

「技術だけではよい社会は生まれない。都市工学の観点から、持続可能な発展を支える技術」を産技高専宮川研究室ではテーマとしています。都市工学とは、人間と科学技術、そしてそれらの活動の場としての地球や都市の間のダイナミックな関係を生かし、人間が安全・快適に過ごすことのできる都市を構築するための技術を学ぶ学問になります。

研究の目的

我が国の社会基盤整備は高度経済成長期に急速に行われてきたため、劣化や疲労に起因する損傷や事故が顕在化しつつある。今後、これらの事象の発生は諸外国に例を見ないスピードで増大することが予測される。事実、首都高速道路において、鋼製橋脚や鋼製の床版、主桁に生じた疲労き裂など橋の重要部位に多くの疲労き裂が発見されている。

このため、本研究では構造物全体に影響が及ぶ損傷や第三者に被害が及ぶ恐れがあるなど、重度の疲労損傷を受けた鋼橋に対する点検、診断、措置からなる一連のリハビリテーション技術の確立を目的とする。具体的には、高精度で定量的な余寿命診断技術の開発、構造的な補修補強方法、疲労強度改善方法などの要素技術を明らかにする。

本研究の特色として、電気・力学変換デバイスとして有用な圧電材料を機械・構造物の表面付近に接合・接着し、振動制御、破壊制御およびひずみモニタリングに用いる試みに関する研究を行う。

平成27年度の研究成果

初期応力やき裂進展量の推測を行い、安定破壊から不安定破壊に至る余寿命診断および劣化予測を行うため、疲労試験を用いた余寿命診断プログラムの開発および圧電アクチュエーターによる余寿命延命化の効果を確認した。

① PVDFフィルムおよびピエゾケーブルを用いたひずみゲージによる余寿命診断の技術開発
圧電材料を用いたひずみゲージにより、感度および精度の高いモニタリング技術の確立した。

② 緊急補修対策として期待できる積層圧電アクチュエーターを用いた余寿命延命化の効果確認
応力集中部に圧電アクチュエーターを設置し、応力緩和を目的とした余寿命延命化の効果確認。

平成28年度の研究成果

外力による一様分布荷重および圧電アクチュエーターによる集中荷重下において、疲労き裂先端の応力解析を行い、線形破壊力学によるJ積分を用いて余寿命診断プログラムの開発を行った。

③ 二次元弾性論を用いた線形破壊力学による余寿命診断プログラムの開発
J積分による疲労き裂成長予測プログラムの開発。

④ 積層圧電アクチュエーターを用いた余寿命診断プログラムの開発
圧電アクチュエーターを用いた疲労き裂先端の応力制御と余寿命診断プログラムの開発。

二次元弾性論を用いた基礎理論

本研究における余寿命診断プログラム(き裂成長予測プログラム)の特徴として、一様分布荷重だけでなく、複数の圧電アクチュエーターを集中荷重として取り扱うことができる二次元弾性論を用いたことにある。疲労き裂を弾性体内に存在する楕円孔に近似し、き裂先端の応力状態の解析に式(1)と式(2)の応力関数を用いる。これらを重ね合わせることで、き裂先端近傍の応力解析を可能とし、疲労き裂周辺の応力を高い解析精度で求めることができる。

二次元弾性論における数値計算例として、一様分布荷重90[MPa]の作用時における鉛直方向応力の分布図を図1に示す。続いて、2個の圧電アクチュエーターに電圧を印加し、700[N]の集中荷重を発生させることにより、図2に示すひずみゲージ位置における応力を50[MPa]緩和できることが理論解から確認できた。

Uniform stress loading

$$\Phi(\zeta) = \Phi_0(\zeta) + \Phi_1(\zeta) = R \left\{ A\zeta + \frac{1}{k_0} (m\bar{A} + 2\bar{B}) \frac{1}{\zeta} \right\}, \quad \dots(1)$$

$$\chi(\zeta) = \chi_0(\zeta) + \chi_1(\zeta) = R \left\{ (mA + 2B)\zeta + k_0 \frac{\bar{A}}{\zeta} \right\}, \quad \text{where, } A = \frac{1}{4}(\sigma_x^* + \sigma_y^*), B = \frac{1}{4}(\sigma_x^* - \sigma_y^*) + \frac{i}{2}\tau_{xy}^*$$

Concentrated force loading

$$\Phi(\zeta) = M \log(\zeta - \zeta_0) + \frac{1}{k_0} \left\{ \bar{N} \log(\zeta - 1/\bar{\zeta}_0) - \bar{N} \log \zeta + \frac{\bar{M}}{\zeta - 1/\bar{\zeta}_0} h(\zeta_0, \bar{\zeta}_0) \right\}, \quad \dots(2)$$

$$\chi(\zeta) = N \log(\zeta - \zeta_0) - \frac{M}{\zeta - \zeta_0} g(\zeta_0, \bar{\zeta}_0) + k_0 \left\{ \bar{M} \log(\zeta - 1/\bar{\zeta}_0) - \bar{M} \log \zeta \right\}$$

$$\text{where, } M = -\frac{1}{2\pi(\kappa+1)}(X+iY), N = \frac{\kappa}{2\pi(\kappa+1)}(X-iY), g(\zeta_0, \bar{\zeta}_0) = \frac{(\bar{\zeta}_0 + m/\zeta_0) - (1/\zeta_0 + m\zeta_0)}{\zeta_0^2 - m}$$

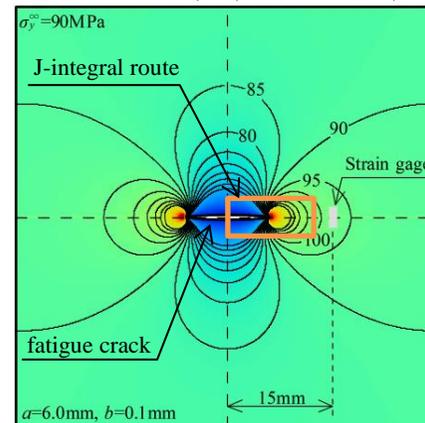


Fig.1 Uniform stress and none piezoelectric actuator.

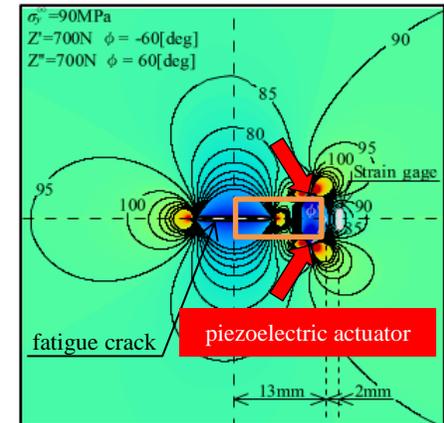


Fig.2 Stress relaxation under the uniform stress and piezoelectric actuator.

圧電材料を用いた疲労試験

図3に示すピエゾケーブルおよびPVDFフィルムを用いたひずみゲージのモニタリング技術開発に一定の成果が得られた。ピエゾケーブルとは芯線と編み線間の絶縁体にピエゾフィルムを使用し、外被はポリエチレンで被覆してある。これによりケーブルに衝撃を加えたり、引っ張ったりすると力の大きさに比例して電圧が生じる圧電材料である。また、余寿命延命化の技術開発を行った。本研究で使用する図4の圧電セラミックスは電気的エネルギーを加えると、機械的エネルギーを発生する(逆圧電効果)機能を有する材料であり、図5に示すき裂先端の応力集中部に圧電アクチュエータを設置し、印加することで発生する力を利用してき裂先端の応力集中を緩和させた。予備き裂5mmとしたときのき裂の成長および圧電アクチュエータによるき裂成長の抑制効果に関する結果を図6に、予備き裂1mmとしたときの結果を図7に示す。これより、安定破壊状態から不安定破壊状態に移行するサイクル数が大きく伸び、応力緩和による疲労き裂部材の延命化効果が確認できた。

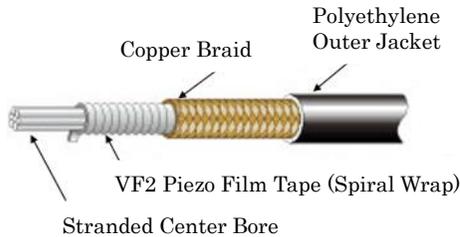


Fig.3 Component of Piezo-cable

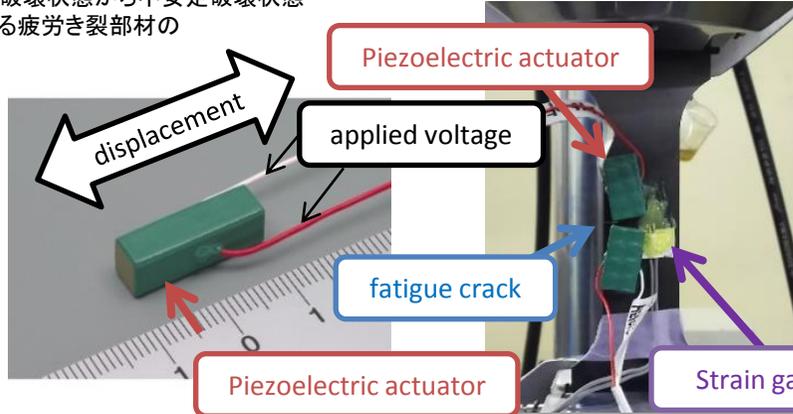


Fig.4 NEC TOKIN AE1010D16F

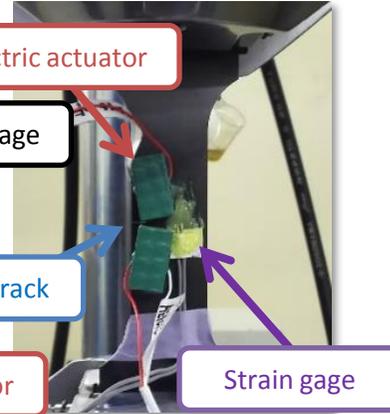


Fig.5 Specimen of fatigue experiment

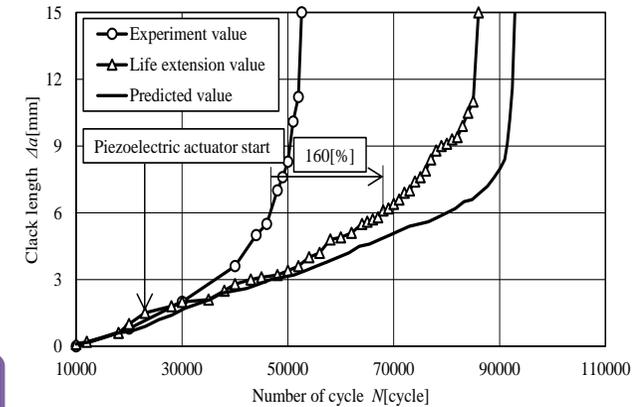


Fig.6 Experiments of fracture control using piezoelectric actuator [notch 5mm]

平成27, 28年度 研究業績

産技高専宮川研究室および首都大学中村研究室の共同研究によって得られた代表的な成果を以下に抜粋する。

<発表論文(査読付)>

- (1)宮川睦巳, 鈴木拓雄, 田宮高信, 佐々木徹, 面内荷重下での円形介在物内に別種の偏心円形介在物が存在する弾性体の応力解析, 日本機械学会論文集, Vol.81, No.826, p.14-00425, 2015年6月
- (2)吉田和将, 宮川睦巳, 中村一史, 志村稔, 疲労き裂先端の応力解析と圧電アクチュエータを用いた破壊制御実験, 日本交通科学学会投稿中

<研究発表>

- (1)吉田和将, 宮川睦巳, 中村一史, 志村稔, 圧電素子を用いた余寿命延命化手法の開発, 日本機械学会 関東支部第22期総会・講演会, 東京工業大学, 2016年3月
- (2)吉田和将, 宮川睦巳, 田宮高信, 中村一史, ピエゾケーブルを用いたひずみ測定及び性能評価に関する研究, 第34回数理科学講演会, 首都大学東京秋葉原サテライトキャンパス, 2015年8月
- (3)宮川睦巳, 吉田和将, 中村一史, 円形介在物内に別種の偏心円形介在物が存在する弾性体の応力解析, 日本機械学会年次大会, 北海道大学, 2015年9月
- (4)宮川睦巳, 佐々木徹, 宮下幸雄, 中村一史, 面外荷重下における2個の円形空孔を有する等方性弾性体問題の解析, 日本機械学会 M&M2015カンファレンス, 慶應義塾大学, 2015年11月
- (5)吉田和将, 宮川睦巳, 中村一史, 志村稔, 圧電アクチュエータを用いた疲労き裂先端の応力解析と破壊制御実験, 第52回日本交通科学学会総会学術講演会, 産技高専荒川キャンパス, 2016年6月
- (6)小沢拓弥, 鈴木拓雄, 宮川睦巳, 田宮高信, 各種形状をもつ異方性微子組織を考慮した弾性体の解析に関する研究, 第35回数理科学講演会, 大阪府立大学, 2016年8月
- (7)吉田和将, 宮川睦巳, 中村一史, 志村稔, 圧電アクチュエータを用いた疲労き裂先端の応力解析と破壊制御実験, 日本機械学会年次大会, 九州大学, 2016年9月
- (8)宮川睦巳, 鈴木拓雄, 佐々木徹, 宮下幸雄, 2個の楕円空孔を有する等方性弾性体に面外せん断荷重が作用する問題の解析, 日本機械学会年次大会, 九州大学, 2016年9月
- (9)宮川睦巳, 佐々木徹, 宮下幸雄, 中村一史, 各種面外荷重下における2個の円形空孔を有する等方性弾性体問題の解析, 日本機械学会 M&M2016カンファレンス, 神戸大学, 2016年11月
- (10)吉田和将, 宮川睦巳, 中村一史, 志村稔, 疲労き裂先端の応力解析と圧電アクチュエータを用いた破壊制御実験, 第44回土木学会関東支部技術研究発表会, 埼玉大学, 2017年3月

<受賞歴>

- (1)第34回数理科学学会学術奨励賞, 吉田和将, 宮川睦巳, 田宮高信, 中村一史, ピエゾケーブルを用いたひずみ測定及び性能評価に関する研究, 第34回数理科学講演会, 首都大学東京秋葉原サテライトキャンパス, 2015年8月
- (2)第35回数理科学学会学術奨励賞, 小沢拓弥, 鈴木拓雄, 宮川睦巳, 田宮高信, 各種形状をもつ異方性微子組織を考慮した弾性体の解析に関する研究, 第35回数理科学講演会, 大阪府立大学, 2016年8月
- (3)平成28年度補助教材動画コンテスト優秀作品賞, 宮川睦巳, 中村一史, 濱町草太, 松浦直哉, 小淵健人, 伊藤恵太, 見えない力を見る技術-偏光板の不思議-, 2017年3月

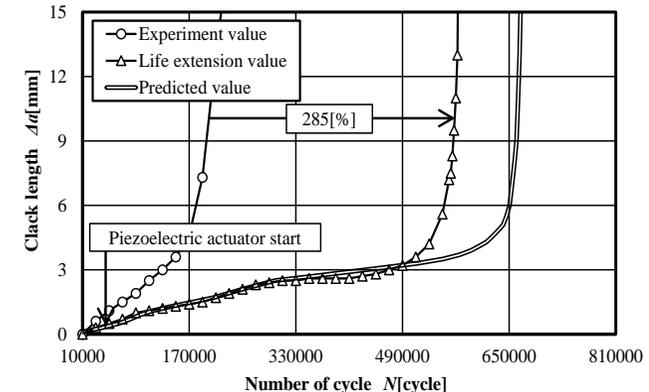


Fig.7 Experiments of fracture control using piezoelectric actuator [notch 1mm]