

青森県の橋梁長寿命化への取組

長谷川 明^{*1}・阿波 稔^{*2}・上原子 晶久^{*3}・佐々木 正昭^{*4}

本報では、青森県の橋梁アセットマネジメントの取り組みについて概観する。そして、橋梁の建設や構造物調査に関わる青森県内企業の技術者と大学の研究者、さらに構造物管理者が調査研究成果を共有するとともに、青森県内の橋梁長寿命化を目的として組織された「青い森の橋ネットワーク（青森橋ネット）」の設立と活動について紹介する。また、青森県における橋梁の調査研究例として、著しい鋼材腐食が生じたPC橋（新赤石大橋）と凍害環境において80年間供用されたRC橋（法量橋）について報告する。

キーワード：橋梁長寿命化、橋梁アセットマネジメントシステム、産官学連携

1. はじめに

インフラの老朽化対策は、関連する悲惨な事故の発生もあって、いまや多くの市民の関心となっている。青森県での橋梁の老朽化対策への取組は、2003年の若手職員の提案から始まり、橋梁長寿命化対策を含めた橋梁アセットマネジメントシステムの構築・運用は、全国的に見ても早い開始となっている。現在、このシステムは青森県内の市町村にも同様な手法が展開され、青森県が指導的立場で、市町村が管理する橋梁についても、助言・指導を行っている。

青森県が抱える橋梁は、積雪寒冷地としての厳しい気象条件に置かれること、冬期交通確保のための凍結防止剤散布を受ける社会的条件を有すること、また約750kmの長い海岸線を有する地形のため日本海沿岸など飛来塩分への対応が求められるなど、厳しい地域特有の環境に置かれている。このため、大都市圏における大交通量を支える橋梁の維持管理とは異なったシステムや技術も展開されていかなければならない。

青森県の橋梁アセットマネジメントでは、点検業務を担う設計調査業を中心とする技術者、その後の補修業務を担当する建設業を中心とする技術者が重要な役割を担ってい

る。これら地域の技術者とともに、行政機関、教育研究機関が連携を取って、地域の課題に答える橋梁保守技術を構築すべきことは、この仕事に携わる多くの研究者・技術者にとって自明であったといえる。

2010年、青森県から旧萬世橋（1995年架設、2010年撤去）について調査研究のためのフィールド提供の申し出を受け、県内の産官学連携による萬世橋調査委員会を立ち上げた。調査研究活動を希望する機関によって、静的および動的載荷試験、劣化調査、衝撃弾性波法利用による診断技術開発、補修材料の効果検証などの活動が行われ、広く公開・報告した。

2012年、上記萬世橋調査委員会活動を終了するにあたって、地域の橋梁の長寿命化に関する調査研究を引き続き行い地域技術者の技術向上に役立てるため、併せて生み出される成果の公表や市民への情報提供を展開するために、青い森の橋ネットワーク（以下、青森橋ネット）が設立された。初年度となった昨年度も青森県から2橋のフィールド提供を受け、地域企業をはじめ、多くの機関によって、調査研究活動や公開実験が行われ、高い成果を上げることができたと考えている。

本文は、青森県が推進する橋梁アセットマネジメントの取組の概要、青い森の橋ネットワークの設立と活動、青森



^{*1} Akira HASEGAWA

八戸工業大学大学院
工学研究科 教授



^{*2} Minoru ABA

八戸工業大学大学院
工学研究科 教授



^{*3} Akihisa KAMIHARAKO

弘前大学大学院
理工学研究科 准教授



^{*4} Masaaki SASAKI

青森県 県土整備部道路課
橋梁・アセット推進グループ マネージャー

県における橋梁の調査研究例として、著しい鋼材腐食が生じた PC 橋（新赤石大橋）と凍害環境において 80 年間供用された RC 橋（法量橋）について報告する。

2. 青森県の橋梁アセットマネジメントの概要

2.1 システム構築および長寿命化計画策定の経緯

青森県では、高度経済成長期に建設された橋梁が老朽化により大量更新時代を迎えるのに備えて、2003 年度から橋梁アセットマネジメントの取組をスタートさせた。2004～2005 年度で独自の BMS（ブリッジマネジメントシステム：IT システム）を開発するなど「橋梁アセットマネジメントシステム」を構築するとともに、橋長 15 m 以上の橋梁の定期点検を完了し、最初の橋梁長寿命化計画である 5 箇年のアクションプラン（平成 18 年度～22 年度）を 2006 年度に策定し、予防保全型の橋梁の維持管理の運用を開始した。

その後、2008 年度に、橋長 15 m 未満の橋梁も取り込んだ 10 箇年の橋梁長寿命化修繕計画（平成 20～29 年度）を策定し、昨年度、2 巡目の定期点検や最初の 5 年間の集中投資の実績を踏まえてこの計画の見直しを行い、新たな橋梁長寿命化修繕計画（平成 24～33 年度）とした。現在は、この計画に基づいて橋梁長寿命化のための補修工事を実施しているところであり、アセットマネジメントの本格的な運用から 8 年目に突入している。

2.2 青森県橋梁アセットマネジメントシステムの特徴

IT システムである BMS、マニュアル、人材育成を三つの柱として橋梁アセットマネジメントを運用している点が本県のアセットマネジメントの大きな特徴である。また、

橋梁維持工事の包括発注、さらには県内市町村のほとんどが県と同じシステムを用いて橋梁長寿命化に取り組んでいる点も特徴の一つである。

2.2.1 独自の BMS 開発

青森県では、橋梁アセットマネジメントシステムを構築するため 2003 年度にプロポーザルを行って受託者を決定し、2004～2005 年度の 2 年間でシステム構築を行ったが、その大きな柱は、県独自の BMS 開発であった。開発に際して、健全度評価システムや劣化予測システムについては BMS で先行するアメリカの長所を取り入れ、LCC 算定システムや予算シミュレーションについては日本の現状に即した独自のシステムを採用した。

以下では、本県の BMS の特徴的な点として、定期点検、劣化予測、LCC 算定について説明する（図 - 1）。

(1) 定期点検

定期点検では、国交省定期点検要領（案）に準拠した要素分割に、本県ではさらに、劣化の激しい端支点部を 1 要素として追加設定し、健全度評価を行うシステムとした。健全度は、アセットマネジメントのすべてのプロセスに共通する指標として、5 段階の数値（5：潜伏期、4：進展期、3：加速期前期、2：加速期後期、1：劣化期）としている。さらに、この共通定義をベースに、部材種類ごと、劣化機構ごとに 35 種類の評価基準を設定している。

また、本県の BMS では、「点検支援システム」により、点検結果を現場で直接タブレット PC に入力し、現場作業終了後に自動的に点検結果を出力するなど、PC 整理や点検調査の作成などの事後作業を不要とし、点検作業の省力化とコスト削減を図っている（図 - 2）。

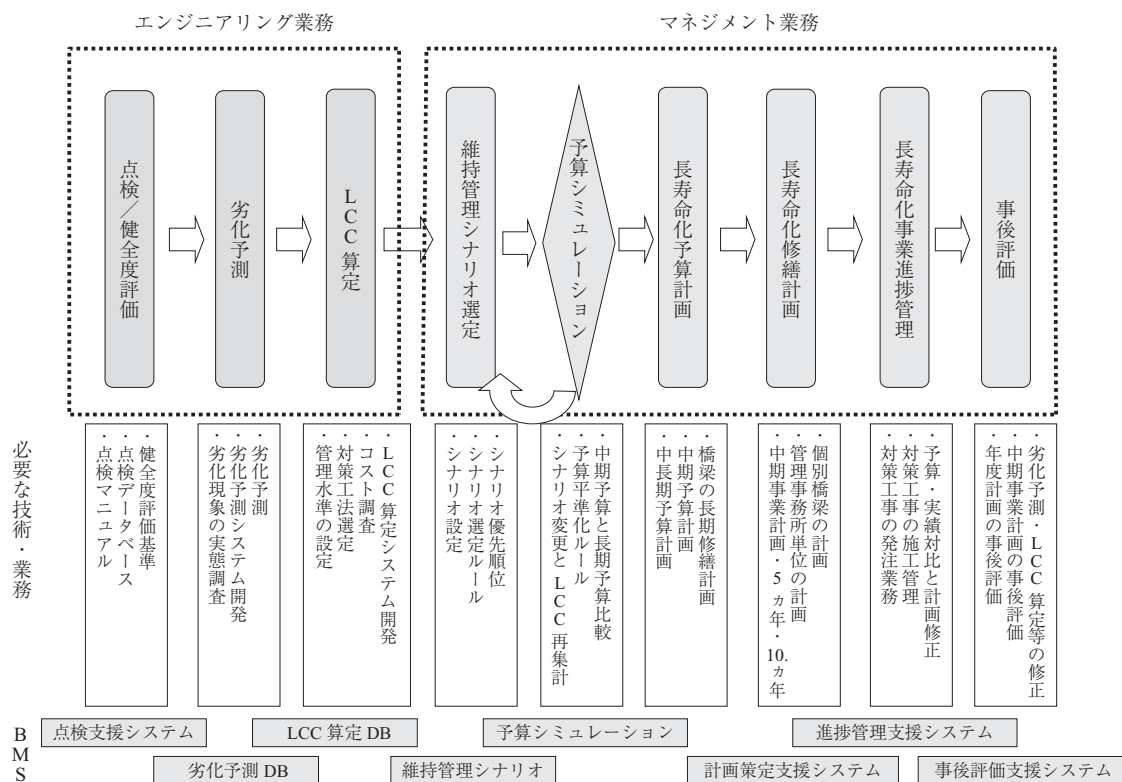


図 - 1 BMS を用いた維持管理フロー 1)

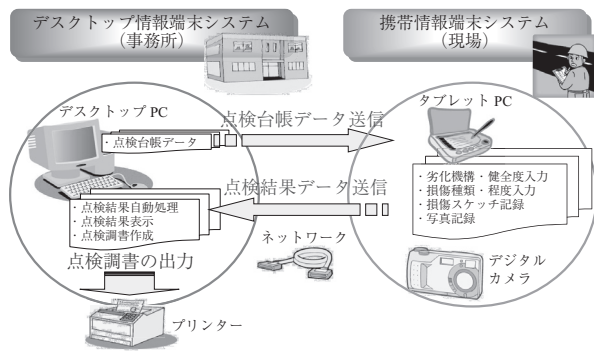


図 - 2 点検支援システム

(2) 劣化予測

劣化予測については、部材や劣化機構ごとに、過去の事例、文献、エキスパートの知見をもとに劣化予測モデル式を設定した。環境条件によって複数の劣化速度式を準備するなどにより、トータルで1288個の式を設定し、きめ細かく予測するシステムとした。また、劣化予測モデル式が実際の定期点検の結果と一致するよう自動的修正機能を付与し、劣化予測の精度の向上を図っている。

(3) LCC 算定

青森県のBMSでは、さまざまな維持管理の水準に応じた対策工法、対策コスト、回復健全度などの情報を整備しているため、個別橋梁において、予防対策型、早期対策型、事後対策型など、それぞれの対策シナリオに応じたLCCが容易に算定できる状況にある。このため、橋梁群としてのマクロなLCCの縮減や予算のシミュレーション・平準化等に対して大きな効力を発揮している。

2.2.2 マニュアルの作成

アセットマネジメントシステムの運用にあたって必要となる基本的な事項については、各種マニュアル（点検編、維持管理・対策編、データベース更新編、点検ハンドブック等）を作成し、これに基づき実施することにより担当者によるばらつきを防ぎ一定の水準を確保できるようにした。

2.2.3 人材育成

橋梁アセットマネジメントを着実に運用していくためには、定期点検から補修工事の実施に至る多くのプロセスにおいて、発注者側と受注者側双方の技術力を向上させることが必要と考えられることから、青森県では橋梁に関する人材育成に積極的に取り組んできた。

発注者の現場担当職員を対象として、年2回の担当者会議および年1回の日常管理講習会に加えて、年4回の橋梁研修（定期点検、橋梁設計、橋梁補修設計、橋梁補修施工管理）を2006年度から継続的に開催しているが、橋梁研修には、県職員のほか市町村職員も参加できるスタイルとしている。また、定期点検を受託するコンサルタントの技術者や橋梁補修工事を担当する建設会社の職員を主な対象として、「橋梁定期点検研修」や「橋梁補修技術研修」を開催するなど、受注者の人材育成にも取り組んでいる。

2.2.4 橋梁維持工事の包括発注

青森県では、橋梁の効果的な維持管理の手法のひとつと

して橋梁維持工事の包括発注を行っている。これは、出先機関の管内ごとに、①日常点検、②清掃、③維持工事、④緊急措置、⑤小規模工事、⑥追跡調査（ASR等）を一括して、プロポーザルにより特定された建設会社1社に発注するというもので、1工事あたり4千万円～5千万円程度の金額での単年度契約で実施している。この橋梁維持工事の包括発注は、プロポーザルにより技術力の高い建設会社を選定することができるうえ、年間を通じて緊急措置、清掃、維持工事に機動力が発揮できるとともにきめ細やかな対応が可能となるなど、橋梁の効率的な維持管理に寄与している。

2.2.5 県内市町村の取り組み

青森県では、県内市町村のほとんどが県と同じアセットマネジメントシステムを使用して橋梁の定期点検を行い、橋梁長寿命化修繕計画を策定している。県では、市町村の橋梁長寿命化修繕計画の策定に際し、学識経験者への意見聴取に便宜を図ったり、技術力向上のための人材育成の研修を開催するなどにより市町村への支援を行っている。

2.3 今後の運用方針

青森県の橋梁アセットマネジメントは、信頼性の高いシステムの構築、初期の5年間での集中投資、継続的な人材育成などによりやっと軌道に乗ってきたように思われるが、5年や10年程度の実施では維持管理コストの削減効果が小さく、効果が大きくなるのは数十年先であることは、LCCの試算からも明らかである。このため、県では今後も末永く橋梁アセットマネジメントの取組を継続することとしている。なお、取組を継続するうえでの今後の運用方針は以下のとおりである。

(1) PDCA サイクルの堅持

青森県の橋梁アセットマネジメントシステムは、PDCAサイクルにより構成されている。具体的には、P：長寿命化計画策定、D：長寿命化修繕計画に基づく補修工事の実施、C：定期点検実施、年次レポートによる実績評価、A：定期点検結果を踏まえた劣化予測の自動修正というPDCAサイクルである。アセットマネジメントの取組継続にあたっては、基本となるこのPDCAサイクルを着実に実施する。

(2) 人材育成の継続

橋梁の維持管理には、機動力が求められる場合が多いため、地域の果たす役割は大きく地元技術者の技術力向上はアセットマネジメントの運用上大変重要な課題である。県がこれまで行ってきた人材育成の研修は、日常管理や定期点検、補修設計や工事などアセットマネジメントのほとんどのプロセスにおいて、発注者および受注者双方の技術力の向上に寄与するものであり、今後も継続して人材育成に積極的に取り組んでいく。

(3) 地域特性の研究成果の反映

昨年、青森県で発足した橋梁の長寿命化のための調査研究を行う産官学の協働の組織「青い森の橋ネットワーク」では、橋梁の長寿命化に直ちに役立つ調査・実験や将来に実用化が期待できそうなユニークな調査・実験などを数多く行っている。県は、これまで更新のため撤去される橋梁

をフィールド提供などの支援を行ってきたが、今後も産官学の協働によるこの取組に積極的に参加し、アセットマネジメントに運用可能な研究成果については積極的に反映させていきたいと考えている。

3. 青い森の橋ネットワークの設立と活動

3.1 青い森の橋ネットワークの設立

青い森の橋ネットワーク（通称：青森橋ネット、代表：長谷川 明）は、青森県内の橋梁長寿命化について関心をもつ学識経験者ならびに技術者が、橋梁に関わる知識を深め、地域としての個性・特色および地域のニーズを踏まえた調査研究による技術の創出、橋に関する学術的知見の提供、技術の普及・継承と人材育成を通じて、良質な橋梁インフラの維持を目的として平成24年5月に組織された。青森橋ネットは、地域の教育研究機関（八戸工大、弘前大学、八戸高専）と民間企業（建設会社、建設コンサルタント、材料・生コンメーカーなど、約50社）が活動の中心となり、行政機関（青森県、青森県建設技術センター、国土交通省東北地方整備局青森河川国道事務所）もアドバイザーとして参画している（図-3）。

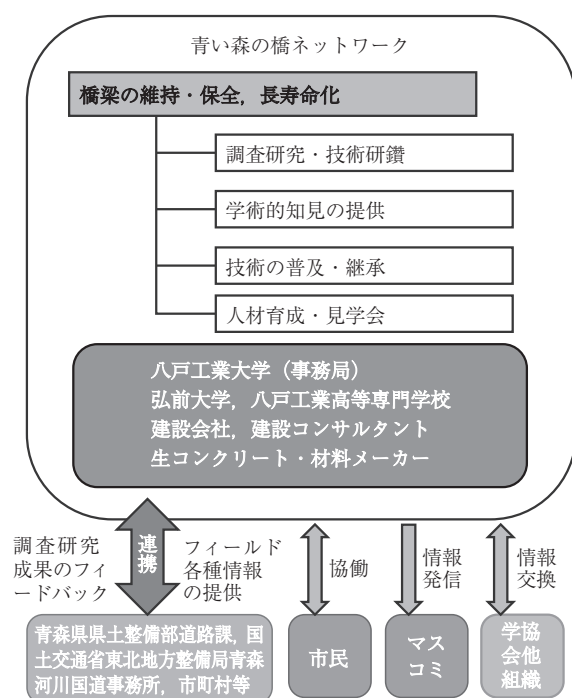


図-3 青い森の橋ネットワークの概要

3.2 青い森の橋ネットワークの活動

(1) 老朽化した橋梁の詳細調査とデータベース

青森県では、年間5橋程度の橋梁が新たに架替えとなっている。それらの橋梁は、当該地域において長年の環境作用を受けており、貴重な情報が蓄積されている。さらに、老朽化した橋梁の詳細調査は、目視評価では得られないより詳細な環境作用による損傷状態を把握することが可能となる。そこで、青森橋ネットでは、積雪寒冷地域において更新される橋梁を対象に標準的な詳細調査項目（下記①

～⑥）を検討・実施し、データの蓄積・公表を進めている。なお、これらの調査には多くの地域技術者がそれぞれの得意分野を活かし積極的に参加しているのも特徴である。

- ① 衝撃弾性波試験、橋梁の振動計測
- ② 3D スキャナによる橋梁の形状計測
- ③ トラックによる静的載荷試験
- ④ コンクリートコアによる試験・分析
（圧縮強度、ヤング係数、超音波伝播速度、中性化深さ、塩化物イオン濃度分布、配合分析）
- ⑤ 鉄筋の腐食診断（自然電位、分極抵抗、はつり試験による腐食量の測定）
- ⑥ RC・PC 撤去桁の耐荷性能試験（荷重－変位曲線、破壊性状）

今後、これらの調査結果やより細分化された環境情報、補修材料の評価結果などをデータベース化し、既設構造物の維持管理へフィードバックしていく所存である。

(2) 地域技術者の継続教育と市民への情報提供

青森橋ネットは、凍害や塩害によって老朽化した橋梁からRC・PC 桁を切り出し、大学に搬入して曲げ載荷試験を実施している（平成25年2月、4月、10月）。これら撤去桁の載荷試験は、地域の橋梁技術者や行政機関、マスコミの参加のもと行っている（図-4）。そして、近接目視による実際の損傷程度と曲げ耐荷力を確認するとともに、老朽化した撤去桁の破壊性状を観察した。また、上述の(1)で実施した老朽化した橋梁の詳細調査結果をもとに定期的に講習会を開催している（図-5）。このような青森橋ネットの取組は、橋梁の目視点検における質の向上を含めた地域技術者の継続教育として位置付けることができる。さらに、公開実験や講習会はマスコミへの情報発信の機会としても活用しており、市民への情報提供の場ともなっている。



図-4 RC 撤去桁の載荷試験（公開実験）

4. 青森県における橋梁の調査研究例の紹介

4.1 新赤石大橋

新赤石大橋（表-1）は著しい塩害による劣化が原因となり、2008年当時架替えのため上部工が撤去予定であっ



図 - 5 青森橋ネットの講習会

表 - 1 新赤石大橋の諸元

橋 名	新赤石大橋（しんあかいしおおし）
上部工形式	ポストテンション単純 PC T 桁橋
路線名	国道 101 号線
位 置	青森県西津軽郡鰺ヶ沢町
橋 長	163.0 m
支間長	31.84 m × 5 径間
幅 員	11.1 m
竣工年月	1976（昭和 51）年 1 月

た。当時の損傷図を図 - 6 に示す。架替えの機会を利用してポストテンション PC 上部工に対して以下の調査研究を行った。

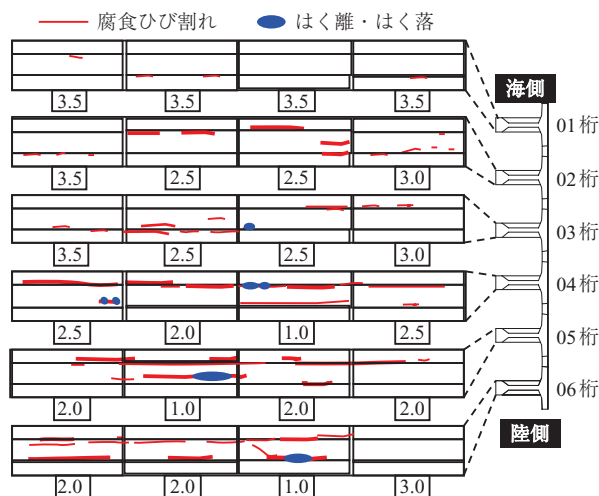


図 - 6 対象構造物・第 2 径間の損傷図（四角内は健全度）

- ① ダンプトラックによる載荷試験と外ケーブルの除去による上部工の構造性能評価²⁾
- ② 内部鋼材の腐食性状調査³⁾
- ③ 有限要素解析による上部工の残存性能評価⁴⁾

それら 3 つのうち、①と②の検討は、供用中の性能を確認するために実施した検討である。一方で、劣化した構造物においては、終局時の力学性能を把握することも維持管理において重要であると思われる。しかしながら、現地の載荷試験では載荷装置や費用などの制約により、上部工

全体における終局時の力学性能を調べることは困難であると考えられる。そこで、③の非線形 3 次元有限要素解析により、対象構造物について終局時までの性能評価を行うことにした。本解析では、大規模構造物を対象にするため、以下のような仮定で有限要素解析を行った。

- i) 鋼材腐食は PC 鋼材のみを考慮するものとする。PC 鋼材については、シースに内蔵されている個々の鋼材をモデル化するのではなく、集合断面としてモデル化する。
- ii) PC 鋼材とコンクリートとの付着は注入グラウトとシースを考慮しない。
- iii) 解析モデルにおける腐食 PC 鋼材のモデル化は、PC 鋼材の平均質量減少率に基づいて断面積の減少と機械的性質の低下の双方を低減させる。
- iv) 上部工におけるすべての鉄筋は、埋め込み鉄筋要素として離散配置する。
- v) プレストレスについては、質量減少率が 25 % 以下の場合には質量減少率に比例してプレストレスが減少するものとする。

とくに、仮定 iii) において PC 鋼材の劣化の影響を二重に考慮した理由は、解析結果が安全側に誘導されるように配慮したことによる。関連して、腐食後鋼材の機械的性質は、文献²⁾の結果に基づいてモデル化している。以上のような仮定に基づいて図 - 7 のように有限要素モデルを作製して解析を行った。解析は、図 - 7 の矢印に示したように 4 点載荷（橋面上は線載荷）で変位制御を行った。

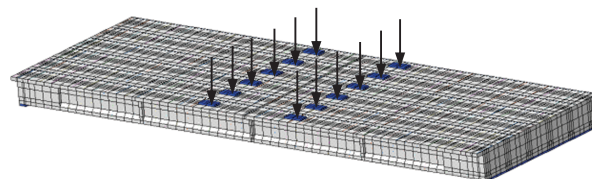


図 - 7 有限要素モデル

図 - 8 に解析結果を示す。この図に示したように、劣化時には PC 鋼材の破断にて終局となり、終局耐力は健全時よりも 24 % 低下することが示された。PC 鋼材の破断は、断面欠損が大きい部分で発生し、しかも破壊モー

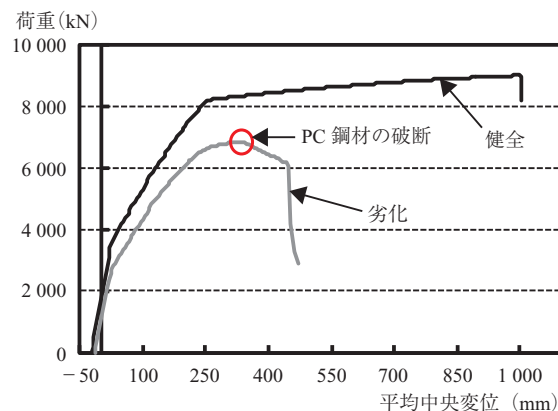


図 - 8 解析結果

ドが変化することにより変形性能が大きく低下することが示唆される。表 - 2 に設計時における終局荷重と解析で得られた終局荷重との比較を示す。この結果より、健全時には設計値と解析値との比が 1.54 となっているのに対して、劣化時には、解析値と設計値との比が 1.28 と低下している。この比を設計時に対する現有性能の余裕度とみなせば、余裕度が 1.0 以下になると、設計時の性能を満たさなくなる可能性がある。本解析の範囲では、劣化時においても余裕度が 1.0 以下となっていない。しかしながら、供用中の安全を確保するためには、余裕度が 1.0 以下となる前に補修・補強や更新の判断を速やかに実施することが必要である。したがって、鋼材の腐食劣化が顕在化した構造物では、健全度と耐力比との関係や表 - 2 のような設計に対する現状性能の余裕度などを統合して効率的な維持管理を実施することが望ましいと思われる。

表 - 2 設計時における終局荷重と本解析で得られた終局荷重との比較

解析 ケース	死荷重を含んだ		解析値 / 設計値
	解析値	設計値	
健全	12 863	8352	1.54
劣化	10 701		1.28

4.2 法 量 橋

法量橋は、青森県十和田市に位置する 2 径間連続 RCT 桁（2 連）であり、1932 年より供用されている。同橋は凍結融解作用によりコンクリートに著しい劣化を生じており、新橋への架替え工事が進められている。2012 年末に同橋より撤去桁を切り出し、2013 年 2 月に曲げ載荷試験（図 - 9）を実施した。

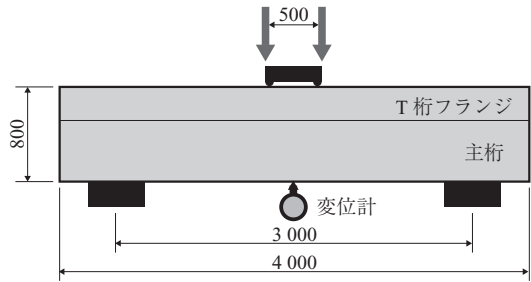


図 - 9 撤去桁の曲げ載荷試験（単位：mm）

その荷重 - 変位曲線を図 - 10 に示す。いずれの試験体も 1 300 kN 程度で降伏に至っている。また、主鉄筋の重ね継手部のすべりが曲げひび割れの起点となることが認められた。これは、使用されている鉄筋が丸鋼であることや凍害によりコンクリートの付着強度が低下した⁵⁾ ことなどに起因するものと考えられる。

建設当時の設計指針類よりコンクリートの圧縮強度を 24 N/mm² と仮定した。コンクリートコアによる調査時の圧縮強度は約 16 N/mm² であることから、経年劣化により圧縮強度は 2/3 程度に低下したものと推定される。しかし、実験に用いられた部位（撤去桁）は、劣化によるコンクリ

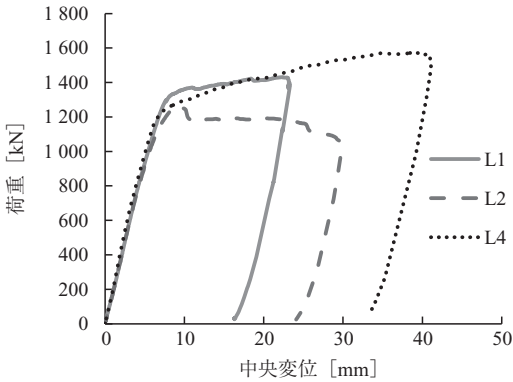


図 - 10 荷重 - 変位曲線

ートの強度低下は大きいものの部材断面形状が比較的維持されていたことや主鉄筋の腐食が軽微であったことから、降伏荷重の低下は小さいものと想定される。

以上のことより、厳しい凍害環境にある RC 部材の安全性を保持するためには、① 部材断面形状の維持、② 鉄筋の定着確保、③ 鉄筋腐食の抑制がきわめて重要な要因となることを改めて確認した。

5. おわりに

青森橋ネットの活動は、はじまったばかりである。抱えるテーマが長寿命化であるように、本活動も持続的に地域の課題・ニーズを踏まえた成果を生み出されるよう努力していきたい。また、現在、青森県内の市町村においても橋梁長寿命化修繕計画の策定・運用が段階的に開始されている。小中規模の市町村においては、適切な技術力を有するインハウスエンジニアが不足しており、財政的にも十分とはいえない現状にある。そのなかで、橋梁アセットマネジメントを推進するためには、産官学の連携をさらにきめ細かくネットワーク化することが必要と考えられ、そのための仕組みづくりも急務となっている。

最後に本青森橋ネットの活動に対し、ご理解・ご協力いただいている青森県、青森県建設技術センターおよび国土交通省青森河川国道事務所のアドバイザー各位並びに関係者に感謝します。

参 考 文 献

1) 青森県県土整備部道路課：青森県長寿命化修繕計画 10 箇年計画，2012.5
2) 鈴木基行ほか：著しい塩害を受けた PC 橋の静的載荷試験，土木学会論文集 E，Vol.66，No.3，pp.231-244，2010
3) 岩城一郎ほか：著しい塩害を受けた道路橋 PC 桁内部のコンクリートおよび鋼材の物性評価，土木学会論文集 E，Vol.66，No.4，pp.413-432，2010
4) 上原子晶久ほか：著しい塩害を受けて劣化した道路橋 PC 上部工の鋼材腐食を考慮した構造解析，土木学会論文集 E2，Vol.67，No.3，pp.333-350，2011
5) 渡邊浩平ほか：凍結融解を受けた鉄筋コンクリートの付着強度特性，土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集，V-191，2012

【2013 年 8 月 30 日受付】