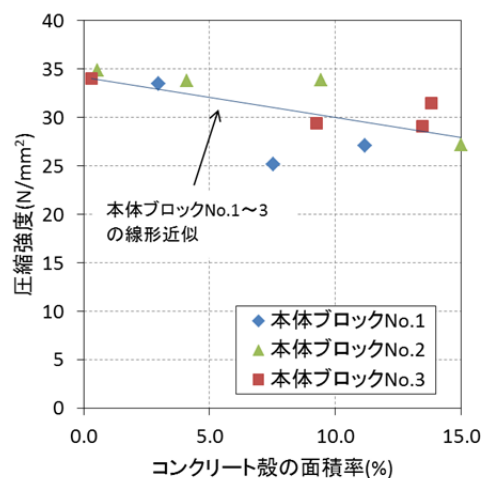


図-10 コンクリート殻の面積率と圧縮強度の関係

れることや、モルタルとコンクリート殻の付着力が、モルタルと一般骨材との付着力に比べて小さいことによると考えられた。材齢 28 日における採取コア表面のコンクリート殻の面積率と圧縮強度との関係を調べた。コンクリート殻の面積率と圧縮強度の関係を図-10 に示す。少しばらつきはあるものの、コンクリート殻の面積率が多いと圧縮強度が小さくなる傾向が認められた。ばらつきの要因として、コンクリートの打込み高さによっても強度が異なることなどが考えられた。

5. 得られた知見と今後の課題

本実証実験で得られた震災がれきのコンクリート殻を用いたポストパックド方式のリサイクルコンクリートに関する知見と、より効率的な施工方法の確立に繋がる課題を以下にまとめた。

(1) コンクリート殻

粒径 25~80mm 程度で、有機物や油分等、コンクリートとの付着を阻害するものがなく、砕石の微粒分の基準 3% を満足しておれば、施工前の散水程度で十分使用できる。

(2) コンクリート殻の混合率

今回の目標はブロック容積の 25% であったが、実績は 15% 程度であった。より多くのコンクリート殻の使用を可能にするためには、打込み層厚の更なる低減、コンクリート殻の混合・締固めで用いる施工機械の工夫、充填コンクリートの配合検討、および作業員の習熟等が必要と考えられた。

(3) リサイクルコンクリートの品質

呼び強度 27 の JIS コンクリートを充填コンクリートとして用いることで、設計基準強度 18N/mm^2 、単位容積質量 $2,300\text{kg/m}^3$ のリサイクルコンクリートを作製することができた。

(4) 施工速度

層数が多くなるため、施工速度は遅くなったが、コンクリート殻や充填コンクリートの投入方法や、それに用いる施工機械の検討により、施工速度の改善は可能である。

謝辞

実証実験の計画や実施において、国土交通省東北地方整備局港湾空港部、国土交通省東北地方整備局釜石港湾事務所、および前田建設工業㈱の方々に多大なご協力を頂きました。紙面を借りて深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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
- 2) 川西貴士, 近松竜一, 入矢桂史郎, 十河茂幸: コンクリート塊を用いた再生コンクリートの強度特性, コンクリート工学年次論文集, Vol. 27, No. 1, pp. 1333-1338, 2005
- 3) 堀口賢一, 古田敦史, 松元淳一, 小泉政信, 丸屋剛: 東日本大震災で発生したコンクリートがれきの有効利用技術の開発, 大成建設技術センター報第 45 号, pp. 03-1~03-6, 2012
- 4) 廣中哲也, 東邦和, 松田敦夫: 解体コンクリート塊を全量使用した再生コンクリートの諸特性, コンクリート工学年次論文集, Vol. 22, No. 2, pp. 1135-1140, 2000
- 5) 末岡英二, 佐野清史, 山路徹, 濱田秀則, 福手勤: コンクリート塊を用いたリサイクルコンクリート, 第 2 回コンクリート技術大会 (仙台) 講演会発表論文集, pp. 145-150, 2012. 11
- 6) 山路徹, 濱田秀則, 松本典人, 末岡英二, 佐野清史: コンクリート塊を用いた再生コンクリートの耐久性, 土木学会第 55 回年次学術講演会, V-117, 2000. 9