

第1部門

鋼橋桁下火災時におけるFRP部材の受熱温度に関する解析的検討

京都大学大学院 学生員 ○大手 一弘 京都大学大学院 正会員 北根 安雄
 京都大学大学院 正会員 松本 理佐 京都大学大学院 正会員 佐藤 顕彦
 (株) 栗本鐵工所 非会員 花村 光一

1. はじめに

従来の床版取替工事に変わる工法として、繊維強化プラスチック (FRP) 部材を用いた床版補強工法が提案されている。また近年、国内外でタンクローリーの横転事故や浮浪者の失火に起因する桁下火災が報告されているが、火災時のFRP部材の受熱性状については十分な知見が得られていない。以上のことから、本研究では、鋼橋桁下において木製パレットから失火が発生した状況を想定し、数値流体解析 (CFD) と有限要素解析 (FEM) による伝熱解析を用いて、FRP部材への熱的影響について検討する。

2. 対象構造及び解析モデル

2.1. 対象橋梁及びFRP部材

図-1に対象橋梁の一般図を示す。本研究の対象橋梁は、橋長34,000mm、幅員8,500mmの鋼単純活荷重合成I桁橋¹⁾である。

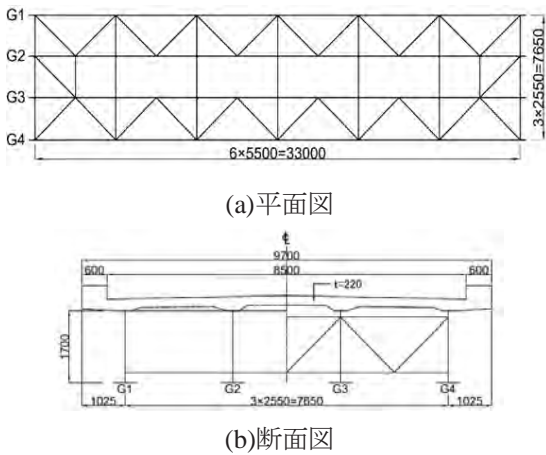


図-1 一般図 (単位: mm)

図-2にFRP部材の配置及び寸法を示す。本研究で対象とするFRP部材は引抜成形FRPであり、事前検討から樹脂がガス化し始める温度として300°Cを仮定した。

2.2. CFD解析モデル

本研究では、数値流体解析ソフト Fire dynamics simulator (FDS)²⁾を用いて検討を行った。図-3に解析モデルを示す。FDSでは部材表面の空気の温度である

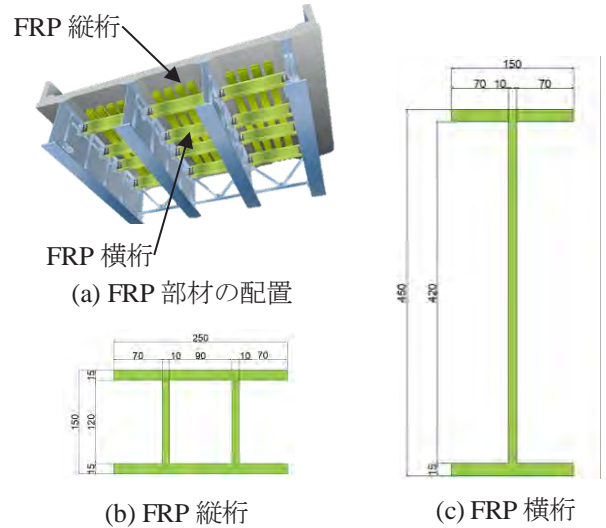


図-2 FRP部材の配置及び寸法 (単位: mm)

Adiabatic Surface Temperature (AST)と表面熱伝達率を出力する。解析モデルはFRP部材、床版、主桁、横桁、橋台と一次部材のみをモデル化した。初期温度は20°Cと設定し、計算開始と出火時刻は同一とした。また図-4には想定した木製パレットの火災曲線を示す。FRP部材の最高温度を計測することが目的のため、定常状態終了時の700秒地点まで解析を行う。

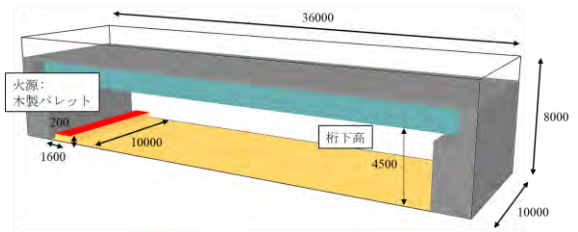


図-3 CFD解析モデル

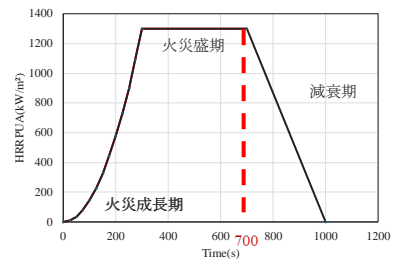


図-4 木製パレットの火災曲線³⁾

2.3. FE 解析モデル

本研究では、汎用有限要素解析ソフトウェア Abaqus2025 を用いた。図-5 に解析モデルを示す。CFD により計算された AST 及び表面熱伝達率のデータを FE 解析モデルに導入することで伝熱解析を行う。解析モデルは FRP 部材、床版、主桁、横桁、水平及び垂直補剛材を伝熱ソリッド要素でモデル化した。材料特性は図-6 及び表-1 に示すように与え、境界条件として、床版の側面及び上面は断熱条件を設定し、床版の下面、鋼部材、FRP 部材は CFD の結果を導入した。

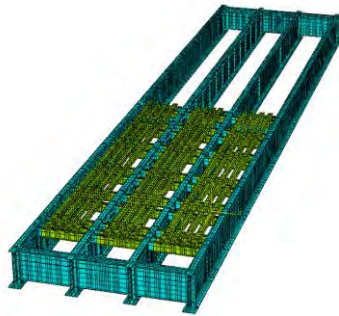


図-5 FE 解析モデル (床版は非表示)

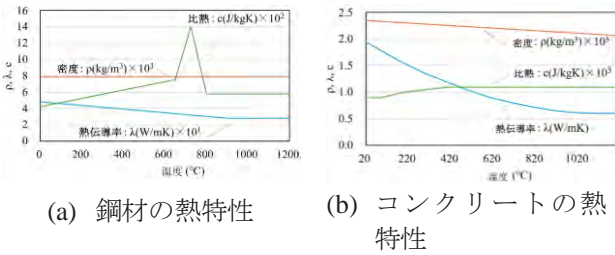


表-1 FRP 部材の熱特性

部材名称	方向	密度 (g/cm ³)	比熱 (J/(g・K))	放射率	熱伝導率 (W/(m・K))
横桁ウェブ、縦桁	長手方向	2.10	0.988	0.95	0.78
	幅方向				0.71
	板厚方向				0.80
横桁フランジ	長手方向	1.76	1.022	0.95	4.60
	幅方向				0.67
	板厚方向				0.88

3. 解析結果

3.1. CFD 解析結果

図-6 に 700 秒地点における空気温度分布を示す。図より、FRP 横桁が存在している範囲では高温空気が少し下に張り出していることがわかる。これは FRP 横桁の存在が遮蔽物のような役割を果たしており、横桁間で対流が起きているからだと考えられる。

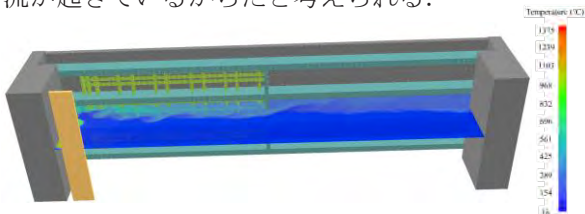
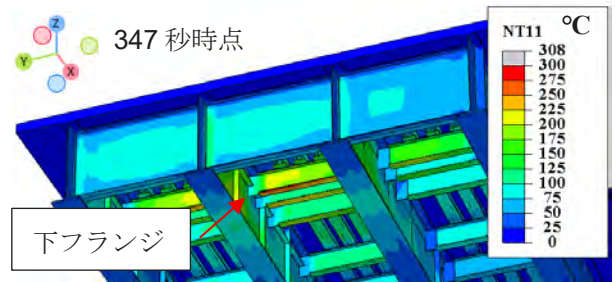


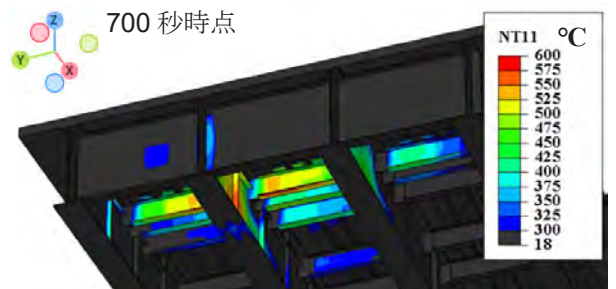
図-6 700 秒地点における空気温度分布

3.2. FEM 解析結果

図-7 に FEM により得られた部材温度分布を示す。図-7(a)より FRP 横桁の下フランジが最も早く 300°C を超えたことがわかる。これは下フランジが火源の直上に位置し、放射熱の影響を最も受けたためと考えられる。また、図-7(b)より 300°C 超過領域は桁端から数えて 4 番目の横桁までに限定されることが確認され、FRP 横桁および縦桁の 300°C 超過領域はそれぞれ桁端から 5,500 mm, 4,500 mm である。橋長が 34,000 mm であることを踏まえると、FRP 部材への熱的影響は局所的であると考えられる。



(a) 部材が 300°C を超えた時点の温度分布



(b) 700 秒地点における 300°C 超過領域

図-7 部材温度分布

4. まとめ

CFD 解析結果より、FRP 横桁の存在が、支間中央部へ達する空気の流れを抑制していることがわかった。また、幅 1.6 m の木製パレットを想定した線状火源を橋台から 0.5 m の位置に設置した条件下で FEM 解析を行った結果、300°C を超過する領域は桁端から FRP 縦桁で 4,500 mm、FRP 横桁で 5,500 mm までに限定されることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 日本橋梁建設協会：合成桁の設計例と解説，2018.
- 2) K. McGrattan, S. Hostikka, J. Floyd, R. McDermott, M. Vanella, E. Mueller, and C. Paul: Fire Dynamics Simulator User's Guide, NIST Special Publication 1019, Sixth Edition, NIST, 2025.
- 3) 小野健太, 北根安雄: 火災を受けた鋼橋の受熱温度推定に関する解析的研究, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 76, No. 1, pp. 163-173, 2020.