

機関番号：56101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20510087

研究課題名（和文） 廃棄資源のみからなるコンクリートと補強用竹筋を複合化した環境配慮型建設材料の開発

研究課題名（英文） Development of Construction Material in Consideration of Environment Which Bamboo Reinforcement with Concrete Produced by only Using Waste

研究代表者

堀井 克章 (HORII KATSUNORI)

阿南工業高等専門学校・建設システム工学科・教授

研究者番号：90165580

研究成果の概要（和文）：

本研究は、環境負荷の高いセメントや鉄筋、環境資源である天然の砂や砂利などを使わず、廃棄資源のみからなるコンクリート（廃棄資源コンクリート）や里山荒廃の原因となっている竹を複合化した新しい環境配慮型構造材料の実用化に向けた実験を行い、その適用法を提案するものである。

本実験では、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末、脱硫石膏、高炉スラグ骨材、再生骨材などからなる廃棄資源コンクリートを製造し、耐凍害性、耐酸性、耐硫酸塩性を調査するとともに、補強材として用いる竹の耐水性や補強効果を検討し、これらの問題点や改善策を検証した。

本研究成果として、廃棄資源コンクリートは、耐凍害性、耐酸性、耐硫酸塩性に問題を有するが、ビニロン繊維、ポリマー混和材、高性能減水剤、フライアッシュ、AE 剤などを用いたセメントモルタル製永久型枠の使用で改善すること、廃棄資源コンクリートに用いる無処理の竹は、耐水性や補強効果に問題を有するが、樹脂や砂を接着することで改善すること、液体窒素を用いる凍結融解試験は、通常の方法に比べて消費電力や試験時間の面で有利となることなどが確認できた。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this research is to propose how to use structural materials in consideration of the new environment. The structural materials are manufactured from the concrete and bamboo reinforcement without using the cement and reinforcing bar of high environment load, and the sand and gravel of natural resources at all.

Experiments about the freezing-thawing resistance and chemical resistance of concrete produced by only using waste resources, and the alkaline water resistance and reinforcement performance of bamboo reinforcement were carried out, and some problems and solutions were examined. The waste resources used in the experiments are in such cases as the fly ash, blast furnace slag, desulfurized gypsum, recycled aggregate, and so on.

As the results of these experiments, the following conclusions may be stated. These improve by the use of the permanent formwork made by using vinylon fiber polymer dispersion fly ash high-rang water-reducing admixture air-entraining admixture, and so on, though the concrete produced by only using waste resources has some problems to the acid, sulfate and freezing-thawing resistances. These improve by gluing epoxy resin and sand, though the bamboo has some problems to alkaline water resistance and reinforcement performance in the concrete. The freezing-thawing test by liquid nitrogen is favorable when electric power consumption and test time are compared with a general method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学 ・ 環境技術・環境材料（2004 A）

キーワード：環境材料、廃棄物再資源化、地球温暖化ガス排出削減、コンクリート、竹

1. 研究開始当初の背景

わが国の建設業は停滞気味だが、世界的にみると、年間100億トンを超えるコンクリートや年間10億トンを超える鉄鋼などの生産量が増加しており、石炭火力発電所から出る石炭灰、金属の精錬で出るスラグ、建造物の解体で出るコンクリート塊などの廃棄物も急増している。

研究代表者は、大学での卒業研究時代から長年取り組んできた産業廃棄物をコンクリートに有効利用する研究成果をもとに、平成13年度から、製造時に炭酸ガスを多量排出するセメント、採取時に生態系を悪化させる砂や石などを全く使わず、石炭火力発電所から出る石炭灰や脱硫石膏、製鉄所から出る鉄鋼スラグ、建造物の解体から出るコンクリート塊などを有効利用した廃棄資源コンクリートを開発してきた。平成16年度からは、練混ぜ水に、海水や生コン工場から出るミキサや生コン車の洗浄排水（回収水）を使った廃棄資源コンクリートを開発するとともに、鉄筋に代わる補強材として、全国で里山荒廃の原因となっている竹を補強材とした世界初の竹筋廃棄資源コンクリートはりの製造も行っている。

これらの研究成果として、廃棄資源コンクリートは、通常のセメントを使用したコンクリートと同様な方法で製造でき、まだ固まらない状態では、材料分離抵抗性が高く、流動性も比較的良好で、凝結・硬化速度は、材料の種類や配合および温度によって左右され、硬化後は、通常のコンクリートと同程度の強度などを得ることができ、埋め込んだ鉄筋は材齢初期からさびが生じ、付着性の悪さやカビの発生といった問題はあるが竹筋にも補強効果があることなどを確かめてきた。

しかし、廃棄資源コンクリートには、色、臭い、初期強度発現性などに問題があり、強度を発揮するには十分な湿潤養生が必要となるため、用途としては、地中や水中の構造物に限定される。この用途を広げるには、研究代表者が学生時代から取り組んできた繊維補強コンクリートに関する研究成果をもとに、平成元年度から取り組んできた繊維補

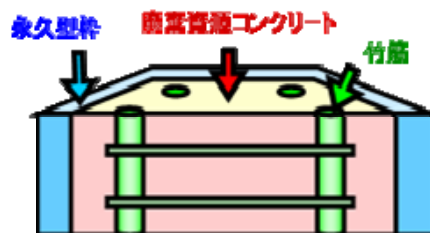


図1 複合体の構成

強ポリマーセメントコンクリート製永久型枠との複合化が有効といえる。この複合化は、工場製品の永久型枠や竹筋を組み立て、その内部に廃棄資源コンクリートを打ち込むもので、図1のような構成となる。

永久型枠は、通常の型枠と同様にコンクリート工事で使用し、コンクリートが固まった後も取り外さずにコンクリートの表面に永久的に残す工場製品であり、大量に使い捨てられる合板型枠が不要となり、内部のコンクリートの脱型・養生・仕上げ工程が省略でき、工場製品と現場施工の技術が共用できるため、熱帯林の保護、建設廃材の削減、施工の合理化、製品工場・施工会社の共生などに有効となる。

以上のように、本研究は、産業廃棄資源を有効に利用することで、地球温暖化防止、熱帯林保護などの地球規模での環境対策、生態系維持、里山保全などの地域における環境対策などに有効な建設技術といえるが、研究は始まったばかりであり、実用化には至っていないため、これを発展させて一般に普及させるためには、耐久性や設計手法など未解決の問題もあるので、研究データを蓄積し成果を公表していく必要がある。

2. 研究の目的

世界中で大量に製造されるセメントは、1トンの製造で0.7～1.0トンの炭酸ガスを排出し、粗鋼では、1トン当たり2トンを超える炭酸ガスを排出するという試算がある。また、通常のコンクリートでは、セメントの5倍程度以上の砂や小石が使われるため、その

採取場所となる河川、海、山などに重大な環境破壊を起こしており、良質骨材の枯渇化も深刻である。加えて、コンクリートの製造や運搬で生じるアルカリ性の洗浄排水、構造物の老朽化や被災によって発生するコンクリート塊なども世界中で急増しており、これら廃棄資源の有効利用が問題となっている。

銑鉄や鋼の製造では、スラグが排出されるが、わが国だけでも鉄鋼スラグは年間4千万トン弱排出されている。また、電力事情からわが国では石炭火力発電所が増設中で、年間1千万トンを超えて排出されている石炭灰は増加傾向にある。これらの有効利用は、世界的にも重要である。

本研究代表者の所属機関がある阿南市は、全国第2位の規模を誇る石炭火力発電所が立地しているばかりでなく、わが国有数のタケノコの産地として竹林が広く分布している。竹については、需要の低迷や中国からの輸入で、竹林の荒廃や森林・田畑・宅地への増殖が深刻な問題となっており、本機関と阿南市は現在協定を組んで竹の有効利用を検討中である。また、急成長を遂げているアジアでは鉄鋼不足が深刻化しており、鉄筋に代わるコンクリート用補強材として、手近に自生し、成長の早い竹の利用が考えられる。

以上のようなことから、産業廃棄資源や竹を活用し、世界中で大量に製造されるコンクリートの一部に利用できる新しいコンクリートを開発すれば、世界規模での環境対策となり、地元の阿南市が抱える環境問題の解決にも役立つものとなる。

永久型枠は、熱帯材からなる合板型枠を数回の転用で建設廃材として廃棄・消却する現在のシステムに代わり、コンクリート工事で型枠として利用後も取り外さず、構造物で力学的にも機能的にも最も重要な表層部に永久的に埋設するコンクリート製の薄板製品である。零細企業が大半のコンクリート製品工場と現場施工会社が共生できるハーフプレキャスト工法として利用でき、熱帯材の保護、建設廃材の削減、型枠の撤去・内部コンクリートの養生、表層部の仕上げなどの工程が省略できるなどの利点があり、型枠を高耐久化することによる構造物の長寿命化、電磁気材料の利用や意匠性の加味で付加価値を高めることも可能となる。しかし、薄肉弾面のため、繊維やポリマーなどをセメントコンクリートに利用することが必要となるが、研究代表者は、比較的安価で、特別な設備を要することなく製造できる永久型枠の開発を行った実績がある。

本研究代表者が平成14～16年度に受けた科学研究費補助金（基盤研究C「産業廃棄物のみで硬化する新しいコンクリートと永久型枠との複合化工法の開発」）による研究では、廃棄資源コンクリートの製造法や性状の

検討、廃棄資源コンクリートに埋め込んだ鉄筋や竹筋の劣化の調査、永久型枠との付着性状の評価などを行ってきた。

これらの成果をもとに、本研究では、竹筋廃棄資源コンクリートを単体で使用する場合は耐凍害性（凍結融解抵抗性）、耐薬品性（化学抵抗性）などの耐久性の調査、突起などによる竹筋の付着性改善策を施した竹筋廃棄資源コンクリートはりの載荷試験による竹筋の補強効果の検証、用途拡大のために竹筋廃棄資源コンクリートと永久型枠を複合化させたはりの載荷試験による一体性の検討などを行い、実用化に向けた評価を行った。

3. 研究の方法

(1) 廃棄資源コンクリートおよび竹筋の耐久性および補強効果の検討

セメントの代わりに高炉スラグ微粉末 (B)、フライアッシュ (F) および脱硫石こう (G)、天然骨材の代わりに高炉スラグ骨材 (B) や再生骨材 (R) を用いて廃棄資源コンクリートを製造し、凍結融解試験、酸や硫酸塩の水溶液を用いた浸漬試験などを行い、使用材料が廃棄資源コンクリートの耐久性に及ぼす影響を調査した。

次に、アルカリ性の水への浸漬で品質低下が懸念される竹について、加熱油抜き、燻煙、海水浸漬、樹脂被覆、樹脂被覆砂付け、ポリマー被覆などの処理を施し、アルカリ水に浸漬して色や強度の変化を調べるとともに、これらの処理を施した竹筋と廃棄資源コンクリートを複合化させて製造した小形はりによる曲げ載荷試験を行い、様々な処理を施した竹の補強効果を調べた。

(2) 永久型枠を用いた廃棄資源コンクリートの耐久性や竹筋廃棄資源コンクリートはりの補強効果の検討

ビニロン短繊維 (VF)、スチレンアクリル系ポリマー混和材 (P)、標準砂 (SS)、普通セメント (C)、フライアッシュなどで15mm厚の繊維補強ポリマーセメントモルタル製永久型枠を作製し、廃棄資源コンクリートと複合化させ、凍結融解試験、酸や硫酸塩を用いた浸漬試験などを行い、廃棄資源コンクリートの耐凍害性や耐薬品性に及ぼす永久型枠の有効性を調査した。

次に、この永久型枠に竹筋廃棄資源コンクリートはりを打設した複合体を作製し、曲げ載荷試験を行い、永久型枠の利用効果を検討した。

実験で使用した示方配合を表1、はりの状況を図2に示す。図中の記号で、Wは水、SBは高炉スラグ細骨材、GRは再生粗骨材、CHはアルカリ性の回収水を想定した水酸化ナトリウムを示す（他の記号は上述）。

表1 廃棄資源コンクリートと永久型枠の配合

種類	水結合材比(%)	細骨材率(%)	単位量 (kg/m ³)											
			W	C	P	F	B	G	SB	GR	SS	CH	VF	
廃棄資源コン	45	52	190	-	184	184	55	873	725	-	4	-	-	
永久型枠	40	100	195	439	49	146	-	-	-	1318	-	27	-	

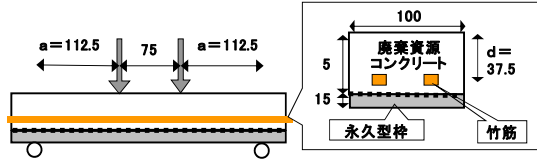


図2 はりの状況(単位: mm)

(3) 廃棄資源コンクリートにおける耐薬品性や耐凍害性の改善策に関する検討

廃棄資源コンクリートで問題が判明した耐凍害性や耐薬品性を改善するため、ポリマー混和材だけでなく、高性能減水剤や AE 剤を用いたビニロン繊維補強セメントモルタル製の永久型枠を製造し、廃棄資源コンクリートと複合化させ、凍結融解試験、酸や硫酸塩を用いた浸漬試験などを行い、廃棄資源コンクリートの耐凍害性や耐薬品性に及ぼす永久型枠の使用材料の影響を調査した。

4. 研究成果

(1) 廃棄資源コンクリートおよび竹筋の耐久性および補強効果の検討

実験から得られた結果を以下に要約する。普通コンクリートに比べ、廃棄資源コンクリートの耐凍害性はかなり低いこと、再生骨材を使用した廃棄資源コンクリートは、普通コンクリートや高炉スラグ骨材を使用した廃棄資源コンクリートに比べ、耐酸性や耐硫酸塩性が低いこと、竹筋はアルカリ水への浸漬で強度低下を生じるが、樹脂やポリマーによる被覆処理でこれを抑制できること、エポキシ樹脂を塗布した後にフェロニッケルスラグ砂を散布した竹筋を用いると付着性が高まるので、竹筋廃棄資源コンクリートの曲げ耐力が向上することなどを確認した。

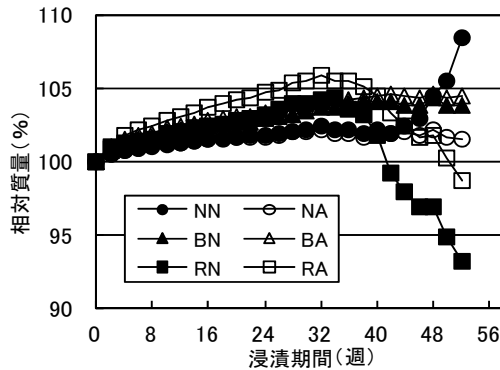


図3 耐硫酸塩性

図3は硫酸マグネシウム 10%水溶液浸漬

試験結果である (N; 普通コンクリート、B; 高炉スラグ骨材使用廃棄資源コンクリート、R; 再生骨材使用廃棄資源コンクリート、A; AE 剤使用、N; AE 剤不使用)。

(2) 永久型枠を用いた廃棄資源コンクリートの耐久性や竹筋廃棄資源コンクリートはりの補強効果の検討

実験から得られた結果を以下に要約する。廃棄資源コンクリートの耐酸性や耐硫酸塩性は、普通コンクリートと比べて再生骨材使用時に試験体の質量変化が大きくなって問題となるが、永久型枠の使用で改善されること、廃棄資源コンクリートは、普通コンクリートと比べて耐凍害性が低く、永久型枠の使用による改善効果も低いこと、竹筋廃棄資源コンクリートはりは、竹筋に砂をエポキシ樹脂で接着し、砂の一部にフライアッシュで置換することで曲げ性状が向上することなどを確認した。

図4は、はりの曲げ試験結果である。

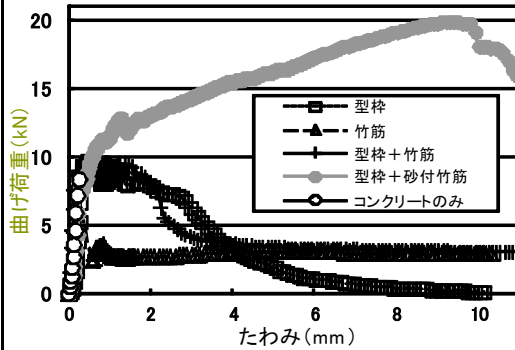


図4 はりの荷重たわみ関係

(3) 廃棄資源コンクリートにおける耐薬品性や耐凍害性の改善策に関する検討

実験から得られた結果を以下に要約する。廃棄資源コンクリートの耐久性で問題となる耐凍害性や耐薬品性の改善策として、ポリマー混和材や高性能減水剤を用いたビニロン繊維補強セメントモルタル製の永久埋設型枠の利用が有効となること、廃棄資源コンクリートや永久埋設型枠への AE 剤の使用効果があること、1.5 ヶ月程度を要する通常の試験法に比べ、液体窒素と温水を利用する凍結融解試験は、窒素ガス吹付け時間に留意を要するが電力をほとんど使わず数時間で耐凍害性を評価できる優れた試験法となることなどが確認できた。

図5および図6は、塩酸 2%水溶液および硫酸マグネシウム 10%水溶液を用いた浸漬試験結果である。また、図7および図8は恒温槽 (通常法) および液体窒素を用いた凍結融解試験結果である。これらの図中の記号は、R; 再生粗骨材使用廃棄資源コンクリート、P; ポリマー使用繊維補強モルタル (永久型

枠)、H;高性能減水剤使用繊維補強モルタル(永久型枠)、A;AE剤使用、N;AE剤不使用を示す。例えば、PARはポリマー使用繊維補強モルタル製永久型枠とAE剤を使った再生粗骨材廃棄資源コンクリート、HNはAE剤を使わず高性能減水剤を用いた繊維補強モルタル(単体で実験)である。

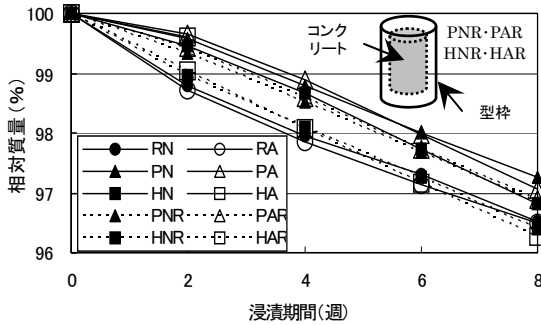


図5 耐酸性

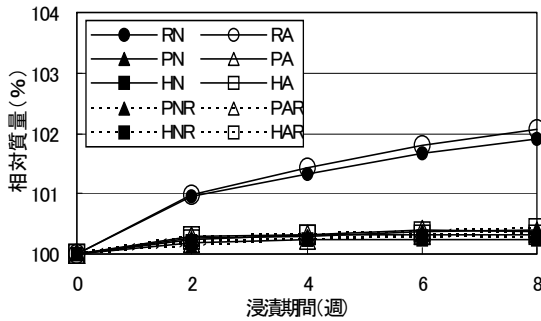


図6 耐硫酸塩性

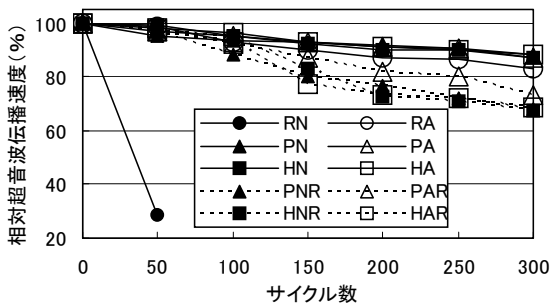


図7 耐凍害性(通常法)

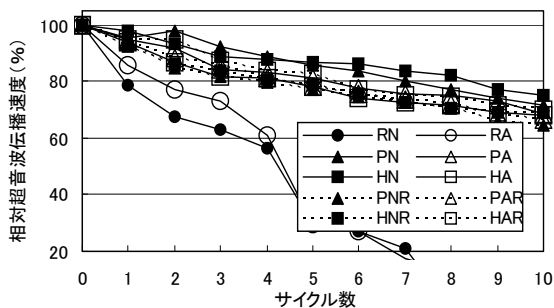


図8 耐凍害性(液体窒素法)

5. 主な発表論文等
[雑誌論文](計5件)

- ① 堀井克章、廃棄資源コンクリートの大役品性と耐凍害性に対する永久型枠の利用効果、土木学会年次学術講演会講演概要集、査読無、Vol.66、No.5、2011(掲載予定)。
- ② 堀井克章、永久型枠を用いた廃棄資源コンクリートの耐薬品性と耐凍害性に関する検討、土木学会年次学術講演会講演概要集、査読無、Vol.65、No.5、2010、pp.887-888。
- ③ 堀井克章、VFRPCM製永久型枠を用いた竹筋廃棄資源コンクリートはりに関する検討、土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集、査読無、Vol.16、2010、pp.319-320。
- ④ 堀井克章、廃棄資源のみからなるコンクリートの耐薬品性と耐凍害性に関する検討、土木学会年次学術講演会講演概要集、査読無、Vol.64、No.5、2009、pp.693-694。
- ⑤ 堀井克章、廃棄資源コンクリートの補強材として利用する竹の耐久性改善に関する検討、土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集、査読無、Vol.15、2009、pp.257-258。

[学会発表](計5件)

- ① 堀井克章、廃棄資源コンクリートの大役品性と耐凍害性に対する永久型枠の利用効果、土木学会年次学術講演会、2011年9月、愛媛大学(発表予定)。
- ② 堀井克章、永久型枠を用いた廃棄資源コンクリートの耐薬品性と耐凍害性に関する検討、土木学会年次学術講演会、2010年9月、北海道大学
- ③ 堀井克章、VFRPCM製永久型枠を用いた竹筋廃棄資源コンクリートはりに関する検討、土木学会四国支部技術研究発表会、2010年5月、徳島大学。
- ④ 堀井克章、廃棄資源のみからなるコンクリートの耐薬品性と耐凍害性に関する検討、土木学会年次学術講演会、2009年9月、福岡大学。
- ⑤ 堀井克章、廃棄資源コンクリートの補強材として利用する竹の耐久性改善に関する検討、土木学会四国支部技術研究発表会、2009年5月、愛媛大学。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀井 克章 (HORII KATSUNORI)

阿南工業高等専門学校・建設システム工学科・教授

研究者番号: 90165580

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし