

報 告 Report

橋梁メンテナンス研修設備と体制構築

原稿受付 2021 年 8 月 2 日

ものづくり大学紀要 第 11 号 (2021) 61~67

大垣賀津雄^{*1}, 澤本武博^{*1}, 荒巻卓見¹, PHAM NGOC VINH¹, 渡邊達也^{*2}^{*1} ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科^{*2} ものづくり大学 大学院ものづくり学研究科 学生

キーワード：橋梁，メンテナンス，非破壊検査，補修・補強，研修設備

1. はじめに

日本には現在、約 72 万の道路橋（橋長 2m 以上）があり、埼玉県では約 19,000 橋が供用されている。これらの多くは 1940 年代～1970 年代に建設され、特に高度経済成長期（1955～1973）の 20 年間にその約 4 割が集中的に建設されている。これらの橋梁の多くは、建設後 50 年以上経過しており、老朽化が大きな問題となっている。このことから、埼玉県では橋梁長寿命化修繕計画を策定している。また、国交省（大宮国道事務所）主導の下に埼玉県道路メンテナンス会議が設立され、埼玉県内の道路施設を効率的に管理する取り組みが行われている。しかしながら、県内において橋を点検、診断できる技術者が少ないこと、また、効率よく精度高い点検技術の開発が必要であることなどが叫ばれている。

以上を背景として、2018 年に埼玉橋梁メンテナンス研究会（代表 埼玉大学 睦好宏史名誉教授）が設立された。メンバーの構成は、図 1 に示す通り、埼玉大学、ものづくり大学（2019 年度より参画）、国交省大宮国道事務所（オブザーバー）、埼玉県、さいたま市、埼玉県建設コンサルタント技術研修協会、本部は埼玉大学研究機構レジリエント社会研究センターに設置されている¹⁾。本研究会の目的は、埼玉県内の基幹インフラ施設である道路橋の維持管理、補修・補強に関する情報を広く収集するとともに、その維持管理施策や技術に対して検討・研究を行うことにより、県内橋梁の維持管理の効率化に貢献していくことである。

一方、ものづくり大学では開学 20 周年を迎え、卒業生や社会人の再教育ならびに地域社会への貢献のため、上述の研究会と連携した形で、橋梁メンテナンスに関する研修設備を整備して、社会人教育体制の構築を図ってきている。本文は 2021 年 6 月に実施した研修会の内容を中心に報告するものである。

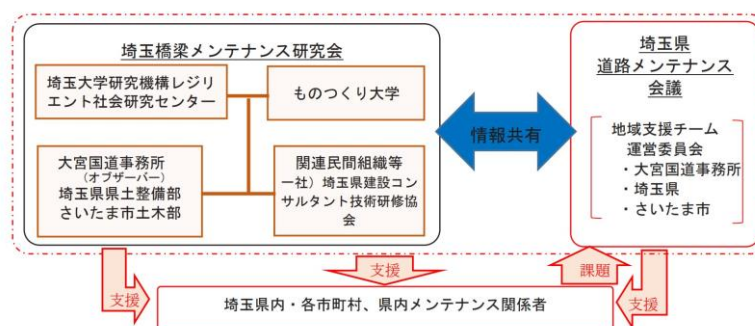


図 1 埼玉橋梁メンテナンス研究会組織

2. 研修設備

ものづくり大学は、国や産業界からの大きな期待を受けて、2001年、21世紀の幕開けとともに開学した。ものづくりの指導ができる企業出身の教員や非常勤講師による理論と実技を融合した革新的なカリキュラムを行っている。社会で即戦力となる真の実力を身につけることができる工科系大学である。

ものづくり大学では、2019年度に埼玉橋梁メンテナンス研究会に参画したこと契機として、橋梁の維持管理を行う市町村職員やコンサルタントの若手職員向けに、各種研修設備とその体制を整えてきている。その概要は、非破壊検査の実演習、実橋劣化部分の展示、床版や桁の補強実験、社会人向け各種研修等である。これらの概要を以下に述べる。

2.1 非破壊検査の実演習

構造物の点検などで適用される非破壊検査について、ものづくり大学では実習授業で行っており、図2に示す通り、コンクリートの中性化試験、反発度試験、鉄筋探査、および透気試験等²⁾ができる設備がある。また、鋼構造の非破壊検査³⁾についても、超音波探傷試験や渦流探傷試験による疲労き裂検出の実演ができるようにした。



a)中性化試験

b)反発度試験

c)鉄筋探査

d)透気試験

図2 非破壊検査（コンクリート）

2.2 実橋劣化部分の展示

埼玉県内で最近まで供用していた鋼桁の腐食劣化部分について、図3a)に示すように展示を行っている⁴⁾。また、30年間の長期にわたり、海浜の厳しい腐食環境で暴露していた塗装鋼板を、図3b)に示すように展示している。さらに、高速道路で使用していたRC床版で、水平ひび割れが発生しており、鋼繊維補強コンクリート(SFRC)で補強したものを展示している(図3参照)。これらを用いて、橋梁の劣化損傷事例を説明することができる。



a)実橋鋼桁の腐食劣化部



b)塗装鋼板の暴露試験体

図3 劣化した鋼部材の展示



図4 劣化損傷した RC 床版の展示

2.3 床版や鋼桁の補強強度確認実験

幅 1.2m×長さ 6m×高さ 5m の構造物を、3,000kN 万能試験機を用いて、載荷実験を行うことができる。図 5 にトラス橋格点部と鋼桁の CFRP による補強効果確認実験を示す^{5),6)}。このように、ほぼ実寸大の部分模型による載荷実験を行うことができ、補修・補強に関する新技術開発を実施している。



a) トラス格点部の CFP 補修確認実験



b) 鋼桁の CFRP 補強確認実験

図5 3,000kN 万能試験機による載荷実験

2.4 社会人向け各種研修

開学 20 周年を機に、図 6 に示すような普段実施している実習の授業を、必要に応じて社会人向けに提供できるような体制を構築している。産業界、国、自治体のニーズに即した研修を企画できるように、ものづくり研究情報センター中心に活動を行っている。



a) アーク溶接実習



b) 各種部材試験



c) RC 構造物の製作実習

図6 研修可能な実習授業

3. 非破壊検査（コンクリート）

3.1 中性化試験

コンクリートは一般的に pH が 12～13 の強アルカリ性である。しかしながら、大気中の二酸化炭素（ CO_2 ）が侵入し、水酸化カルシウム等のセメント水和物と炭酸化反応を起こし、細孔溶液の pH を低下させる中性化が生じる。高アルカリ環境のコンクリート中にある鉄筋表面には不動態被膜が形成されているが、中性化が進行するとその被膜は破壊され、鉄筋の腐食が進行することが知られている。

研修会では、ドリル削孔粉が落ちる位置にフェノールフタレイン溶液を浸み込ませたろ紙を設置して、中性化深さを測定するドリル法を実演した。図 7a)に本試験の説明状況を、図 7b)にドリル法の様子を示す。

3.2 反発度試験

反発度試験は、コンクリート表面におもりを衝突させたときの跳ね返り量から、その強度を推定する方法である。日本材料学会や日本建築学会では、反発度からコンクリート強度を推定する換算式が提案されている。図 7c)に、本試験の説明状況を示す。

3.3 鉄筋探査

鉄筋探査は、コンクリート打設後に鉄筋位置やかぶりなどの品質を確認したり、耐震補強工事等におけるあと施工アンカー工事の際に、施工作業前にコンクリート構造物の配筋状態などの調査を、構造物を破壊せずに行うことができる。

探査は対象構造物や探査深度に応じて、主に電磁波レーダー法と電磁誘導法の 2 種類が使用されている。図 7d)に鉄筋探査の実習の様子を示す。

3.4 透気試験

コンクリートは多孔質であり、その透気性は耐久性を左右する指標の 1 つとされており、特に中性化の進行速度と密接な関係がある。透気試験ではコンクリートの含水率が 5.5% 以上だと正しい値が得られないので、必ず含水率を計測する。次に、表面透気試験はアクリル板でキャリブレーションを行った後、透気係数を計測する。図 7e)に透気試験の様子を示す。



a) 中性化試験の説明



b) ドリル法による中性化試験



c) 反発度試験の説明



d) 鉄筋探査の実習



e) 透気試験

図 7 非破壊検査（コンクリート）

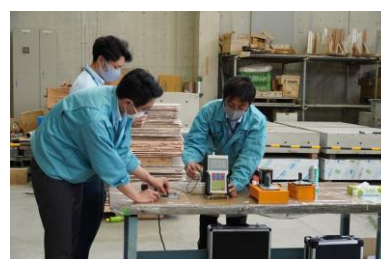
4. 非破壊検査（鋼構造）

4.1 超音波探傷試験

溶接の品質は、溶接条件や溶接工の技量により大きく左右される。施工不良により溶接時にきずが生じると、疲労き裂進展の可能性がある。このため、溶接部の品質確認は非常に重要で、超音波探傷法はこの品質確認のための代表的な非破壊検査法である。溶接部の探傷では通常、一探触子の斜角探傷法を適用する。垂直探触子では、余盛のため探触子を密着させることが困難であることと、板厚方向の割れを検出することができないからである。図 8a)に鋼材板継溶接部の超音波探傷試験の様子を示す。



a)超音波探傷試験の説明



b)渦流探傷試験

図 8 非破壊検査（鋼構造）

4.2 渦流探傷試験

鋼橋の溶接部や母材に生じる疲労き裂等の探傷検査を、塗膜や錆の除去をせず行える渦流方式の探傷装置で、下処理の状態に左右されない安定した検査データが得られる手法である。また、小型軽量で携帯性に優れた機器が開発されており、高所や狭い場所等厳しい条件で機動性を発揮して、作業時間およびコストの抑制に効果的である。図 8b)に鋼材すみ肉廻し溶接部の渦流探傷試験の様子を示す。

5. RC 床版の曲げ載荷実験

5.1 目的

RC 床版は過積載車両の通行や凍結防止剤の使用増加の影響を受け、水や塩分が床版内部に浸入する過酷な環境下にあり、水平ひび割れや RC 床版上面付近の土砂化といった、上面からの経年劣化が生じることが明らかになってきている。本実験では健全な RC 床版(以下、健全床版と呼ぶ)、健全床版より 2cm、4cm 上面が薄い床版(以下、劣化床版と呼ぶ)、および、劣化床版を曲げ載荷して下面にひび割れが生じて上面が圧壊する終局状態に至ったものを、鋼繊維補強高強度緻密モルタルで上面増厚補修した RC 床版(以下、補修床版と呼ぶ)を製作し、それぞれに静的曲げ載荷実験を行い、その補修効果等を確認した^{5),6)}。

5.2 実験内容

本実験に用いた供試体は図 9 に示すとおりである。供試体の幅は 600mm、支間は 2000mm である。同図に示す健全床版は版厚 220mm であり、鉄筋は

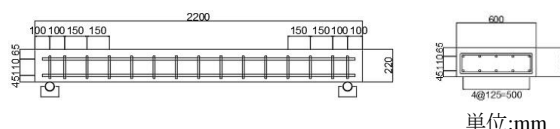


図 9 RC 床版供試体

D16 を 125mm ピッチで配置しており、150mm 間隔の D13 スターラップで囲むように配筋した。また、劣化床版については、健全床版よりも上面が 2cm、もしくは 4cm 薄い床版であり、上面からの土砂化や舗装更新時の切削による版厚減少を想定している。

実験は図 10a),b)に示す通り, 中央に幅 200mm×500mm の載荷版で 3 点曲げ載荷を行った. その劣化床版を曲げ載荷した後, 中央部の圧壊したコンクリートを除去して, その直下のひび割れに樹脂を注入した後に, エポキシ接着剤を前面に塗布した. 同図 c)に示す通り, 鋼繊維補強高強度緻密モルタルで 2cm の上面増厚を行った.

5.3 実験結果

実験結果を表 1 にまとめて示す. また, 荷重と鉛直変位の関係を図 11 に示す. 同図表から以下のことがわかる.

- (1) RC 床版の上面が減少すると曲げ強度が大幅に低下する.
- (2) 鋼繊維補強高強度緻密モルタルを 2cm 施工することにより, 曲げ強度は 38~54%回復している.
- (3) ひび割れ荷重, 鉄筋降伏荷重, 終局荷重は, 複鉄筋断面計算や等価応力ブロック法による計算で評価可能である^{5),6)}.

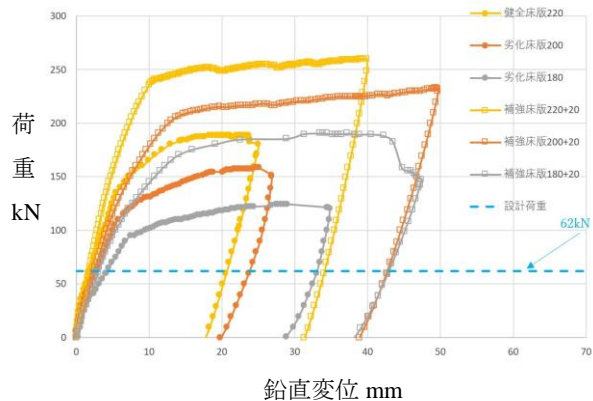


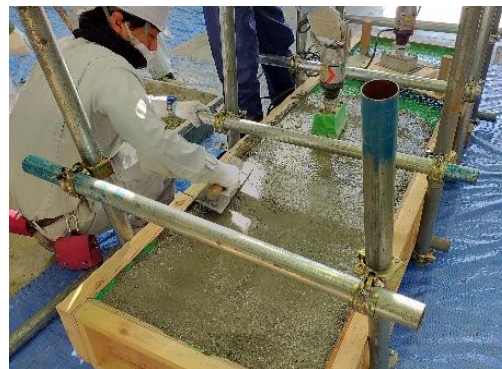
図 11 荷重-鉛直変位の関係



a) 載荷実験の説明



b) 載荷実験状況



c) 上面増厚施工
図 10 実験状況

表 1 実験結果

供試体	ひび割れ発生荷重(kN)			鉄筋降伏荷重(kN)			補強前終局荷重(kN)			補強後終局荷重(kN)		
	実験	計算	比	実験	計算	比	実験	計算	比	実験	計算	比
健全床版 220	40	39	1.02	134	136	0.98	189	159	1.19	260	220	1.18
劣化床版 200	35	34	1.04	118	120	0.99	158	133	1.19	232	193	1.20
劣化床版 180	30	28	1.07	94	105	0.89	124	106	1.17	191	165	1.16

6. まとめ

ものづくり大学では、埼玉橋梁メンテナンス研究会の活動の一環として、橋梁メンテナンス研修設備を整備して社会人教育体制の構築を図ってきている。ここに紹介した通り、非破壊検査の実演習、実橋劣化部分の展示、床版や桁の補強実験等である。今後も橋梁メンテナンスに関する社会のニーズを確認しながら研修設備を拡充して、定期的に研修会を開催していきたいと考えている。

謝 辞 本事業はものづくり大学の「大学教育力・研究力強化プロジェクト」として支援を頂きました。ここに感謝の意を表します。

文 献

- 1) 埼玉橋梁メンテナンス研究会：埼玉橋梁メンテナンス研究会活動報告書 2018～20201 (2021)
- 2) 日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術' 21 (2021)
- 3) 日本鋼構造協会：土木鋼構造物の点検・診断・対策技術 (2017)
- 4) 村井向一，谷口望，蔭山裕太，大庭拓也，大垣賀津雄：腐食した鋼板に対する各種 3D スキャナーによる残存板厚計測，鋼構造年次論文報告集第 29 巻，日本鋼構造協会 (2021)
- 5) 大垣賀津雄，星名誉紀，柴崎晃，原田拓也，長谷俊彦，赤江信哉，石田学：上面増厚および下面 CFRP 接着により補強した RC 床版の曲げ強度に関する実験研究，土木学会，第 8 回 FRP 複合構造・橋梁シンポジウム論文集 (2020)
- 6) 渡邊健也，大垣賀津雄，PHAM NGOC VINH，石田学，赤江信哉：劣化させた RC 床版の高強度緻密モルタルによる補強に関する実験的研究，土木学会，第 14 回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム論文集 (2021)

