火災によるトラス橋部材の破壊時温度の推定

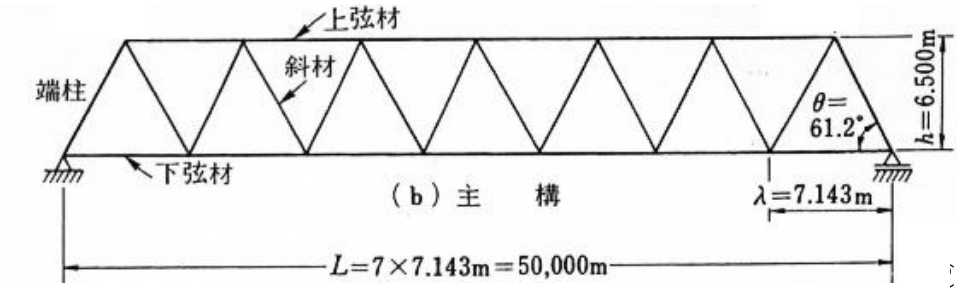
JIP テクノサイエンス　正会員　○竹原 和夫
大阪工業大学工学部　正会員　大山　理
大阪工業大学工学部　正会員　栗田 章光

1. はじめに

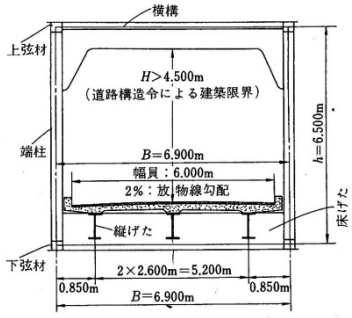
橋梁の火災は桁下からの出火により，大きな損傷を受けた事例が多くみられる[1]．わが国では，橋梁の耐火対策はあまり行われていないのが現状であるが，橋梁が火災を受けると，損傷が大きいことや経済的に打撃を与えることから，耐火対策はこれから重要な課題といえる．本研究ではその形式上から耐火対策が困難とされるトラス橋を対象とし，路面上火災に対して落橋の原因となる部材の破壊時温度を推定する．さらに有限要素法によるシミュレーション解析を行って，この推定値を検討する．

2. 対象橋梁の概要

対象橋梁は，支間長 50m，格間長 7.143m，主構高 6.5m の単純支持下路式ワーレントラス橋[2]を対象とする．骨組を**図–1**，断面を**図–2** にそれぞれ示す．ここでは，死荷重作用時に最大圧縮力が生じる中央部の上弦材に着目する．



図–1 骨組



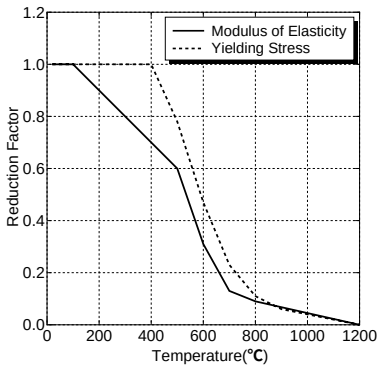
図–2 断面

3. 部材の破壊時温度の推定

Eurocode[3]における高温時の鋼材の弾性係数と降伏強度を**図–3** に示す．図より弾性係数は 500 ℃で，降伏強度は 600 ℃で常温の半分程度の値になることがわかる．次に Eurocode[3]に基づいた高温時における鋼材の座屈荷重から部材の破壊時温度を推定する．まず，θ ℃時における全塑性耐荷力 N_{pl}^{θ} と理想座屈荷重 N_{ki}^{θ} を算定する．

$$N_{pl}^{\theta} = k_{y,\theta} \cdot f_y \cdot A_s \quad , \quad N_{ki}^{\theta} = \pi^2 \frac{k_{E.\theta} \cdot E_s \cdot I_s}{S_k^2} \quad \cdots\cdots (1)$$

ここで，$k_{y,\theta}$ は θ ℃時の降伏強度の低減率, f_y は鋼材の降伏強度, A_s は部材の断面積，$k_{E.\theta}$ は θ ℃時の弾性係数の低減率, E_s は鋼材の弾性係数, I_s は断面 2 次モーメント，S_k は有効座屈長である．これらを用い，θ ℃時における換算細長比 $\bar{\lambda}_k$ と低減係数 κ を求める．



図–3 弾性係数と降伏強度の低減

$$\bar{\lambda}_{k,\theta} = \sqrt{\frac{N_{pl}^{\theta}}{N_{ki}^{\theta}}} = \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{k_{y,\theta} \cdot f_y}{k_{E,\theta} \cdot E_{s,\theta}}} \cdot \lambda \quad \cdots\cdots (2)$$

$$\kappa = f\left(\bar{\lambda}_{k,\theta}\right), \quad \kappa = \begin{cases} 1.0 & \bar{\lambda}_k \leq 0.2 \\ \dfrac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{\lambda}_k^2}}, \quad k = 0.5\left\{1.0 + 0.49\left(\bar{\lambda}_k - 0.2\right) + \bar{\lambda}_k^2\right\} & \bar{\lambda}_k \geq 0.2 \end{cases} \quad \cdots\cdots (3)$$

キーワード: トラス橋，火災，座屈，破壊時温度, FE 解析
連絡先: 〒 103-0025 東京都中央区日本橋茅場町 1 丁目 2 番 5 号　Tel 03-5614-3204 / Fax 03-5614-3210

$$N_{cr}^{\theta} = \kappa \cdot N_{pl}^{\theta} \quad \cdots\cdots (4)$$

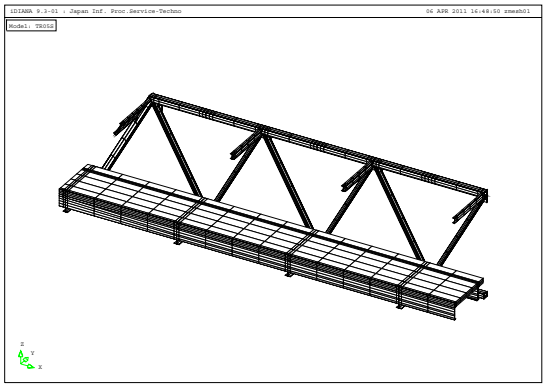
$$\frac{N_d}{N_{cr}^{\theta}} \leq 1.0 \quad \cdots\cdots (5)$$

式 (4) より高温時の耐荷力を求め，死荷重による作用力 N_d=1402.4kN と比較すると, 破壊時温度は 632 ℃ と推定された.

4. 数値計算

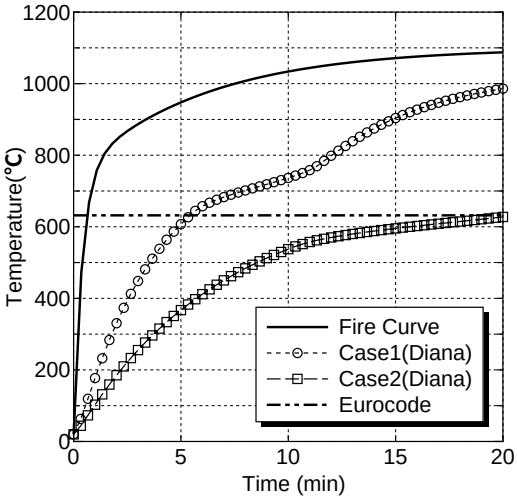
図–1 のモデルに対して有限要素解析を試みる．解析モデルを**図–4** に示す．モデル化範囲に含まれる上下弦材，斜材，床組，床版を全て高次のソリッド要素でモデル化した．橋軸および橋軸直角方向の対称条件を考慮し，全橋の 1/4 領域をモデル化した．対流境界および火災による温度上昇をモデル化するために，ソリッド要素の全表面に対流境界要素をモデル化した．解析モデルの節点数は 34119 である．解析には汎用構造解析ソフトウェア DIANA[4)] を用いた．

数値計算における材料特性は文献[5)] に示した温度依存性の物性値を用いた．火災温度曲線はタンクローリー火災を想定し，Eurocode の炭化水素曲線を用いた．火災温度の入力は既報の研究[5)] を参考に，加熱面における対流境界要素の熱伝達率を変更する方法とした．適用した熱伝達率は，中央から格点長の 1/2 範囲までは 200W/m^2 ℃ で一定とし，さらに 1 格点長の範囲において 25W/m^2 ℃ に線形変化するものとした．上弦材の箱桁内部の対流境界要素については，対流を想定して熱伝達率を加熱面と同じにしたものを Case1，対流を想定せずに熱伝達率を考慮しないものを Case2 とした．



図–4 解析モデル

中央部上弦材の格点間中央断面における平均受熱温度と時間の関係を**図–5** に示す．同図には解析に用いた火災温度曲線と **3.** で算定した破壊時温度を併記している．**図–5** より，Case1 では 700 ℃ 近傍で温度上昇傾向が低いことがわかる．これは定義している比熱の温度依存性のためと思われる．また推定した破壊時温度に到達する時間は Case1 で 5.7 分，Case2 で 20.0 分であることがわかる．上弦材内部の実対流現象を想定すると破壊時温度への到達時間は Case1 と Case2 の間をとると思われるが，熱源および加熱面の設定については今後検討していきたい．



図–5 解析結果

5. まとめ

本研究より得られた知見を以下に示す.

(1) 中央部上弦材での全周の温度が 630 ℃ 程度になると破壊すると想定される．この温度における弾性係数は常温の 26%，降伏強度は常温の 40%に低下する.

(2) 最短約 6 分で中央部上弦材の温度が 630 ℃ に到達する.

謝辞：本研究の座屈解析においては大阪工業大学工学部都市デザイン工学科 深山航介氏と中西英士朗氏の協力を受けた．ここに記して両氏に深甚の謝意を表する.

参考文献

1) 大山, 今川, 栗田：火災による橋梁の損傷事例，橋梁と基礎，pp.35-39，2008.10.
2) 中井, 北田：新編 橋梁工学 (第 5 版) 改訂・改題，共立出版，2003.12.
3) CEN：Eurocode 3 - Design of steel structures Part 1.2：General rules - Structural fire design，prEN1993 -1-2.2003.4.
4) DIANA User's Manual Release 9.3，TNO DIANA b.v.
5) 竹原，今川，大山，栗田：初期不整を考慮した合成桁橋の火災に関するシミュレーション解析，第 64 回年次学術講演会概要集, 2009.9. CS2-007, pp.53-54, 2009.9.