

廃棄物処理等科学研究費補助金 総合研究報告書概要版

研究課題名・研究番号 = 解体コンクリートの次世代再生化技術の開発 (K1622)

国庫補助金精算所要額 (円) = 15,346,000

研究期間 (西暦) = 2003 - 2005

研究年度 (西暦) = 2003 - 2004

代表研究者名 = 野口貴文 (東京大学)

共同研究者名 = 兼松学 (東京大学), 田村雅紀 (東京都立大学), 丸山一平 (広島大学)

研究目的 = 現在、構造物から発生するコンクリート塊の大半は路盤材として利用されているが、今後は、道路建設の減少、耐久性の劣る構造物から発生するコンクリート塊の増加、最終処分場の逼迫という新たな問題を迎える。これにより、将来のコンクリート廃棄物問題の対処は緊要性を帯びる。その具体的な対処策のひとつに、コンクリート塊をコンクリート用骨材として再利用し、再利用された再生骨材を更に解体コンクリート塊から容易に取り出せるようにし、クローズドなリサイクルシステムを構築することが挙げられる。

そこで、本研究では、余分なエネルギーをかけずに処理される低品質再生骨材に対し表面改質処理を施すことにより、骨材の品質改善と骨材回収率向上を図る技術を確立し、経済的な観点も加え、最適な技術的方策を見出す。そして、最終的に、「骨材回収型完全リサイクル再生コンクリートの製造・施工マニュアル(案)」を作成し、骨材回収型完全リサイクル再生コンクリート実用化可能なレベルまで発展させることを研究全体の目的とする。

研究方法 = 次に示す研究計画に従い、研究目的を達成するための検討を行う。

(1) 骨材回収型完全リサイクル再生コンクリートのリサイクル率向上・環境負荷低減製造技術の開発および骨材ペースト界面の微視的モデルの構築

解体コンクリートから現在実用化されている破砕機3種類(スクリュウ磨砕式、多段破砕式2種類)にて採取した低品質再生骨材を対象として、既に天然骨材に対して骨材回収率の向上が認められた表面改質処理剤(物理処理剤、化学処理剤)および表面仕上材・補修材として用いられている塗膜防水材・含浸材を実機レベルの機器を用いて骨材表面に塗布する。表面改質処理された再生骨材を用いて、研究室および実機にてコンクリートを製造し、剥離特性ならびに骨材とペーストの界面に関する微視的調査を行うとともに、コンクリートの基本物性(流動性、凝結、各種強度・ヤング係数、透水・透気性、乾燥収縮率、各種耐久性)の調査および実機による骨材回

収率の検討を行う。それにより、コンクリートとしての物性を確保でき、骨材回収率を 100% に近付けることができる経済的で実用的な表面改質処理方法を見出す。

(2) 骨材回収型完全リサイクル再生コンクリートを用いた構造部材の曲げ耐荷性能・曲げせん断耐荷性能の評価および構造体コンクリートの性能評価

骨材回収型完全リサイクル再生コンクリートを用いてマスコンクリート部材 (100×100×100cm 程度) および鉄筋コンクリート梁部材 (15×20×150cm 程度、12 体程度) を作製し、構造体コンクリートの温度履歴、温度ひずみ、収縮ひずみ、コア強度の測定を行うとともに、曲げ試験および逆対称曲げ・せん断試験によって耐荷・変形性能などを調査し、コンクリートの各種性能、部材の耐荷性能・変形性能が天然骨材を用いた場合と同等以上に得られるような骨材表面改質方法および配筋方法を見出す。

結果と考察 = 一連の研究結果より、次に示す結果・考察を導くことができた。

(1) 改質処理を施した低品質・中品質再生粗骨材の製造

路盤材品質と同程度の低品質再生粗骨材ならびに、再生骨材の比較的新しい破砕システムであるスクリー式破砕機を用いて製造した中品質再生粗骨材を使用し、経済的にも成立するように調整した 2 種類の水溶性改質処理剤 (O: 油脂系改質処理剤、S: シラン系含浸材) を大きく 2 回に分け各々再生骨材に塗布した。結果、再生粗骨材の吸水率は両者とも 3% 程度以下となり、再生骨材における付着モルタルによるコンクリート性能の劣化因子の低減、骨材回収性の向上に繋がる材料調整を行うことができた。

(2) コンクリートの製造とフレッシュ性状の評価

コンクリートは、水セメント比を 2 水準 (W/C=40%, 60%)、骨材処理を 3 水準 (N: 無処理, O: 油脂系, S: シラン系)、骨材種類を 2 水準 (低品質、中品質) の計 12 水準とし、スランプ、空気量、ブリージングのフレッシュ性状の測定を行った。

その結果、スランプは、改質処理シリーズは無処理と比較して練り上がり直後におけるスランプ値の若干の低下、30 分後スランプロスの緩和が確認された。また、空気量については、目標空気量を高く設定した W/C=60% において、設計空気量である 4.0% を 1.0% 程度下回り、油脂系に関しては、塗布量に起因する微細空気泡の破損、シラン系に関しては塗布環境に関わるシラン被膜の性質変化などが影響要因として考えられたが、その程度は大きくはなく、W/C=40% においては問題がなかった。また、ブリージングは、油脂系は無処理と比較して、ブリージング量が半分程度の範囲に収まる良好な性状を示している。シラン系では増加に転じており、前述したシラン被膜の性質変化の影響が考えられた。

なお骨材品質の影響は、中品質と低品質の区別なく改質処理により吸水性をほぼ同程度に低減できることから、コンクリートの性状に関しても、その原骨材品質の差が明確に反映されなくなる傾向にあった。

(3) コンクリートの力学特性

圧縮強度は、油脂系・普通強度の場合、無処理と比較して 108~112% 程度、高強度の場合は、

88.2~89.3%程度の強度範囲となる。原骨材での検討で示される結果と同様に、力学特性に大きく影響しない程度に強度低下し、高強度では、その影響が顕著に反映されるという性質が、再生骨材においても再現されている。一方、シラン系・普通強度の場合、無処理と比較して50~69%程度、高強度の場合は、56~63%程度の強度範囲となり、大きな強度低下が確認される。シラン系化合物は、加水分解性が高く水性化が本来容易でない根本的な性質により、シラン被膜の性質変化が力学特性にも影響していると考えられた。なお、ヤング係数についても、その程度は小さくなるが、同様の性質が反映される傾向にある。

#### (4) コンクリートの耐久性

耐久性に関しては、乾燥収縮性は、材齢1ヶ月迄の結果によると、質量変化率において、普通強度ならびに高強度ともに、改質処理シリーズが無処理よりも質量変化が小さいため、水分逸散が抑制されることが確認された。また、乾燥収縮試験においては、油脂系において若干の低下がみられ、シラン系においては無処理と比べ各水準ごとにバラつきが大きかったものの、一部の水準を除いてはほぼ同程度であることを確認した。クリープ特性に関しては、土木学会の提案する予測式と比較して、ほぼ全ての水準で傾きが大きく、ひずみ量は増加傾向にありクリープひずみも大きい結果となった。従って再生粗骨材コンクリートは、普通コンクリートに比べクリープひずみが大きい可能性が高く、また改質処理を施した場合にも同様の傾向が見られることから改質処理を施す事でクリープひずみが低減されることはないものと考えられる。

#### (5) コンクリートのリサイクル性

一定量のコンクリートを製造し、実務での再生骨材製造工程を想定して、二次再生骨材、三次となる再生コンクリートの製造を行い、剥離特性および骨材回収率に関する検討を行った。改質処理の剥離効果を確認するため、酸化鉄を主成分とする赤色顔料をコンクリートに混ぜ、試験体を作成し、割裂引張試験を行い画像解析による骨材面積比率算出を行った。その結果、無処理骨材は、7割近くが再生粗骨材部分で割れ、骨材径を保つことが出来ないことが確認された。それに対し、油脂系は、無処理骨材に比べ若干剥離率が向上したものの、要求を満足する水準ではなかった。それに対しシラン系は大部分が骨材界面で剥離することが明らかになった。

処理による強度低下が想定されることから、剥離性能と力学特性のトレードオフ関係にある性質をいかに両立させ、構造物へ適用していくかが問題となるが、セメントペーストマトリクスを強くすることで強度を高くすることが可能で、強度の割合、水セメント比によって、強度設計が可能であるとの結論を得た。

次に、再再生粗骨材の物性およびコンクリートの特性を把握し、再再生骨材における改質処理技術の有効性を検証することを目的とし、二次再生骨材を製造し表面改質処理の効果を確認した。その結果、再生コンクリートの破壊直後、再再生処理前の骨材吸水率は、無処理>油脂系>シラン系の順に小さくなり、界面剥離効果のペースト付着分減少による吸水率低減がみられたが、吸水率に関して再生時と同様の水準を得るには、塗布回数を増やす対応が必要であることが明らかとなった。

#### (4) 骨材回収型完全リサイクル再生コンクリートを用いた構造部材の曲げ耐荷性能・曲げせん断

## 耐荷性能の評価および構造体コンクリートの性能評価

コーティング再生粗骨材を用いたコンクリートの構造特性を把握し、構造物への適用を検討するために、RC部材による曲げ試験およびせん断試験を行った。

### a) 梁の曲げ挙動

はりの曲げ挙動に関して、再生骨材利用の影響に関して実験的に検討を行い、その結果以下のような知見を得た。

- ・ はり部材の曲げ強度は、鉄筋比を釣合鉄筋比以下とすることで、鉄筋降伏を先行させるようにすれば、普通コンクリートを持ちいた場合と大きくは差がない。
- ・ 終局耐力時においても、最後まではり理論が適用可能であり、コンクリートの圧縮ひずみを $3500\mu$ と仮定することで、終局時を予測可能である。(確認要)
- ・ 供用期間中のひび割れの代表例として鉄筋に $200\text{N/mm}^2$ の応力がかかっているときのひび割れの性状は、再生骨材を用いた物は普通骨材を用いた物に比べて、ひび割れ幅がやや大きく、ひび割れ間隔は狭くなる結果となった。このことは、ひび割れ密度の観点から見ると、耐久性として問題となる可能性があるが、ひび割れ幅が $0.3\text{mm}$ 以下であること、また、ひび割れ追従性の良い表装材との併用により、十分実用に耐えうると考えられる。

### b) 梁のせん断挙動

はりのせん断挙動に関して、再生骨材利用の影響に関して実験的に検討を行った結果、以下のような知見を得た。

- ・ 再生骨材を用いた場合、せん断ひび割れ発生荷重は小さくなる。このせん断ひび割れ発生荷重に関しては、荒川 minimum 式の予想によって、コンクリートの圧縮強度、有効高さ、鉄筋比等を用いれば、おおよそ予測することが可能である。
- ・ せん断ひび割れ発生以降の挙動に関しては、再生骨材を用いたものの中にはきわめて脆性的に破壊するものが見られた。また、初期せん断ひび割れ発生が確認された場所とはことなるひび割れによって破壊が起こった例もある。一方、付着の劣化に起因するものと考えられるが、せん断ひび割れ発生箇所が普通コンクリートのものよりも、等曲げ区間よりになり、せん断ひび割れ発生後、アーチアクションに移行した例も存在する。このように、再生骨材利用によって、付着の劣化、破壊エネルギーの低下がせん断耐力に影響を及ぼすことが実験的に見られたが、その傾向は、複雑であり、せん断耐力の最終値によって設計を行うことは危険である。安全側の評価を考えれば、従来どおり、せん断ひび割れ発生荷重で制御を行う必要があるといえる。

### c) 梁に関するまとめ

以上 a), b) で得られた知見を総合すると、端部の定着をフックなどによって十分とり、鉄筋降伏を先行するように設計し、かつ曲げ耐力がせん断ひび割れ発生荷重の60%となるようにすれば、再生コンクリートを静定構造物に利用可能であるといえる。

結論 = 以下に、得られた知見を総括してまとめる。

- (1) 簡易な散水方法での改質処理塗布により、経済的に成立させることが検討できる塗布方法お

よび塗布量で、再生粗骨材の吸水率を低減し、品質を向上させることが可能である。

(2) シラン系は高い剥離効果が見られ、高度処理を行うことなく、回収率を高めることができる。また油脂系に関しても塗布量と剥離率を調べることにより、剥離性の向上が考えられる。しかし、一方で、処理による強度低下が著しいため、剥離性能と力学特性のトレードオフ関係にある性質をいかに両立させ、構造物へ適用していく必要がある。

(3) 骨材回収型完全リサイクル再生コンクリートに対し、その基本物性（流動性、凝結、各種強度・ヤング係数、透水・透気性、乾燥収縮率、各種耐久性）に関する実験的研究を行った結果、各処理剤の特性を把握することで、使用方法を具体化することができた。

(4) 再生粗骨材を用いた RC 曲げ特性は、普通骨材を用いた場合と同様の傾向を示し、従来の梁理論により設計が可能であり、構造物用骨材としての利用が可能であることが確認された。

せん断ひび割れ発生荷重に関しては従来の予測式を用いた手法により予測可能であるが、せん断ひび割れ発生以降の挙動は複雑であり、せん断耐力の最終値によって設計を行うことは危険であることが明らかになったことから、従来どおり、せん断ひび割れ発生荷重で制御を行う必要がある。

これらを総合すると、端部の定着をフックなどによって十分とり、鉄筋降伏を先行するように設計し、かつ曲げ耐力がせん断ひび割れ発生荷重の 60%となるようにすれば、再生コンクリートを静定構造物に利用可能であるといえる。

(5) 平成 15 年度、平成 16 年度の研究を通して得られた知見をもとに、「骨材回収型完全リサイクル再生コンクリートの製造・施工マニュアル(案)」を作成し、本プロジェクトで得られた知見をもとに、骨材回収型完全リサイクル再生コンクリートの製造・施工における注意点を纏めた。