

第 I 部門 鋼部材の塗膜除去を不要とした熱的負荷による亀裂探傷法の基礎的研究

○京都大学大学院工学研究科 学生員 渡部 慎也
 京都大学大学院工学研究科 正会員 杉浦 邦征

1. 緒言

土木構造物をはじめ、多くの建造物において、鋼が用いられている。都市高速道路において、鋼製橋脚や長スパン橋梁に鋼構造物が多数建設されてきたが、これらの多くは、高度経済成長期に建設されており、これらの割合はともに全体の約 6 割に達する。中でも、道路橋においては、1980 年頃から交通荷重による疲労損傷が報告されるようになった¹⁾。こうした疲労亀裂は、脆性的な破壊を引き起こし、発生部位によっては橋梁の安全性に重大な影響を及ぼす可能性がある。そのため、早期の発見および補修が重要となる。

鋼構造物の疲労亀裂の探傷法として、磁粉探傷試験や浸透探傷試験、超音波探傷試験等が利用されているが、これらの亀裂探傷法では検査に際して塗膜を除去する必要がある。そのため、近年では塗膜除去を不要となる、鋼構造物の疲労亀裂を遠隔検出あるいはモニタリングするための研究^{1),2)}が最近、鋭意行われている。

本研究は、このような背景を受け、鋼構造物の疲労に対する維持管理において、短時間かつ低コストで、効率性の面で優れた効果が期待できる新たな非破壊検査手法を実構造物に適用するための基礎的研究として、亀裂を有する鋼構造物の部材を模した数値解析モデルを用いて、亀裂周辺での熱の拡散の特性について検証を行った。

2. 数値解析条件

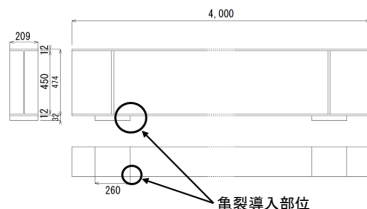


図-1 数値解析モデルの形状 (寸法単位: mm)

数値解析モデルは、鋼構造物において幅広く利用されている SM490B 鋼材を用いた、図-1 に示すような I 型梁を想定した。実橋梁に生じる疲労き裂はこれまでの研究⁴⁾から、次のような要因が挙げられる。

- (1) 交通荷重に対する支承の水平移動機能や回転機能が低下することによって桁端に生じる拘束応力
- (2) 伸縮継手に段差などがあり、その地点を車両が通過することにより発生する衝撃力
- (3) 主桁のねじれ、たわみによって発生する二次応力
- (4) ソールプレートと下フランジの間に隙間があることによってソールプレート取り付け溶接部近傍に生じる局部応力

本研究では、図-2 のように、(1) の要因によって下フランジ、ソールプレート直上にき裂が発生した状況を考える。また、この疲労き裂について、表-1 のように、2 つの亀裂を導入したモデル (Model I, Model II) と健全状態のモデル (Model III) の 3 つのモデルを考え、これらのモデルに対し、下フランジ上面の 17 カ所の節点にそれぞれ熱的負荷を行った。

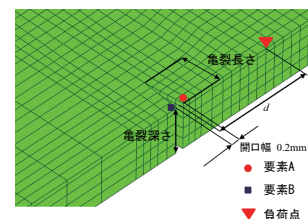


図-2 亀裂の導入形状例 (Model I)

表-1 各モデルの亀裂形状

亀裂形状	Model I	Model II	Model III
開口幅 [mm]	0.2	0.2	—
亀裂長さ [mm]	10	10	—
亀裂深さ [mm]	12	1.2	—

表-2 熱境界条件

境界条件導入点	負荷温度
初期条件 [K]	298
負荷熱 [K]	353

表-3 解析に用いた熱特性

熱伝導率 [W/m/K]	53
密度 [kg/m ³]	7850
比熱 [J/kg/K]	461

キーワード：疲労き裂 損傷 亀裂探傷 熱的負荷 鋼構造物

〒 615-8540 京都市西京区京都大学桂キャンパス C 1-3-253, TEL 075-383-3162, FAX 075-383-3163

3. 解析結果

Model I, Model II および Model III の解析結果について、現在のサーモグラフィの分解能である、1/1000 (K) の精度において解析を行った。

3.1 温度分布による熱拡散の評価

Model I, Model II および Model III の同ケースにおける熱拡散の様子を図-3、図-4 および図-5 に示す。各図中における丸棒はすべて同じ場所を示している。Model III では、亀裂がない為、熱的負荷による温度分布は同心円状に変化する。一方で、疲労亀裂を導入した Model I および Model II の数値解析モデルにおいては、亀裂導入箇所を中心として、拡散する熱の回り込む様子が確認できる。また亀裂の貫通の有無により、健全部分からの伝熱があることによる温度分布の違いを確認することができる。

3.2 亀裂開口部に着目した熱拡散の評価

亀裂開口部の負荷点よりの要素(A)と、それに対する要素(B)について、各モデルでのケースごとの温度差と、負荷点と亀裂開口部との距離の関係を図-6 に示す。どのモデルにおいても、亀裂先端からの負荷点までの距離 (d) が小さくなるにつれ、亀裂開口部における温度差 (ΔT) が上昇するといった傾向が見られる。さらに、フランジ縁における解析結果では、図-7 に示すように、 d および ΔT は指数関数の関係にあることが確認でき、表-4 のような式として表すことができた。またこの式から、サーモグラフィを用いた疲労き裂の検知の限界値を確認することができた。

4. 結言

鋼構造物の部材を模した数値解析モデルに、熱を外的負荷として与え、その熱伝播に関する評価を行った結果、以下の知見を得ることができた。

- ・亀裂の導入深さの違いによる熱の拡散の様子は巨視的にも十分判断しうるものである。
- ・サーモグラフィの精度と熱の拡散を考慮すると、一定範囲内においては探傷法の1つとして十分な性能を有することが確認でき、従来の手法における問題点を解決することができると考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省近畿地方整備局：橋梁の現状と劣化の推定，国土交通省近畿地方整備局資料，2013.，
- 2) 阪上隆英：赤外線サーモグラフィ法による疲労き裂検出技術，第11回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集，No.489，pp.93-102，2008.，
- 3) 阪上隆英，西村隆，久保司郎，崎野良比呂，石野和成：自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法による疲労き裂の遠隔非破壊検査技術の開発，日本機械学会論文集(A編)，72巻724号，pp.50-57，2006.，
- 4) 館石和雄，名取暢，三木千寿：プレートガーダー支那部の疲労損傷とそのディテール改良に関する研究，土木学会論文集，No.489，pp.167-176，1994.4.，

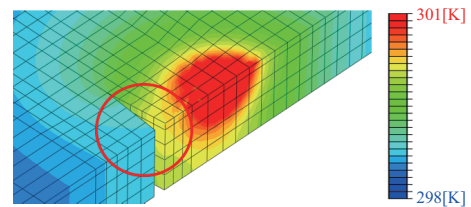


図-3 Model Iにおける熱拡散の様子

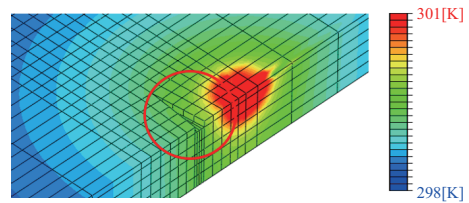


図-4 Model IIにおける熱拡散の様子

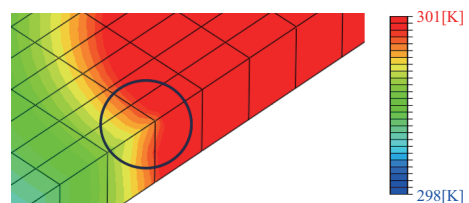


図-5 Model IIIにおける熱拡散の様子

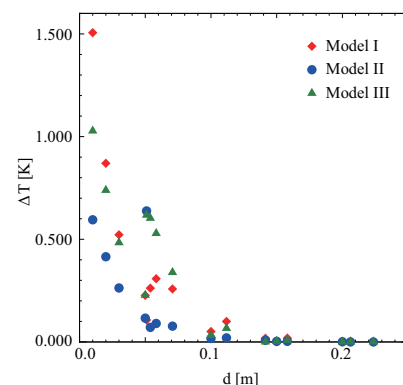


図-6 各モデルにおけるケース分布

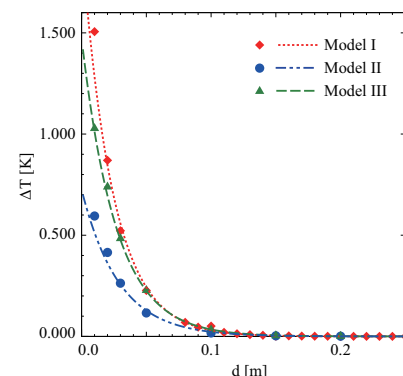


図-7 各モデルにおけるフランジ縁のケース分布

表-4 解析結果より得られた $d - \Delta T$ 関係

Model I	$\Delta T = 1.9445e^{-41.62d}$
Model II	$\Delta T = 1.4733e^{-37.56d}$
Model III	$\Delta T = 0.7254e^{-34.70d}$