

## 平成 22 年度「重点研究課題」調査研究報告書

研究課題名：CO<sub>2</sub>削減を考慮したコンクリート建造物の解体、再利用、補修技術の調査研究  
～ゼロエミッション補修およびコンクリートによる CO<sub>2</sub>の固定化技術～

研究代表者：河合 研至（広島大学大学院工学研究院教授）

（推薦委員会：コンクリート委員会）

### 1. はじめに

高度成長期に建設された膨大な社会資本ストックが、本格的な更新や維持補修時期を迎えるにあたり、今後解体される土木建造物が徐々に増加することが予想される。これに伴って、現状では路盤材などに再利用されているコンクリートガラが大量に発生し、これらの処理施設の不足や、運搬・処理時に排出される CO<sub>2</sub>による環境負荷の増大などが課題となるため、早急に対応策を確立する必要がある。

このような状況の下、今後は、既設建造物の更新や補修においても、CO<sub>2</sub>削減を考慮した 3R（Reduce, Reuse, Recycle）が不可欠になると考えられる。また、コンクリートガラを再生骨材として再利用する場合、その製造過程で新たに発生する多量のコンクリートの破断面や微粉ではコンクリートの炭酸化が生じて CO<sub>2</sub>の固定化が行われるため、CO<sub>2</sub>の削減効果が期待できる。

本研究では、コンクリートガラの発生を少なくする補修技術に加え、コンクリート建造物の解体に伴う効率の良い CO<sub>2</sub>の固定化技術を調査、検討することによって、その可能性および課題の抽出を行い、今後の CO<sub>2</sub>削減の方向性を提案する。

### 2. 環境影響を考慮した既存コンクリート建造物の補修方法の選定に関する検討

既存コンクリート建造物の維持管理では、対象建造物の性能が予定供用期間中に要求性能を下回らないように点検・診断・対策を講じることが基本となる。具体的な対策法の選定やその実施時期は、対象建造物の維持管理費用の最小化を目指しつつ、管理施設全体の予算計画を踏まえて決定される。このような意志決定を合理的に行うと共に、その意志決定プロセスの透明性を担保するために、定量的なライフサイクル費用分析に関する検討がなされている。さらに、2009年3月に策定された「公共事業の構想段階における計画策定プロセスガイドライン」（国土交通省）に示されているように、公共事業の計画づくりにあたっては、社会面、経済面、環境面等の様々な観点から総合的に判断することが重要視されてきている。このような現状を鑑みれば、既存コンクリート建造物の対策法の選定においても、従来の性能、経済性にくわえて環境面等を考慮することの重要性が高まっていることが分かる。

ここでは、環境面等の考慮として、地球温暖化の一つの指標として広く用いられている CO<sub>2</sub>排出量と廃棄物量を指標として選定し、従来の性能規定および経済性（費用）とともに、既存コンクリート建造物の補修方法の選定を、CO<sub>2</sub>排出量や廃棄物量を考慮して総合的に行う方法を検討した。

研究のアプローチとして、具体的な建造物と環境条件を設定し、予定供用期間中要求性能を満

足することが可能な補修方法を複数設定し（補修シナリオ）、各々の方法に対して補修費用、CO<sub>2</sub>排出量、廃棄物量を算定し、これらのケーススタディの結果に基づいて総合的な検討を行った。環境面よりも検討が進んでいる補修技術においても、各補修技術の効果持続期間（補修したコンクリート構造物の劣化予測）など、不明確な点が多いのも事実である。特に、補修技術の効果持続期間は、費用、CO<sub>2</sub>排出量、廃棄物量に直接影響を及ぼすため、当然、ケーススタディ結果に基づいた本研究の検討結果にも影響を及ぼすものである。ただし、ここでの主眼は環境面も考慮した総合的な検討であり、補修シナリオの妥当性に関しては既往の研究結果に基づき設定することで、ある一定の確からしさが担保されているとした。

## 2. 1 既往の文献調査

ここでは、コンクリート構造物の代表的な劣化である中性化および塩害を対象として、その維持管理を通じて想定される各種補修方法に着目して、LCC および LCCO<sub>2</sub>に関する文献調査を行なうこととした。これらの内容は、既刊の土木学会「コンクリート中の鋼材の腐食性評価と防食技術研究小委員会（338 委員会）報告書」および日本コンクリート工学協会「環境時代におけるコンクリートイノベーション（コンクリート構造物の環境性能評価に関する研究委員会報告）」において、既に過去 10 年以上（1997 年～2009 年）の期間を対象に、土木・建築の両分野にわたって広範囲の調査がなされている。そこで、今回の文献調査では、これら委員会で調査された文献を積極的に活用した。その中でも、特に実構造物を対象とした維持管理や各種補修方法に関する文献を抽出し、LCC および LCCO<sub>2</sub>を評価する上で必要となる補修効果（耐用年数、再劣化）や工事費用、CO<sub>2</sub>原単位などの指標を主体に技術の現状をまとめた。

## 2. 2 費用、CO<sub>2</sub>排出量および廃棄物量算定のためのケーススタディ

塩害環境下にあるコンクリート構造物を対象に、建設後 100 年間の補修費用、CO<sub>2</sub>排出量、廃棄物発生量の試算を行った。

### (1) 対象構造物

対象構造物は、コンクリートの設計基準強度が異なる以下の 2 種類の構造物に設定した。

- ① プレテンション PC 単純 T 桁橋（コンクリートの設計基準強度：50N/mm<sup>2</sup>）
- ② RC ボックスカルバート（コンクリートの設計基準強度：27N/mm<sup>2</sup>）

鋼材のかぶりに関する条件は、表 1 のように設定した。ここで、かぶりは設計値を平均値とし、標準偏差 0.79cm<sup>1)</sup>のばらつきを有する分布関数とした。また、かぶりの上・下限値は、かぶりの分布関数において全体の 95%が含まれる値とした。

表 1 鋼材のかぶりに関する条件

	PC 橋		カルバート	
	軸方向筋	スターラップ <sup>o</sup>	主筋	配力筋
平均値(cm)	6.6	5.6	6.35	7.65
標準偏差(cm)	0.79	0.79	0.79	0.79
上限値(cm)	8.14	7.14	7.90	9.20
下限値(cm)	5.05	4.05	4.80	6.10
鉄筋径(mm)	D13	D10	D13	D13

備考) 上・下限値 = 平均値 ± 1.96 × 標準偏差

## (2) 環境条件

塩害環境の違いによる影響を検討するため、表面塩化物イオン量は海岸からの距離に応じて表2に示す3ケースとした。また、コンクリートの拡散係数はW/Cから算定した。対象構造物のコンクリートの配合条件、設定した環境条件を表3に示す。

表2 塩化物イオンに関する条件

パラメータ	海岸からの距離(km)		
	飛沫帯	0.1	0.5
表面塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> )	13.0	4.5	2.0
拡散係数 (×10 <sup>-8</sup> cm <sup>2</sup> /s)	1.11 (PC橋) 5.27 (カルバート)		

備考) 拡散係数はW/Cから算定

表3 コンクリートの配合, 環境条件

		PC橋	カルバート
コンクリートの配合	水セメント比(%)	35	53
	単位水量(kg/m <sup>3</sup> )	170	170
環境条件	年平均気温 (°C)	14	
	年平均相対湿度 (%)	74	
	酸素濃度 (%)	21	

備考) 環境条件は理科年表による値

## (3) 劣化予測

劣化予測は、かぶりのばらつきと鋼材の腐食確率とを分布関数で表し、これらを積分することによって腐食発生の割合を腐食発生率として算定する手法により行った<sup>2)</sup>。この手法によると、任意時間において腐食している鋼材の割合が評価でき、補修必要数量を算定することが可能となる。なお、塩化物イオンの浸透予測はFickの拡散方程式により行い、鋼材位置における塩化物イオン量が1.2kg/m<sup>3</sup>となった時点で腐食が発生するものとした。ただし、表面被覆後の浸透予測は差分法により行った。

## (4) 補修方法

補修方法は5ケースとした。設定した補修シナリオを表4に示す。ここで、補修時期については、鋼材が腐食する前に補修を行う場合（以下、腐食前）と、鋼材が腐食して劣化が顕在化した箇所に対してのみ補修を行う場合（以下、腐食後）の2種類とした。腐食前に行う補修では、塩化物イオンの浸透予測式より、鋼材位置の塩化物イオン量が1.2kg/m<sup>3</sup>となった時点で構造物全体に補修を行うものとした。一方、腐食後は、腐食開始から概ね5年後に部分的な補修を行い、以後劣化の進行に伴って10年毎に部分補修を繰り返すものとした。また、表面被覆は耐久性を考慮して20年毎に上塗を塗替え、電気防食は20年毎に電源設備等を更新するものとした。なお、断面修復の深さは鉄筋の裏側までの80mmとし、鉄筋の防錆処理および表面被覆を併用するため、再劣化は生じないものとした。ただし、設定した補修シナリオには、これまでの知見に基づけば現実的ではないと考えられるシナリオも含まれる。これは、従来の性能と費用にくわえて、環境面の視点を取り入れたときに、どのような違いが現れるかを考察するために、敢えて設定してい

ることに注意されたい。

表4 補修シナリオ

工法	概要	備考
1.表面被覆 (腐食前)	鉄筋の腐食が開始する前に全体に表面被覆を行う。	・20年毎に上塗を塗替え
2.電気防食 (腐食前)	鉄筋の腐食が開始する前に全体に電気防食を行う。	・20年毎に設備を更新
3.脱塩+表面被覆 (腐食前)	鉄筋の腐食が開始する前に全体に脱塩を行った後、表面被覆を行う。	・脱塩によって塩化物イオン量が80%低下 ・20年毎に上塗を塗替え
4.断面修復+表面被覆 (腐食前)	鉄筋の腐食が開始する前に全体に断面修復を行った後、表面被覆を行う。	・20年毎に上塗を塗替え
5.断面修復+表面被覆 (腐食後)	鉄筋が腐食して劣化が顕在化した箇所に断面修復を行った後、表面被覆を行う。	・10年毎に劣化箇所を補修 ・20年毎に上塗を塗替え

#### (5) 算定結果

前記した条件に基づき、工事単価から補修費用、CO<sub>2</sub>排出量および廃棄物量を試算した。なお、CO<sub>2</sub>排出量は、土木学会コンクリートライブラリー125「コンクリート構造物の環境性能照査指針（試案）」に示されている値を用いた。

試算結果に関しては、数値の妥当性に関する精査を行う必要がなお残されているため、ここではグラフでの表記は避け、結果の概要を記すにとどめる。

今回設定した条件では、電気防食工法の場合、補修費用は高いがCO<sub>2</sub>排出量および廃棄物量が非常に少なく、早期に表面被覆をした場合は、断面修復工法や脱塩工法に比べて補修費用、CO<sub>2</sub>排出量、廃棄物量ともに抑えられるなどの結果が得られ、各補修方法の特徴を捉えることができた。ただし、これらの結果は、設定した条件や補修時期によってその傾向が変化する可能性を有しているため、上述のとおりさらに結果を精査していくことが必要である。

#### 参考文献

- 1) 旧建設省：コンクリート耐久性向上技術の開発報告書，1988。
- 2) 前田敏也，野口恒久，村上かおり：塩害を受けるコンクリート構造物の性能評価手法，第3回構造物の診断に関するシンポジウム論文集，土木学会，2000。

#### 2. 3 費用および環境影響の統合化の可能性

要求性能を満足することを前提として、補修費用に関係なく、CO<sub>2</sub>排出量と廃棄物量を最小化する補修方法が選定可能であれば、前節の結果で十分であるが、現実には補修費用と環境影響との兼ね合いが大きな問題となる。両者を比較する方法、あるいは両者を統合化して評価する方法が必要となる。

異なる指標を統合化する場合、一般的には各指標を貨幣換算し統合することが試みられる。例えば、平成21年6月に改定された「公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針（共通編）（国

土交通省)」によれば、「CO<sub>2</sub>の貨幣価値原単位の計測方法については、いくつかの方法が考えられるが、政策動向などの外部環境から影響を受けにくい点、および既存研究の蓄積が充実しているという点から、当面、わが国の公共事業の評価においては、被害費用に基づく方法を用いることとし、貨幣価値原単位として「10,600円/t-C」（2006年価格）を適用する。」とある。廃棄物に関しては、既に廃棄物処理として取引市場が形成されているため、その費用をもって貨幣価値原単位とすることも考えられる。このような原単位は標準的な値であるため、例えば、費用縮減が主目的、あるいはCO<sub>2</sub>排出量削減が主目的などの、事業毎に特化した目的がある場合には、必ずしも適切な換算方法であるとは言えない。あくまでも平均的な換算方法であることに注意する必要がある。

対象とする事業毎に明確な目的がある場合は、その目的に応じて、各指標の重み付けを適宜設定することが妥当である。ただし、各指標の相対的な重みを具体的に設定し、合理的に説明することは必ずしも容易ではない。重要なことは、各指標の元データ（費用、CO<sub>2</sub>排出量、廃棄物量）を提示するとともに、統合化のプロセスを公開することが重要である。

### 3. 解体コンクリート塊によるCO<sub>2</sub>固定化技術の現状

コンクリートによる環境負荷としては、特に、セメント製造工程において排出される二酸化炭素の影響が大きい。これは、セメントの製造技術が、基本的に炭酸カルシウムからの脱炭酸技術であることによる。近年、コンクリート建造物の建設に伴う炭酸ガス排出量は、例えば、材料製造、コンクリート製造、施工、供用、補修、解体、廃棄のような、その建造物のライフサイクルにわたる全ての段階で定量化され、最終的にLCCO<sub>2</sub>（Life Cycle CO<sub>2</sub>）として合算されて議論されつつある。

CO<sub>2</sub>の排出量評価は、各方面の努力の結果、排出原単位が揃いつつあることから、信頼性の高い定量が可能となりつつある。

コンクリートは、水和生成物の性質上、供用中から空気中のCO<sub>2</sub>を硬化したセメントペーストの組織構造内に取り込み、水和生成物（Ca(OH)<sub>2</sub>、C-S-H）の形態を変えることで、CO<sub>2</sub>を固定している。供用中では、この現象は炭酸化（もしくは、その結果生じる中性化）となるため、内部に鋼材を含むコンクリート部材では、耐久性上、注意を払うべき事項にあげられる。逆に、建造物としての使命を終えて解体されたコンクリート塊では、空気中のCO<sub>2</sub>固定は、環境面で負の要素ではないこととなる。

供用中の炭酸化、解体後の固定によるCO<sub>2</sub>の量は、LCCO<sub>2</sub>に対して数%程度の割合であるが、上記のライフサイクルの各段階のうち、例えば、施工や解体、廃棄のいずれかのステージでの排出量と同程度となる。すなわち、解体後のコンクリートによるCO<sub>2</sub>固定量は、LCCO<sub>2</sub>上も無視できる量ではなく、これを、コンクリート建造物のLCCO<sub>2</sub>評価に含めることが合理的と考えられる。コンクリートに関わる環境負荷評価を合理的とすることは、コンクリートに起因するCO<sub>2</sub>排出量の抑制の動機付けのためにも有効と考えられる。

上記の観点から、解体されたコンクリート塊（以下、コンクリート破砕材）によるCO<sub>2</sub>固定量の評価の意義、定量化の手法などについて、現状と将来の方向性について検討した。ここで注意すべきは、建設されたコンクリート建造物は、永く使用することがLCCO<sub>2</sub>の面でも有効であるということであり、CO<sub>2</sub>固定を目的にあえてコンクリートを破砕するのではないことである。あく

までも現状の利用形態（多くは破碎され、粒状体としてそのまま利用される）における CO<sub>2</sub> 固定量の定量化、また、CO<sub>2</sub> 固定面で有効となる改良点について検討を行った。

### 3. 1 コンクリート破碎材の発生量の調査検討

#### (1) モデル別予測によるコンクリート破碎材発生量の整理と発生量の現状

コンクリート破碎材による CO<sub>2</sub> の固定について検討するためには、将来にわたるコンクリート破碎材の発生量を予測することも重要である。このため、従来から検討されている、我が国における構造物の寿命を基準とした解体コンクリート発生量予測について、基本論理および予測結果を整理した。そして、実際に発生している解体されたコンクリート量の調査結果を用い、予測量との比較検討を行った。

橋梁の架け替えを例に、架け替えに至った理由を調査し、整理した。この調査により、コンクリート構造物の更新理由が、寿命によるものでない場合が多いことが推察された。このため、解体されるコンクリートの発生量を、国土交通省で行われているように予算に基づいて予測する場合と、新規の工事量に基づいて予測する場合について整理し、実際の発生量との比較検討を行った。

これらの比較検討の結果、短期的には、予算や新規工事量に基づく解体コンクリート予測量が、従来の構造物の寿命に基づく予測量よりも、現実の発生量に近いことを示した。

#### (2) 製造方法によるコンクリート破碎材の特性

現在、コンクリート破碎材の用途のほとんどが再生砕石としての利用である。この利用率は、コンクリート塊排出量の約 90% を占めている。再生砕石の用途では、最大粒径 40mm の再生クラッシュランとしての利用が大半を占める。再生骨材としての利用は、現状、非常に少ないが、今後増加する可能性もある。

コンクリート破碎材による CO<sub>2</sub> の固定量を考える上で、空気に曝される表面に注目するのは当然のことである。供用中のコンクリートは体積に対する表面積の割合が小さいため、炭酸化している部分のごく表層となる。これを破碎した場合、新規の表面が空気に曝されることとなり、粒径が小さいものが多くなると、表面積が急激に増加することとなる。

また、製造されたコンクリート破碎材に付着しているセメントペーストが多い場合、CO<sub>2</sub> 固定量は多くなる。さらに、コンクリート破碎材による CO<sub>2</sub> 固定量は、原コンクリートの配合や使用材料にも顕著に影響される。これらのことによる CO<sub>2</sub> 固定量の変化は、後述の節にて詳細に検討している。

このようなことから、現状の再生クラッシュランの製造設備を調査し、これを用いて製造した再生クラッシュランの特性のうち、表面積に影響する粒度分布（特に、細粒分の割合）、付着セメントペーストの間接的な情報である密度、吸水率、すりへり減量などの特性について調査した。

この結果、現在流通している再生クラッシュランの粒度分布は、日本道路協会の舗装再生便覧に示されている粒度にほぼ合致しているが、細粒分の含有量が高い傾向にあることが示された。

また、再生クラッシュランとは異なる製造設備となる再生骨材についても、製造設備の調査と整理を行い、製造される再生骨材について、主に付着モルタルもしくは付着セメントペースト量の観点から、製造される再生骨材の特徴を、製造設備ごとに整理した。

さらに、一般的な中間処理施設での再生クラッシュラン製造に係る CO<sub>2</sub> 排出量の実態調査の結果を整理し、製造設備の構成、製造量、購入電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位などの仮定の下での簡単な再

生クラッシュランの CO<sub>2</sub> 排出原単位の試算も行った。

### 3. 2 コンクリート破砕材による CO<sub>2</sub> 固定量の定量化

#### (1) CO<sub>2</sub> 固定の論理

コンクリート破砕材による CO<sub>2</sub> の固定に関する基礎論理として、セメントの水和生成物の炭酸化反応について整理した。そして、セメントの化学組成とコンクリートの配合を仮定（使用頻度が高いと考えられる範囲での仮定）し、前述の水和生成物の炭酸化理論に基づいたコンクリートの CO<sub>2</sub> 固定量の計算を行い、水和生成物が論理的に固定できる CO<sub>2</sub> 量を明示した。

#### (2) CO<sub>2</sub> 固定量の定量化

##### 1) CO<sub>2</sub> 固定量に関する研究結果の整理

コンクリート破砕材による CO<sub>2</sub> の固定量もしくは固定にかかる時間（固定速度）は、粒径、粒子中のセメントペースト含有量、CO<sub>2</sub> 環境への曝露条件（主として、乾湿の条件）によって変化する。このことを定量的に示すため、モルタルを対象として、基礎的な検討を行った結果を整理した。また、ここでの検討は、コンクリート破砕材による CO<sub>2</sub> 固定量の定量手法そのものの検討も兼ねている。

モルタルを対象とした室内試験の結果では、水セメント比が大きなものほど、炭酸化の進行が速い結果となった。このことは、セメントペースト相の組織構造が疎であることによるものと考えられる。粒径による影響については、粒径が小さなものほど、炭酸化の進行が速くなった。このことは粒径が小さい場合、CO<sub>2</sub> と接する表面積が大きくなるためと考えられる。空気への曝露時の湿潤条件については、乾燥状態での曝露よりも、乾湿繰返しを行った場合に炭酸化の進行が速い結果となり、特に、粒径が小さい場合、この影響が大きくなることが示された。炭酸化反応のためには、固体としての水和生成物と気体としての CO<sub>2</sub> だけではなく、これらがイオン化できる液相も必要であり、かつ、粒子外部から内部への気体の CO<sub>2</sub> の拡散も必要となる。このため、細孔中の水分が適度に存在している場合、進行が速くなるものと考えられる。

上述のモルタルでの室内試験に加え、中間処理施設から収集した再生クラッシュラン（RC-40）の 5mm 未満の成分を対象に、不溶残分および CaCO<sub>3</sub> 含有率の測定を行い、5mm 未満の粒子のみが CO<sub>2</sub> を固定するとした場合の、コンクリート破砕材 1ton あたりの CO<sub>2</sub> 固定量を試算した。

##### 2) 海外での CO<sub>2</sub> 固定化に関する提案の調査と整理

このカテゴリの研究で先進している北欧に着目し、北欧 4 カ国（デンマーク、スウェーデン、ノルウェー、アイスランド）による共同研究プロジェクトの内容について、文献調査を行い、コンクリート破砕材による CO<sub>2</sub> 固定量の定量化手法、LCCO<sub>2</sub> への反映方法などを整理した。

#### (3) 全国調査の検討（国土技術政策総合研究所による全国調査の整理）

国土交通省国土技術政策総合研究所では、全国から収集した再生砕石を対象として、再生砕石による CO<sub>2</sub> 固定に関する調査を実施している。ここでは、この全国調査について、概要を整理した。

本全国調査は、2010 年度に実施されたものであるが、45 都道府県の 46 工場から、再生砕石を指定した方法で収集している。これらを試料として、粒度分布、CaO 含有量、Ca(OH)<sub>2</sub> および CaCO<sub>3</sub> 含有量を試験している。分析対象の試料は粒径 20mm 未満の成分とし、入手直後および 28 日間大気曝露後（温湿度管理下で、2 回/週の頻度で含水比の調整を実施）について、それぞれ、構造物供用期間中の CO<sub>2</sub> 固定量、およびこれに再資源化時の CO<sub>2</sub> 固定量を加えた量を表すものと

して、粒径別（5mm 未満，5～20mm）で測定を行っている。

調査の結果，収集された試料は，概ね，再生クラッシュラン（RC-40）の粒度を有しており，粒径ごとの CO<sub>2</sub> 固定量が得られている．粒径が小さいほど CO<sub>2</sub> 固定量は大きくなることが示されており，（2）での検討結果とも概ね整合している．興味深い結果として，粒径が 5～20mm のものについても CO<sub>2</sub> 固定量は比較的大きく，無視できない固定量であることが示された．

#### （4）CO<sub>2</sub> 固定化技術の方向性

（2）での検討結果と（3）での全国調査結果に基づき，コンクリート破砕材による CO<sub>2</sub> 固定を効率的に行うための条件が次のように整理された．

- ① 微粒分が多い粒度となることが望ましい，② 乾湿繰返し条件下での保管が望ましい，
- ③ 製造後 1 か月程度以上保管されることが望ましい

### 3. 3 コンクリート破砕材による CO<sub>2</sub> 固定の視覚的明示方法の検討

コンクリート破砕材による CO<sub>2</sub> 固定は，条件が整うと比較的急速に進行する．コンクリート破砕材自体は，炭酸化しても肉眼ではその変化を捉えることができない．また，CO<sub>2</sub> も無色であるため，固定化されてもその変化を肉眼で捉えることはできない．このため，コンクリート破砕材による CO<sub>2</sub> の固定化を，視覚的に認識できる手法の開発および提案を行った．

視覚的明示方法として以下のものについて検討し，④のバッグ法が有効と考え，この方法を提案した．

- ①白濁法:CO<sub>2</sub>を固定化しているコンクリート破砕材を熱することでCO<sub>2</sub>を分離し(すなわち，脱炭酸し)，これを Ca(OH)<sub>2</sub> 飽和溶液中に通すことで，再び CaCO<sub>3</sub> として溶液を白濁させる方法
- ②ガスセンサー法：新鮮な状態のコンクリート破砕材を入れた容器内に CO<sub>2</sub> を充填し，低下してゆく CO<sub>2</sub> 濃度をガスセンサーで測定する方法
- ③天秤法:天秤に容器に入れた通常の砕石とコンクリート破砕材を載せ，これらに一定量の CO<sub>2</sub> を吹き込み，CO<sub>2</sub> が固定化されるとコンクリート破砕材の質量が大きくなることを利用した方法
- ④バッグ法:ガス採取用のバッグに新鮮なコンクリート破砕材を入れ，これに CO<sub>2</sub> を吹き込む．コンクリート破砕材が CO<sub>2</sub> を固定化することで，バッグをしぼませる方法．(写真 1 参照)



写真 1 CO<sub>2</sub> 固定視覚化実験結果（バッグ法）

（写真左：廃コンクリートの微粉末をプレスし成形した試験体が左の容器には入れられ，さらに両方の容器内に CO<sub>2</sub> が充てんされた状態．写真右：容器内に CO<sub>2</sub> が充てんされてから 3 分 31 秒経過した状態．廃コンクリート中の Ca(OH)<sub>2</sub> が CO<sub>2</sub> と反応  $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ．これによって CO<sub>2</sub> が吸収されるため，左の容器のみ収縮するとともに，反応で生成された水蒸気が容器内に充満しているのがわかる．）

#### 4. まとめ

本研究では、膨大な社会資本ストックが更新・維持補修時期を迎えるにあたって、コンクリートガラの発生を少なくする補修技術、コンクリート構造物の解体に伴う効率の良いCO<sub>2</sub>固定化技術について調査検討し、その可能性と課題の抽出を行い、今後のCO<sub>2</sub>削減の方向性を提案することを目的とした。その結果、本研究の範囲内で、以下のことが明らかとなった。

- (1) 補修方法の選定によって、CO<sub>2</sub>排出量や廃棄物発生量の少ない補修が、既存コンクリート構造物に対して実施可能であることが示唆された。例えば、電気防食工法では、補修費用は高いがCO<sub>2</sub>排出量や廃棄物発生量を非常に少なく抑えることができ、また、早期の表面被覆工法の適用は、断面修復工法や脱塩工法と比較して補修費用、CO<sub>2</sub>排出量、廃棄物発生量ともに低く抑えることができる。ただし、設定条件や補修時期が補修方法の選定を左右する可能性が残されており、条件設定に関する精査が必要である。
- (2) 既存コンクリート構造物の補修において、補修費用とCO<sub>2</sub>排出量、廃棄物発生量をそれぞれ指標とした補修方法の選定手法に関しては、課題点として残された。指標としての具体的な数値化と、ケーススタディ等を通じた指標数値の妥当性に関する検討が今後求められる。
- (3) 解体コンクリート発生量の予測では、従来行われている構造物の寿命に基づく予測よりも、予算や新規工事量に基づく予測の方が、現実に近い発生量を与えることが示された。
- (4) 解体されたコンクリート塊によるCO<sub>2</sub>固定化の性状から、解体されたコンクリート塊に効率的にCO<sub>2</sub>固定を行わせるためには、①微粒分が多い粒度、②乾湿繰返しの保管、③製造後1カ月以上の保管、などが、条件として望ましいことを示した。
- (5) 解体されたコンクリート塊によるCO<sub>2</sub>固定を視覚的に明示する試験方法を提案した。

ただし、上記のとおり、1年間で十分に満足できる結果が得られたとは言い難く、今後も調査研究を継続して実施する予定である。最終的には、成果報告書をコンクリート技術シリーズとして刊行する予定である。

最後に、本研究を遂行するため、コンクリート委員会にⅡ種小委員会として「CO<sub>2</sub>削減を考慮したコンクリート構造物の解体、再利用、補修技術に関する調査研究小委員会(219委員会)」を設置し、議論を重ねてきた。委員会の設置をお認めいただきました宮川豊章コンクリート委員会委員長に厚くお礼申し上げる次第です。また、小委員会に参加し、熱心な議論をしていただきました以下のメンバー各位に深甚の謝意を表します。

小林孝一氏(幹事長, 岐阜大学), 上野 敦氏(幹事・WG主査, 首都大学東京), 加藤佳孝氏(幹事・WG主査, 東京大学), 河井 徹氏(幹事, 清水建設), 新藤竹文氏(幹事, 大成建設), 堤 知明氏(幹事, 東京電力), 信田佳延氏(幹事, 鹿島建設), 前田敏也氏(幹事, 清水建設), 渡辺博志氏(幹事, 土木研究所), 入矢桂史郎氏(大林組), 岩波光保氏(港湾空港技術研究所), 上田隆雄氏(徳島大学), 緒方辰男氏(高速道路総合技術研究所), 小川秀男氏(BASF ポゾリス), 片平博氏(土木研究所), 金津 努氏(電力中央研究所), 曾根真理氏(国土技術政策総合研究所), 田中敏嗣氏(太平洋セメント), 西垣義彦氏(ピーエス三菱), 服部篤史氏(京都大学), 林 大介氏

(鹿島建設), 久田 真氏 (東北大学), 廣中哲也氏 (奥村組), 堀井久一氏 (コニシ), 松田芳範氏 (東日本旅客鉄道), 若杉三紀夫 (住友大阪セメント), 黒田泰弘氏 (オブザーバー, 清水建設)