

令和 3 年 6 月 5 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13819

研究課題名（和文）確率的解析を取り入れた道路橋の疲労耐久性評価法

研究課題名（英文）Fatigue Durability Evaluation of Steel Bridges Based on Probability Theory

研究代表者

清水 優（Shimizu, Masaru）

名古屋大学・工学研究科・助教

研究者番号：30735006

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：Uリブ溶接部を対象にした2次元の解析を行い、溶け込みや溶接サイズ等がルートの応力に与える影響を検討した。また、3次元の解析から載荷位置の影響を検討し、溶接ルート部に生じる応力の影響線を作成した。交通量実態調査の結果を基に車種構成、車両の通過位置を確率分布で与え、き裂発生年数を検討した。レーンマークの位置が疲労き裂の発生確率に与える影響が大きく、Uリブ溶接部直上を大型車のタイヤ中心の最頻通過位置とする場合に最も疲労寿命が短く、通過位置がUリブ溶接部から離れるほど疲労き裂の発生確率が小さくなることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鋼床版Uリブ溶接部から発生する疲労き裂に対して、確率的な手法で疲労寿命を与えることができた。また、本手法は鋼床版Uリブ溶接部のみに限らず、公称応力を定義することができない溶接継手や、二次応力が支配的となる溶接継手に対して適用できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Two-dimensional analyses were performed on the U-rib welded joint, and the effects of penetration and welding size on the root stress were investigated. In addition, the influence of the loading position was examined through the three-dimensional analysis. The influence line of the stress generated at the welding root was created. Based on the results of the traffic volume survey, the vehicle type composition and the passing position of the vehicle were given by the probability distribution, and crack occurrence probability was examined. The position of the lane mark has a large effect on the probability of crack occurrence. The fatigue life is the shortest when the loading position directly above the U-rib weld is the most frequent passage position. It was found that the probability of fatigue crack occurrence decreases as the passage position moves away from the U-rib weld.

研究分野：鋼構造

キーワード：鋼床版 Uリブ ルート 疲労

### 1. 研究開始当初の背景

我が国では高度経済成長期を契機に多くの土木構造物が建設され、現在では道路橋のストック数は70万橋を超えている。近年では、道路橋の老朽化に伴う事故が多発していることから、平成26年には道路橋の点検に関する要領(道路橋定期点検要領<sup>[1]</sup>)が發布され、全ての橋梁に対して5年に1度の点検を実施することが義務付けられた。一方で、点検を実施する技術者の不足が顕在化しており効率的な点検手法の確立が望まれている。

都市内の高架橋や跨道橋では、軽量化および長スパン化の観点から鋼床版形式の橋梁が採用されている。この鋼床版では、舗装の下のデッキプレートに非常に多くの疲労き裂が発生しており社会問題となっている。特にデッキプレート上面へと進展するき裂は、路面の陥没を引き起こすなど、道路利用者に直接被害を及ぼす危険性がある。

閉断面縦リブ構造を有する鋼床版では、図1に示すように、溶接ルート部から多くに疲労き裂が発生している。疲労損傷は交通荷重の蓄積によって生じる現象であるため、供用年数が経過するほどき裂の発生箇所数が増加することは明らかである。数多く存在する鋼床版を効率的かつ計画的に維持管理していく

ためには、場当たりの検査のみではなく、何年でどの程度の確率で疲労き裂が発生するのかを定量的に評価したうえで、適切な間隔で詳細検査を行うなどの方策が必要である。

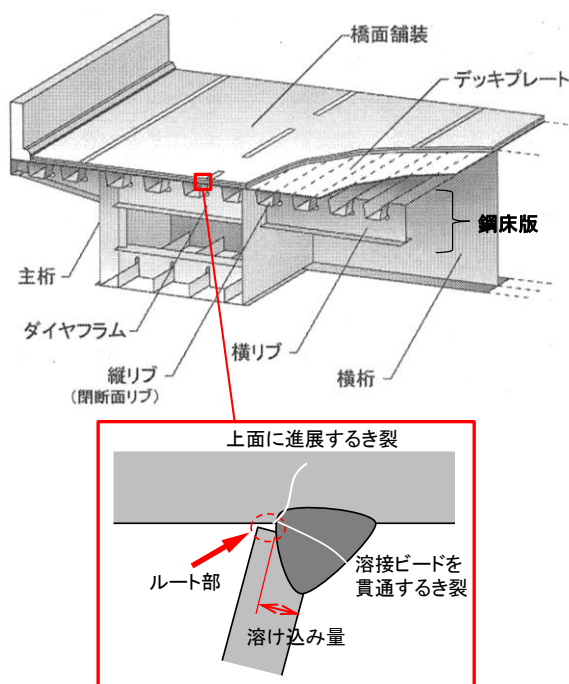


図-1 鋼床版に発生するき裂 <sup>[2]</sup>

### 2. 研究の目的

鋼床版の閉断面縦リブ溶接継手から発生するき裂には、溶接ルートを起点とし、溶接ビードを切断する方向に進展するき裂と、デッキプレートを貫通する方向に進展するき裂がある。これらのき裂は発生起点が同じであるにもかかわらず、通過する車両の走行位置、溶接の溶け込み量、溶接ルート部の形状のわずかな違いにき裂の発生寿命や進展経路、進展速度といった進展性状が異なる。このように、車両の走行位置、溶け込み量、溶接ルート形状はいずれもき裂の発生寿命や進展性状に対して極めて敏感な情報であるが、一方でばらつきが大きい情報であるため、実構造物を対象とする場合に確定値として与えることが難しい。

これまでに、走行位置、溶け込み量、溶接ルート形状を仮定することで、き裂の発生寿命や進展性状を明らかにした研究が数多く行われている。また、走行位置のばらつきを考慮するため、応力の実測調査結果に基づいて疲労耐久性を評価した研究もある<sup>[3]</sup>。一方、溶け込み量や溶接ルート部の形状のばらつきを考慮したうえで疲労耐久性を評価した研究は見られない。本研究では、車両の重量や走行位置といった『作用値』のばらつきのみでなく、溶け込み量や溶接ルートの形状に起因する『抵抗値』のばらつきも扱うことで、閉断面縦リブ溶接継手の疲労耐久性を確率的に評価することを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 部材寸法、溶接形状に関する感度解析

溶接部の寸法がルートの応力に影響を与えることから、感度解析を行った。FEMにより溶接部の形状が異なる2次元の解析モデルを作成し、脚長や溶け込み、ルート部の初期開口量、ルート角部の曲率半径がルート部の応力に与える影響を検討した。解析モデルを図2に示す。デッキプレート側のルート角部の応力が卓越する載荷方法と、Uリブ側のルート角部の応力が卓越する載荷方法の2通りを行った。溶接部はデッキプレート側とUリブ側の溶接止端を直線で結んだ形状とし、余盛は再現していない。デッキプレートの寸法は12mmと14mm、Uリブの板厚は6mmと8mmとした。溶接サイズおよび溶け込み深さを変化させることで、のど厚を3.0mm~10.2mmの間で変化させた。

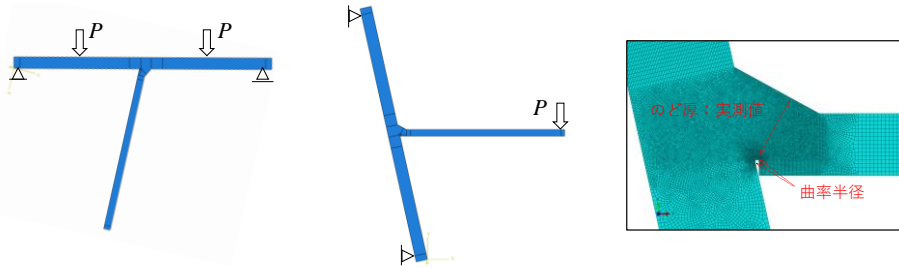


図2 溶接形状の感度解析に用いた解析モデル

(2) 鋼床版におけるルート部の応力の影響線

FEMにより3次元の鋼床版の解析モデルを作成し、橋軸直角方向に荷重位置を変化させた場合のルート部の応力の影響線を構築した。図3に解析モデルを示す。長手方向は3000mm、橋軸直角方向は2840mmとし、Uリブ4本分をモデル化した。また、解析モデル中央部のUリブ溶接線のルート部に着目することとし、中央部分に対してAbaqusに搭載されているサブモデリングを用いた詳細な解析を行い、ルート部の応力を算出した。荷重は輪荷重を想定し、幅が500mm、長さが200mmの荷重面積に等分布荷重1N/mm<sup>2</sup>を作用させた。荷重位置は溶接線の直上から左右に変化させた。

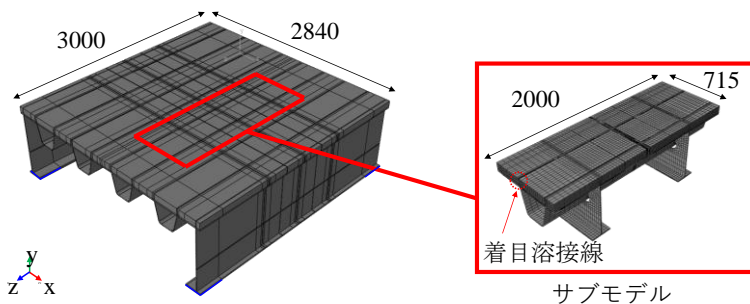


図3 鋼床版モデル (単位: mm)

(3) 確率分布を考慮した疲労耐久性の検討

上記(1)(2)の解析から、溶接部の寸法と荷重位置がルート部に与える影響について構築できた。背景で述べたように、実際の橋梁ではこれらは確定値として与えられず、確率的なパラメータとなる。また、これに加えて実際の橋梁では車種の割合や軸重も確率的なパラメータとなる。そこで、本研究では過去の交通量実態調査の結果を参考に、図4に示すように車種構成と各車種における軸重の確率分布を決定した。荷重位置については、まずレーンマークの中央線を仮定し、そこから左右に正規分布となるように車両が通過すると仮定した(図5)。レーンマークの中央線の位置は数パターン検討した。正規分布の標準偏差については実橋において計測された結果を参考にした。車種ごとに左右の車輪の間隔が異なるため、対象とする溶接線と輪荷重の相対的な位置関係は車種ごとに異なる。溶接寸法については、製作会社や製作時期によって確率分布の傾向が異なる。本研究では現在の基準とされているリブ厚の75%の溶け込み量を平均とした対数正規分布で仮定した。疲労容量 ( $C = \Delta \sigma_m \cdot N$ ) についても確率分布を与えることが望ましいが、本研究ではヒストグラムを得るだけの十分な実験データを得られなかったため、実験結果の平均値として  $1.422 \times 10^{15} \text{ N}^3/\text{mm}^3 \cdot \text{cycle}$  を確定値として与えた。

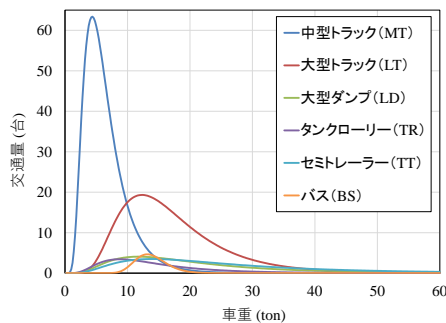


図4 計算に用いた車種ごとの車重とその台数

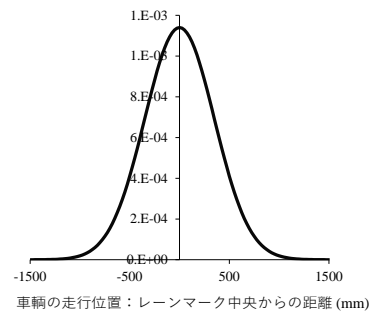


図5 走行位置の確率密度関数

以上の仮定を用いて、ADTTが異なる数ケースの数値計算を行い、疲労寿命の評価を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) 部材寸法、溶接部の各寸法がルート部の応力に与える影響

デッキプレート寸法および U リブ寸法とルート部の応力集中係数の関係を図 6 に示す。どの厚と、ルート部の曲率半径は同じ値を用いた。デッキプレート側のルート角部（青線）では、デッキプレートの板厚が増加すると応力集中係数が低減し、U リブの板厚が増加すると応力集中係数が増加する。U リブ側のルート角部（赤線）では、デッキプレート、U リブのどちらの板厚が増加しても応力集中係数が増加している。溶接部ののど厚の影響を図 7 に示す。デッキプレート側、U リブ側ともにルート角部の応力集中係数に対するのど厚の影響は小さいことが分かる。ルート角部の曲率半径の影響を図 8 に示す。応力集中係数はルート角部の曲率半径の累乗と高い相関がある。

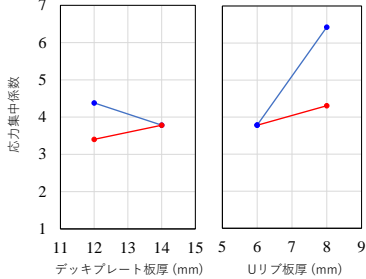


図 9 部材の板厚の影響

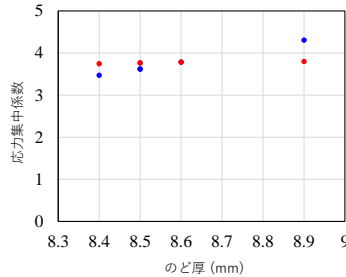


図 10 のど厚の影響

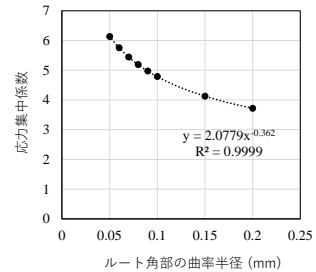


図 11 曲率半径の影響

##### (2) 疲労破壊発生確率

3章で示した仮定から得られた疲労破壊の確率密度を図 1 2 に示す。ルート部の疲労容量が  $1.422 \times 10^{15} \text{ N}^3/\text{mm}^3 \cdot \text{cycle}$  を上回ったときの繰返し回数から供用日数を算出している。大型車混入率によってピークとなる供用日数が異なっていることが確認できる。破壊確率と供用日数の関係を図 1 3 および図 1 4 に示す。図 1 3 では大型車混入率、図 1 4 では平均的な走行位置（レーンマーク位置）の違いを示している。図 1 4 より、レーンマークの位置によって破壊確率が大きく異なることが確認できた。

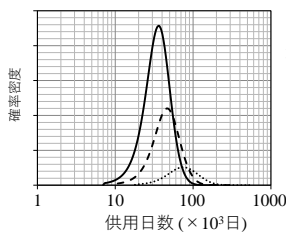


図 1 2 破壊確率密度

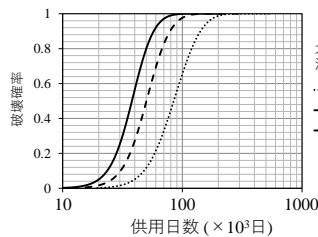


図 1 3 破壊確率  
(大型車混入率の影響)

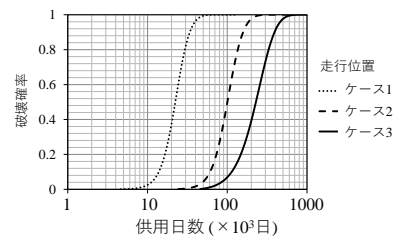


図 1 4 破壊確率  
(走行位置の影響)

#### <引用文献>

- [1] 国土交通省道路局：橋梁定期点検要領，国土交通省道路局，2014.
- [2] 土木学会鋼構造委員会：鋼構造シリーズ 19 鋼床版の疲労[2010年改訂版]，丸善，2010.
- [3] 例えば，井口，内田，平山，川畑：鋼床版のデッキと U リブ溶接部の疲労評価法に関する検討，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol. 67, No. 3, pp. 464-476, 2011.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------