アメリカ・9マイル跨道橋の火災による落橋要因の解析 ―曲げとせん断力の相関―

川田建設(株)	正会員 〇 柳澤 則文
Weidlinger Associates, Inc	. Marcus P. RUTNER

(株)フジエンジニアリンク	「 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タンクローリーの 横転によって火災が発生し,本橋の1スパン分が 落橋した.著者らは,図-1 に示すような本橋の 火災状況に対して,①ゲルバー桁の吊材の引張破 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いずれか を落橋要因と考え,これらの破壊が生じる際の鋼 桁温度(落橋温度)の算定を行った¹⁾.



図-1 9マイル跨道橋の概要 (寸法単位:mm)

しかし、本解析において、「支持桁支点上の負曲げ耐荷力」の算定では、支点上に作用するせん断力の影響を考慮 していないことから、支点上における負曲げによる落橋温度を適切に評価するためには、せん断力の影響を考慮し た負曲げ耐荷力の算定が必要となる.そこで、本文は、9 マイル跨道橋の火災による落橋要因の解析の追加検討と して、高温時の負曲げ耐荷力とせん断力との相関関係(M-Q 相関)を算定した結果について報告する.

2. 負曲げ部の M-Q 相関式の誘導

せん断力の影響を受ける負曲げ部の耐荷力は、せん断力をすべて鋼桁ウェブで負担するものとして算定する.こ こで、塑性中立軸が鋼桁ウェブ内に存在する場合の応力分布および算定式における記号を図-2に示す.なお、本解 析では、鋼桁温度は一様に上昇し、鋼桁温度が1000℃以下の場合、上下段鉄筋の強度低下は生じないものと仮定す る.また、高温下での鋼材の降伏強度の低下は、図-3に示すように、Eurocode²⁰の低減係数(*κ*_{νθ})を用いて評価する.

以上より,図-2の状態における塑性中立軸位置およびせん断力の影響を考慮した負曲げ耐荷力(*M=M_{pl,Q}^θ*)は,式-(1) および式-(2)で示される.なお,塑性中立軸位置が上フランジ内や下段鉄筋内に存在する場合においても同様に, 軸方向力のつり合い条件から負曲げ耐荷力を算定することができる.





Key word:火災,合成桁,M-Q相関,負曲げ耐荷力
連絡先 〒114-8505 東京都北区滝野川6丁目3番1号 AK ビル TEL: (03)3915-5321, FAX: (03)3918-3547

$$x = \frac{\alpha A_w + A_f^{\ l} - A_f^{\ u} - 2A_r \frac{\sigma_{ry}}{\sigma_y} \frac{1}{\kappa_{y,\theta}}}{2\alpha t_w} \quad \text{for } v \neq 0, \quad \alpha = \sqrt{1 - \frac{Q}{Q_{pl}^{\ \theta}}}$$

$$M = M_{pl,Q}^{\ \theta} = \sum_{i=1}^{3} T_{i} u_{i} + \sum_{i=1}^{2} C_{i} l_{i}$$

ここで,式-(1)中の $Q_{pl}^{\ \ heta}$ は,高温下における鋼桁ウェブの全塑性せ ん断力であり,式-(3)で示される.

$$Q_{p\ell}^{\ \theta} = \kappa_{y,\theta} \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} A_y$$

3. 高温下における M-Q 相関の数値計算

(1) 解析条件

高温時における M-Q 相関式を用いた数値計 算の対象断面は、図-1 における支持桁支点上 の断面であり、構成は表-1のとおりである.

(2) 解析結果

鋼桁の温度を800℃まで100℃ずつ上昇させ 降伏引 た場合の M-Q 相関の解析結果を図-4 に示す. なお、同図は、縦軸および横軸をそれぞれ常温時の全塑性モーメ

ントならびに全塑性せん断力で除し無次元化したものである.

図-4より、常温から400℃までの場合、鋼材の降伏強度の低下 は生じないため, *M*/*M*_{*pl*} は温度の影響を受けず同じ値となる. つ まり、 Q/Q_{pl} が 0.3 以下であれば M/M_{pl} の低下はほとんどないが、 0.8 を超えると急激に低下し Q/Q_{pl}=1のとき M/M_{pl}は 0.58 まで低 下する. 500℃の場合,鋼材の降伏強度の低減係数(K_v)は 0.78 で あり、 $Q/Q_{pl} = 0$ の場合でも M/M_{pl} は0.81まで低下する. さらに、 M/M_{pl} は Q/Q_{pl} が 0.6 を超えると大きく低下し, $Q/Q_{pl}^{\theta} = 1$ となると き, すなわち $Q/Q_{pl}=0.78$ となるときに最大で0.46まで低下する. 600℃以上の場合においても、負曲げ耐荷力の低下の傾向は同様 であり,各温度下での*M/M_n*の低下は**表-2**に示すようになる.

なお,9マイル跨道橋を対象とした死荷重による作用力と負曲 げ耐荷力が同等になる時の温度(落橋温度)は、せん断力の影響を 考慮しない場合 890℃であるが 1), せん断力の影響を考慮すると 800℃となった.

4. まとめ

本文では,高温時おいて鋼合成桁断面に負曲げとせん断力が同

時に作用する場合の負曲げ耐荷力と作用せん断力の相関関係を算定した。解析の結果、せん断力の影響を考慮した 負曲げ耐荷力は,高温時の全塑性せん断力に対する作用せん断力の割合が1に近づくほど急激な低下を示すことが 明らかとなった.したがって、火災時において曲げとせん断力が同時に作用する場合、本文に示した高温時の M-O 相関を考慮することで、適切な落橋温度を推定することが可能になるものと考えられる.

参考文献

1) 柳澤ら:アメリカ・9マイル跨道橋の火災による落橋要因の一解析,土木学会関西支部年次学術講演会 講演概要集,2013.6.

2) CEN: Eurocode 4 - Design of composite steel and concrete structures Part 1.2: Structural fire design, 2003.5.



表-1 対象断面の構成

鋼桁	RC床版	鉄筋	
W36-135	(支点B上)	#6 Rebar (≒D19)	
フランジ幅 : 303.4mm	床版厚 : 203mm	断面積 : 285.2mm ² /本	
フランジ厚 : 20.2mm	有効幅 : 912mm	降伏強度 : 300N/mm ²	
ウェブ厚 :15.2mm	圧縮強度 : 30N/mm ²	※RC床版の有効幅内に	
桁高 : 903.0mm		存在する鉄筋は、上・	
降伏強度 : 248N/mm ²		下段ともに5本ずつ	



表-2 M-Q相関における負曲げ耐荷力の低下

		M/M_{pl}	
解析ケース	$\kappa_{y,\theta}$	$Q/Q_{pl}=0$	$Q/Q_{pl}^{\ \theta} = 1$ $(Q/Q_{pl} = \kappa_{y,\theta})$
400℃以下	1.00	1.00	0.58
500°C	0.78	0.81	0.46
600°C	0.47	0.54	0.29
700°C	0.20	0.26	0.14
800°C	0.11	0.16	0.08