

磨砕機(マルマール)による再生骨材の高付加価値化

Adding more Value to Recycled Aggregate with “MARU-MAHRU” (Grinding Machine)

横谷建一郎*

Kenichiro Yokotani

コンクリート構造物の解体によって発生するコンクリートガラに対し、破碎・磨砕・分級などの処理を行って製造した骨材を「再生骨材」と称する。当社は磨砕機(マルマール)を使用した「非加熱すりもみ方式」による再生骨材の研究を進めてきた。マルマール磨砕試験では、コンクリートガラを磨砕処理することによって絶乾密度・吸水率が改善され、再生骨材の品質が向上し JIS 規格のMクラスの品質であることが確認できた。震災ガラによるコンクリート試験では、マルマールで磨砕処理した再生骨材を使ってコンクリート試験を行った。その結果フレッシュコンクリートの性状や一軸圧縮強度試験などにおいて所定のコンクリート性能を得ることができた。そこでマルマールで製造した再生骨材は、コンクリート用骨材として利用可能であることが確認できた。

“Recycled aggregate” is the aggregate that is manufactured from demolished concrete structures by crushing, grinding and classifying the used concrete. We developed the “MARU-MAHRU,” which is a grinding machine, and studied manufacturing methods for recycled aggregate in a non-heated grinding system using the grinding machine MARU-MAHRU. A grinding test using the MARU-MAHRU proved that the MARU-MAHRU improves the density under oven-dry conditions and the water absorption of the recycled aggregate, leading to improved quality in the recycled aggregate. And the products conform to the standards for JIS A 5022 class M recycled aggregate. We conducted concrete tests using materials manufactured through a grinding process with the MARU-MAHRU to test concrete debris from the Great East Japan Earthquake. The results showed that the products satisfied the given criteria for fresh concrete performance and uniaxial compression strength of concrete. Thus, we have proved that the recycled aggregate manufactured with the MARU-MAHRU can be used in concrete.

1 はじめに

資源循環型社会の形成に向けて、コンクリート用骨材に関するリサイクル技術の研究が各社で盛んに行われている。一般的に、コンクリート構造物の解体によって発生したコンクリートガラに対し、破碎・磨砕・分級などの高度な処理を行って製造した骨材を「再生骨材」と称している。

この再生骨材の利用促進を目的として、JISでは2005年～2007年に掛けてコンクリート用再生骨材に関する規格を制定し、モルタルの付着率に応じて再生骨材H、M、Lといったクラス分けを行っている。

再生骨材の製造方法には、コンクリートガラに加熱処理を加えることでモルタルを脆弱化させ、骨材表面から剥離しやすいように前処理を行った「加熱すりもみ方式」と、加熱処理を行わない「非加熱すりもみ方式」がある。

前者は、高品質な再生骨材が製造できる一方で、加熱処理によるインシヤルコスト・ランニングコストの増大やCO₂の排出増があり、当社では「非加熱すりもみ方式」による

再生骨材に関する研究を進めてきた。

今回は磨砕機(以下、マルマール)での再生骨材に関する実験結果を報告すると共に、東日本大震災で発生したコンクリートガラ(以下、震災ガラ)から製造した再生骨材に関するコンクリート試験の結果を報告する。

2 マルマールについて

マルマールの構造は、箱型ケーシングとその内部を貫通するロータアセンブリで構成されている。箱型ケーシングは非回転式であり、投入した骨材の一部はケーシング内部で堆積層(以下、デッドストック)として形成される。

ロータ外周部には、耐摩耗性の優れた高クロム鋳鉄製の特殊ハンマを設置しており、この特殊ハンマとデッドストックの狭小部で骨材同士が擦り揉まれる。

ケーシングは油圧シリンダで容易に角度調整が可能であり、ケーシング内での骨材滞留時間が調整できる。

* 索形材エンジニアリング事業部 エンジニアリング部

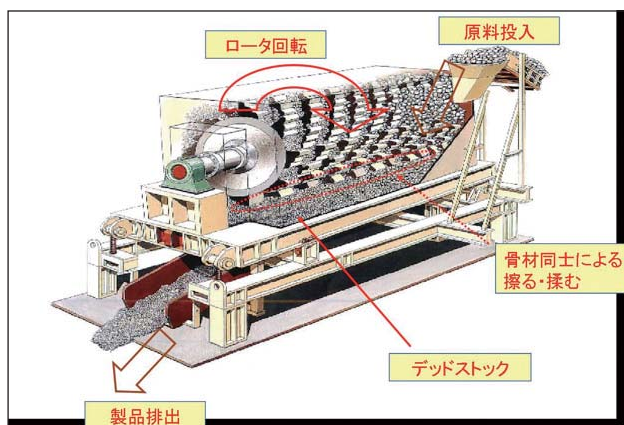


図1 マルマール内部構造



図2 マルマール外観写真

マルマールは骨材の粒形改善用機として開発されたが、その強力な擦り揉み作用を利用して、再生骨材を製造することも可能である。

コンクリートガラは主にモルタルが付着した骨材でできている。コンクリートガラにマルマールによる擦り揉み作用を加えることで、骨材表面に付着したモルタルを剥離・除去し、再生骨材を製造することができる。

マルマールについても各種さまざまなコンクリートガラを原料とした磨砕試験を行っており、次項以降にその試験結果を報告する。

3 マルマール磨砕試験

3.1 再生骨材 JIS規格

再生骨材の表面に付着しているモルタルはセメントペースト（セメント粉、水、砂）の硬化体であり、これらセメントペースト硬化体には微細な毛細管空隙が存在している。したがってモルタルが多量に付着した再生骨材は、毛細管現象による吸水作用で密度が低下し、既往の研究でもモルタル付着率と絶乾密度・吸水率には高い相関関係が認められている¹⁾。

また吸水性の高い骨材をコンクリート用原料として使用した場合、コンクリートの乾燥収縮作用や凍結融解作用を助長し、コンクリートのひび割れなどの欠陥を誘発する。したがって再生骨材をコンクリート用として利用する場合は、モルタルの付着が少なく、絶乾密度が大きくて吸水率の小さい骨材が望ましい。

JISではモルタルの付着を絶乾密度や吸水率で判定しており、2005年にHクラスを制定しその後Mクラス、Lクラスと制定している。それぞれの規格値を表1に示す。

表1 再生骨材に関するJIS規格（抜粋）

	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	備考
再生粗骨材 H	2.5 以上	3.0 以下	JIS A 5021
再生粗骨材 M	2.3 以上	5.0 以下	JIS A 5022 附属書A
再生粗骨材 L	—	7.0 以下	JIS A 5023 附属書A

マルマール磨砕試験においてもJIS規格と同様に、絶乾密度と吸水率を評価することで、モルタルの付着率を判定し再生骨材の品質評価を行った。

3.2 磨砕試験 試験条件

磨砕試験は非加熱状態のコンクリートガラ（40-5mm）を原料とし、開回路運転にて試験を行った。またマルマールの本体角度は1.4～4.0°の間で可変させて行った。試験フロー図を図3に示す。

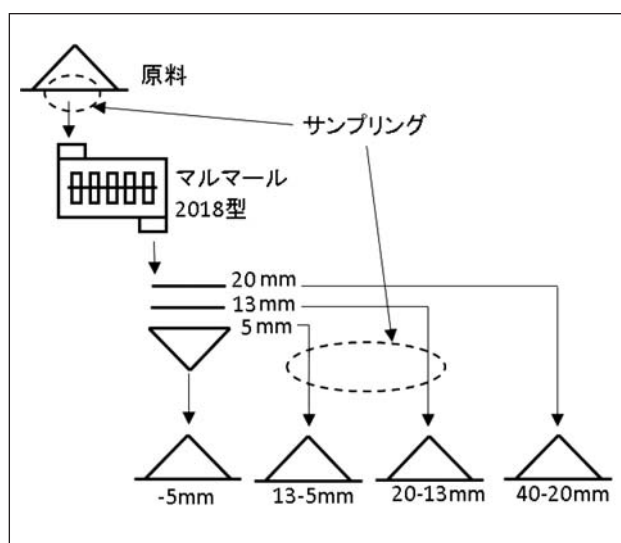


図3 磨砕試験フロー図

サンプリングは原料と製品の20-5mmから行い、磨砕処理によるコンクリートガラの物性変化の評価を行った。

3.3 磨砕試験 試験結果

3.3.1 外観目視観察

磨砕処理前後の写真を図4、図5に示す。図4の磨砕処理前の写真は、骨材表面に白色状のモルタル粉が多量に付着している。一方、図5の磨砕処理後の写真は、骨材の角部などに黒色部分が露出している。この黒色部分が粗骨材の素地部分であり、表面に付着していたモルタル粉が除去できているのが分かる。



図4 磨砕処理前 外観写真



図5 磨砕処理後 外観写真

3.3.2 絶乾密度、吸水率試験結果

磨砕処理前後の絶乾密度および吸水率をJIS A 1110に基づき測定した。絶乾密度試験結果を図6に、吸水率試験結果を図7に示す。

図6、図7より、いずれの試験結果においても絶乾密度、吸水率が改善されており、モルタルの剥離・除去が認められた。

また最も磨砕効果の大きい本体角度1.4°の結果では、Hクラスの製品である事が確認できた。その他については殆どがMクラスの製品であったが、一部ではLクラスの製品もあった。

これは元となる原料品質が低品位であるためと考えられ、マルマールを1回通過するだけではMクラスに至らなかったと考えられる。過去の試験でも2回通しを行う事で

製品品質の向上が確認できていることから、低品位の原料の場合は、マルマールを2回通すなどの処理によってMクラスの生産は可能と考えられる。

この様に原料品質に大きなバラつきが見られたが、本試験の結果においてはその殆どの製品クラスがMクラスであり、非加熱すりもみ処理によって絶乾密度、吸水率の改善が確認できた。

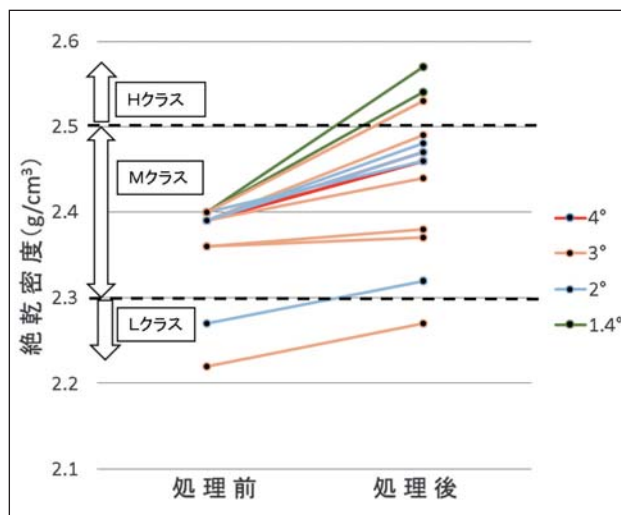


図6 絶乾密度 試験結果

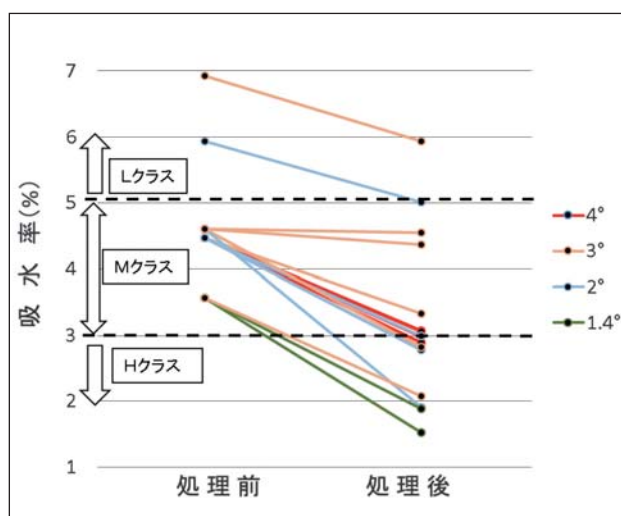


図7 吸水率 試験結果

3.4 磨砕試験 まとめ

以上のことにより下記のことが分かった。

- 1) 外観目視観察により、骨材表面のモルタルが剥離し、粗骨材の素地が露出していることが確認できた。
- 2) 磨砕処理によって、絶乾密度・吸水率が改善されていることが確認できた。
- 3) 非加熱すりもみ方式では再生骨材の製品クラスが概ねMクラスであった。

これらのことにより、マルマールで磨砕処理を行うことで

再生骨材の品質が向上し、Mクラスの再生骨材製造が可能であることが確認された。

4 震災ガラによるコンクリート試験

RMPC研究会^{※1}および宮城大学 北辻政文教授から震災ガラを試供頂き、マルマールで再生骨材のサンプルを製造した。その後、製造した再生骨材サンプルを原料としたコンクリート試験を行っており、その試験結果を報告する。

4.1 再生骨材 サンプル製造

当社のマルマール試験機2018型で再生骨材のサンプル製造を行った。

原料は南三陸町で集積された震災ガラを利用し、事前に40-5mmにふるい分けした非加熱状態のものを使用した。マルマールの本体角度は3°に設定し、開回路運転にて再生骨材サンプルを製造した。

磨砕処理前後の絶乾密度・吸水率の試験結果を表2に示す。

絶乾密度・吸水率共に改善されており、磨砕処理を行うことで震災ガラの再生骨材品質が向上していることが確認できた。

表2 震災ガラ磨砕処理 絶乾密度・吸水率 試験結果

	処理前	処理後
絶乾密度 (g/cm ³)	2.36	2.39
吸水率 (%)	4.60	4.37

4.2 コンクリート試験²⁾

4.2.1 コンクリート配合

4.1項で製造した再生骨材サンプルを原料としてコンクリート試験を行った。配合一覧表を表3に示す。

表3. 配合一覧表(設計基準強度 30N/mm²)

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
			水	セメント	フライアッシュ	細骨材	粗骨材	AD	AE
R(再生骨材)	40	42.0	160	340	60	702	939	3.00	2.00
N(普通骨材)	44	40.5	160	364	—	702	1067	3.28	4.00

※表3における記号注記

W/C: 水セメント比

s/a: 細骨材 (s) と粗骨材 (a) の比

AD: 高性能減水剤

AE: 空気連行剤

配合設計は、協力頂いたプレキャストコンクリート工場で行われている配合を基準とし、設計基準強度30N/mm²を満足する水セメント比を確保した。なお、比較検討として粗骨材にはマルマールで磨砕処理した再生骨材(配合R)だけでなく、普通骨材(砕石)の配合試験(配合N)も行った。

4.2.2 フレッシュコンクリートの性状結果

フレッシュコンクリートの性状結果を表4に、スランブ、空気量の計測写真を図8に示す。

配合R、配合Nのいずれにおいても、スランブ・空気量共に目標値範囲内の結果を得ることができた。また配合Rは配合Nと同等のフレッシュ性状であった。

表4 フレッシュコンクリートの性状結果

配合名	スランブ (cm)		空気量 (%)	
	目標値	試験値	目標値	試験値
R(再生骨材)	8±2.5	8.5	5.5±1.5	4.4
N(普通骨材)	8±2.5	8.0	5.5±1.5	6.1



図8 スランブ、空気量 計測

※1 RMPC研究会=Recycle Material Precast Concrete Society

4.2.3 一軸圧縮強度試験

コンクリートの強度特性を把握するために、一軸圧縮強度試験 (JIS A 11086) を実施した。試験結果を図9に示す。

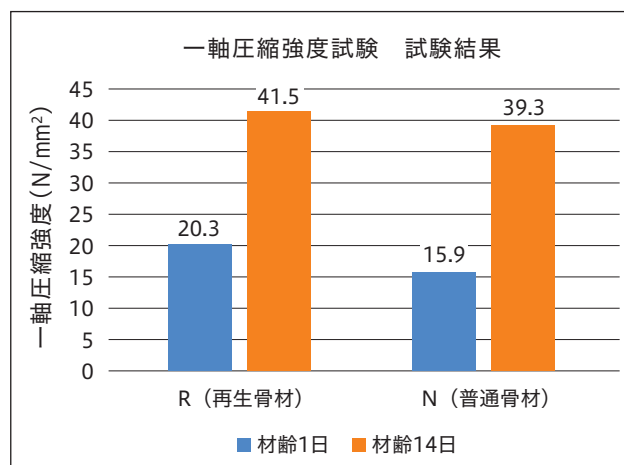


図9 一軸圧縮強度試験結果

プレキャストコンクリートの出荷材齢である14日強度において、配合R・配合N共に設計基準強度 (30N/mm²) を満たしていた。また配合Rは配合Nと同等の強度発現であった。

4.2.4 乾燥収縮試験、凍結融解試験

一般的に再生骨材は吸水率が大きいために、コンクリートの乾燥収縮作用、凍結融解作用を助長し、コンクリートのひび割れを引き起こしやすい。

本試験では、配合R、配合Nの供試体を用いて乾燥収縮試験、凍結融解試験を行った。

乾燥収縮試験は材齢1日で基準長300mmの試験体を用いて、温度20℃±1℃、相対湿度60±5%にて行った。凍結融解試験はJIS A 1148 A法に基づき行った。

乾燥収縮試験の結果を図10に、凍結融解試験の結果を図11、図12に示す。

乾燥収縮試験について、配合Rは配合Nと同等もしくは、それ以下の乾燥収縮率であり、マルマールで磨砕処理した再生骨材は普通骨材と同等の性能であった。

ただし、いずれの試験結果も材齢8週で0.06～0.08%に達しており、「RC造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針 (建築学会 平成18年2月)」の指針値 (0.08%以下) に近似しているため、本設計配合においては収縮低減材の混和が必要と考える。

凍結融解試験については、相対動弾性係数が判定基準 (300サイクル終了時60%以上) を大きく上回っており、質量減少率も基準値 (3.0%以下) を下回っていた。したがって配合R・配合N共に、高い耐凍害性があると判断できる。

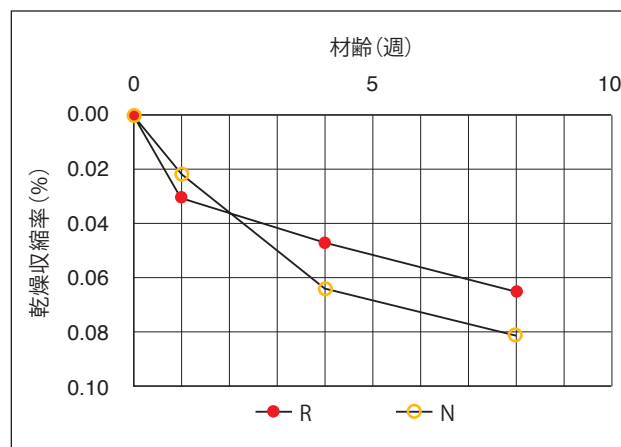


図10 乾燥収縮試験 試験結果

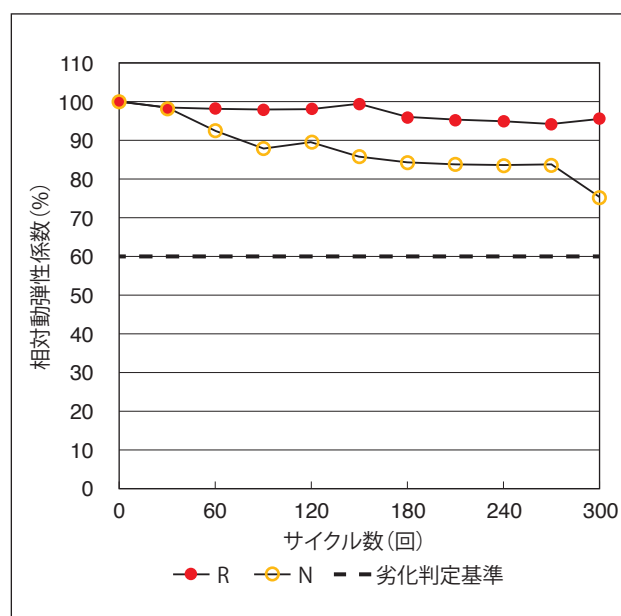


図11 凍結融解試験結果 相対動弾性係数

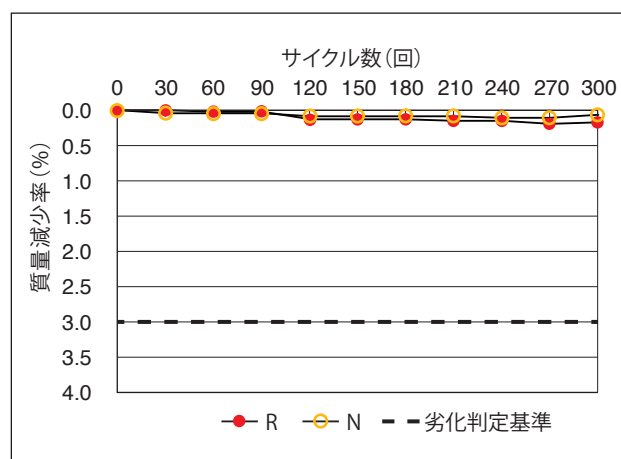


図12 凍結融解試験結果 質量減少率

4.2.5 まとめ

いずれのコンクリート試験結果においても、配合R・配合N共に所定のコンクリート性能を得ることができた。また配合Rは配合Nと同等の性能であった。

したがってマルマールで磨砕処理した再生骨材はコンクリート用骨材としても利用可能であり、従来の普通骨材（碎石）の代替材にもなり得る。

5 まとめ

これらの結果より以下の結論が得られた。

- 1) コンクリートガラをマルマールで磨砕処理することで再生骨材の品質が向上し、Mクラスの再生骨材製造が可能である。
- 2) マルマールで磨砕処理した再生骨材は、コンクリート用骨材としても利用可能である。

謝辞：

本報の執筆に際して、RMPC研究会ならびに宮城大学北辻政文教授にはコンクリート試験に関して多大なる御教授賜りました。改めまして厚く御礼申し上げますと共に謝意を表します。

参考文献：

- 1) 「建物解体コンクリート塊から製造した再生粗骨材の品質が再生骨材コンクリートに与える影響について」
入江 他 コンクリート工学年次論文集 vol.31 ,No.1
2009
- 2) 「震災コンクリート殻のプレキャスト製品への利用に関する研究」
開米浩久、北辻政文
土木学会東北支部技術研究発表会（2014）講演概要集

執筆者：

横谷建一郎

技術士（機械部門）

2004年入社

破碎機、浚渫ポンプの設計に従事

