

建設廃材リサイクル技術研究開発事業 －コンクリート廃材の有効活用技術開発－

湯浅幸久*, 前川明弘*, 村上和美*

Report of Recycling Technology of Construction Waste －Development of using Technology of Crushed Concrete－

Yukihisa YUASA, Akihiro MAEGAWA and Kazumi MURAKAMI

1. はじめに

昭和30年代に始まった高度成長により，都市部のみならず地方においてもオフィスビルやアパートメント等が盛んに建設されるようになった。

当初，コンクリートは100年は使用可能との期待もあったが，現実には予期せぬ劣化現象や早急な施工によって耐久性が低下するなどの問題や使用方法の変化，特に生活水準や企業活動の変化に伴う構造物への要求の変化により，特に建築物では寿命を待たずに解体されることもしばしば行われている。

このような種々の要因により築後40年程度を目安として構造物の解体が本格化するなかで，コンクリート廃材の発生量は，今後さらに増加することになる。

一方，コンクリート廃材のおもな利用先であった道路用路盤材への使用量は，公共工事の質の変化に伴う規道路建設の抑制により，使用量の増加が期待できない状況にあるため，コンクリート廃材の新たな利用方法の開発が求められている。

同様の観点から，JIS(日本工業規格)においても「コンクリート用再生骨材(JIS A 5021)」や「再生骨材を用いたコンクリート(標準仕様書TS A 0006)などの規定を設け，利用の促進を図っているが，再生骨材を通常のコンクリートに使用す

る場合，付着するセメント水和物によるコンクリート強度や耐久性の低下が未解決であるため，通称生コンと呼ばれる「レディーミクストコンクリート(JIS A 5308)」には使用規定がなく，前述の標準仕様書TS A 0006における低強度コンクリートにのみ利用を制限している。

そこで本事業では，コンクリート構造物の解体に伴い発生する廃材について，粒度別に新たな利用方法を検討することとした。

粒度の分類，研究の小課題，並びに現在の利用方法を図1に示す。

解体現場では，まず粗砕され，場合によっては鉄筋等を取り除くため，ある程度の破砕処理が行われている。このため，解体現場で粗砕ガラと破砕ガラが分別保管されていることが多い。そこで粗砕ガラをそのままの粒径で使用方法として粒径100～400mm程度のガラを使用した大粒径ポーラスコンクリートの製造と魚礁への適応性について検討する。

また，それ以下の粒径については，現在普及しつつあるポーラスコンクリートへの利用を検討する。さらに細粒あるいは粉体については，セメントに由来するケイ酸カルシウム系水和物を多く含むことから，一部重金属類を取り除く無害化処理を行うことで，ケイカル肥料としての利用の可能性，並びに同化合物類による土壌固化性能についても検討する。

* 材料技術グループ

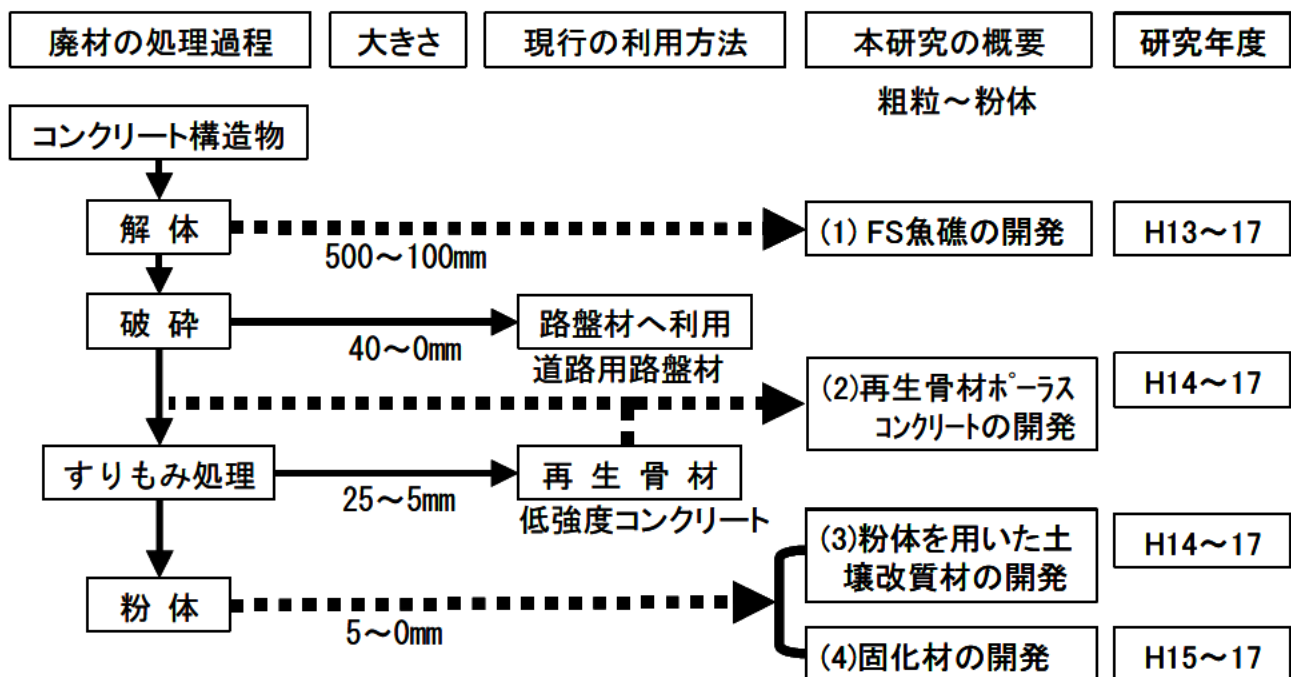


図1 コンクリート廃材利用の現状と事業における研究課題

2. 事業の概要

当研究事業は、コンクリートに関する未知の利用法を取り上げたことや生物の環境に配慮する必要があったことから、コンクリート分野の研究を進める地元大学はもとより、分野の枠にとらわれずに用途を検討するため、他分野の研究者の協力を得て平成13年度から平成17年度までの5カ年計画を進めた。以下に協力していただいた機関を示す。

三重大学工学部建築学科

(製造方法の検討・評価及び流水抵抗性評価)

三重大学生物資源学部(現)環境施設工学研究室

(再生ポーラスコンクリートへの利用)

科学技術振興センター

保健環境研究部 (安全面の評価)

水産研究部 (生物への適用性)

農業研究部 (植物への適用性)

本事業報告では、新たな利用法として独自性が強いFS魚礁の開発について、おもに報告する。

3. FS魚礁の開発

3.1 製造方法の検討

通常、コンクリート構造物の解体により発生す

る粗碎物は、再破碎され道路用碎石の粒度に調整される。当研究テーマでは、この粗碎物をできるだけ破碎しないで使用することと、環境への対応を考え、海生生物の棲息が可能な大粒径ポーラスコンクリート用骨材として利用する方法について検討した。

ポーラスコンクリートの製造に関する現行技術では、最大骨材径は40mmとされている。その大きな理由は、通常使用されるミキサでの均質な練混ぜが不可能であること、また骨材径が大きくなると骨材間を架橋する結合材の膜厚の確保が困難になり、著しく強度が低下し実用的でないためである。

そこで、製造方法を根本的に変更し、結合材の粗碎ガラへの付着方法として、より降伏値の高い固練りモルタルを吹き付けにより付着させる方法を採用した。

吹き付けにより試作した供試体の例を図2に示す。記号S, M, Lは用いたコンクリートがらの大きさを表す。また図3に示すように供試体を切断し、結合材の付着厚さを測定した。測定位置・測定結果を図4と5に示す。

モルタルの付着厚さは粘性係数の一つである降

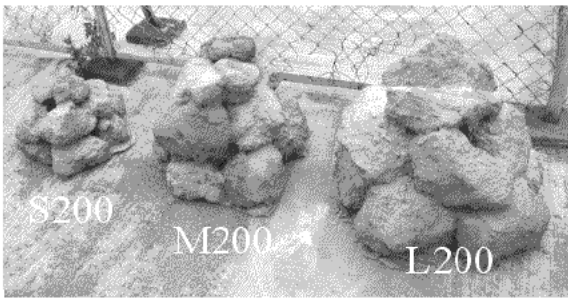


図2 作製した大型供試体の一例

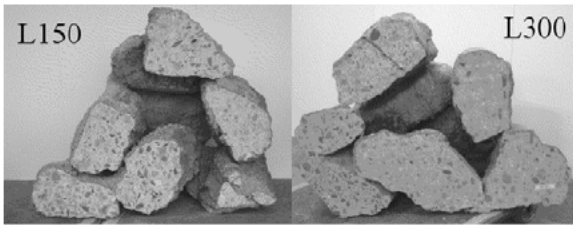


図3 大型供試体切断面の一例

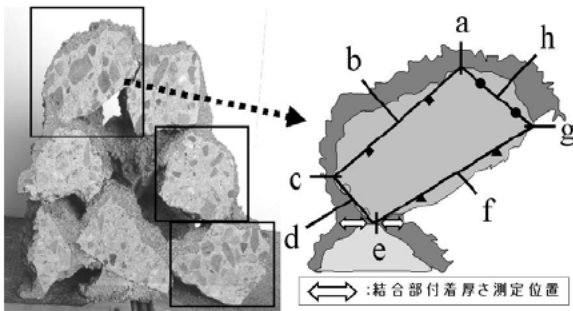


図4 大型供試体の付着厚さ測定位置の例

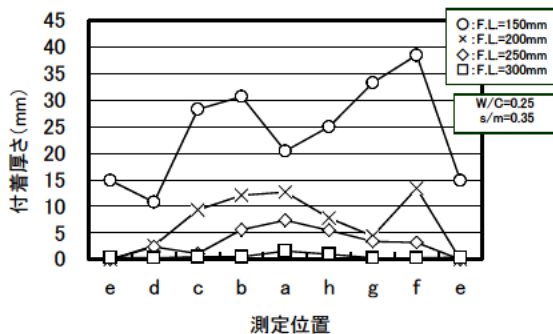


図5 各測定位置における付着厚さ分布

伏値で表すことができるが、今回の実験においては実用的な測定方法であるフロー試験によりモルタルの流動性を把握した。その結果、フロー値が小さい、すなわちより硬い方が付着厚さは増すが吹き付け時の砂の弾きによるロスや流動性の限界

から、成型に適した粘性(ここでは降伏値と塑性粘度)があることが明らかになった。

なお、研究テーマ名のFSは、フリースタイルを意味する。開発当初は結合材を各コンクリートがらに巻き付け、未硬化の状態水中に投入し、海底の地形に合わせて、魚礁の形状を変化させるよう検討した。そのため、有害性のないセルローズ系水中不分離剤やセメントの硬化速度をコントロールするため凝結遅延剤を使用した実験を行い大型水槽による水中落下実験を行った結果、セメントの溶け出しは抑制可能であるが、水中落下時の結合材の剥離を完全に抑えることは現時点では困難と判断し、陸上で予め硬化させ、ブロック状として魚礁を作製することとした。

この場合、陸上運搬等に耐える十分な強度が必要となるため、想定するブロックに働く応力とブロック強度の関係を検討した。

3.2 力学的検討

不規則な形状のコンクリートがらの接点による連結状態から正確な曲げ強度を算出することは不可能であるため、整列した球体を想定して必要強度の計算を以下の式(1)(2)により行った。

鉄筋コンクリートはりの成立式

$$M_y = T_y \cdot j = \sigma_y \cdot A_s \cdot 0.9 \cdot d \quad (1)$$

はりの曲げモーメント算出式

$$M_y = P_y l / 6 \quad (2)$$

また図6に示すような標準供試体による曲げ試験を行い、底部補強の有無等を比較試験した結果、底部補強のない供試体では破壊は底部から発生しかつ低強度であった。一方底部を補強した供試体では上部が圧壊し、底部はひび割れは発生するが鉄筋により破断には至らなかった。図7は底部補強した標準供試体による曲げ試験結果の一例である。圧壊による破壊モードでは曲げ破壊の10~20倍の強度が期待でき、接点付近の強度は飛躍的に向上することから、底部補強は安全性を考慮する上で有効な方法と言える。

実際の魚礁ブロックでは運搬を想定して図8に示すような形状とした場合の重量が最大で780kgとなる。そこで、この重量と吊り下げ方法から最大曲げ応力を算出し、十分な強度に設計した。

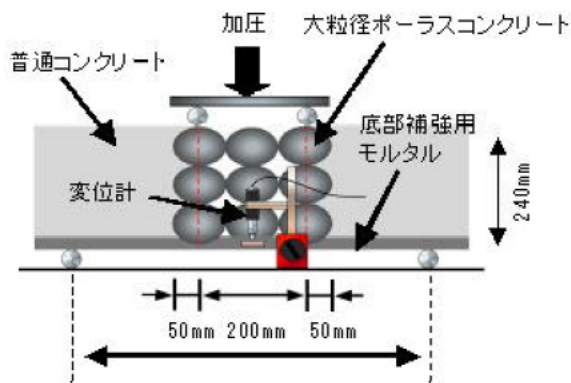


図6 標準供試体による曲げ試験の様子(モデル)

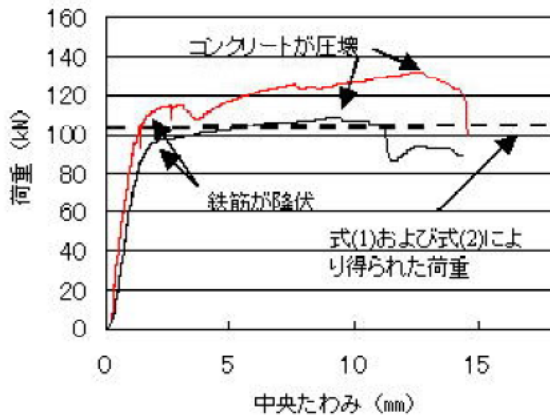


図7 標準供試体による曲げ試験結果(例)

3. 3 大型流水路による安全性の確認

図8に大粒径ポーラスコンクリートブロックのモデルを、図9に実際に試作した魚礁ブロックをそれぞれ示す。このような不規則な形状の魚礁を実海域で使用するに当たり潮流や波の影響を把握する必要がある。そこで図10に示す大型造波水路を用いて水流抵抗性や海底を想定した砂の洗堀について調べた。水路の能力から最大潮流0.9m/s、最大波高40cmまでの条件で魚礁ブロックが受ける応力から抗力係数を算出し、実海域での設置時に、どの程度の影響を受けるか予測を試みた。測定方法の概要を図11に示す。

その結果、内部に貫通する空間を持つことで潮流並びに波動により受ける影響は小さくなることがわかった。またトロコイド波理論によれば、水深が深くなると急激に波の影響が小さくなり、

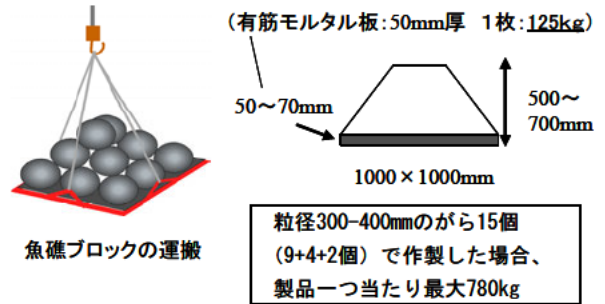


図8 魚礁モデルの概要と運搬方法



図9 試作した設置用魚礁ブロック

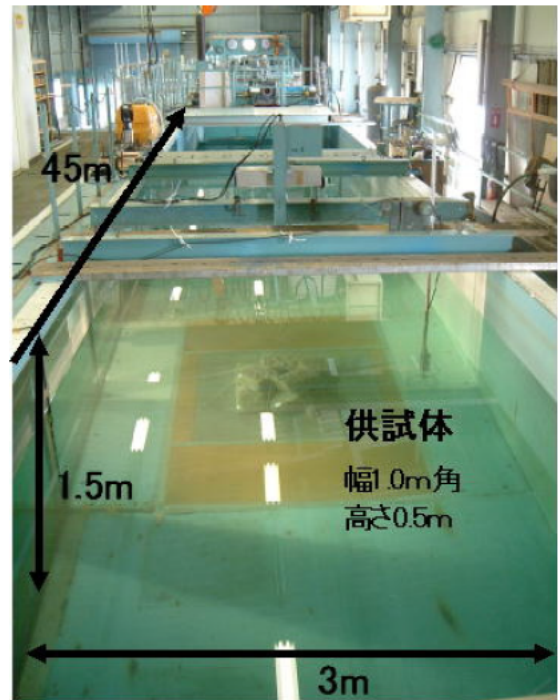


図10 実験に使用した大型造波水路

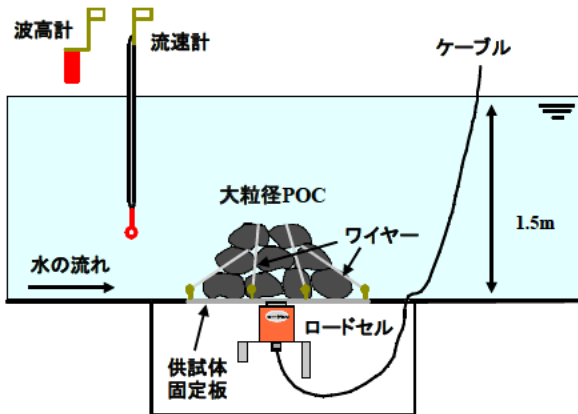


図11 流水抵抗性測定の概要

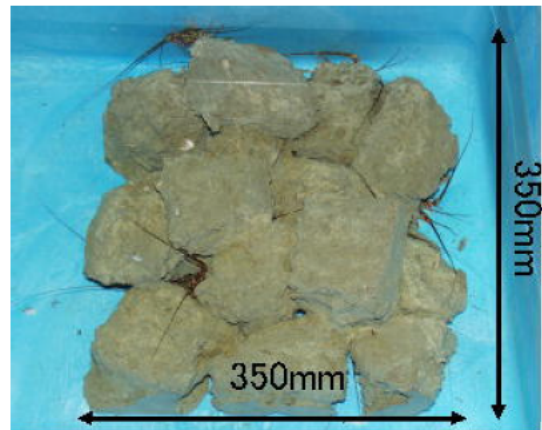


図13 伊勢エビ稚エビによる確認実験

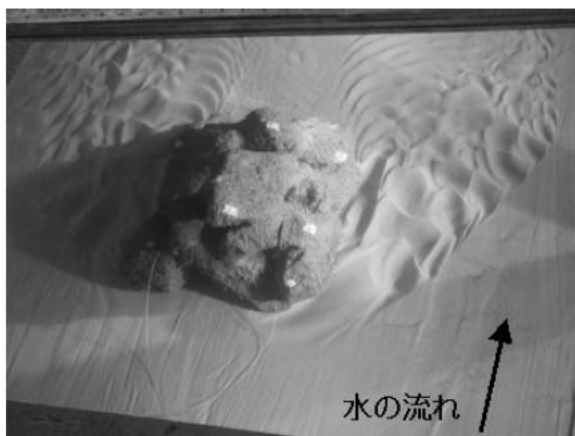


図12 流水による砂の洗堀試験の概要



図14 アワビ稚貝による確認実験

10m程度であれば、ある程度波の影響を回避できることがわかった。

また潮流による洗堀については、流水開始直後から図12に示すような波紋がブロック設置部の側面から下流にかけて発生するが、6時間経過後も波紋の状態はそれほど大きくは変化せず、最大深さ20mm程度に止まった。水産研究部により周辺海域(浜島町沿岸、水深5m)で測定した潮流データによれば、潮流の平均値は0.1m/s程度であり最大値の年平均値はおおよそ0.5m/s程度である。したがって平均値程度の潮流では大きな影響は受けないが、最大値が長時間続くような状況では、さらに大きな洗堀が予想されることから、実海域での設置は完全な砂地ではなく砂礫程度の海底にとどめることが望ましい。

3. 4 生物への適用性

作製した大粒径ポーラスコンクリート魚礁ブロックが海生物の棲みかとして効果があるかを確認するため、比較的小型(100mm程度)のガラを骨材として作製したブロックとを対象として、伊勢エビの稚エビ(図13)並びにアワビの稚貝(図14)を用いた忌避性の確認実験を行った結果、伊勢エビはポーラスコンクリートの空隙を、アワビは底面をそれぞれ棲みかとして利用し、忌避性を示すことはなかった。

3. 5 試作魚礁の実海域への設置

実証用ブロックは、図8に示した形状・寸法とし、魚礁の効果を確認できる最小限の面積(一般に70m²程度とされる)を確保するため、70個試作し、設置に理解と積極的な協力が得られた志摩の国漁業協同組合船越前浜沖、水深7~8mに設置した。設置場所を図15及び図16に示す。



図15 実証試験用魚礁設置場所



図18 和具漁港での積み込み風景



図16 設置場所の遠景



図19 船越前浜沖での設置の様子全景



図17 設置場所付近の海底の様子



図20 台船上での投入作業

設置場所は太平洋に面した外海であるが、沖合に三頭山と呼ばれる岩礁帯があり、この岩礁帯により太平洋からの直接の波は、ある程度緩衝されている。また図17に示すように付近の海底は砂礫が多く、海草の定着が乏しい環境にあり、効果の確認に適していた。

設置に係る一連の作業は、図18に示す和具漁港での台船への積み込みから海底設置(図19)まで3日間で完了した。

投入作業は、図20と21に示すように、台船上



図21 海底投入の様子



図22 潜水士による海底での設置風景



図24 設置直後に付着したサザエ



図23 海底に整然と並べられた魚礁ブロック



図25 設置直後に付着したギンタカハマ

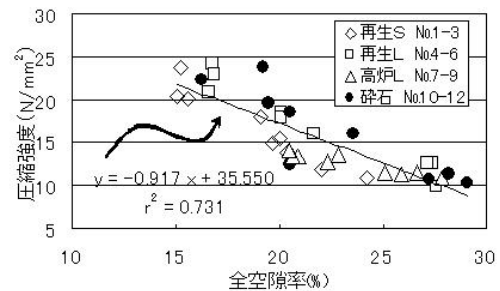
で補強板に取り付けられた4ヵ所のフックをワイヤーで吊り下げ、そのまま海底まで沈め、着底直前に潜水士が設置箇所を微調整し整然と設置された。海底での作業の様子を図22に、設置後の全景を図23にそれぞれ示す。

この一連の作業はスムーズに進行し、当初計画していた1日を大幅に短縮する3時間程度で完了した。この結果、現地での魚礁一個の設置に要した時間は3分弱となり、魚礁の運搬設置の作業性を含めた設計検証することができた。

3. 6 設置魚礁の効果の検証

図24並びに25は設置直後に付着したサザエとギンタカハマと呼ばれる巻貝である。実際には魚礁ブロックを設置した平成18年3月を観察の開始時期として海草類が繁茂する2月頃まで観察する必要がある。今後引き続き1年間の経過観察を行い、その効果を検証する。

4. 再生骨材ポラスコンクリートの開発



全空隙率と圧縮強度の関係

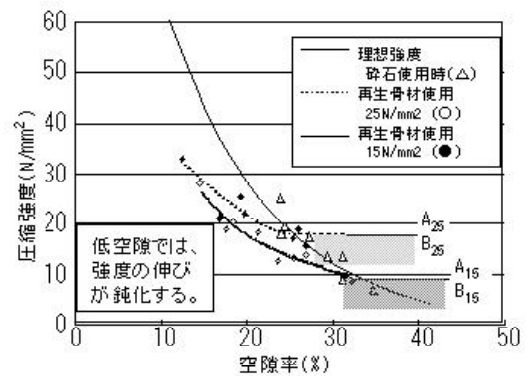


図26 再生骨材POCの強度－空隙率関係 (2例)



(a)ほうれん草による施肥実験



(b)高菜による施肥実験

図27 ケイカル肥料として検証実験

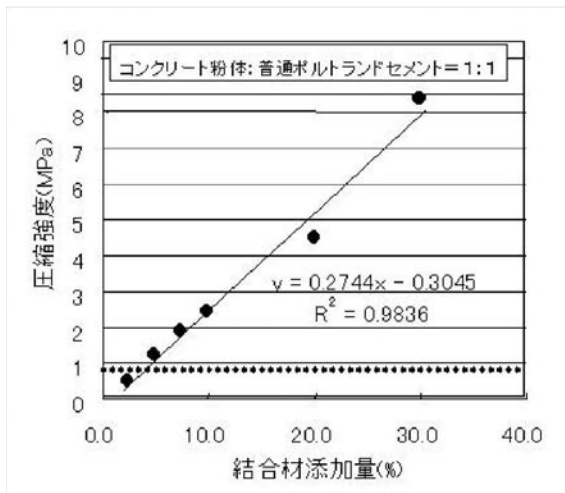


図28 砂質土への添加率と固化土の圧縮強度

コンクリート廃材から製造される再生骨材は、セメント水和物の付着により骨材としては高吸水率であり、コンクリートの強度低下や乾燥収縮の増大につながり、利用し難い。

一方ポーラスコンクリート(POC)は、コンクリート強度が比較的低強度であることから、骨材品質の影響が小さい。ここでは、おもに三重大学工

学部並びに生物資源学部と行った共同研究から、強度－空隙率の関係を紹介する。図26によれば空隙率が低く結合材量が多い条件では、骨材の品質の影響を受け、強度の増加率が鈍化した。

5. 粉体を用いた土壌改質材の開発

コンクリート系粉体に多く含まれる可溶性ケイ酸質やカルシウム質を利用した肥料への利用が期待できる。しかしながらセメントに一部重金属が含まれるため、本課題では180℃・10気圧の高温高圧から80℃常圧の水処理により無害化し、この粉体をケイ酸質の補充材として水稻に、カルシウム質の補充としてほうれん草に、それぞれ適用し効果の検証を行った。その結果、ほうれん草では無害化処理粉体による施肥に効果が確認された。また、同様に伊賀市の農事組合法人の協力を得て高菜への適用を試みた結果、市販ケイカル肥料と同等の効果が得られた。図27(a)はほうれん草、(b)は高菜による実験風景である。

6. 固化材の開発

前述のようにコンクリート系粉体はセメント系水和物や水酸化カルシウム、炭酸カルシウムを多く含むことからpHが高くなる。

一方土壌にはある程度のポゾラン質が含まれていることからコンクリート系粉体と土壌の間でポゾラン反応による固化が期待できる。そこで低処理・低級利用の観点から、土壌改良材の一部としての利用を検討した。実験では、セメントとコンクリート粉体を1対1の比率で混合し、市販固化材と同等の添加率付近を中心に固化能を調べた。

その結果、図28に示すように砂質土に対する固化実験では、市販固化材と同等の添加率で同等程度の強度が確保できることがわかった。図中の波線は目標強度である。

7. まとめ

本事業では、今後予想されるコンクリート解体物の増加をに向けて、新たな利用方法を粗砕ガラから粉体まで計4テーマについて検討した。

特に魚礁については、漁業関係者の協力を得て今後1年間の経過観察を行い、実用化に向けて普及を図っていく。