

平成 22 年 5 月 28 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006 ～ 2009
 課題番号：18560570
 研究課題名（和文） 廃棄物を用いたコンクリート用骨材の製造・開発及び用途の拡大
 研究課題名（英文） Application of concrete and concrete products using aggregate made from industrial waste
 研究代表者
 椎葉 大和（SHIIBA HIROYUKI）
 福岡大学・工学部・教授
 研究者番号：30103782

研究成果の概要（和文）：近年、骨材資源は環境保全や資源の枯渇等により減少傾向にある。従って、資源確保の手段として、廃棄物の有効利用を兼ねてコンクリート分野への迅速な再資源化の要求がある。そこで、本研究は、鉱物系微粉末、再生骨材、廃ガラス発泡骨材、風化花崗岩、都市ごみ等を用いたコンクリートの性状の把握及びこれらを用いたコンクリート系二次製品化の可能性について検討を行った。さらに、既存の低強度 RC 造を対象に、RC 柱の耐震・耐久性の向上の確認を行った。

研究成果の概要（英文）：Recently natural aggregate for concrete is running short globally, due to the increasing influence of environment protection, and because accessible reserves are dwindling and demand for recycling method is increasing using industrial wastes, construction by-products, life wastes. Toward this situation, the progress on high quality recycled aggregate and concrete-products techniques has been made rapidly. It is important to clarify the mechanical characteristics and durabilities of low strength concrete from the existing buildings.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,800,000	0	1,800,000
2007 年度	500,000	150,000	650,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	3,300,000	450,000	3,750,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：廃棄物、再資源化、骨材の品質改善、ポーラスコンクリート、フライアッシュコンクリート、低強度コンクリート

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、社会の発展に伴ってコンクリート構造物の果たす役割は一層大きくなっており、しかも大規模化や高層化の傾向が顕著になってきている。従って、その基本となるコンクリートに対する要求も一段と高まってくると同時に、高性能化が求められている。例えば、強度的には鋼材に近いコンクリートが出現し始めていることからわかる。

(2) しかも一方では社会生活の向上が、資源の多量消費と同時に資源の枯渇化を進行させているというのが実状である。このような環境下で、各種廃棄物の再資源化や有効利用、耐久性の確保等の要件がコンクリートの多様化傾向が進む中で、新しいニーズとして求められてきている。

2. 研究の目的

(1) 主として、比較的多量に排出されている各種廃棄物をコンクリート材料として用いた際に、コンクリートとしての適用性と有効利用について把握するのが目的である。そのため、まずコンクリートに対して単に混和材として、また、品質改善を施した骨材として使用したコンクリートの性状を把握し、次に各種建設材料の代替材やコンクリート二次製品としての可能性を検討した。なお、二次製品としては、廃ガラス発泡性骨材を用いた軽量の屋上緑化基盤システムや雨水浸透製品等の製作を中心に検討した。

(2) 再生骨材については、基本的にはコンクリートの破砕塊を用いて、JIS 基準を満たす完全リサイクル型で、良質な再生骨材の製造方法の開発を主な目的としている。その際に、再生骨材の性状及び再生コンクリートの特性の検討も行った。さらに、一般的に製造されている再生骨材使用の再生コンクリート製 RC はりの適用性の評価について検討を行い、同時に、既存の低強度コンクリート柱の耐震性や耐震補強効果等の実験も並行して行ってみた。

3. 研究の方法

(1) 微粉末系廃棄物（フライアッシュ、コンクリート微粉末、廃ガラス発泡骨材微粉末等）は、主に微粉末の添加率の違いとモルタルやコンクリートの基本的性状（流動性、強度、収縮率、耐薬品性等）について比較して最適調合を把握する。固形廃棄物（貝殻、廃木材チップ、風化花崗岩（マサ土）、都市ごみ）については、ポーラスコンクリートや普通コンクリート等に用いて性能の向上を図り、建設代替材としての使用を検討した。

(2) 再生骨材に関しては、再生骨材の品質基準（JIS）の確保と再生骨材製造時の発生微粉末の抑制対策の両面を踏まえたうえで新システムによる再生骨材の製造システム

（完全リサイクル型システム）の開発を行う。さらに、再生骨材を用いた RC はりの曲げ載荷試験による構造性能（ひび割れ性状、曲げ耐力等）を把握する。

(3) 廃ガラス発泡骨材を用いた軽量コンクリートに関しては、骨材の軽量性や保水性に着目し、コンクリート二次製品の製造を目的として屋上緑化植栽基盤と植物の成長（植物の種類、アルカリ濃度等）との関係を把握する。次に、雨水の浸透効果と軽量コンクリートの空隙率との関係からコンクリートの最適調合を決定する。

4. 研究成果

(1) 再生骨材の製造及び再生骨材・再生コンクリートについて

①再生骨材の製造時に問題となる発生微粉末（全体量の30～40%）抑制対策として、微粉末を再生骨材に付着させた完全リサイクル型の画期的な製造システム方法（1時間に20トン程度製造可能）を考案した。本システムによる付着再生骨材は、粒形の改善により実積率は62～69%程度まで改善されている。さらに付着再生骨材を用いたコンクリートでは、大幅な単位水量の低減（6～21 kg/m³）により普通コンクリートに比べ圧縮強度、引張強度及び中性化速度等には大差がない。しかし、乾燥収縮率（材齢6ヶ月）が普通コンクリートの1.1～1.4倍と大きくなっている。そこで、乾燥収縮率の低減のために今後の課題として含浸加工などによって骨材吸水率を低下させる必要がある。

②RC はりに再生骨材コンクリートを用いた場合の構造性能に関しては、載荷試験（静的及び繰返し載荷）に伴うひび割れ性状では、再生骨材の品質の影響はほとんどみられず、砕石コンクリートの場合とほぼ同等の曲げ耐力が得られている。

③普通コンクリートに比べ、さほど強度を期待しない透水性（ポーラス）コンクリートに再生骨材を用いても、目標空隙率10%以下で歩道用透水舗装の条件値（透水係数が 1.0×10^{-1} cm/sec、曲げ強度3.0 N/mm²以上）を満たしている。さらに、乾燥繰返しによる耐久性に問題はなく、アスファルト舗装に比べてもコンクリート中の空隙からの水分の蒸発に伴う気化熱によって温度低減効果が確認できた。

(2) 廃ガラス発泡骨材及び廃ガラス発泡骨

材を用いたポーラスコンクリートについて
①廃ガラス発泡骨材は形状がいびつで、内部に大小の空隙を有した保水性の高い軽量骨材（絶乾密度 0.3~0.8 g/cm³）である。廃ガラス発泡骨材を用いたポーラスコンクリートとしての圧縮強度は 3~13 N/mm²程度と低く、構造材には適しない。しかしながら、軽量性や保水性の観点からコンクリート系二次製品としての用途開発は可能である。なお、本ポーラスコンクリートは 2004 年に「環境保全型軽量コンクリート」として実用新案特許の出願を行っている。

②廃ガラス発泡骨材の製造の際の発生微粉末（粒子径 100~300 μm）の有効利用の検討をモルタルを用いて行った。その結果、微粉末添加率 25%程度では混和剤添加によりモルタルの流動性の確保が可能である。しかし、乾燥収縮率（材齢 3 ヶ月）が 11.0×10^{-4} 強で、普通モルタルの 2 倍程度となっている。そこで、乾燥収縮率を下げるには細骨材の吸水率（33.4%）を工夫する必要がある。

③廃ガラス発泡粗骨材を用いたポーラスコンクリート（圧縮強度 2~10 N/mm²）では、骨材自体の保水性とポーラスコンクリートに伴う排水性、さらに、セメント使用に基づくアルカリ濃度の低減といった点も含めて屋上緑化植栽基盤システムの実用化の目処がたっている。特に、公共施設（学校、公園等）や開発物件に雨水の浸透性を利用した浸透（集水）トレンチ等への実用化が共同研究によってなされている。

（3）他の廃棄物の有効利用について

①貝殻（アコヤ貝）及び廃木材チップ

破砕貝殻や廃木材チップは形状がいびつで厚みも箔状のために、両者をポーラスコンクリートに用いれば空隙率は最大で 50% 近くになり、圧縮強度は極端に小さくなり、空隙と圧縮強度の関係では空隙率が増すに従って、廃木材チップの場合の圧縮強度は 0.5~0.1 N/mm²、貝殻の場合は 1.0~0.2 N/mm²程度となる。しかし、両材料を用いた場合の植栽基盤 1 セット当りの許容荷重は 1~10 トン程度と推定されるので、基盤に作用する荷重が小さい屋上緑化基盤としては有用である。さらに、最終的に自然に戻すことを前提とした遊歩道等への利用も考えられている。

②フライアッシュ（FA）

石炭火力より発生する FA の特性のうち、特にコンクリートの品質に影響を与える炭素量（未燃焼カーボン）測定に関して、従来はメチレンブルー吸着量試験によっている。そこで、新しく有機元素分析による炭素量測定による試験法を提案するもので、本分析法によると従来方法（メチレンブルー吸着量試験）に比べて測定精度は同等であるが、分析時間が約 1/8 程度に短縮されている。

また、FA の強度発現は各種の要因（養生温

度、材齢、水分供給状態、FA 混合方法・置換率）の影響を受けるので、圧縮強度は配合ごとに積算温度から推定可能であることを提案した。また、FA コンクリートの配合設計では FA の置換率が異なる内割と外割の方法がある。これに対して FA の性能（ポゾラン反応）を活用して単位 FA 量の観点から統一的な配合、即ち、FA 混入により単位水量の減水効果は水分粉体容積比により定量的にその範囲が把握でき、FA コンクリートの圧縮強度は W/B (B=C+FA) との相関が大きいことから、FA コンクリートでも普通コンクリートと同様の統一的な配（調）合設計が可能であることを提案したものである。

③風化花崗岩（マサ土）

砂防・ダム分野では廃棄岩等の現地発生材を有効利用した CSG 工法（Cemented Sand and Gravel）がある。そこで、骨材は北部九州地区に多い低品質の風化花崗岩を母材に、セメントにフライアッシュを混合して大幅な強度の向上を考えてみた。その結果、セメント量が 100 kg/m³ 以上であれば、マサ土の粒度調整を行った上でフライアッシュ添加率 5% の場合で、粒度調整なしでフライアッシュ無添加のコンクリートの約 2.3 倍程度の圧縮強度の増加が認められる。従って、本方法は CGS 工法における圧縮強度の増進方法として有効な対策だと考える。

④都市ごみ（一般生活廃棄物）

都市ごみの焼却処理に伴う焼却灰は年々増加傾向にある。この都市ごみ焼却灰を制御型低強度材料（セメント系スラリー材料）としての有効性を材料特性の観点から検討を行った。その結果、焼却灰を用いた場合の制御型強度を圧縮強度で 8.3 N/mm² 以下として、種類や水洗いの有無に関係なく海砂の場合と同等の流動性を確保でき、水処理を施した焼却灰の塩分溶出量は海砂の場合とほぼ同等である。従って、焼却灰は制御型低強度材料としても有効利用が可能であり、例えば埋戻し用低強度コンクリート用建設材料として十分使用可能である。

⑤廃石膏ボード

建築物の解体工事に伴って発生する廃石膏ボードの排出量は年々増加傾向にあり、平成 10 年の管理型産業廃棄物としての処理基準の改正（石膏と紙くずの分離）により、廃石膏の有効利用が強く求められている。そこで、廃石膏の汚泥脱水ケーキ用固化材としての利用を検討した。その結果、市販の固化剤としての固化能力の不足のため、廃石膏に対して生石灰（3.5%）と焼成石膏（3.5%）を混合した場合には、市販のものと同様の固化能力が得られている。従って、一例として、本製法により固化処理を行った脱水ケーキを粉砕した人工石灰を再生路盤材の粒度調整材としての利用を考えている。

(4) 低強度のコンクリート製 RC 模擬柱による耐震補強効果について

阪神大震災以来、コンクリート構造物の耐震性や耐久性の向上(耐震診断・改修等)が求められている。廃棄物やリサイクル材を多く含むコンクリートでは耐久性の低下と相まって強度低下を来し易い。しかし、これらの構造物に対しても補強を行えば解体するよりも経済的には有用性がある。そこで、既存の建築構造物の低強度コンクリート RC 柱を対象として、せん断力及びじん性の向上による耐震性能の改善を目的に、コーナブロックと緊張力を導入した PC 鋼板を利用して柱四隅に鋼板を圧着する。その結果、高軸力下においても鋼板の受動的横拘束効果により、かぶり部分のみだしに対する抑制がなされ、水平耐力が基準供試体の約 1.4 倍まで向上するなど高いじん性が得られた。このことにより、低強度の RC 構造物でも十分な耐震補強効果が確保でき、耐久性も向上することが認められた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ①黒瀬英樹、橋本紳一郎、江本幸雄、吉里哲郎、中品質再生骨材の RC はりへの適用性評価、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol. 31、No.1、2009、pp. 1789-1794
- ②楠貞則、添田政司、大和竹史、芦田広喜、フライアッシュコンクリートの配合設計に関する研究、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol. 31、No.1、2008、pp. 189-194
- ③大町正和、楠貞則、添田政司、大和竹史、古賀善雄、最大 60 年経過した発電所施設の劣化診断に関する一考察、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文集、査読有、第 7 巻、2007、pp. 35-40
- ④宗佳弘、江本幸雄、尾上幸造、吉野哲郎、造粒した再生骨材を用いたモルタルの諸性質、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol. 29、No.2、2007、pp. 177-182
- ⑤楠貞則、池翰相、添田政司、大和竹史、凍結融解作用による各種混和剤を用いたコンクリートのスケーリング特性、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol. 29、No. 1、2007、pp. 237-242
- ⑥本田悟、椎葉大和、ガラス発泡軽量骨材の基礎性状に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol. 29、No.2、2007、pp. 469-474
- ⑦池翰相、楠貞則、添田政司、大和竹史、凍結融解作用を受けるコンクリートの凍害深さに関する一考察、査読有、Vol. 28、No.1、2006、pp. 725-730

- ⑧楠貞則、添田政司、大和竹史、風化花崗岩(マサ土)を母材とした CSG の強度特性、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol. 28、No.1、2006、pp. 2087-2092

[学会発表] (計 14 件)

- ①本田悟、椎葉大和、製造過程で発生する微粉末を付着加工した再生骨材の基礎性状(その 1)、日本建築学会大会学術講演梗概集、2008. 9. 20、中国
- ②椎葉大和、本田悟、製造過程で発生する微粉末を付着加工した再生骨材の基礎性状(その 2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、2008. 9. 20、中国
- ③黒瀬英樹、江本幸雄、橋本紳一郎、吉里哲郎、中品質骨材を用いたコンクリートの基礎的研究、土木学会第 63 回年次学術講演会、2008. 9. 11、仙台
- ④古賀悠、椎葉大和、本田悟：エコマテリアルを用いたセメント系軽量屋上緑化基盤の製造および植栽システムの開発、日本建築学会九州支部研究報告、第 47 号・1、2008. 3. 2、熊本
- ⑤李文聰、木村潤一、江崎文也、主筋に丸鋼を使用した低強度コンクリート RC 柱の高強度外帯筋による耐震補強効果、日本建築学会九州支部研究報告、第 47 号・1、2008. 3. 2、熊本
- ⑥宗佳弘、江本幸雄、尾上幸造、吉野哲郎、廃石膏ボードの有効利用に関する研究、土木学会第 62 回年次学術講演会、2007. 9. 12、東京
- ⑦古賀悠、椎葉大和、本田悟、廃ガラス発泡材の有効利用に関する研究(その 1)、日本建築学会学術講演梗概集、2007. 8. 29、福岡
- ⑧椎葉大和、本田悟、古賀悠、廃ガラス発泡材の有効利用に関する研究(その 2)、日本建築学会学術講演梗概集、2007. 8. 29、福岡
- ⑨本田悟、椎葉大和、古賀悠、廃ガラス発泡材の有効利用に関する研究(その 3)、日本建築学会学術講演梗概集、2007. 8. 29、福岡
- ⑩古賀悠、椎葉大和、本田悟、ガラス発泡体粉末を使用したモルタルの諸性状に関する研究、日本建築学会九州支部報告、2007. 3. 4、長崎
- ⑪本田悟、椎葉大和、ガラス発泡軽量骨材の有効利用に関する研究、日本建築学会九州支部報告、2007. 3. 4、長崎
- ⑫宗佳弘、江本幸雄、尾上幸造、他 2 名、再生微粉末を造粒した細骨材を用いたモルタルの諸性質、土木学会西部支部研究発表会講演概要集、2007. 3. 8、長崎
- ⑬岡本将明、楠貞則、添田政司、大和竹史、都市ごみ焼却灰の制御型低強度材料への適用性に関する研究、土木学会年次学術講演梗概集、第 61 回、2006. 9. 10、滋賀
- ⑭楠貞則、添田政司、大和竹史、再生骨材の

歩道用透水性舗装への適用性に関する基礎的研究、土木学会年次学術講演概要集、第61回、2006.9.10

6. 研究組織

(1) 研究代表者

椎葉 大和 (SHIIBA HIROYUKI)
福岡大学・工学部・教授
研究者番号：30103782

(2) 研究分担者

大和 竹史 (YAMATO TAKESHI)
福岡大学・工学部・教授
研究者番号：90078650
(H19 → H20：連携研究者)

江本 幸雄 (EMOTO YUKIO)
福岡大学・工学部・教授
研究者番号：50090882
(H19 → H20：連携研究者)

木村 潤一 (KIMURA JUNICHI)
福岡大学・工学部・教授
研究者番号：50090866
(H19 → H20：連携研究者)

本田 悟 (HONDA SATORU)
福岡大学・工学部・助教
研究者番号：70181550
(H19 → H20：連携研究者)

(3) 連携研究者

()

研究者番号：