

社会基盤設計学領域の紹介



研究室紹介

Introduction of Advanced Infrastructure Design and Maintenance Engineering Area

Key Words : Concrete, Steel, Maintenance and Management,
Nondestructive Test, Fatigue Damage

鎌田 敏郎*, 堤 成一郎**, 寺澤 広基***

はじめに

社会基盤設計学領域では、人々の生活を支える社会インフラを構成する構造物をどのように守り、使い続けていくかという社会的課題に対し、構造物の維持管理の高度化に貢献することを目的とした研究を行っている。具体的には、コンクリート構造物を対象とし、構造物を壊すことなく（非破壊）その変状を検知する技術や、鋼構造物への導入が期待されている新たな設計手法（性能規定型設計、Design

by Analysis、Digital Twin）の確立に不可欠な変形／疲労／破壊を予測する技術の開発に取り組んでいる。本稿では、社会基盤設計学領域の研究の一例を紹介させていただく。

コンクリート構造物の非破壊試験

当研究室で検討を進めているコンクリート構造物の非破壊試験は、コンクリート中を伝搬する弾性波に起因する振動応答に着目するもの、コンクリートの品質と電気抵抗の関係に着目するもの、コンクリートと鋼材の磁性の違いに着目するもの等、様々な原理の手法を取り扱っている。その中から、電磁パルス法という手法を用いた研究内容を紹介する。

わが国において、社会資本であるインフラ構造物の老朽化対策の重要性が広く認識される契機となった事故に2012年12月に起こった笹子トンネルにおける天井板落下事故¹⁾がある。この事故の原因として、トンネル天頂部の接着系あと施工アンカーボルトにおいて、接着剤の攪拌不足やまわり込み不足により所定の強度が発揮されないものが一定程度存在していたことが一因として挙げられている。こ



* Toshiro KAMADA

1962年12月生まれ
東京工業大学 工学部 土木工学科卒業
(1986年)
現在、大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻 教授 工学博士
専門/土木材料 非破壊検査
TEL : 06-6879-7619
FAX : 06-6879-7619
E-mail : kamada@civil.eng.osaka-u.ac.jp



** Seiichiro TSUTSUMI

1974年4月生まれ
九州大学大学院 生物資源環境科学研究所 博士後期課程 (2002年)
現在、大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻 准教授
博士(工学) 博士(農学)
専門/応用力学 材料・構造力学
TEL : 06-6879-7620
FAX : 06-6879-7620
E-mail : tsutsumi@civil.eng.osaka-u.ac.jp



*** Koki TERASAWA

1986年11月生まれ
京都大学大学院 工学研究科 都市社会工学専攻博士後期課程 (2014年)
現在、大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻 助教 博士(工学)
専門/土木材料 建設マネジメント
TEL : 06-6879-7621
FAX : 06-6879-7621
E-mail : terasawa@civil.eng.osaka-u.ac.jp

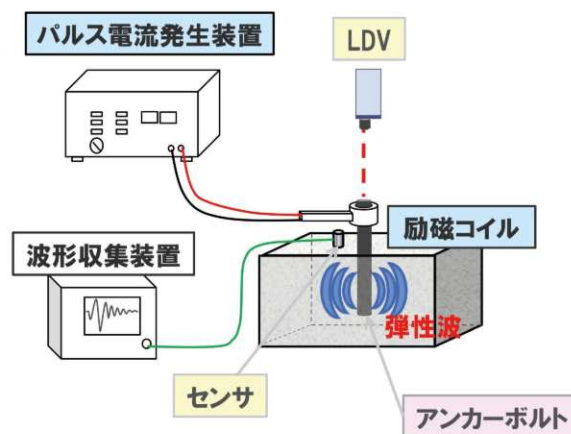


図1 床版内部の水平ひび割れ

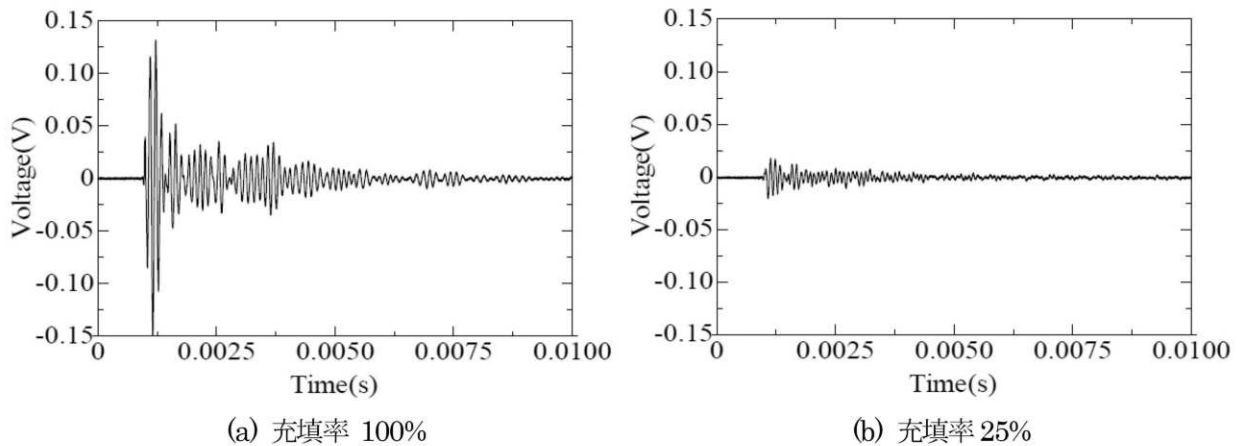


図2 接着系あと施工アンカーの接着剤充填率とコンクリート表面の時刻歴応答²⁾

のあと施工アンカーは、コンクリート構造物に落橋防止装置や道路標識などの附帯物を取り付けるために数多く施工されており、

このような背景から、コンクリートに埋設された接着系あと施工アンカーの施工状況を評価するための手法として「電磁パルス法」の開発を行ってきた。この手法は、図1に示すように、励磁コイルにパルス状の大電流を流すことで磁性体であるアンカーボルトに電磁力を非接触で印加し、この電磁力によりアンカーボルトを加振することで生じる振動応答を評価するものである。接着系アンカーの埋込み長さに対する接着剤の孔底からの充填高さ（充填率）を変化させた場合の測定結果一例を図2に示す。接着剤が十分に充填されている場合、アンカーボルトの加振により生じた弾性波は接着剤を介してコンクリート側に伝搬するが、接着剤の充填率が低い場合は接着剤を介しての弾性波の伝搬が起きにくいいため、受信波形の振幅にその差が表れることから、この波形を定量的に評価することで充填状況を診断することが可能となる。

電磁パルス法のメリットとして、弾性波の入力を電磁的に制御可能であり、入力値のばらつきを抑えることができることが挙げられる。この手法の対象に関して、あと施工アンカーアンカーボルトの不具合の検出以外にも、プレストレストコンクリート構造物におけるグラウトの充填状況の確認、コンクリート床版における水平ひび割れなど様々な変状の検出に適用しており、現場での手法の実用化に向けた検討を進めている。

鋼構造物の変形・疲労・破壊性能評価手法の確立

機械・鋼構造物に生じる損傷の多くが疲労に起因しており、橋梁などの大型鋼構造物においても、供用期間中に多数回の交通荷重や地震動に曝されるため、溶接部を起点とする疲労損傷事例が多数報告されている。

また、既設構造物の疲労損傷事案の増加と維持管理コスト削減要請の両面から、疲労亀裂の発生・進展を簡便に抑制可能な補修・補強技術の開発に対す

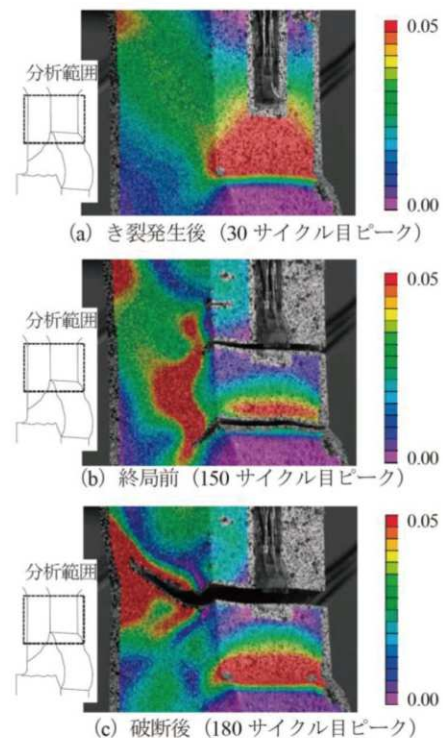


図3 低サイクル疲労亀裂発生・進展中のDIC ひずみ分布計測結果

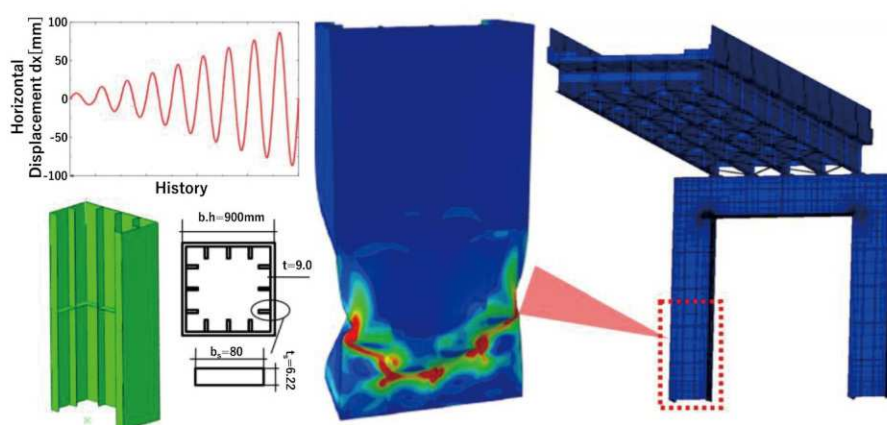


図4 鋼製橋脚のデジタルツイン（地震時応答の繰返し弾塑性FEMシミュレーション）

る社会的要求も高まっている。この疲労損傷の主要因として、a) 溶接部と構造的な不連続部が近接もしくは一致するために高応力となる、b) 溶接施工条件に依存して不均一な材料組織 / 形状 / 強度分布 / 残留応力 / 残留変形が生じる、c) 各構造物が実際に経験する応力状態は、一般に多軸・非比例負荷状態にあり、時系列とともに複雑に変動するため、事前の実験検討には限界があることなどが挙げられる。

そのため、溶接構造物の疲労損傷の抑制や効率的な補修技術・施工指針の確立には、上記 a) から d) の影響因子を適切に考慮可能な疲労性能評価技術の確立と実務設計への実装が重要であり、多くの工学分野で精力的に研究開発がなされている。その中で我々は、鋼材の高精度な繰返し弾塑性変形シミュレーションに基づく疲労亀裂発生・進展性能評価手法の確立を目指した研究開発を進めている。独自開発の材料モデルと高効率な収束計算技術を採用することにより、鋼構造物の変形 / 疲労破壊を事前に高精度に予測することが可能であり、デジタルツインなどの新たな技術開発にも不可欠であるため、工学的なインパクトも高く、精力的に研究開発を進めている。

加えて、疲労亀裂の発生・進展を簡便に抑制可能な補修・補強技術のうち、疲労亀裂閉口を促進させ、亀裂進展を抑制・停止させる、いわゆる“くさび効果”を活用する手法に注目した研究も進めている。これまでに、硝酸による亀裂面腐食を活用した疲労寿命延伸効果のメカニズムを実験的に明らかにするとともに、繰返し载荷に伴う材料の弾塑性変形履歴と累積損傷の影響を考慮可能な弾塑性疲労亀裂進展解析

手法を開発し、さらに亀裂面腐食の影響を考慮可能な手法へと拡張することにより、疲労亀裂停留や再進展を含む各種実験結果を精度良く予測可能な手法を確立している。これらは、疲労寿命の高精度予測に基づく新設鋼構造物の合理的な設計にとどまらず、疲労損傷を有する既設構造物の予寿命診断の高度化や亀裂面腐食を活用する補修技術による長寿命化・維持管理コスト削減にも大きく寄与する成果であると考えている。

おわりに

本稿では社会基盤設計学領域で取り組んでいる研究の内容を紹介させていただいた。高度経済成長期に大量に建設された橋梁の高齢化や、適切な維持管理業務を実施していくための人手の不足等、現在、わが国が直面している状況を鑑みるにこういった検討は今後ますます重要になると思われる。引き続き検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会報告書，2013。
- 2) 木村貴圭，内田慎哉，宮田弘和，鎌田敏郎：電磁パルス法による接着系あと施工アンカー固着部の非破壊評価手法に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol. 36，No. 1，pp. 2116-2121，2014。
- 3) Seiichiro TSUTSUMI, Riccardo FINCATO, Pengjun LUO, Moe SANO, Toshihiro UMEDA, Tomohiro KINOSHITA, Tetsuya TAGAWA:

Effects of weld geometry and HAZ property on low-cycle fatigue behavior of welded joint, *Int. J. Fatigue*, 156 (2022), 106683.

4) 堤 成一郎, 清川裕樹, Fincato Riccardo,

荻野陽輔, 平田好則, 浅井 知: 溶融池形成および繰返し弾塑性解析を活用した継手の疲労き裂発生寿命評価, *土木学会論文集 A2*, 74, 2(2018), I_337-I_347.



ユリカモメ