

川田工業 (株)
Weidlinger Associates, Inc.

正 会 員 ○ 柳澤 則文
Marcus P. RUTNER

(株) フジエンジニアリング 正 会 員 今川 雄亮
大阪工業大学 正 会 員 大山 理
大阪工業大学 正 会 員 栗田 章光

1. はじめに

2009 年 7 月、アメリカ・ミシガン州・デトロイトの 9 マイル跨道橋直下で火災が発生し、本橋の 1 スパン分が落橋した。出火原因は、ガソリン 34kℓ と軽油 15kℓ を積載したタンクローリー車の横転炎上であった。本文は、4 つの落橋要因を想定し、それぞれの要因における落橋温度を特定した結果について報告する。

2. 9 マイル跨道橋の構造諸元

本跨道橋の一般図を図-1 に示す¹⁾。本橋はゲルバー構造であり、そのヒンジ部の構造は日本のものとは異なり、アイバーによる吊構造となっている。総幅員は 20.24m であり、10 本の鋼桁は 2.08m 間隔で配置され、厚さ 203mm の RC 床版を有する合成桁である。本解析に用いた鋼桁(支持桁部：W36-135、吊桁部：W36-160)、吊材(Link bar)、鉄筋(#6 Rebar)ならびに RC 床版の断面寸法と力学特性を表-1 に示す。なお、コンクリート、鉄筋の力学特性は一般的な数値を仮定した。

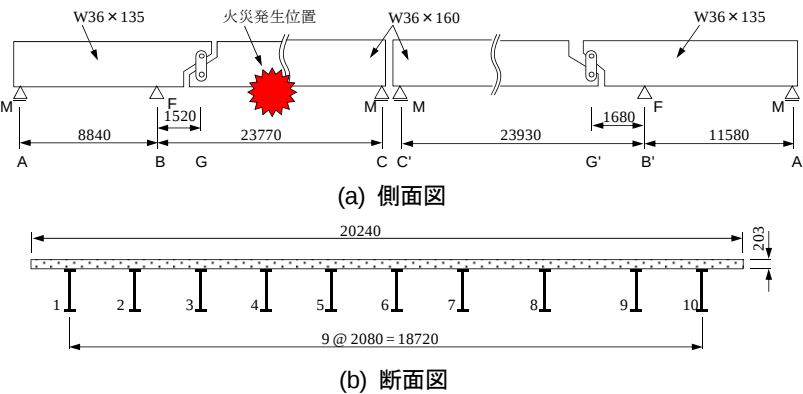


図-1 一般図 (寸法単位：mm)

3. 落橋要因の解析項目

3.1 鋼およびコンクリート強度の高温時特性

落橋要因を特定するための高温時における耐荷力は、図-2 に示す Eurocode²⁾に規定されている鋼およびコンクリートの強度低減係数を用いて算定する。

3.2 高温時における耐荷力の評価

対象橋梁が落橋した要因として、①ゲルバー桁吊材の引張破壊、②支持桁支点上のせん断破壊、③吊桁の正曲げ破壊、④支持桁支点上の負曲げ破壊の 4 つが考えられる。これらの落橋要因における各耐荷力の算定方法は、以下のとおりである。

① ゲルバー桁吊材の引張耐荷力(N_{pl}^{θ})

$$N_{pl}^{\theta} = \kappa_{y,\theta} \sigma_y A_k \quad (1)$$

ここに、 $\kappa_{y,\theta}$ ：鋼の強度低減係数、 σ_y ：鋼の降伏強度、 A_k ：吊材の断面積

② 支持桁支点上のせん断耐荷力(Q_{pl}^{θ})

せん断力は鋼桁ウェブで負担するものとし、次式により算定する。

$$Q_{pl}^{\theta} = \kappa_{y,\theta} \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} A_w \quad (2)$$

ここに、 A_w ：鋼桁ウェブの断面積

表-1 各材料の寸法と力学特性

鋼桁	
支持桁部 W36-135	吊桁部 W36-160
フランジ幅：303.4mm	フランジ幅：304.8mm
フランジ厚：20.2mm	フランジ厚：25.9mm
ウェブ厚：15.2mm	ウェブ厚：16.6mm
桁高：903.0mm	桁高：914.4mm
降伏強度：248N/mm ²	降伏強度：248N/mm ²
吊材 Link bar	鉄筋 #6 Rebar (≒D19)
板幅：190.5mm	断面積：285.2mm ² /本
板厚：19.1mm	降伏強度：300N/mm ²
降伏強度：248N/mm ²	
※ 桁1本あたり2枚使用	
床版	
正曲げ部 (GC間)	負曲げ部 (支点B上)
床版厚：203mm	床版厚：203mm
有効幅：2080mm	有効幅：912mm
圧縮強度：30N/mm ²	圧縮強度：30N/mm ²

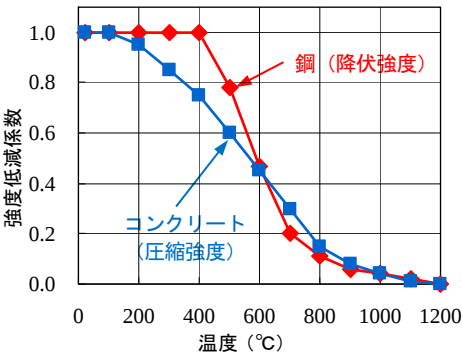


図-2 各材料の強度低減係数

③ 吊桁の正曲げ耐力($M_{pl}^{\theta+}$)

耐力は、RC 床版の加熱による温度上昇範囲(θ' °C)を下面から 50mm 程度とすること、鋼桁の温度上昇(θ °C)が断面全体にわたって均一であると仮定し算定する³⁾。図-3 に示すような各部材の温度分布と応力分布(塑性中立軸は RC 床版の常温部に存在する)を想定した場合、高温時の塑性中立軸の位置(x)および正曲げ耐力($M_{pl}^{\theta+}$)は、次式で示される。

$$x = \frac{\kappa_{y,\theta} \sigma_y A_s}{0.85 \sigma_{ck} b_e} \quad (3)$$

$$M_{pl}^{\theta+} = \kappa_{y,\theta} \sigma_y A_s d \quad (4)$$

ここに、 A_s ：鋼桁の断面積、 σ_{ck} ：コンクリートの圧縮強度、 b_e ：RC 床版の有効幅、 d ：偶力間の距離

④ 支持桁支点上の負曲げ耐力($M_{pl}^{\theta-}$)

負曲げ耐力は、引張域のコンクリートは無視し、高温時の鋼桁および橋軸方向鉄筋の強度低下を考慮して算出する。その際、上段鉄筋については加熱の影響を受けない(常温状態)こととし、下段鉄筋につ

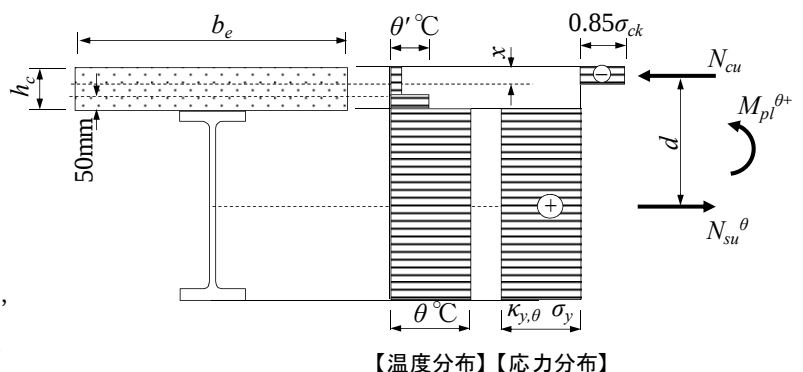


図-3 正曲げを受ける合成桁の温度分布と応力分布

いては Eurocode での評価方法を参考に、鋼桁上フランジの受熱温度の 40%の影響を受けるものとする。

以上のような落橋要因における耐力が、死荷重による作用力(火災時には活荷重は作用しないものとする)と同程度にまで低下する時の温度を落橋温度として、その温度に基づいて落橋の要因を特定する。

4. 解析結果

各落橋要因における常温時の耐力、死荷重による作用力、死荷重に対する常温時の安全率ならびに落橋温度を算定した結果を表-2 にまとめて示す。

同表より、吊材の引張破壊、支持桁支点上のせん断破壊、吊桁の正曲げ破壊および支持桁支点上の負曲げ破壊が生じる際の温度は、それぞれ、820°C、800°C、700°Cならびに 890°Cとなった。すなわち、スパン長 $l = 22.25\text{m}$ の吊桁部の正曲げ破壊温度が最も低く、9 マイル跨道橋は自重による曲げ破壊により落橋したものと推察される。

文献 3)より、一般的な合成桁に Eurocode の標準加熱曲線(ISO 曲線、最高温度 1050°C)を与えた場合、鋼桁全体の温度は約 30 分で 700°Cに達することが報告されている。さらに、タンクローリーの事故による火災温度は、一般に炭化水素曲線(HC 曲線、最高温度 1100°C)で表され、温度の上昇速度ならびに最高温度ともに ISO 曲線よりも厳しくなっている。したがって、今回の 9 マイル跨道橋では、前述の 30 分より早い段階で鋼桁が 700°Cに達して落橋に至ったものと推測される。

5. おわりに

火災による 9 マイル跨道橋の落橋要因として 4 つの破壊形態を想定し、設計図面ならびにいくつかの仮定に基づいて推定を行った。その結果、鋼桁が 700°Cに達した時点で、吊桁部の正曲げ破壊が他の全ての落橋要因に先行して生じることが明らかになった。このような立体交差部でのタンクローリーの火災事故は、わが国でも十分に想定されることから、火災事故の発生が懸念される橋梁には、下面に耐火工を施すなどの対策が必要と考えられる。

【参考文献】

- 1) Weidlinger Associates Inc. : The collapse of the Nine Mile Road Overpass, Nov./Dec. 2009.
- 2) CEN: Eurocode 4 - Design of composite steel and concrete structures Part 1.2: Structural fire design, 2003.5.
- 3) 今川ら：鋼・コンクリート単純合成桁橋の耐火性能評価に関する解析的研究，構造工学論文集 Vol.53A, 2007.4.

表-2 解析結果

	吊材の 引張破壊	支持桁支点上の せん断破壊	吊桁の 正曲げ破壊	支持桁支点上の 負曲げ破壊
常温時の耐力	1800kN	1878kN	4439kNm	2468kNm
死荷重による 作用力	183kN	207kN	1017kNm	296kNm
死荷重に対する 常温時の安全率	9.85	9.07	4.36	8.34
落橋温度	820°C	800°C	700°C	890°C
落橋温度時における 鋼の強度低減係数	0.10	0.11	0.20	0.07

※ 落橋温度の最小単位は10°Cとする。