

火災後の腹板および下フランジの面外変形が鋼箱桁橋のねじり耐荷力に及ぼす影響

大阪工業大学大学院	学生員	○村川	友則
大阪工業大学大学院	学生員	高橋	佑介
ソフトエボリューション(株)	正会員	富田	耕司
大阪工業大学	正会員	今川	雄亮
大阪工業大学	正会員	大山	理

1. はじめに

火災後、鋼橋を構成する材料の強度低下が構造性能に及ぼす影響として、これまでに、鋼コンクリート合成 I 桁橋を対象に曲げ剛性、トラス橋を対象に伸び剛性に着目した実験および解析を行ってきた^{1), 2)}。しかし、近年の橋梁における火災事例を振り返ると、箱桁橋の桁下において、工事中の失火あるいは不審火などを要因とする事例も見受けられる。ねじり剛性の高い箱桁橋は長支間や曲線橋等に適用されるが、火災後、下フランジあるいは腹板が面外変形し、ねじり剛性が変化することが懸念される。本稿では、鋼箱桁橋を対象に、火災による熱影響として、鋼の強度低下、腹板および下フランジの面外変形量がねじり耐荷力に及ぼす影響を検討した結果について報告する。

2. 解析条件

対象橋梁は、道路橋示方書・同解説³⁾に基づいて設計された支間 48.0 + 51.0 + 48.0m の鋼 3 径間連続鋼床版箱桁橋(直線橋)である。解析は標準断面(図-1)を対象とし、横リブ間隔(2.0m)を部分モデルとして、腹板および下フランジの座屈および座屈後挙動に関する幾何学非線形を考慮した弾塑性有限要素解析を行った。解析プログラムは、ソースコード：NEi Nastran であり、鋼の応力-ひずみ関係には、移動硬化則のバイリニヤモデルを採用した。火災による熱影響により鋼の力学特性は変化するため(図-2)、加熱後における降伏強度および弾性係数の低減係数を常温時の各値に乘じることで、熱影響を考慮した鋼の応力-ひずみ関係を作成した(図-3)。

本解析では、腹板および下フランジ縦リブ間の面外変形量をパラメータとし、火災事例より面外変形は断面内側に凸と仮定する。腹板および下フランジの面外変形(w_{web} , w_{flg})は以下の式で与えた。

$$w_{web}(y, z) = \frac{h}{A} \sin \frac{\pi}{h} y \sin \frac{\pi}{a} z, \quad w_{flg}(x, z) = \frac{b}{A} \sin \frac{\pi}{b} x \sin \frac{\pi}{a} z \quad (1)$$

ここに、 h は腹板高さ、 a は横リブ間隔、 b は下フランジの縦リブ間隔である。面外変形の大きさは鋼箱桁橋の腹板高さおよび下フランジの縦リブ間隔の部材精度 1/150 を基準としており、このとき、 A の値は 150 となる。また、橋梁火災において、部材精度を上回ることが比較的多いため、それぞれ、基準値の 3 倍の面外変形($A=50$)が生じた場合についても検討する。部材の受熱温度は火災事例を参考に 700℃とし、本来、桁断面の温度分布も考慮するべきではあるが、本検討では、熱影響部が均一に熱されたと仮定する。

キーワード：火災、鋼箱桁橋、ねじり耐荷力

連絡先：〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮 5 丁目 16 番 1 号 TEL：(06)6954-4109, FAX：(06)6957-2131

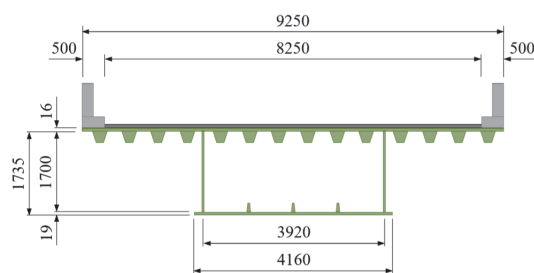


図-1 対象橋梁 (単位：mm)

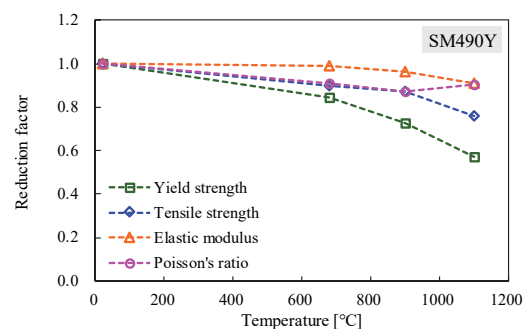


図-2 加熱後における鋼の力学特性の低減係数

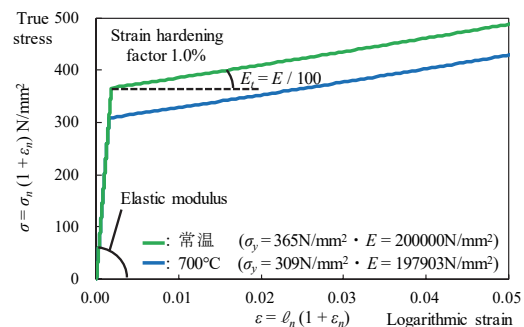


図-3 熱影響を考慮した鋼の応力-ひずみ関係

表-1 解析ケース (h : 腹板高さ, b : 下フランジの縦リブ間隔)

CASE	部材の損傷範囲 (熱影響部)	面外変形量					
		腹板		下フランジの縦リブ間			
		W_1	W_2	L_1	L_2	L_3	L_4
1	健全時	—	—	—	—	—	—
2	下フランジ全域	—	—	$\frac{b}{150}, \frac{b}{50}$			
3	腹板両側・下フランジ全域	$\frac{h}{150}$	$\frac{h}{50}$	$\frac{b}{150}, \frac{b}{50}$			

CASE1

CASE2

CASE3

解析ケースを表-1, 解析モデルおよび境界条件を図-4 にそれぞれ示す. 使用要素は4節点1次要素のシェル要素であり, 要素分割は橋軸方向に20分割, 高さ方向に17分割とした.

3. 解析結果

鋼箱桁断面が熱影響を受けた際のねじりモーメントとねじり角の関係を図-5 に示す. また, 腹板あるいは下フランジが降伏し, 断面として抵抗しなくなった点を同図に示す. 同図より, 部材精度とその3倍の面外変形量を与えた場合のねじり耐力が概ね同じ傾向を示していることから, 面外変形量がねじり耐力に及ぼす影響はないといえる. これより, ねじり耐力の変化は部材の損傷範囲および受熱温度に起因するものであり, せん断の影響を顕著に受ける腹板が熱影響を受けた場合に最も大きな低下が確認された.

設計活荷重相当のねじり角($\theta = 0.0008\text{rad}$)が生じる点および腹板, そして, 下フランジが降伏に達したねじり角($\theta = 0.006\text{rad}$)におけるCASE 1を基準とした際のねじりモーメントの変化率を図-6 に示す. 同図より, 鎮火後, 瞬時に通行可否を判定するに際し, 設計活荷重相当の状態において, 箱断面を構成する各部材は熱影響を受けた場合においても健全時から3%程度の低下であり, 熱影響によるねじりモーメントへの影響は僅少であるといえる. 一方, 下フランジも降伏に達した点では, ねじりモーメントが10%程度低下する結果となった.

4. まとめ

対象橋梁の横リブ間隔を対象として, 幾何学的非線形を考慮した弾塑性有限要素解析により, 腹板および下フランジの熱影響および面外変形量がねじり耐力に及ぼす影響の検討を行った. 実橋においては, 曲げ, せん断ならびにねじりが複合的に作用しているため, これらの断面力の組合せを検討する必要がある. また, 本検討ではねじりに対して余裕のある直線橋を対象としたが, 今後, 曲線橋や斜橋を対象に検討を行う予定である.

参考文献

- 1) 高橋佑介, 今川雄亮, 大山 理: 火災による熱履歴を受けた鋼コンクリート合成桁の力学特性, 第13回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム, 2019.
- 2) 大山 理, 宮地真一, 山本正寿, Geralt Siebert, 栗田章光: 火災による下路トラス橋の落橋温度の推定, 橋梁と基礎 Vol.46, No.11, 2012.
- 3) (公社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編, 2012.

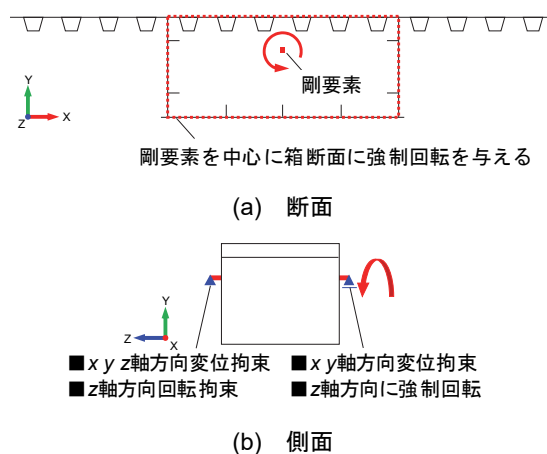


図-4 解析モデルおよび境界条件

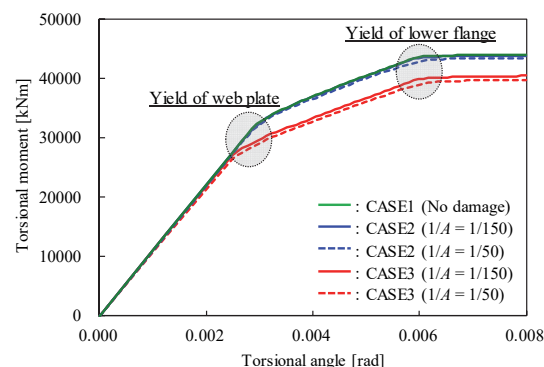


図-5 ねじりモーメントとねじり角の関係

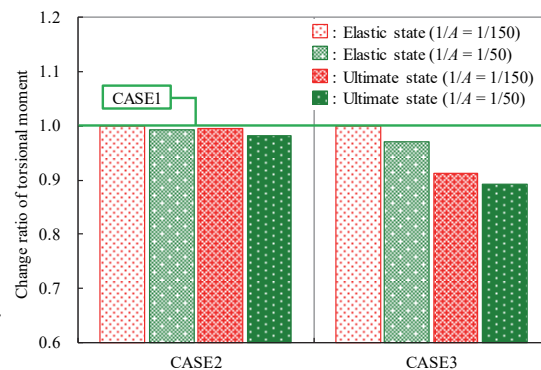


図-6 ねじりモーメントの変化率