

構造物の耐久性向上と 性能評価方法に関する研究

独立行政法人土木研究所
基礎道路技術研究グループ長 萩原 良二

1. はじめに

少子高齢化の進展に伴い、厳しい財政事情の下で公共投資の抑制が続いています。また、社会資本ストックの老朽化が深刻な問題になりつつあり、その維持更新費の増大が予想されていることから、効率的な社会資本整備とストック保全が望まれています。このため、構造物の耐久性向上による長寿命化や、性能規定化により新技術や新材料の開発・導入を進めていくことが必要になっています。

本稿では、土木研究所で取り組んでいる構造物の耐久性向上技術、性能規定化に必要な性能評価方法等に関する研究について紹介します。

2. プロジェクト研究の概要

本プロジェクト研究では、構造物の耐久性向上について、舗装とトンネル覆工の長寿命化等に関する技術開発を行っています。また、構造物の設計・施工の性能規定化については、橋梁の耐震性、耐風性等に着目した解析による性能評価法や、耐震性能の実験的検証法、路床の性能規定に

対応した品質管理手法の開発を行っています。

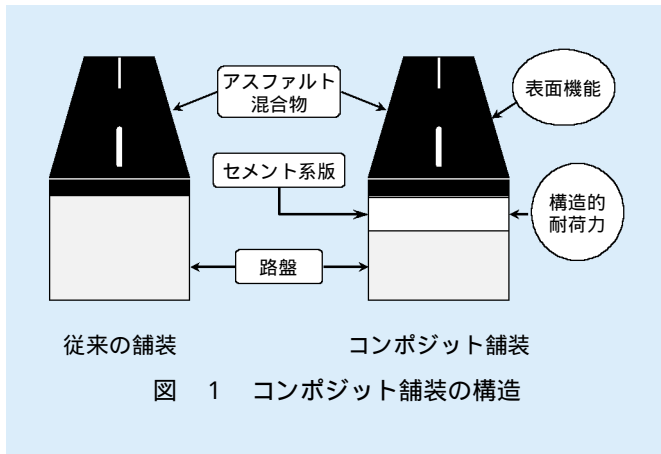
3. 構造物の耐久性向上

既存の社会資本ストックを長持ちさせて有効活用を図り、その管理コストを低減させることが重要な課題となっています。このため、本研究では、舗装とトンネル覆工を対象に耐久性向上による長寿命化技術等の検討を行っています。

(1) 舗装の長寿命化とライフサイクルコスト算定手法の確立

舗装の長寿命化を図るために、アスファルト舗装の等値換算厚 T_A の増大とコンポジット舗装の適用を考え、試験舗装を行ってその供用性や効果の検証を行っています。

T_A の増大については、設計期間を従来の10年とするほかに、15年、20年とした場合の断面を設定して試験舗装を行っています。これらの試験舗装区間の供用性に関する項目のデータを収集・分析し、 T_A の増大による耐久性向上効果を調べています。コンポジット舗装は、走行性や維持修繕の容易性に優れているアスファルト舗装と構造的な耐久性に優れているコンクリート舗装を組み合わせた舗装で、本研究では表層にアスファルト混合物を用い、直下の層にセメント系の版（転圧コ



ンクリート版)を用いた舗装として試験舗装を行っています(図 1)。コンポジット舗装の試験舗装区間では、供用性に関する項目のデータを収集・分析するとともに、コンクリート版に目地を設けた場合、リフレクションクラックの発生は避けられないことから、基層に開粒度アスファルトコンクリートを用いることなどによるリフレクションクラックの抑制効果についても調べています。

また、厳しい財政事情や管理体制の制約、路上工事縮減の要請などに適切に対応していくためには、社会的費用も含めたライフサイクルコスト(LCC)に基づく新規施設の設計(長寿命化工法の採用の是非の判断等)や、戦略的な維持管理計画の立案が必要となります。土木研究所では、そ

のために必要な舗装のLCC算定マニュアルの作成に取り組んでいます。

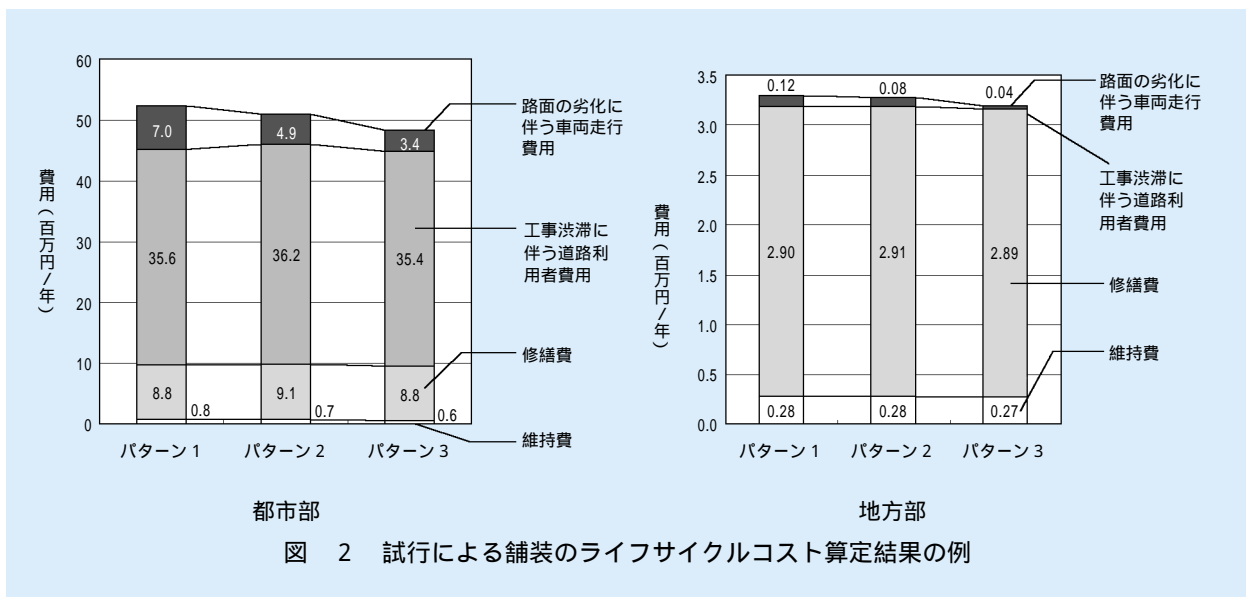
これまでにマニュアル素案を作成し、国土交通省と連携して全国の国道事務所での試行を通じた素案の改良を検討しています。素案では、次のような費用をLCCの計算対象としています。

- ① 道路管理者費用：調査・計画費用，建設費用，維持費用，修繕・改築費用
 - ② 道路利用者費用：路面性状悪化による車両損失，工事規制渋滞・迂回遅延
 - ③ 環境費用：排水性舗装における騒音低減効果
- また、試行では数種類の補修パターンを設定し、解析期間を40年としてLCCを試算しています(図 2)。

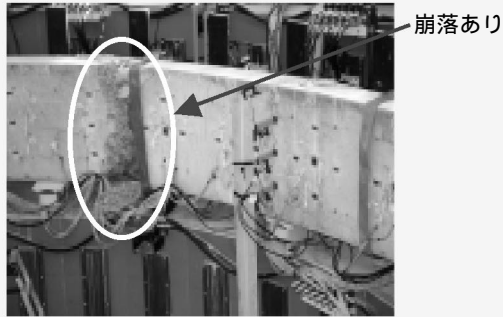
今後は、試行を通じて明らかとなった課題を踏まえつつ、道路管理の現場での補修に関する意志決定や予算管理において実運用が可能となるように、マニュアル化に向けて検討を進める予定です。

(2) トンネル覆工の長寿命化

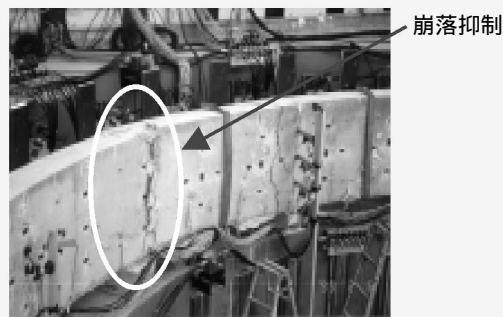
山岳トンネルの覆工の設計はこれまでの実績や経験に基づき行われていて、一律に30cmの巻厚のプレーンコンクリートを設置するのが標準となっています。しかしながら、コンクリートのはく落事故が続いて発生したことなどから、トンネル



覆工の安全性，耐久性の向上が求められています。このため，鋼繊維補強コンクリート等を用いた覆工構造を考え，実大規模の供試体載荷実験，実際のトンネルでの試験施工，数値解析を行って，耐力向上やひび割れ抑制の効果を調べています（図 3）。



プレーンコンクリート



鋼繊維補強コンクリート

図 3 トンネル覆工載荷実験
（鋼繊維補強コンクリートの効果）

4. 構造物の性能評価方法

構造物の設計・施工の性能規定化を進める上で，合理的な性能評価や品質管理のための手法の開発が必要となっています。このため，本研究では橋梁を対象とした性能評価と，路床に要求される性能および品質管理手法に関する検討を行っています。

(1) 橋梁の耐震性評価

橋梁の耐震設計の性能規定化に対応して，地震時挙動の評価が重要な課題となっている基礎構造を対象に，設計の高度化・最適化を図るため，基礎の非線形動的解析モデル，信頼性を考慮した杭の支持力推定手法，液状化時の地盤変形を考慮した基礎の耐震性能照査法等について検討を行っています。さらに，従来の耐震設計が部材ごとに耐震性を評価しているのに対して，信頼性理論に基づいた橋梁全体系の耐震性を評価する方法を開発し，総合的に耐震性，経済性の向上を図ることを検討しています。

また，耐震性能を検証する手法として，構造部材の耐震性能と橋梁全体系の耐震性能を評価する実験手法の開発を行っています。前者について

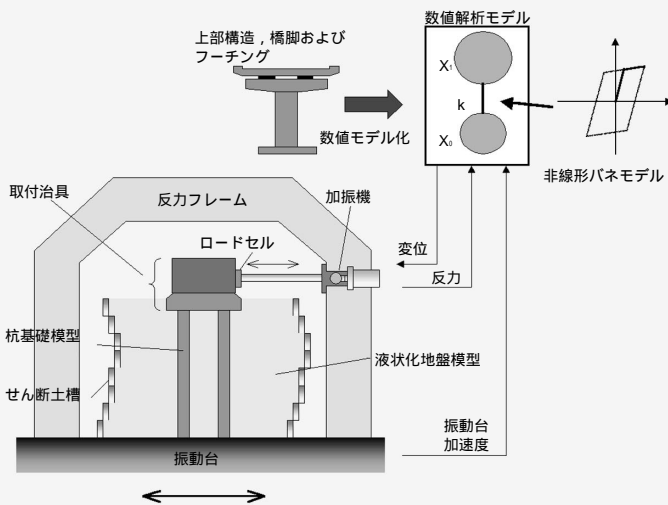


図 4 ハイブリッド振動実験の概念

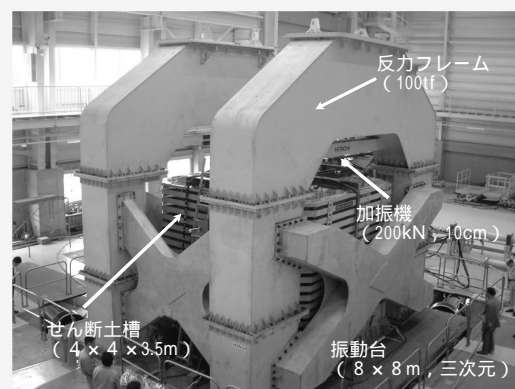


図 5 ハイブリッド振動実験の状況

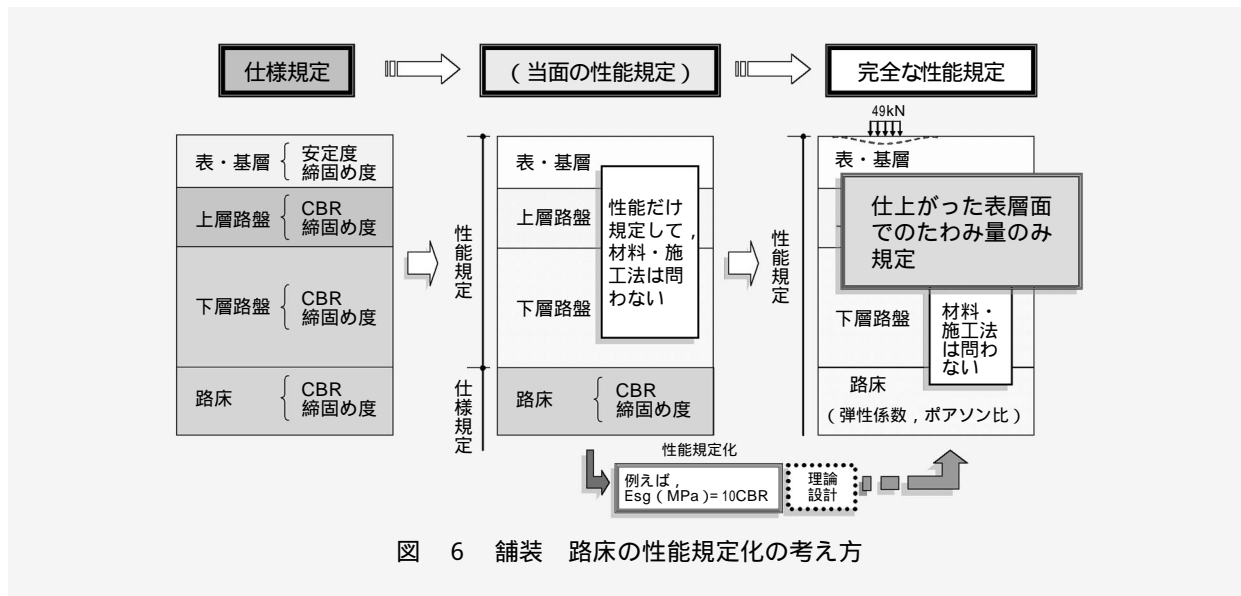


図 6 舗装 路床の性能規定化の考え方

は、橋脚を対象に、正負交番載荷実験および振動台実験による耐震性能の標準的な検証法を検討しています。後者については、上下部構造の連成を考慮し、上部構造等を数値解析モデル、地盤および基礎構造を実際の模型としたハイブリッド振動実験により、橋梁全体の耐震性能を検証する新たな手法を開発しています(図 4, 5)。

(2) 橋梁の耐風性評価

橋梁の耐風安定性の検討にあたっては、風洞試験による確認を含め、これまで多くの時間や費用を要しています。このため、本研究では過去に実施された多くの風洞試験結果を整理・体系化し、それを有効に活用することにより、中長規模の橋梁の耐風設計において、簡便かつ効率的に耐風安定性の評価が行えるような耐風性能推定手法の開発を行っています。

(3) 走行車両による橋梁振動の予測と軽減対策
 車両の大型化に対応して、道路交通振動による橋梁および沿道への影響を必要に応じて軽減することが求められています。このため、本研究では大型車走行時の橋梁の振動応答特性を調査し、車両 橋梁連成系の解析モデルによる橋梁振動の予測手法の開発を行っています。また、橋梁ジョイント部に起因する振動の軽減対策として、延長床版を用いた振動軽減工法の開発を行っています。

(4) 路床の性能規定と品質管理

舗装構造についてはすでに「舗装の構造に関する技術基準(平成13年6月)」において性能規定化されていますが、舗装を支える路床についても今後性能規定化を図る必要があります(図 6)。このため本研究では、舗装の理論解析や実大実験等によって過去の供用実績に裏付けされた路床に求められる性能について検討を行っていて、これによって、舗装の理論設計が可能となることを目指しています。また、その要求性能を担保する施工・品質管理手法の開発も行っています。

5. おわりに

本プロジェクト研究は平成17年度に成果をとりまとめることを目標に進めていますが、得られた成果については関連する技術基準等に反映させていく予定です。

財政上の制約が厳しくなる中で、耐久性に優れた土木構造物を効率的に構築し、また保全していくための技術開発を産学官が連携して進めていくことが大切だと思われます。そのために、本プロジェクト研究をはじめとする関連研究を、他の機関との連携を図りながら推進し、またその成果の普及に努めてまいります。

土木研究所における重点プロジェクト研究 新材料・未利用材料・リサイクル材を用いた 社会資本整備に関する研究

独立行政法人土木研究所
かわの ひろたか
材料地盤研究グループ長 河野 広隆

1. はじめに

水、土、木材、鉄、コンクリートは公共事業を支えてきた基本的な材料です。これらがなくては事業は進みません。しかし、多機能・高性能の材料も開発されていて、それらをうまく使いこなせば、安全かつ合理的な構造物の構築も可能になります。一方、環境問題などからこれまで豊富に使ってきた材料について、いろいろな制約ができています。また、各種の副産物・廃棄物や、従来は使われずに廃棄されていた、あるいは利用率の低かった材料をうまく使いこなし、循環型社会形成を通して環境問題に貢献することも大きな社会的な要請になっています。

そこで、土木研究所ではこのような要請を背景に、重点プロジェクト研究として「新材料・未利用材料・リサイクル材を用いた社会資本整備に関する研究」を実施しています。ここではこのプロジェクト研究の概要を報告させていただきます。

2. 研究の範囲と達成目標

新材料・未利用材料・リサイクル材のうち、本重点プロジェクト研究では、次の利用技術の開発

を行っています。

- ① 高強度鉄筋、FRP などの高性能材料、新材料の土木構造物への利用技術の開発
- ② 規格外骨材などの未利用材料、建設廃棄物のうち技術開発の余地が多く残されている再生骨材や有機質廃棄物の利用技術の開発
- ③ 公共事業においてユーザーが安心して使える指針の作成が強く求められている他産業廃棄物のリサイクル技術とリサイクル材利用技術の開発

3. 研究の概要

- (1) 高強度鉄筋、FRP などの土木構造物への利用技術の開発

兵庫県南部地震では多くの RC 橋脚がせん断破壊したため、耐震設計基準が見直しされました。脆性的な破壊を生じるせん断破壊を防止し、曲げ破壊を先行させることが重要な設計のポイントの一つとなりました。その結果、柱部材を中心にコンクリート構造物の配筋がきわめて過密となる場合が生じています。

「高強度鉄筋の利用技術の開発に関する研究」では、安全性の確保と同時に施工の効率を向上させる一手法として、高強度鉄筋をせん断補強鉄筋として RC 部材に用いることを想定し、そのせん

断強度算定手法とそれを用いた設計手法を開発する研究を進めています。

建築分野ではすでに高強度鉄筋をせん断補強鉄筋として用いている例がありますが、土木構造物と建築物では、断面寸法、軸力、配筋量、せん断補強の考え方等がかなり違うため、大型の土木構造物に適用するための検討を行っています。

これまでに分かってきたことをいくつかご紹介します。

- ① 高強度のせん断補強鉄筋を用いることにより、部材のせん断耐力は増加する(図 1)。ただし、せん断スパン比 (a/d) によっては、その強度が十分発揮されない場合もあり、この点を考慮した照査方法を明らかにする必要があります。
- ② 1,400N/mm²クラスの高強度せん断補強鉄筋であっても、その強度は十分発揮されるものと考えられる。土木学会コンクリート標準示方書では、コンクリートの設計基準強度が60N/mm²以上の高強度コンクリートを用いた場合にせん断補強鉄筋の引張強度として800N/mm²まで考慮できるとしているが、これまでの試験結果によれば、高強度コンクリートとの併用でなくても、計算で得られるじん性率の範囲までであれば、せん断補強鉄筋の高い強度を設計に生かすことは十分可能である。

- ③ 繰り返し载荷によってコンクリートの損傷が著しくなりすぎると、コンクリートと鉄筋の一体性が失われ、せん断補強鉄筋の持つ高強度が生かされなくなる。これまでの試験結果では、高強度せん断補強鉄筋の生かされる限界は、計算で得られるじん性率の範囲までであり、これを超える塑性率で荷重の繰り返しを受けるとせん断補強鉄筋の強度が十分発揮されないまま、RC 部材が破壊する。

これらの成果をもとに高強度せん断補強鉄筋を用いた RC 部材のじん性評価方法を明らかにし、設計法の提案を作成中です。

我が国の日本海側や島嶼などの沿岸地域は、世界的に見ても厳しい塩害環境にあり、コンクリート橋桁などの劣化が問題となっています。新設橋では塩害対策設計を施していますが、それでも海岸直近では二重三重の対策が要求されます。そこで「FRP の道路構造物への適用に関する調査」では、高耐食性構造物の構築技術の一つとして、繊維強化プラスチック (FRP) を土木構造物へ構造部材として適用するための研究を実施しています。

FRP 材料を構造部材として土木構造物へ適用する場合には、軽量で耐腐食性に優れるという利点がありますが、耐荷強度や変形特性が問題となります。また、大型の構造物に適用するとなる

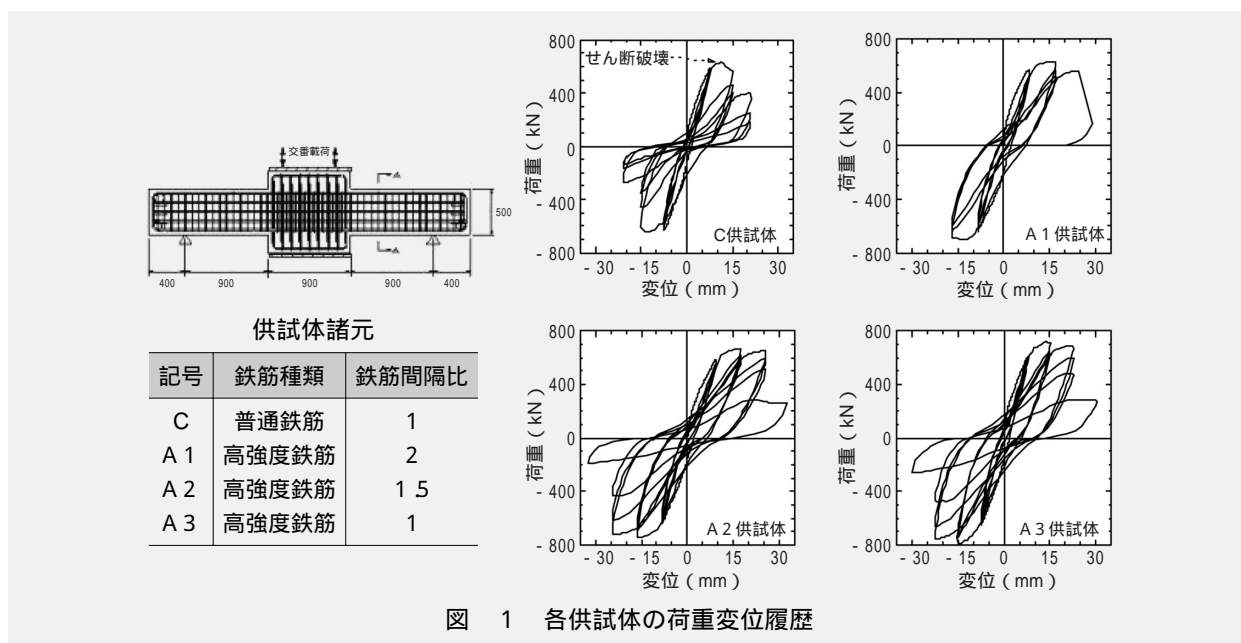


図 1 各供試体の荷重変位履歴

と、工場で製作した FRP 構造部材を接合する必要があり、その手法や接合強度が課題となります。

これまでに、FRP 構造部材の静的あるいは動的な強度を確認するとともに、FRP 構造部材のボルト接合などの接合法の検討と接合部分の強度などについて基本的な強度特性を把握するための実験を実施してきています。それらの成果として、以下のことが明らかとなっています。

- ① FRP 材料を構造部材として適用する場合には、補剛桁の設置方法により強度が大きく異なる。また、FRP 部材を L 字型鋼材に締め付ける補剛桁のタイプが最も効果的である（写真 1）。



写真 1 FRP 接合部の破壊の例

- ② FRP 構造部材の接合強度は、ダブルラップ接合を対象としたボルト強度を用いて、ある程度推定することが可能である。FRP 構造部材の構造体としての機能を確保するという観点から判断すると、終局強度ではなく、添接板が滑動して構造機能を失った場合の強度を設計に用いることが適当である。

現在、接着剥離強度や樹脂クリープによるボルト軸力抜けの検討を継続中であり、接着接合した大断面部材を構造部材として適用した場合の静的力学特性ならびに疲労特性についても検討をしています。

- (2) 規格外骨材などの未利用材料、有機質廃棄物の利用技術の開発

このところ海砂の採取規制地域の増加等で、良質のコンクリート用骨材の入手が難しくなりつつあります。また、コンクリート解体材や従来廃棄

されていた規格外骨材をコンクリート用骨材として有効利用して欲しいとの要望も高まっています。

「再生骨材・未利用骨材の有効利用技術の開発」では、建設廃棄物のリサイクル利用や建設廃棄物の削減に資するため、上述のような潜在的な骨材資源を有効利用するための要素技術の開発と品質評価規準を提案するための研究を実施しています。

これまでに再生骨材の利用に関する検討を実施して以下のような結果を得ています。

- ① 再生骨材コンクリートの圧縮強度は、原コンクリートの圧縮強度の影響をあまり受けない。
- ② 再生骨材コンクリートの凍結融解耐久性は原コンクリート中の空気量に大きく影響を受けること、また、原コンクリートの水セメント比にやや影響を受ける。
- ③ 再生骨材の品質を示す密度、吸水率、安定性損失質量の値と、原コンクリートや再生骨材コンクリートの凍結融解耐久性との間に明確な関係は認められなかった。
- ④ 原コンクリートの約50サイクルまでの凍結融解試験で得られる耐久性を評価する手法が得られれば、それから製造される再生骨材を用いたコンクリートの耐久性を事前に推定することが可能となることが判明した。このため、簡易な判定試験法を検討している。

「下水汚泥を活用した有機質廃材の資源化・リサイクル技術に関する調査」では、有機質廃材を資源として有効利用することを促進するため、草木等の有機質廃材と下水汚泥との混合発酵により資源化を図る方法、有機質廃材を改質・加工して下水処理に活用する方法などの研究を実施しています。

蒸煮・爆砕した木質と下水汚泥との混合・嫌気性消化法から得られる消化汚泥の流動性や処理性について調べた結果、混合比が高まるとともにメタンガスを主成分とするバイオガスの発生倍率が高まることが明らかになっています（図 2）。また、蒸煮・爆砕した木質と下水汚泥との固形物

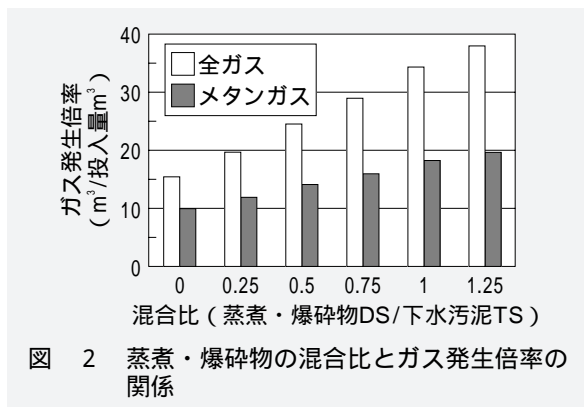


図 2 蒸煮・爆砕物の混合比とガス発生倍率の関係

混合比が 1 : 1 以内までは、槽内攪拌設備への大幅な負荷増大に繋がる危険性は少なく、得られる脱水汚泥の含水率も下水汚泥単独の場合よりも相当に低いものでした。バイオガス以外にも、木質から下水の高度処理に用いる有機酸を生産する発酵技術を開発するための基礎的な検討や、木質バイオマスから揮発性脂肪酸を生産する技術の検討も実施しています。

今後は、自治体や地域におけるバイオマス資源化・リサイクルシステムの提案と実用化を行っていく予定です。

(3) 他産業廃棄物のリサイクル技術とリサイクル材利用技術の開発

建設部門以外他産業からの廃棄物の多くは産業内でのリサイクルに限界を抱えており、建設資材としての利用に大きな期待が寄せられています。また建設分野も、資源循環型社会の形成に積極的に貢献しようとしており、利用者が安心して利用できるリサイクル材の利用技術マニュアルの作成が求められています。このため、「他産業リサイクル材の利用技術に関する研究」では、他産業リサイクル材の種別ごとに適用用途に応じた工学的性能や環境安全性等の評価を行い、適正な利用を促進するための利用技術についてマニュアル化を図るための研究を実施しています(図 3)。

現在「他産業リサイクル材利用技術マニュアル」策定に向けて、有識者らによる検討委員会を設け、客観的意見を取り入れるための作業を実施中です。

「他産業リサイクル材の舗装への利用に関する

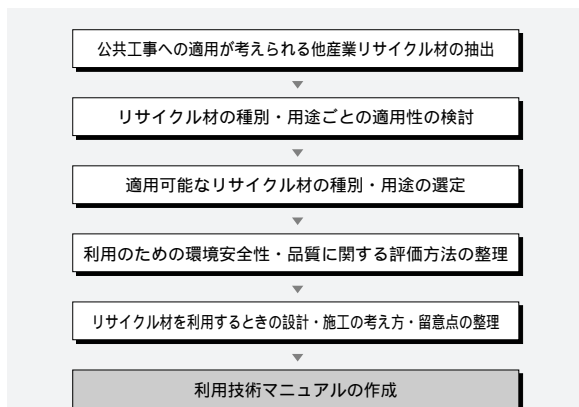


図 3 「他産業リサイクル材の利用技術に関する研究」における研究フロー

研究」では、他産業から製造されるリサイクル材の中でも廃ガラスに注目し、舗装への利用可能性を確認することを目標とし研究を実施中です。廃ガラス入りのアスファルト舗装の耐久性や付加的機能を明らかにするため、舗装走行実験場において49kN 換算輪数で25万輪まで走行試験を行った結果、アスファルト舗装としての基本的性状が著しく低下することはないもののガラスカレットが飛散するものもあり、混入率は30%程度が限界のようです。付加的機能である視認性向上機能については、輝度測定の結果、ガラス入りアスファルト混合物は、対光を反射させ、自光はほとんど反射しない特性があることが分かりました。また、すでに実用化されている高輝度ニート工法と比べると、光の反射に異なった傾向を示しました。一方で、ガラス入りアスファルト混合物は高輝度対策の通常工法であるニート工法の1/7程度の材料費であるため、舗装としての耐久性、機能とコストを考慮した適用条件等について検討中です。

4. おわりに

本重点プロジェクト研究は、全体の計画としては平成17年度が最終年です。現場で使ってもらえる研究成果を出せるよう、鋭意研究に邁進していきますので、ご意見ご要望をいただくと幸いです。