

令和3年度 研究又は活動の助成実績

<p style="text-align: center;">担当者 テーマ</p>	<p style="text-align: center;">実績 紹介</p>
<p>学校法人八戸工業大学工学部土木建築工学科 高瀬慎介 ボックスカルバート型を用いた寒冷地対応の橋梁形式に関する研究</p>	<p style="text-align: center;">R3-1</p>
<p>独立行政法人八戸工業高等専門学校環境都市・建築デザインコース 庭瀬一仁 C-S-H系早強剤により初期強度を改善したLPC-FA系コンクリートの複合劣化抵抗性に関する研究</p>	<p style="text-align: center;">R3-2</p>
<p>独立行政法人八戸工業高等専門学校教育研究支援センター 小屋畑勝太 ローコストGNSS受信機とUAVを活用した調査手法の提案</p>	<p style="text-align: center;">R3-3</p>
<p>国立大学法人弘前大学農学生命科学部地域環境工学科 森 洋 盛土構造物の材料特性評価に関わる研究</p>	<p style="text-align: center;">R3-4</p>

## 実績概要

(ホームページ掲載用)

R3 - 1

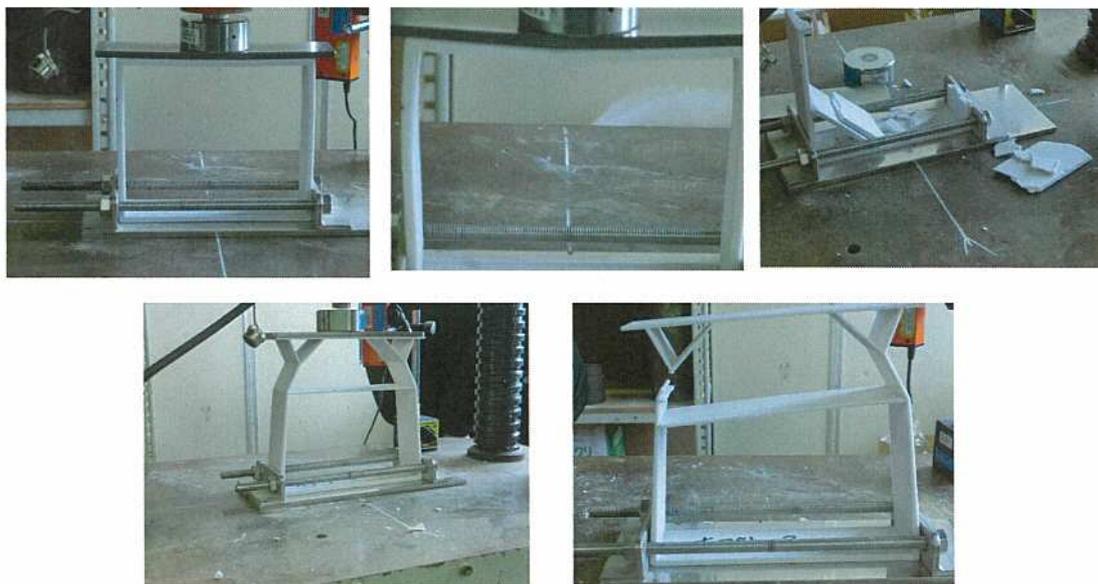
研究又は活動のテーマ	ボックスカルバート型を用いた寒冷地対応の橋梁形式に関する研究
団体名	八戸工業大学工学部土木建築工学科
代表者	高瀬慎介

### (目的)

高度成長期時代に多くの橋梁がかけられ、現在、橋梁の老朽化が課題となっており、橋梁の維持管理が注目されている。その中でも小規模橋梁は、都道府県や市町村が管理しており、地域の住民に近い立場で橋梁の計画・建設・維持管理が求められている。青森県においては、寒冷地であるため、床板やジョイント部における排水処理や融雪剤や飛来による塩分による劣化損傷が見られ、より維持管理が重要になっている。そこで本研究では、人口減少に伴う技術者不足の中でも、維持管理の省力化が可能な橋梁形式を新たに提案するものである。具体的には、寒冷地で問題になるジョイント部等の劣化や材料の劣化を考慮し、構造的および材料的にそれらの課題を解決したボックスカルバート型の新しい橋梁形式を提案するものである。

### (概要)

今年度は、昨年度に引き続き、青森県内の小規模橋梁の利用状況の現状調査を目的に、実際に使用されている橋梁の見学、および新規のボックスカルバート型の橋梁の現場見学などを行った。また、トポロジー最適化手法を用いて、最適化した形状を3Dプリンターで作成し、また、既存のボックスカルバート、アーチカルバート、ヘキサカルバートの4種類についても3Dプリンターで形状を作成し載荷実験を行った。既存のボックスカルバートを基準とし、内空断面を同一になるように確保、また、部材断面をそれぞれの形状で等しくなるように形状を作成した。今回の実験では、ボックスカルバートが一番重い荷重に耐えることができた。上部構造がひび割れを起こしても両側の部材が耐え、粘り強い構造物であることがわかった。また、最適化された形状は、ヘキサカルバートよりは載荷荷重に耐えられていたが、接合部からの破壊が起こっており、最適化したことにより複雑な形状のため、接合部の強化など今後の課題も示すことができた。今後は、これらの課題に対して、数値計算を用いてさらなる検討を行いたいと考えている。



実験の様子 (上：ボックスカルバート，下：最適化した形状)

## 実績概要

(ホームページ掲載用)

R3 - 2

研究又は活動のテーマ	C-S-H系早強剤により初期強度を改善した LPC-FA系コンクリートの複合劣化抵抗性に関する研究
団体名	八戸工業高等専門学校
代表者	産業システム工学科 環境都市・建築デザインコース コース長 藤原 広和
<p>(目的)</p> <p>本研究の目的は、青森県の橋梁アセットマネジメントなどの社会基盤整備計画に資する高耐久コンクリートについて、その実用性を高めるための対策（初期強度の改善と自己充填性の確保）の開発と、その高度化された高耐久コンクリート（青森県の環境に適したサステナブルコンクリート）の性能を評価することである。さらに本研究は、産業副産物の有効利用や技能労働者の不足などに対する課題解決も含めて、総合的に優れた建設材料開発の取り組み方についての、良好な事例となることをも目的とするものである。</p>	
<p>(概要)</p> <p>本研究では、青森県の環境に適したサステナブルコンクリートの開発で得られた成果をもとに、より実用性を高めるための改善策を研究する。</p> <p>これまでの研究では、放射性廃棄物処分場の人工バリア材料として検討が進められている高性能材料の設計手法を参考にして、青森県をはじめとする寒冷地の橋梁などで問題となっている凍害と塩害の複合劣化に対して、きわめて抵抗性が高いサステナブルコンクリートを開発することができた。また、少子高齢化の影響による技能労働者の不足に対して、それを補う自己充填性を付与させる可能性も確かめられた。</p> <p>しかし、低熱ポルトランドセメントにフライアッシュを混合している配合であることから、初期の強度発現が遅いことが課題となった。また、実験室レベルでは自己充填性が確認できたものの、実際の施工に対してポンパビリティを確認する必要性もある。</p> <p>そこで本研究では、高性能 AE 減水剤と硬化促進剤を混合し初期材齢の強度の改善を行ない、積雪寒冷地における凍結防止剤の使用による塩害の複合劣化に着目し、凍害に対する評価として凍結融解試験、塩化物イオンの実効拡散係数を取得するための電気泳動試験などを実施する。</p>	
<p>(今年度成果)</p> <p><b>【実施概要】</b></p> <p>初年度である 2021 年度は、モルタルにより、以下の試験を実施し、結果を検討することによりコンクリート配合を決定した。</p> <ol style="list-style-type: none"><li>(1) フレッシュ性状の確認：コンクリートのスランプフロー試験方法（JIS A 1150）に準拠して、実施時間を練り上がり後から 0、30、60、90 及び 120 分後とする。</li><li>(2) 初期強度の確認：コンクリートの圧縮強度試験方法（JIS A 1108）に準拠して、水中養生で材齢を 3、7、28 及び 91 日とする。</li><li>(3) 凍結融解試験：スケーリング試験（RILEM CDF 法）←コンクリート配合により実施</li><li>(4) 電気泳動試験：電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法（案）（JSCE-G 571-2003）に準拠する。</li></ol>	

## 【試験結果および考察】

### (1) スランプフロー試験

スランプフロー試験の結果を図1に示す。LPC-SP-ACはモルタルフロー試験の時と同様に高い流動性を示していた。そのため、80×80 cmの平板内に収まらず、計測ができなかった。また、他の配合同様に練り混ぜ後から2時間後まで計測を行ったが、フロー値の減少が見られなかったため、LPC-SP-ACのみ6時間後まで計測を行った。6時間後のフロー値は多少の減少は見られたものの、依然として平板内には収まらず、計測不可という結果になった。

OPC-SPとOPC-SP-ACは、練り上がり後5分静置後はどちらも非常に高い流動性を示した。2つの配合のフロー値を比較すると、OPC-SPは練り直後のフロー値が60.9 cm、OPC-SP-ACは73.0 cmとなり12.1 cmの差があった。その後、2配合のフロー値は時間経過とともに減少していき、2時間後にはOPC-SPは52.2 cm、OPC-SP-ACは55.3 cmとなった。2時間の時間経過でのフロー値の減少はOPC-SPは8.7 cm、OPC-SP-ACは17.7 cmとなり、時間経過によるフロー値の減少はOPC-SP-ACのほうが大きいことが確認できた。これは、ACを添加しているためであると考えられる。本来、ACを添加しているOPC-SP-ACのほうがOPC-SPよりもスランプフロー値は小さくなる。しかし、OPC-SP-ACは、時間経過によるスランプフローの減少が大きかったにも関わらず、2時間経過後のスランプフロー値がOPC-SPよりも大きかった。これは、本研究で使用したPAE系高性能AE減水剤とC-S-H系硬化促進剤の相性が流動性において良好であったためであると考えられる。また、LPC-SP-ACでは、低水セメント比において相性が良好となることが確認されているため、本実験のような結果が得られたと考える。

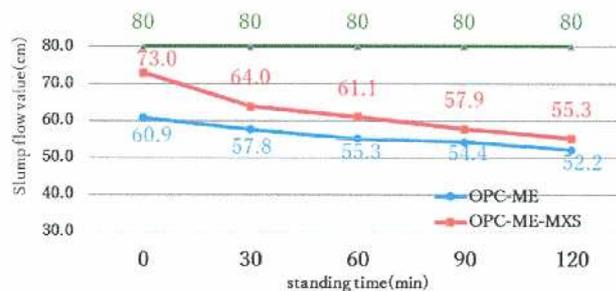


図1 スランプフロー試験結果

### (2) 圧縮強度試験

図2にW/Bが50%の時の圧縮強度を示す。材齢3日の圧縮強度は、OPC-SPが19.2N/mm<sup>2</sup>、OPC-SP-ACが24.6N/mm<sup>2</sup>、LPC-SP-ACが11.4N/mm<sup>2</sup>となり、OPC-SP-ACが3配合の中で、一番大きくなった。また、LPC-SP-ACは3配合の中では最も圧縮強度が小さく、OPC-SP-ACの半分以下の圧縮強度となった。W/Bが50%の時の材齢28日の圧縮強度は、OPC-SPが41.0N/mm<sup>2</sup>、OPC-SP-ACが56.9N/mm<sup>2</sup>、LPC-SP-ACが50.7N/mm<sup>2</sup>となり、材齢3日の強度と同様にOPC-SP-ACが最も大きな圧縮強度となった。LPC-SP-ACは、OPCの2配合と比べると、材齢7日から材齢28日の圧縮強度の増加量が大きく、材齢28日の圧縮強度はOPC-SPを上回る値となった。

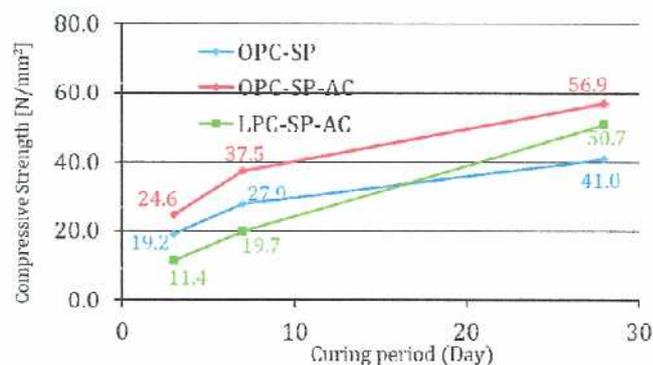


図2 圧縮強度試験結果

### (3) 電気泳動試験

本配合では、塩化物イオンの実効拡散係数がすべての配合で  $1.0 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  オーダー以下の値となった。すべての配合の塩化物イオンの実効拡散係数が非常に小さな値を得ることができたのは W/B が 30% と非常に低くなっているため、空隙が少なくなり緻密なモルタルになったためであると考えられる。また、流動性が非常に優れており、充填性が高いことも、緻密なモルタルになった要因の一つであると考えられる。

OPC-SP-AC は OPC-SP よりも塩化物イオンの実効拡散係数が小さな値となり、LPC-SP-AC はさらに小さい値となった。LPC-SP-AC は、平均値が  $1.0 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$  オーダーとなった。また、OPC-SP-AC の中にも  $1.0 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$  オーダーとなるものがあった。OPC-SP-AC の平均値は、OPC-SP の平均値の半分以下の値となった。OPC-SP-AC が OPC-SP よりも小さな値を得ることができたのは AC に含まれる C-S-H ナノ粒子の種結晶によるものであると考えられる。このことから、AC の添加は、物質移動抵抗性を高めるのに効果的であると考えられる。本配合は 28 日材齢のものでも極めて高い物質移動抵抗性を有し、AC が物質移動抵抗性に与える影響はこれまでの想定以上に大きいことが分かった。

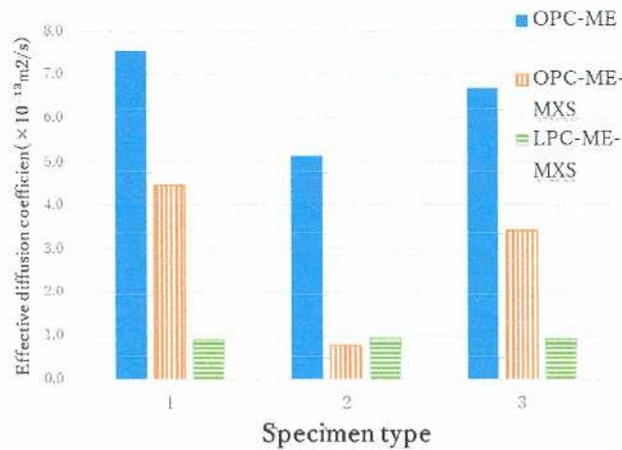


図3 電気泳動試験結果

### (4) コンクリート配合の決定

以上の結果をもとに配合検討を行い、表1の配合を設定した。また、本配合による凍結融解試験の予察実験の結果を図4に示す。これらの結果については、圧縮強度試験などの他の実施予定の試験結果を得たのちに考察するものとする。

表1 コンクリート配合

種類	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							
	W	C	FA	LS	S	G	SP	AC
OPC-SP-AC	120	325	139	186	918	751	9.7	9.7
OPC-SP	129	325	139	186	918	751	9.7	—
LPC-SP-AC	120	325	139	186	920	753	9.8	9.8
LPC-SP	130	325	139	186	920	753	9.8	—

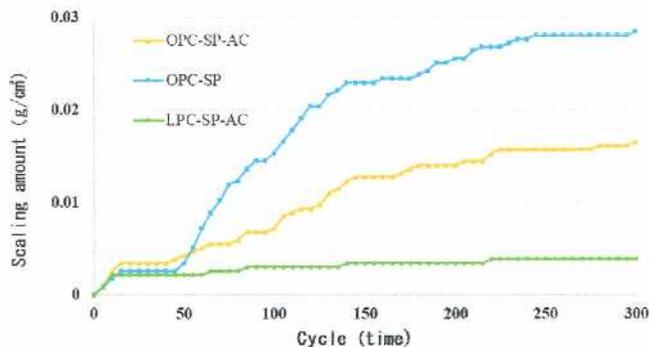


図4 凍結融解試験結果

研究又は活動のテーマ	ローコスト GNSS 受信機と UAV を活用した調査手法の提案
団体名	八戸工業高等専門学校
代表者	環境都市・建築デザインコース コース長 藤原 広和

(目的)

建設業界では生産性の向上を図ることが喫緊の課題となっている。これに向けて、新技術を積極的に活用する取り組みが推進されている。実際に、UAV を活用した調査手法は低コストで効率的な調査を可能とし、多くの建設現場で利用が進められている。新技術の普及に向けて、技術の標準化を図るとともにその技術の精通した技術者の育成が重要である。

本研究は、小型 GNSS モジュールを UAV に実装し、GNSS-UAV 観測システムを構築する。そして、本システムの観測精度を評価し、適正な運用方法を検討することを目的とする。

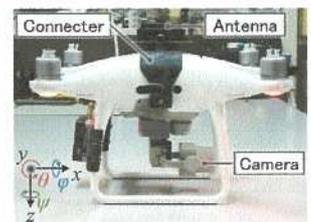
(概要)

(1) GNSS-UAV 観測システムの構築

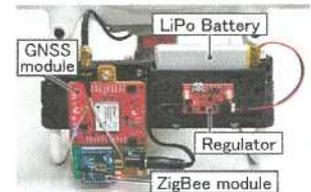
アンテナと GNSS 受信機、通信機器などを UAV に取り付けるコネクタを 3D プリンタで作製した。観測方式は、RTK (Real Time Kinematic) と PPK (Post-Processing Kinematic) の 2 つの方式を検討した。観測用モジュールを実装した UAV を図 1 に示す。そして、予備観測を繰り返し行い、UAV による移動観測に適した観測パラメーターに調整した。また、GNSS 測位座標値と UAV 空撮画像から座標値付き空撮画像を生成するプログラムを作成した (図 2)。これにより、UAV 空撮画像のメタデータから撮影時刻・機体姿勢を読み込み、自動でカメラ座標値を算定することが可能である。本システムは、同機能を有する市販のシステム (Phantom4 RTK) と比較して、約 1/3 の調達コストで同観測システムを実現できる。

(2) GNSS-UAV 観測システムの精度評価

本システムを用いて、PPK 座標値付き空撮画像を適用した結果 (+PPK) と従来の SfM 写真測量の結果 (SfM) を比較した。また、適用する標定点の数 (GCP) を変化させ、平面誤差  $e_{xy}$  と高さ誤差  $e_z$  の RMSE を整理した (図 3)。SfM は GCP2 と GCP0 で計算不可となった。一方、+PPK では問題なく結果が得られたが、GCP0 で誤差が増大した。結果として、+PPK と SfM の精度に大きな差は確認されず、標定点を削減すると誤差が増大する結果が確認された。座標値付き空撮画像を適用した場合も、要求精度に応じて適切に標定点を配置することが重要であることが示唆された。



(a) アンテナ装着



(b) モジュール装着

図 1 UAV への実装



図 2 座標値付き画像生成プログラムフロー

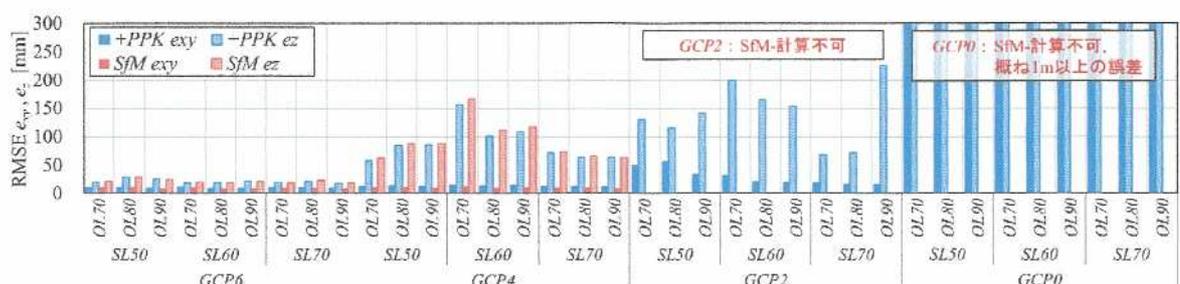


図 3 PPK 座標値付き空撮画像導入による平面誤差と高さ誤差の変化

研究又は活動のテーマ	盛土構造物の材料特性評価に関わる研究
団体名	弘前大学 農学生命科学部
代表者	森 洋
<p>(目的)</p> <p>本研究の目的は多種多様な盛土構造物の地盤材料特性を把握するため、まずは青森県内で 2018 年度から 2024 年度までに約 300 箇所以上のため池堤体盛土構造物を対象とした詳細な調査（標準貫入試験や三軸圧縮試験等）を実施する計画としている詳細調査結果と、青森県内で 2016 年度から 2017 年度にかけて既に実施しているため池堤体 1,300 箇所での簡易な現場調査結果（スウェーデン式サウンディング【SWS】試験）と比較・分析するものである。</p> <p>これらの研究成果は、当県の河川堤防や道路盛土、宅地造成盛土、地すべり地等の安定性評価に寄与することが可能で、青森県の社会基盤施設整備事業を推進していくと伴に、他県でも実施されている詳細調査手法等の効率化を図るものである。</p>	
<p>(概要)</p> <p>今年度は 2020 年度までに実施した詳細調査結果（約 230 箇所）を整理し、ため池堤体を代表とした盛土構造物の材料特性や安定性評価を実施した。</p> <p>築造年代の約 6 割が江戸時代以前であった堤体盛土の N 値（63.5kg の錘を 75cm の高さから自由落下させて、貫入用サンプラーを土中に 30cm 貫入させるのに要する打撃回数）の約 6 割が 4 以下の小さい値であり、基礎地盤の N 値の約 6 割も同様に 10 以下の比較的小さい値であった。また、堤体盛土の約 3 割以上が不均質での 2 層以上の盛土構成を示しており、堤高が 4m 以上の場合でその割合が高くなっていく傾向にあった。これは、締固め技術等が未発達であった江戸時代以前の築造が多いためため池堤体の特徴であり、盛土の強度を含めた材料品質の管理不足が見受けられた。</p> <p>簡易調査の SWS で得られる <math>N_{sw}</math>（1m 当たりの半回転数）/<math>W_{sw}</math>（作用荷重）と詳細調査の標準貫入試験で得られる N 値との関係性を、<math>\sigma_v'</math>（有効上載荷重）を用いた関係式で示すことが可能であった。また、詳細調査の三軸圧縮試験から得られる地盤材料強度（<math>\phi</math>：内部摩擦角、<math>c</math>：粘着力）を N 値と <math>\sigma_v'</math>を用いた関係式で示すことも可能であったことから、簡易調査の SWS から詳細調査結果で得られる地盤材料強度の推定を可能にした。このことから、短時間で低費用に実施することが出来る SWS 試験による簡易調査から、時間と高額な費用を要する詳細調査結果から得られる地盤材料強度を得ることが出来ることを示した。</p> <p>常時と地震時（<math>kh</math>【水平震度】=0.15）での簡易調査と詳細調査より求めた地盤材料強度を用いた安全率を比較した結果、全体的には詳細調査結果の方が安全率を大きく示す傾向にあった。ただし、円弧すべり面形状による違いがあり、4 種類の想定すべり面形状（A：表層すべり、B：盛土内すべり、C：基礎すべり、D：基盤着底すべり）で比較すると、B と D による安全率の差異は小さいが、A と C による安全率の差異は大きくなった。また、4 種類のすべり面形状割合から、例えば、簡易調査で A を示した場合、詳細調査で A を示す場合は一つも見受けられなかったり、簡易調査で B を示した場合、詳細調査で B 以外の C による場合も多く見受けられるなど、地盤材料強度に基づくすべり面形状の違いにも大きく安全率が依存していることが伺えた。</p> <p>2021 年度の調査データ約 110 箇所を、本研究の最終年度である 2022 年度に入手する予定であるため、来年度はより精度の高い成果を取りまとめる予定である。</p>	