

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02223

研究課題名（和文）道路橋RCおよびPC床版の荷重推定と寿命予測法の開発

研究課題名（英文）Development of load estimation and life time prediction method for highway bridge deck RC and PC slabs

研究代表者

佐藤 靖彦（Sato, Yasuhiko）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：60261327

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 9,900,000円

研究成果の概要（和文）：交換部材である道路橋床版を対象とし、設計・維持管理体系の連続化の根幹を支える、荷重と性能の評価技術を開発した。具体的には、国内の車両を対象としたAIによるトラック荷重推定法の開発、せん断耐力低下線を用いたRC、PC、接合部の疲労寿命予測法、一眼レフカメラと後処理解析ソフトを用いた床版の面内方向変位の計測法とその変形量に基づく床版の損傷度評価法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、コンクリート構造物の中で最も過酷な状況に置かれている道路橋床版の長寿命化という目標の達成を、超耐久材料の開発でも高度な点検技術の開発でもなく、設計と維持管理の壁を無くしたシームレスな照査により可能とする点にある。

本研究の社会的意義は、実務への導入が可能なレベルまで各種技術を作り込むものであり、これからのコンクリート構造物の設計、施工、維持管理の在り方を大きく変える可能性がある点にある。

研究成果の概要（英文）：Load and performance evaluation techniques have been developed for road bridge slabs, which are replacement members in bridge system. The techniques developed contribute to create seamless system from design to maintenance. In this study, AI-based truck load prediction method for domestic vehicles, fatigue life prediction method for RC, PC and joints based on a life prediction formula for the compression-fatigue failure mode using a shear strength reduction line, a method for measuring in-plane displacement of the deck slab using an SLR camera and post-processing analysis software, and a method for evaluating the degree of damage based on the in-plane deformation.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：コンクリート床版 疲労 寿命 性能

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ライフサイクルコストといった指標により、コンクリート構造物の建設時の高品質化や対策を施すことによる長寿命化のメリットを主張しようとするがその説得力が未だに弱い。その理由は、設計時点において構造物のシナリオを定量的に描ける具体的な手法が存在しないからである。

コンクリート構造物の長寿命化を実現するためには、現在は完全に分離している設計と維持管理を一体化し、性能照査を連続的に扱えるようにする必要がある。連続化した設計・維持管理体系においては、構造物をどのように造りどのように使い終わるかのシナリオを立てて実行するライフタイムデザインが可能となる。そのシナリオを描くためには、構造物を非交換部材と交換部材に分けてシステムとしての最適化を図るという考えが必要である。この考え方を具現化するためには、真の外力と構造物の構造性能の時間に対する変化を知らなければならない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、交換部材である道路橋床版を対象とし、設計・維持管理体系の連続化の根幹を支える、荷重と性能の評価技術を開発することである。具体的には、画像認識を用いた推定法により個々の橋梁に対してトラック荷重の設定を可能とする方法、ならびに、実際の損傷機構に基づき RC、PC、接合部の残存耐力と余寿命を予測できる方法を開発する。

3. 研究の方法

損傷した床版は、はり状化された部材が配力筋により連結されている構造とモデル化することができ、この場合、はり状化した RC 床版、PC 床版、接合部の疲労寿命は、大きな荷重（静的荷重の 80%程度以上）に対しては鉄筋の破断による破壊に支配され、中程度の荷重（静的耐力の 80 から 40%程度）ではせん断破壊に支配され、小さな荷重（静的耐力の 40%程度以下）では、コンクリート圧縮域の曲げ圧縮破壊により支配される。3つの破壊形式に対する寿命予測式が用意されるならば、調査時点での残存耐力と余寿命は、実際に作用する荷重を与えることで求めることができる。

本研究目的を達成するために必要な研究項目は、「疲労荷重下でのせん断耐力低下線の導出」、「圧縮疲労破壊モードの寿命予測式の構築」、「深層学習に基づくトラック荷重推定法の開発」の3つである。この3つの成果を既存の成果と結びつけることで研究目的を達成する。

4. 研究成果

本研究により得られた成果を以下に整理する。

(1)一眼レフカメラと後処理解析ソフトを用いた床版の面内方向変位の計測法を確立した。実際の橋梁においてサンプリングモアレ法を用いた計測を行い、床版の局所的な面内変位の可視化・定量化手法を見出した。さらに、その手法による評価結果と従来の損傷度評価の指標である床版ひび割れとの相関を明らかにした。

(2)新たに考案した十字型RC試験体を用いた疲労試験は、二軸応力場の疲労性状を把握することができる試験方法であることを明らかにした。疲労荷重下での損傷過程は、斜めひび割れが圧縮域に進展することによる水平ひび割れの形成、水平ひび割れ上部のコンクリート圧縮域で圧縮疲労破壊の発生、斜めひび割れ面で押し抜かれることによる疲労破壊、に分けて考えることができる。すなわち、実際の床版で観察されている破壊形式に類似した損傷を再現することができた。さらに、本実験で得られた二軸圧縮疲労強度の考察を通じて、Hsuらの提案する二軸圧縮疲労強度式と大きく異なること、Hsuらの実験では応力を正しく評価できていない可能性があること、最大応力が小さな範囲の二軸応力下のコンクリートの疲労寿命は、一軸の疲労寿命より短くなる可能性があることを明らかにした。

(3)床版のはり状化部材を想定して実施したせん断補強筋を持たないはりの疲労試験結果から、せん断圧縮破壊の疲労損傷を表す指標として圧縮部コンクリートの応力が適切であることを示した上で、はりの平均せん断剛性に基づき、繰返し載荷を受ける床版のはり状化部材に適用可能な残存せん断耐力低下モデルを提案した。

(4)輪荷重走行試験で観察されるせん断圧縮破壊形式に対して、土木学会の棒部材のせん断耐力式に基づく形で構築したせん断耐力式とS-N曲線式からなる疲労寿命評価法を提案した。提案式では新たに配力筋、コンクリート圧縮強度、支持条件、環境条件の影響を考慮する項を導入した。既往の評価式との比較から、多くのデータに対して、パラメータに対する偏りなく評価可能な手法であることを確認した。

(5)先行荷重による疲労損傷を残存せん断耐力の低下として考慮することで、階段状漸増載荷試験の疲労寿命評価法を提案した。提案手法を用いて、RCおよびPC床版の階段状漸増載荷試験の過去の実験データの評価を行い、その適用性を確認した。その際、提案する疲労寿命予測式にPC床版のプレストレス量を考慮することで、PC床版の輪荷重走行試験の定量的な疲労寿命評価を可能とした。

(6)異なる荷重履歴を受けるRC床版の疲労寿命の試算を行い、先行荷重の大小により次の荷重に

おける残存せん断耐力が異なるため、荷重の大きさだけでなく順序によって疲労寿命が変化することを確認した。

(7)国内のトラックに適用できるAIによるトラック荷重分布の推定方法を開発した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 竹田京子, 佐藤靖彦	4. 巻 78
2. 論文標題 せん断補強筋のない鉄筋コンクリートはりのせん断疲労破壊機構の実験的解明	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集E2	6. 最初と最後の頁 30-45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejmcs.78.1_30	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 竹田京子, 佐藤靖彦	4. 巻 66A
2. 論文標題 繰返し移動荷重を受けるプレキャストPC接合部の疲労寿命の定量評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 構造工学論文集A	6. 最初と最後の頁 774-782
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/structcivil.66A.774	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 竹田京子, 佐藤靖彦	4. 巻 42
2. 論文標題 荷重履歴に着目したせん断補強筋を持たないIRCはりの変形性状に関する検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 565-570
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 竹田京子
2. 発表標題 プレキャストPC床版接合部の継手鉄筋が接合部材の力学特性に及ぼす効果に関する解析評価
3. 学会等名 令和2年度土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 輿水良亮
2. 発表標題 深層学習を用いた画像処理による軸重推定手法の開発
3. 学会等名 令和2年度土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴沼健
2. 発表標題 繰返し荷重を受けるRCはりの剛性および残存せん断耐力低下に関する実験的検討
3. 学会等名 令和2年度土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松谷篤
2. 発表標題 疲労荷重履歴がRC梁の剛性変化に及ぼす影響に関する実験的考察
3. 学会等名 令和2年度土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2020年

〔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
研究分担者	高橋 良輔 (Takahashi Ryosuke) (10371783)	秋田大学・理工学研究科・准教授 (11401)	

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
---------	---------