

コンクリート廃材の全量とスラグを用いた再生コンクリートの製造

(株)奥村組 森本克秀

連絡先：東日本支社 環境技術部

TEL:03-5427-8536 FAX:03-5427-8113

E-mail:katsuhide.morimoto@okumuragumi.jp

1. はじめに

コンクリート廃材を原料として現地で再生コンクリートを製造し、港湾建設資材として再生する地産・地消型技術（以後、リ・バースコンクリートと標記）を国土交通省東北地方整備局公募の「震災ガレキ等を港湾建設資材として活用する技術」に応募し、港湾工事に適用可能な技術の内、実施中の港湾工事において実証試験を実施する技術に選定された。

そこで、平成 25 年 4 月に国土交通省東北地方整備局発注の平成 24 年度八戸港八太郎地区防波堤（北）（災害復旧）被覆外工事（その 4）の施工ヤード内において、コンクリート廃材を骨材に用いたリ・バースコンクリートを製造し、コンクリートブロックに適用する実証試験を実施した。

2. 工法の概要

2.1 リ・バースコンクリートとは

リ・バースコンクリート（Re-birth Concrete）は、解体コンクリートを発生した現場で破砕機により破砕後、そのまま破砕物全量を骨材とし、水、セメント、化学混和剤とで練り混ぜて製造する自己循環型リサイクル型の現場再生コンクリートである。

その特徴を活かして、東日本大震災で大量に発生したコンクリートがらを遠隔地の最終処分場等で処分することなく、復旧・復興現場で直接、再生コンクリートとして有効活用することが考えられる。また、天然骨材を使用した生コンの供給が不足している地域において、コンクリートの需要を満たすことも可能である。

2.2 製造方法

開発時およびその後の検証において、比表面積の小さい塊で保管した廃コンクリートを破砕して連続的に投入することで、安定した粒度分布と水分量を確保できるという知見を得ている^{1) 2)}。

この知見を踏まえ、できるだけシンプルなり・バースコンクリートの製造方法として、図-1 に示す製造フローを採用しており、この過程では天然骨材を新たに使用していない³⁾。

① 油圧ブレイカー等で 20～30cm に 1 次破砕した解体コンクリートをバックホーにより専用製造装置へ投入

② 専用装置内のクラッシャーで 40mm 以下に破砕

③ 破砕物内の鉄筋を磁選機で取り除きながら、ベルトコンベアで運搬

④ 計量ホッパーで 1 バッチ毎に破砕物を計量

⑤ 同時にセメント、水、混和剤も計量し、ミキサーに投入

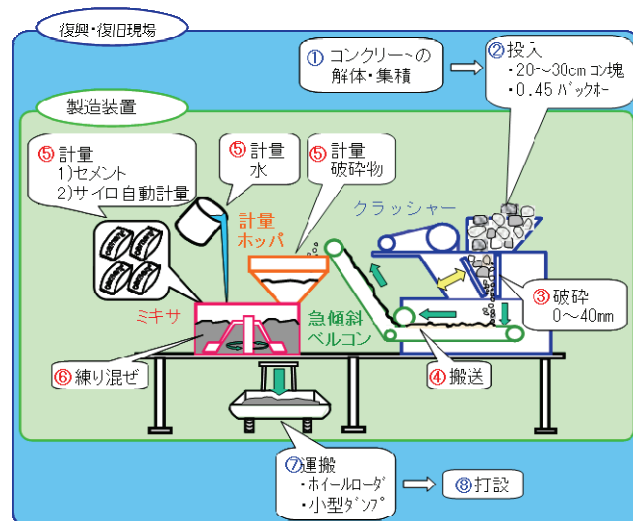


図-1 製造フロー

キーワード：震災廃棄物、コンクリート廃材、リサイクル、再生コンクリート、スラグ、自己循環型

- ⑥ ミキサーで練混ぜた後、運搬車両に排出

2.3 実績

当技術は 2001 年に開発されて以来、設置・撤去が簡易にできる専用製造装置（写真-1）と大量製造に適した製造装置（写真-2）を使用して、国土交通省を中心に 27 件の工事で採用され、11,800m³の製造実績がある。

採用例の多くは、樋門や橋脚を撤去する際に発生したコンクリート塊や不要となったコンクリートブロックなどを原料として、現地で専用製造装置を用いて再生コンクリート製造し、河川用の根固めブロック（写真-3）、消波ブロック（写真-4）、階段ブロック（写真-5）および均しコンクリートなどに利用した。



写真-1 設置撤去が容易な専用製造装置



写真-2 大量製造に適した大型製造装置



写真-3 根固めブロック（開発局）



写真-4 消波ブロック（中部地整）

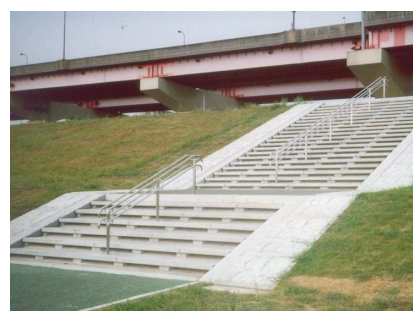


写真-5 階段ブロック（関東地整）

3. 実証試験の概要

3.1 実験の目的

本試験では、コンクリート廃材を破碎しただけの破碎物と密度の大きい副産物（フェロニッケルスラグ細骨材、銅スラグ細骨材）を骨材に併用したり・バースコンクリートの配合設計を事前に行った。この配合に基づき、青森県八戸市河原木 2 号埠頭（八戸港内）において専用製造装置を用いてリ・バースコンクリートを製造し、港湾構造物に適用する 2t 型港湾用ブロックを製作した。この試験を通して同コンクリートの実施配合の確認、ワーカビリティ、施工性および出来形を確認した。

3.2 試験手順について

製造装置の現地搬入から試験に至るまでの試験手順を以下に述べる。

- ① 搬入された専用製造装置をクレーンで吊りながら設置（写真-6）
- ② 小割りされたコンクリート廃材（写真-7）およびスラグ細骨材を搬入し、製造装置近傍に保管
- ③ バックホーで所定量のスラグ細骨材を計量槽に直接投入したあと、コンクリート廃材を製造装置の破碎機部に投入（写真-8）
- ④ 自動計量された水、混和剤をミキサーに排出すると同時に袋セメントを投入

- ⑤ 所定時間の練混ぜの後、製造装置下に待機するペイローダに排出
- ⑥ 型枠位置まで再生コンクリートを小運搬して打設（写真-9）
- ⑦ 製造直後のコンクリートを用いて試験



写真-6 専用装置設置状況



写真-7 小割りされたコンクリート廃材



写真-8 コンクリート廃材の投入状況



写真-9 打設状況

3.3 使用材料について

今回製造したリ・バースコンクリートに使用した材料の諸元を表-1 に示す。コンクリート廃材は、津波で被災した港湾内のケーソンを解体したコンクリート塊であり、これを専用製造装置で 40mm 以下に破碎して骨材としている。

従来の製造法であるコンクリート塊、セメント、水のみの配合では原料コンクリートよりも密度が 0.2t/m^3 程度小さくなる傾向ある。このため、密度 2.3t/m^3 を確保できるよう、重量が大きく東北地方内で入手しやすい副産物系骨材として、フェロニッケルスラグと銅スラグ細骨材を選定した。

表-1 使用材料の諸元

名称	産地・名称	緒元
コンクリート廃材	八戸港内のケーソン解体物	30cm 程度に小割
セメント	住友大阪セメント 製普通ポルトランドセメント	密度：3.16
フェロニッケルスラグ	太平洋金属八戸工場製	成分 SiO_2, MgO 、密度：2.94、粗粒率：2.68
銅スラグ	小名浜製錬小名浜工場製	成分 FeO, SiO_2 、密度：3.50、粗粒率：3.21
高性能AE減水剤	BASF ジャパン製レオビルド P8SV	ポリカルボン酸系

4. 実証試験の結果

4.1 コンクリート廃材の物性値

コンクリート廃材には2種類のものが混在しており、それぞれからコアを採取し、圧縮強度と密度を測定した（表-2）。試料1は高強度、試料2は普通の強度で密度が大きく粗骨材径が大きいことから、試料1はケーソン本体のRC部材、試料2は上部コンクリートと考えられる。

表-2 原料コンクリート塊より採取したコアの強度と密度

No		1	2	3	4	平均
試料1	圧縮強度 N/mm ²	47.1	47.1	43.2	46.2	45.9
	密度 g/cm ³	2.355	2.370	2.364	2.376	2.37
試料2	圧縮強度 N/mm ²	25.0	23.7	28.4	28.0	26.3
	密度 g/cm ³	2.487	2.449	2.412	2.437	2.45

4.2 骨材の粒度分布

専用製造装置で40mm以下に破碎したコンクリート破碎物、フェロニッケルスラグおよび銅スラグ細骨材を表-3の実施配合に合わせて混合し、当社研究所において粒度分を測定した。JIS標準粒度、破碎物、各スラグ細骨材の粒度分布をふるい目開きごとに通過重量百分率で図-2に示す。

写真10~12から分かるように破碎物は粒径が大きく、スラグ細骨材は砂状である。破碎物だけではJIS標準粒度と較べて細粒分が不足しており、スラグ細骨材は5mm以下のものを使用していることから細粒分が多くなっている。両者を併せた粒度分布は、ほぼJIS標準粒度と同等になっていることが分かる（図-2）。



写真-10 コンクリート破碎物



写真-11 フェロニッケルスラグ細骨材



写真-12 銅スラグ細骨材

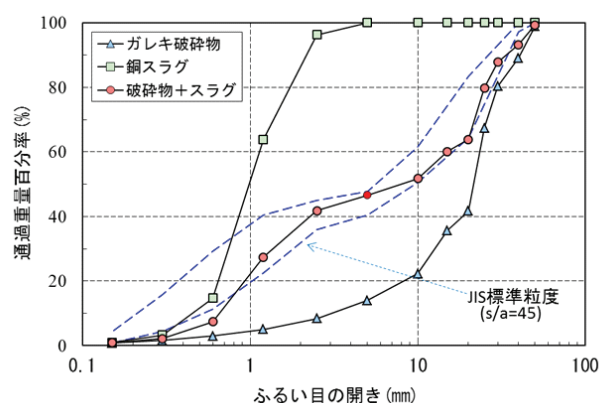
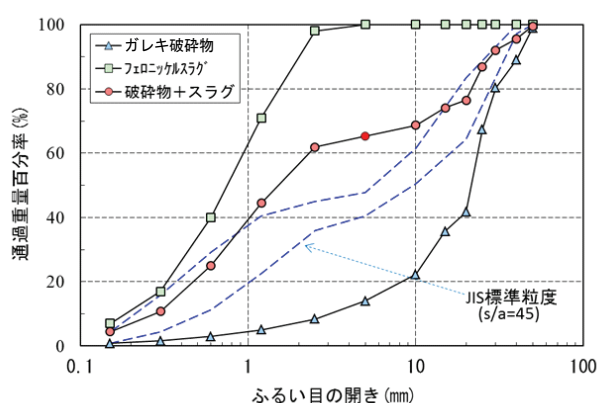


図-2 コンクリート破碎物とスラグの粒度分布

4.3 実施配合

事前に設計した配合に基づき現場でリ・バースコンクリートを製造し、フレッシュコンクリート特性を確認しながら若干配合を変更し、最終的には表-3の実施配合とした。事前の配合は、これまでの実施例の中か

ら砂を併用した配合を参考に水量を 160kg/m^3 として配合を行ったが、結果的には各スラグの吸水率が小さいことから水量が $5\sim 10\text{kg/m}^3$ 少なくなった。

表-3 実施配合

スラグ 種類	水 セメント 比 (%)	単位量 上段(kg/m^3) 下段(リットル/m^3)					
		水	セメント	コンクリート 破砕物	スラグ	高性能AE 減水剤	AE剤
		W	C	RC	Sg	Sp	AE
フェロニッケル スラグ	51.6	155	300	756	1118	1.20 $C \times 0.4\%$	0
銅スラグ	50.0	150	300	1167	714		

4.4 フレッシュ特性

ブロック製造時に練混ぜ直後の試料を採取してスランブ試験および空気量試験を行った。試験により把握したフレッシュコンクリート特性および温度の結果を表-4に示す。

結果は全て規定値を満たす内容であり、性状も通常のレディミクストコンクリートと変わらず、ワーカビリティは良好であった。

通常のリ・バースコンクリートで添加してい

るAE剤の添加を省略したが、両者とも空気量が平均よりも多くなった。特に今回使用したフェロニッケルスラグ細骨材は微粒分を含むタイプであったため、空気の連行がやや多くなったと考えられる。

表-4 フレッシュコンクリートの特性

スラグ 種類	スランブ cm	空気量 %	コンクリート 温度 $^{\circ}\text{C}$	外気温 $^{\circ}\text{C}$
フェロニッケル スラグ	8.0	5.5	8.0	5.0
銅スラグ	7.5	5.1	9.0	7.0
規定値	8.0 ± 2.5	4.5 ± 1.5	—	—

4.5 出来形確認

打設したブロックの脱型後に出来形を目視により確認した結果、両配合ともひび割れや未充填箇所はなかった(写真-13)。フェロニッケル配合では、型枠傾斜部に微粒分によって連行されたと考えられる $1\sim 4\text{mm}$ の空気痕が見られた(写真-14)。銅スラグ配合では、水量が少ないにもかかわらず型枠傾斜部にブリーディングに起因する水筋が見られた(写真-15)。



写真-13 打設後のブロック

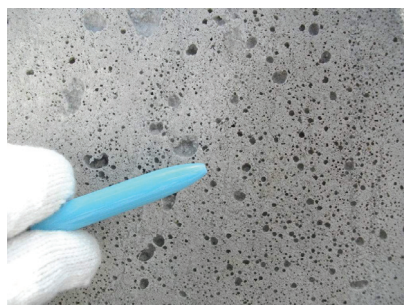


写真-14 空気痕の状況



写真-15 ブリーディングの状況

4.6 強度特性

ブロック打設時に製作した供試体による圧縮強度と密度の結果を表-5、図-3に示す。圧縮強度はフェロニッケルおよび銅スラグ配合ともほぼ同等で、材齢4週のととき約 30N/mm^2 であった。この圧縮強度は呼び強度24のJISレディミクストコンクリートに相当する。

密度はフェロニッケル配合が 2.25g/cm^3 、銅配合が 2.36g/cm^3 であり、目標密度 2.3g/cm^3 に対し、フェロニ

ッケル配合が $0.05\text{g}/\text{cm}^3$ 小さかった。この範囲であれば、今回 5.5%であった空気量を消泡剤の使用により 4%程度にすることとスラグ使用量の見直しで十分修正可能である。

表-5 圧縮強度と密度

スラグ種類	材齢	3 日	7 日	28 日	目標値
フェロニッケル スラグ	圧縮強度 N/mm^2	8.8	20.5	29.9	18
	密度 g/cm^3	2.22	2.24	2.25	2.3
銅スラグ	圧縮強度 N/mm^2	9.6	22.5	30.4	1.8
	密度 g/cm^3	2.34	2.36	2.36	2.3

3 日まで現場養生、以降標準水中養生

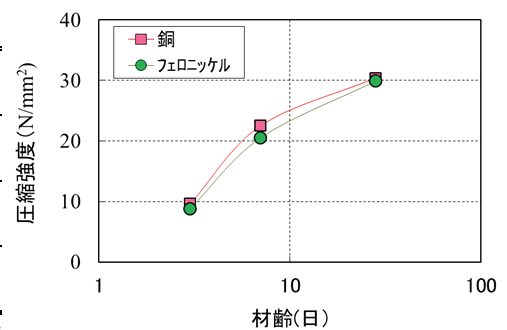


図-3 材齢ごとの圧縮強度

5. おわりに

以上の試験結果を踏まえて下記の見解を得た。

- ① ガレキ破砕物と 2 種類のスラグを原料として製造したり・バースコンクリートは過去の施工例と異なることなくワーカビリティに優れており、打ち込み・締固めは通常の方法で施工でき、2t 型港湾用ブロックは問題なく製造できた。
- ② 試験の結果、材齢 4 週強度は $30\text{N}/\text{mm}^2$ 、密度は $2.3\text{g}/\text{cm}^3$ であった。フェロニッケルスラグを配合した場合も空気量調整で所定重量以上を確保できると考えられる。したがって、港湾用コンクリートブロックに必要な特性は満足されており、基本的な配合を修正する必要はない。
- ③ コンクリートが上向きに接するせき板表面に空気痕やブリーディングによる水筋がみられたが、フェロニッケル配合の空気痕に対しては消泡剤、銅スラグ配合のブリーディングに対してはスラグ微粒分の追加といったわずかな配合調整で改善できる。

リ・バースコンクリートのこれまでの実績を考慮すれば、クラッシャー・ミキサー・サイロなど汎用装置を組み合わせることで、 $150\sim 250\text{m}^3/\text{日}$ の製造が可能である。上記のような製造装置を用いた場合、JIS 仕様のレディミックスコンクリートを使用する場合に比べ、20～30%程度（宮城・岩手県沿岸部において $25,000\text{m}^3$ 製造の場合）のコスト縮減が可能である。

震災ガレキと重量増加用スラグを原料として製造したり・バースコンクリートは、港湾用構造物としての必要な性能を備えていることが確認できた。このことから、ガレキの集積地に製造装置を設置することで、港湾用だけでなく他の用途を含めて再生コンクリートを効率的に製造でき、天然骨材の不足から逼迫する生コンの供給を緩和することで復興事業に貢献できるものと思われる。

《参考文献》

- 1) 廣中, 東, 松田「解体コンクリート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, 2000
- 2) 廣中, 松田, 森本「解体コンクリートを全量使用した現場再生コンクリート「リ・バースコンクリート」の開発と適用」電力土木 2005.11
- 3) 森本「コンクリート塊を全量リサイクルするリ・バースコンクリートの現状について」建設の施工企画 2009.4