

## 疲労き裂を有し曲げおよびせん断を受ける鋼桁の残存耐荷力に関する解析的研究

神戸大学大学院降格研究科 学生員 ○作田 彩花  
 神戸大学大学院工学研究科 正会員 橋本国太郎

## 1. 研究背景および目的

高度経済成長とともに交通ネットワークを支える橋梁建設数は急増した。さらに現在に至るまでに交通量の増大などにより疲労による橋梁の劣化が顕在化してきた。橋梁に関しては平成 30 年度に 99.9% の近接目視点検が終了した。その結果、全国の橋梁のうち、早期に措置を講ずべき状態および緊急に措置を講ずべき状態に属する全国の橋梁のうち 78% が修繕に着手である<sup>1)</sup>。一方で、人口減少による財政難もあり、構造物の維持管理を効率化の社会的要求は益々高まっている。本研究では、疲労き裂を有する鋼橋の安全性を効率的な健全性評価を目的として、疲労き裂を有する鋼桁の腹板を想定し、曲げせん断負荷(以下、組合せ負荷)を受ける鋼桁の残存耐荷力を解析的に検討する。

## 2. 解析モデル

FEM 解析には汎用有限要素解析コード ABAQUS を用い、解析モデルの概要は図 1 に示すとおりである。解析モデルのメッシュ分割は 20mm 間隔とし、使用材料は SM400 を想定し、材料特性は基準降伏点を 235N/mm<sup>2</sup>、引張強さを 400N/mm<sup>2</sup> とし、ヤング率は 200,000 N/mm<sup>2</sup>、ポアソン比 0.3 と設定した。応力-ひずみ関係は、図 2 に示すバイリニア型で与えた。初期不整として、図 3 に示す初期たわみ、および図 4 に示す矩形分布の残留応力を考慮している。

## 3. 解析ケース

き裂を有する桁の解析ケースを図 5 に示す。なお、本研究ではき裂の進展は考慮していない。解析ケースとして、き裂なしの健全な状態とき裂の長さによって case1~4 の合計 5 つのケースと、それぞれにおいて、純曲げ負荷およびせん断卓越負荷、そして組合せ負荷の曲げとせん断の割合を変えて解析を実施した。得られた解析結果は、曲げ耐荷力とせん断耐荷力の相関曲線として、式(1)に示す四乗則と比較する<sup>2)</sup>。

$$\left(\frac{M}{M_{ult}}\right)^4 + \left(\frac{V}{V_{ult}}\right)^4 = 1 \quad (1)$$

ここに、 $M_{ult}$  は最大曲げ耐荷力を示し、 $M$  は作用曲げモーメントを示す。また、 $V_{ult}$  は最大せん断耐荷力を示し、 $V$  は作用せん断耐荷力を示す。

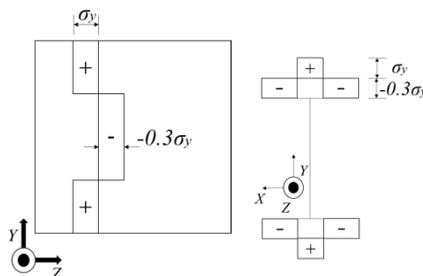


図 4 残留応力

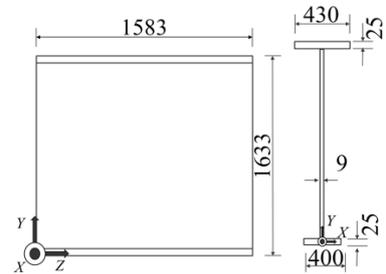


図 1 解析モデル

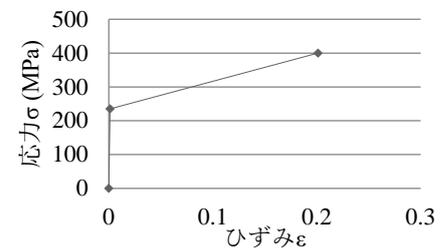


図 2 応力-ひずみ関係

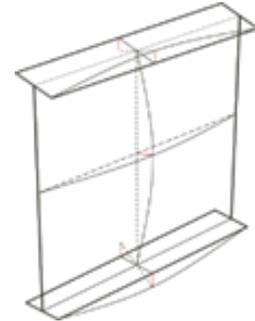


図 3 初期たわみ

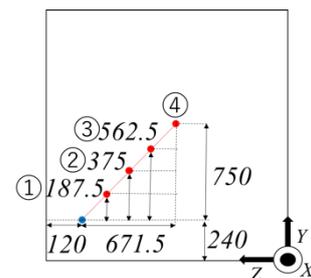


図 5 解析ケース

#### 4. 解析方法

解析方法は、曲げ载荷として、ウェブの中立軸に  $X$  軸回りの強制回転角を漸増させる変位増分法、およびせん断力载荷として、 $Z=0$  の中立軸に  $Y$  軸正の方向に強制変位を与えた。なお、運動力学的カップリング拘束を中立軸にて  $I$  形に拘束している。この载荷方法ではせん断力のみを载荷しても载荷スパン分の曲げが作用する。境界条件は、中立軸に  $X, Y, Z$  軸方向の境界条件  $X, Y, Z=0$ ,  $Z$  軸の回転の境界条件  $RZ=0$  を設定し、 $Z=0$  の中立軸に  $X, Y$  軸方向の境界条件  $X=0$  を設定した。

#### 5. 解析結果

健全状態における曲げモーメントと回転角の関係を図 6 に示す。健全の後の数字が曲げ：せん断の割合を示している。

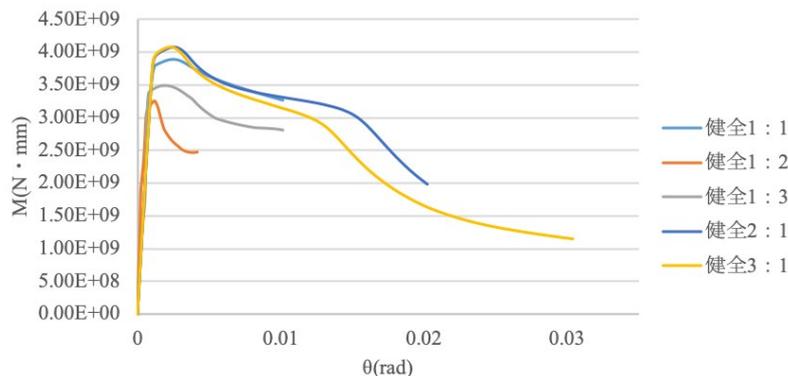


図 6 曲げモーメントー回転角の関係

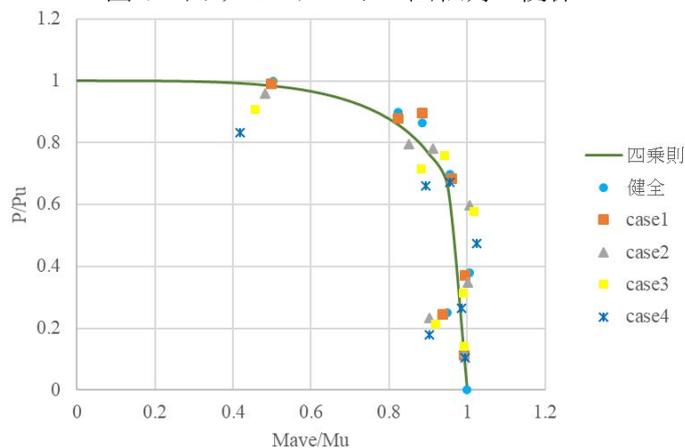


図 7 組合せ負荷の相関強度

健全状態における曲げモーメントと回転角の関係を図 6 に示す。健全の後の数字が曲げ：せん断の割合を示している。なお、この割合は、せん断载荷時に発生する曲げの影響は考慮していない。各ケースでの組合せ荷重の強度相関図を図 7 に示す。図の横軸の分母を健全時の純曲げの最大曲げモーメント  $M_u$  とし、縦軸の分母を健全時のせん断卓越の最大せん断荷重  $P_u$  としている。き裂長さが大きい、せん断卓越および曲げ卓越の場合に、四乗則の強度相関曲線よりも安全側になっていないケースが多くみられた。またせん断力の割合が大きい場合、曲げ耐荷力は下がっているが、曲げとせん断の割合に大きな差がない場合、き裂が長くなるほどせん断耐荷力が下がり、曲げ耐荷力は増加している。これはき裂長さがウェブの斜張力場まで影響を及ぼしたことによりせん断耐荷力は減少し、せん断耐荷力が小さくなることにより、フランジの曲げ耐荷力が優位に働いているためと考えられる。さらに、曲げの割合が大きい場合は、き裂が長くてもせん断耐荷力の減少幅は小さくなる結果となり、純曲げ負荷の場合は、き裂が生じることによって、鋼桁の中立軸の位置が変わり、若干せん断力が生じていることがわかる。

#### 6. 結論

せん断卓越および曲げ卓越の場合、き裂の長さが大きくなると、曲げ耐荷力が減少するとともに、せん断耐荷力も減少し、四乗則の強度相関曲線においてき裂の長さが大きいほどより非安全側になった。それ以外の割合で組合せ負荷をかけると、斜張力場に作用してせん断耐荷力は減少し、フランジによって曲げ耐荷力は増加した。また、曲げ負荷の割合が大きくなると、き裂長さに伴うせん断耐荷力の減少幅が小さくなった。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：橋梁などの平成 30 年度点検結果を取りまとめ、道路メンテナンス年報（一巡目）の公表、道路局 国道・技術課，2019.8.9
- 2) 土木学会鋼構造委員会座屈設計ガイドライン改訂小委員会：座屈設計ガイドライン改訂第 2 版，丸善，2005.10