

論文 Article

環境を考慮したコンクリート廃材の現場内リサイクルにおける
配合および施工方法に関する研究

原稿受付 2010 年 4 月 21 日

ものづくり大学紀要 第 1 号 (2010) 39~44

澤本武博^{*1}, 西謙一^{*2}^{*1}ものづくり大学 技能工芸学部 建設技能工芸学科^{*2}ものづくり大学 技能工芸学部 建設技能工芸学科 卒業生

A Study on Recycling of Concrete Waste in Site and Appropriate Mix Proportions.

Takehiro SAWAMOTO^{*1} and Kenichi NISHI^{*2}^{*1} Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists^{*2} Graduate, Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists

Abstract

When the concrete waste is recycled as the aggregate, the concrete waste is generally carried to the plant and the recycled aggregate is manufactured. However, in this method it needs significantly much energy and causes much CO₂ when the concrete waste is carried to the plant. Therefore, we need to consider about environment to study on recycling of concrete waste in site. In this study, we investigated, appropriate mix proportions used recycled coarse aggregate, properties of fresh concrete, pumpability, and properties of hardened concrete in case recycling of concrete waste in site. As a result, we proposed following process. (1)When mortar is manufactured at the plant, we add amount of additional water absorption of the recycled coarse aggregate into the water content. (2)The mortar is carried from the plant to the site. (3)The recycled coarse aggregate is manufactured in site and mixed to the mortar. To compare with recycled aggregate concrete manufacturing at plant it is same as this method of slump, pumpability, compressive strength, tensile strength, elastic modulus of elasticity, properties of chloride penetration.

Key Words : Concrete waste, Recycled coarse aggregate, Mix proportions, Strength, Pumpability

1. はじめに

コンクリート廃材をコンクリート用骨材として利用する場合、コンクリート廃材を中間処理工場に運搬、再生骨材を製造し、再生骨材コンクリートとして新たな現場で利用するのが一般的である。しかし、この方法では幾度もコンクリート廃材を運搬する必要があり、運搬コストおよびエネルギーを費やすことになる。

一方、コンクリート廃材を現場内で再利用する場合、大規模なコンクリートの製造プラントを建設し、現場内で再生骨材コンクリートを製造する

場合がある¹⁾。しかし、現場内にコンクリートの製造プラントを建設するには多大なコストがかかることや、山岳地帯などではプラントが建設できない場合も想定されるため、用途が限られてしまう。そのため、解体したコンクリートから再生骨材のみを製造し、生コン工場からモルタルを搬入した後、再生骨材を現場で混合するケースが考えられる。その際には、再生骨材コンクリートのポンプ圧送性などの施工性を考え、再生骨材に十分吸水処置を行っておくことが望ましい。しかし、環境問題の点から再生骨材の処理に大量の水を使用すると重金属が溶出する恐れがあり^{2~5)}、また、

水の処理に多大なコストが必要となるため、再生骨材を気乾状態のまま使用せざるを得ない場合も考えられる⁶⁾。

コンクリート廃材の現場内リサイクル（現場内にプラントを建設しない方法）に関する既往の研究では、普通骨材に再生骨材を混合する骨材置換法により検討を行っている例^{7~11)}はあるが、再生骨材の全量使用を目的とした場合についての研究はほとんど行われていない。また、再生骨材を気乾状態で使用した場合の明確な配合についての研究も、ほとんど行われていないのが現状である。そして、再生コンクリートの製造方法については、プラントにおいて、再生骨材分を除く各材料を練り混ぜたコンクリートを現場に搬入し、現場で再生骨材を投入する方法が提案されているが⁷⁾、モルタルのみをプラントで製造し、現場に搬入して再生コンクリートを製造する方法についての研究は、著者の知る限り行われていない。

本研究では、モルタルを現場に搬入し、気乾状態の再生粗骨材を使用する場合、気乾状態の再生粗骨材の有効吸水率分の水量を補正したモルタルに、再生粗骨材を投入して製造したコンクリートの、フレッシュ性状および硬化性状、また、スランプの経時変化およびポンプ圧送性について検討を行った。

2. 実験概要

本研究で想定する現場内リサイクルの流れは図1に示す通りである。

使用材料は表1に示した通りであり、粗骨材には碎石および再生粗骨材を使用した。なお、今回の実験では、現場で解体し簡易な方法で製造された再生粗骨材を想定して、T社製の再生粗骨材Lを使用した。コンクリートの製造方法は、まずそれぞれの配合から粗骨材を除いたモルタル（表3の網かけ部分）を製造し、その後粗骨材を投入し練り混ぜた。

2.1 コンクリートの配合の検討 (W/C=45%, 55%, 65%)

粗骨材の種類・状態およびコンクリートの配合は、それぞれ表2および表3に示す通りである。

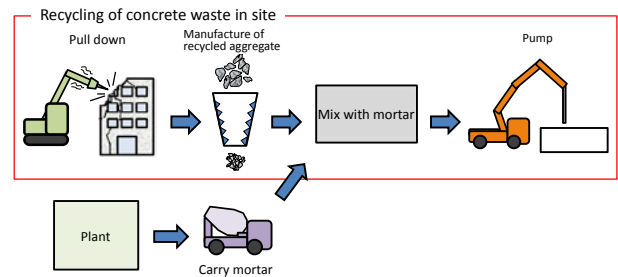


Fig. 1 Recycling of concrete waste in site assumed in this study

Table 1 Row materials concrete

Cement	Ordinary Portland cement (Density:3.16g/cm ³)
Fine aggregata	Sand (Density under saturated surface-dry condition:2.61g/cm ³ , Absorption:2.22%, Fineness modules:2.72)
Coarse aggregate	Crushed stone (Density under saturated surface-dry condition:2.64g/cm ³ , Absorption:1.24%, Fineness modules:6.67, Percentage of solid volume:59.8%)
	Recycled Coarse aggregate (Density under saturated surface-dry condition:2.42g/cm ³ , Destity under air-dry condition:2.35g/cm ³ , Destity under oven-dry condition:2.30g/cm ³ , Absorption:5.43%, Additional water absorption:3.20%)
Chemical admixture	Water-reducing and air-entraining admixture. High-range water-reducing and air-entraining admixture.

Table 2 Condition of coarse aggregate to mix

VS	Crushed stone under saturated surface-dry condition is used.
RS	Recycled coarse aggregate under saturated surface-dry condition is used.
RA	Recycled coarse aggregate under air-dry condition is used.
RW	Recycled coarse aggregate under air-dry condition is used and amount of additional water absorption is added to water content.

Table 3 Mix proprtions

W/C (%)	Condition of coarse aggregate	Air content (%)	Unit content (kg/m ³)				Ad** (C×%)
			W	C	S	G	
45	VS	4.5	175	389	747	979	1.0
	RS					897	
	RA					871	
	RW					175+27*	
55	VS	4.5	175	318	805	979	1.0
	RS					897	
	RA					871	
	RW					175+27*	
65	VS	4.5	180	277	826	979	0.5
	RS					897	
	RA					871	
	RW					180+27*	

*Amount of additional water absorption is added to water content.

**W/C=45%: High-range water-reducing and air-entraining admixture.

**W/C=55% and 65%: Water-reducing and air-entraining admixture.

水セメント比は 45%, 55%および 65%の 3 水準とし, さらに粗骨材については種類と状態により 4 水準とした. VS は粗骨材に表乾状態の碎石, RS は表乾状態の再生粗骨材, RA は気乾状態の再生粗骨材を使用した. RW は, 粗骨材に気乾状態の再生粗骨材を使用した, 再生粗骨材の有効吸水率(今回の実験では 3.2%)分の水量を, あらかじめモルタルの製造段階で補正しておいた.そして, RS と RW を主に比較し, 検討を行った. なお, RW では有効吸水率分の水量を補正しているため, 見掛け上の単位水量が表 3 のように大きくなった.

2.2 フレッシュおよび硬化コンクリートの性状 (W/C=45%, 65%)

試験項目としては, まずそれぞれの配合から粗骨材を除いたモルタルを製造し, モルタルフロー(0 打フロー)試験を行い, その後粗骨材を投入し練混ぜ, JIS A 1101:2005 に準拠してスランプ試験を行った.そして, 材齢 28 日まで水中で標準養生を行い, その後, JIS A 1108:2006 に準拠して圧縮強度試験, JIS A 1113:2006 に準拠して割裂引張強度試験, JIS A 1149:2001 に準拠して静弾性係数試験を行った. 塩水浸漬試験は, まず NaCl 濃度を 10%とした塩水に, 供試体を所定の日数浸漬させた.その後, 割裂し硝酸銀噴霧法によって, 塩分浸透深さを測定した.

2.3 経時変化およびポンプ圧送性の検討 (W/C=55%)

気乾状態の再生粗骨材を使用すると, 骨材が吸水することにより, 経時変化に伴うスランプロスが生じる可能性がある.そのため, コンクリートの練混ぜ後, 30 分ごとにスランプ試験を行い, 経時変化を測定した.

施工時のポンプ圧送によるスランプ低下も考え, 加圧ブリーディング試験を応用して, ポンプ圧送性の検討を行った.加圧ブリーディング試験は, コンクリートが圧送される際の脱水量に着目した簡易なポンプ圧送性の評価方法であるが, 脱水量を測定しているため, 間接的な評価方法であり, 直接圧送後のスランプに換算することはできない.そのため, 今回の実験では, 図 2 に示した一般的に使用されている粗骨材最大寸法が 40mm 以下用の加圧ブリーディング試験器を用い, 水抜きのコ

ックを閉めたまま 3.5N/mm^2 の応力が作用する荷重を 2 分間与え, その後, コンクリート試料を取り出し, ポンプ圧送後のスランプとして性状を調べた.その際, 一般的に使用されている加圧ブリーディング試験器は, 容量が 2 リットル程度と少ないため, 図 3 に示すように直径や高さをスランブコーンの 2/3 に縮小したミニスランブコーンを新たに作製し, 図 4 のようにあらかじめスランブとミニスランブの関係を測定することとした.



Fig. 2 Simple pumping test

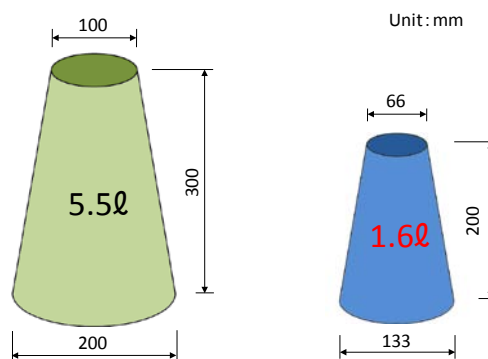


Fig. 3 Measurements of mold for slump test and mini-slump test



Fig. 4 Slump test and mini-slump test

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュコンクリートの性状

図5に示したように、モルタルフロー（0打フロー）は、RWの場合、有効吸水率分の水量を補正しているため、他の配合より大きくなった。スランプに関しても他の配合より若干大きくなり、

大気圧の状態ですぐには再生粗骨材が有効吸水率分の水量を吸収しないようである。一方、RAの場合、モルタルフローはRSと同程度であったが、図6に示したように、スランプはRSに比べて10cm程度低下した。これは、気乾状態の再生粗骨材が練混ぜ水を吸収したためと考えられる。

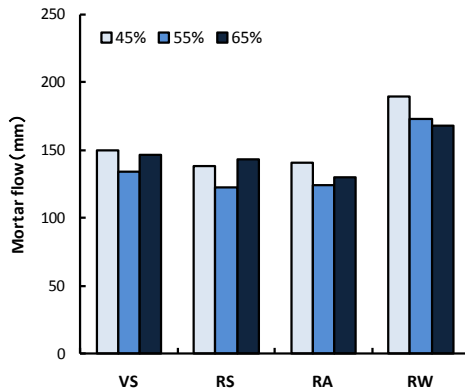


Fig. 5 Mortar flow test results

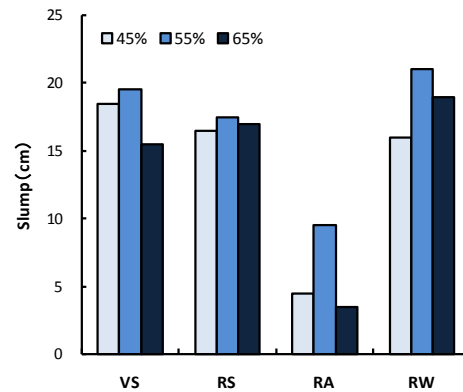


Fig. 6 Slump test results

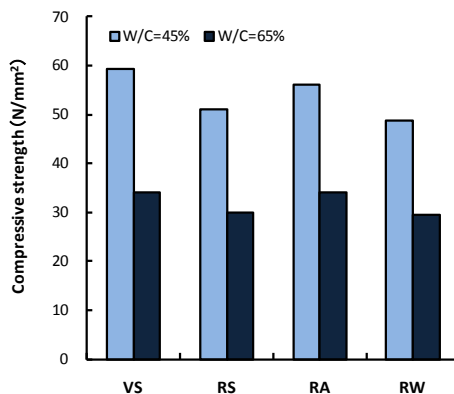


Fig. 7 Compressive strength test results

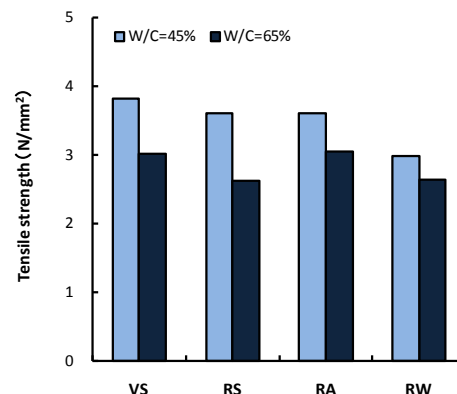


Fig. 8 Tensile strength test results

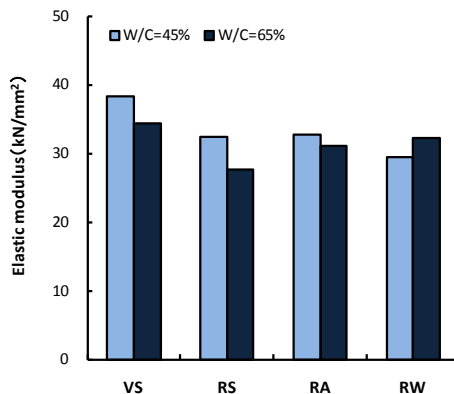


Fig. 9 Elastic modulus test results

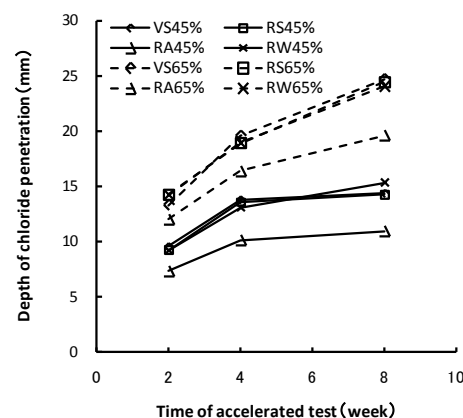


Fig. 10 Relation between time of accelerated test and depth of chloride penetration

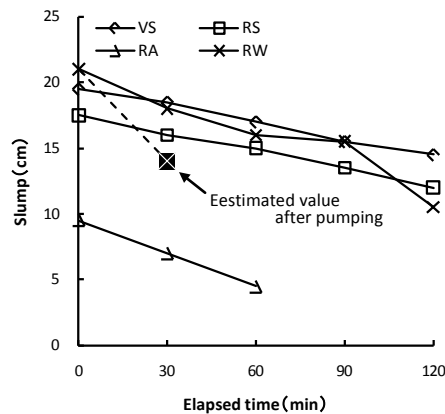


Fig. 11 Relation between elapsed time and slump

3.2 硬化コンクリートの性状

圧縮強度および引張強度は、図7および図8に示したように、RSの場合は、砕石を使用したVSに比べると強度は若干低下した。これは、再生粗骨材自体の強度が、砕石より小さいことによると考えられる。一方、RWの場合は、RSと同程度の強度が得られ、有効吸水率分の水量を補正しても強度には影響せず、今回の補正方法は有効であると考えられる。静弾性係数は、図9に示したように、RS、RA、RWの場合、砕石を使用したVSの場合に比べ若干低下した。これは、再生粗骨材に静弾性係数の小さいモルタル分が付着しているためと考えられる。塩分浸透深さは、図10に示したように、VS、RS、RWは同程度で、RAは浸透しにくいようである。これは、強度と同様に、RAの場合は、気乾状態の再生粗骨材が水分を吸収し、見掛け上の水セメント比が小さくなったからと考えられる。耐久性の面から見ても、VS、RS、RW、の塩分浸透深さは同程度であり、今回の配合の補正方法は有効であると考えられる。

3.3 経時変化およびポンプ圧送性の検討

図11に示したように、経時変化は、RWの場合、練上り時には、有効吸水率分の水量をすぐに吸収していないと思われるため、スランプは大きくなるが、しかし、スランプロスにはRSに比べて大きくなる傾向にあった。これは、図12に示したように、ミニスランプでも同様の傾向が見受けられた。

圧送によるスランプ低下の推定は、加圧ブリーディング試験器の水抜きのコックを閉めたまま加圧したコンクリートのミニスランプが図12に示したように7.0cmであったため、図13に示した関

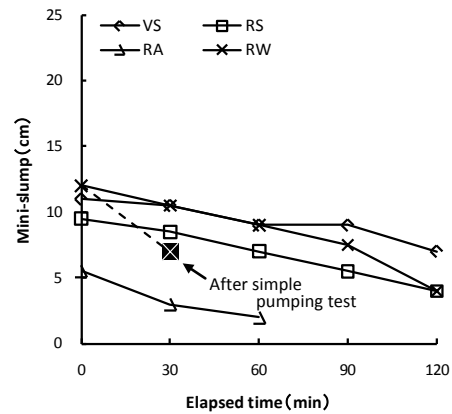


Fig. 12 Relation between elapsed time and mini-slump

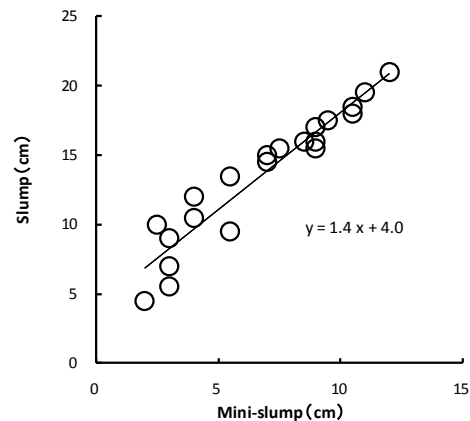


Fig. 13 Relation between mini-slump and Slump

係式(図11と図12の関係)から、圧送後のスランプを推定すると14.0cmとなる。これは、RWの経過時間が30分の時で考えると、圧送することによって4.0cmのスランプ低下が生じることになるが、RSの場合とほぼ同程度であり(RSは表乾状態の再生粗骨材を使用しているため、圧送によるスランプ低下はほとんどないと推定できる)施工上問題ない範囲と思われる。

4. まとめ

現場にモルタルを搬入し、気乾状態の再生粗骨材を現場で投入する場合、再生粗骨材の有効吸水率分の水量をモルタルの製造段階で補正しておく、圧縮強度、引張強度、静弾性係数、塩分浸透深さは表乾状態の再生粗骨材を用いた場合と同程度となった。また、ポンプ圧送後にも表乾状態の再生粗骨材を用いた場合と同程度の流動性が得られると考えられる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、澤本研究室の学生に多大なご協力をいただきました。ここに記して深謝いたします。

文 献

- 1) 黒田泰弘・橋田浩・山崎庸行・宮地義明：構造用再生骨材コンクリートによる現場内リサイクル，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），(2004) 61-64
- 2) 黒田泰弘・輿石直幸：解体コンクリートからの六価クロム溶出に関する研究，日本建築学会構造系論文集，74，646(2009) 2155-2161.
- 3) 中平貴・黒田泰弘・輿石直幸：解体コンクリートからの六価クロム溶出に関する研究（微量成分溶出試験における諸条件の影響），日本建築学会関東支部研究報告集，(2004) 17-20.
- 4) 野村隆太・廣嶋裕晃・黒田泰弘・輿石直幸：解体コンクリートからの六価クロム溶出に関する研究（セメント成分，養生および炭酸化の影響），日本建築学会関東支部研究報告集，(2006) 61-64.
- 5) 廣嶋裕晃・黒田泰弘・輿石直幸：解体コンクリートからの六価クロム溶出に関する研究（再生砕石の実態調査と考察），日本建築学会大会学術講演梗概集，(2006) 609-610.
- 6) 澤本武博・辻正哲・西謙一：環境を考慮したコンクリート廃材のコンクリート用骨材の利用に関する研究，(社)全国解体工事業団体連合会 解体工事に係る研究報告書梗概集 (2009) 23-30.
- 7) 道正泰弘・成川匡文・大島豊・菊池雅史・増田彰・江口清：大規模電力建物における再生骨材および再生コンクリートの利用（その7. 再生コンクリートの製造方法），日本建築学会大会学術講演梗概集，(1997) 1033-1034.
- 8) 寺西浩司・成川匡文・大島豊・道正泰弘・中込昭・菊池雅史：大規模電力建物における再生骨材および再生コンクリートの利用（その8. 再生骨材現場投入方式によるコンクリートの製造に係わる影響要因），日本建築学会大会学術講演梗概集，(1997) 1035-1036.
- 9) 江口清・成川匡文・大島豊・道正泰弘・寺西浩司・菊池雅史：大規模電力建物における再生骨材および再生コンクリートの利用（その9. 再生骨材現場投入方式によるコンクリート中の粗骨材の分散性），日本建築学会大会学術講演梗概集，(1997) 1037-1038.
- 10) 江口清・道正泰弘・内川祐一郎・成川匡文・寺西浩司・菊池雅史：大規模電力建物における再生骨材および再生コンクリートの利用（その17. 再生骨材現場投入方式によるコンクリート製造の実機攪拌試験），日本建築学会大会学術講演梗概集，(1998) 755-756.
- 11) 依田和久・原田実・黒沼出：ステージミキシング方式により製造した再生コンクリートの実用性の検討（現場内リサイクルシステムによる再生コンクリートの実用化研究 その1），日本建築学会構造系論文集，548，(2001) 1-7.