

令和 2 年 7 月 9 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06540

研究課題名（和文）道路橋RC床版における水の侵入に起因した耐疲労性の低下を抑制する床版断面の提案

研究課題名（英文）A proposal of Cross-section on highway bridge deck to control decreased fatigue resistance due to water penetration

研究代表者

子田 康弘 (KODA, Yasuhiro)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号：40328696

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：道路橋の老朽化問題の多くは、RC床版の劣化問題と言える。これは、RC床版を構成する材料の劣化が構造性能の低下を直接的に招くことにある。この材料劣化は、床版への水の侵入が誘因になって起こり、この種の劣化が耐疲労性の低下に大きく影響している。しかし、何らかの原因で床版へ水が侵入した場合もその対策が施されたRC床版の断面諸元は、検討されてはいない。本研究では、定点疲労載荷試験を実施することで、水が侵入した場合でも耐疲労性の低下が抑制されるRC床版断面の提案を行った。その結果、複鉄筋断面よりも単鉄筋断面において耐疲労性の向上が確認された。また、グリッドと短繊維補強を施すことで耐疲労性がさらに向上した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

既往の材料劣化したRC床版の耐疲労性に関する研究は、従来のRC床版断面に対して耐疲労性低下の機構説明や種々の劣化対策の検討が主にされる。本研究は、RC床版断面の構成にもこの種の検討の余地があることを指摘したこと自体に意義がある。また、研究成果は、荷重作用よりも環境作用の影響が大きい場合のRC床版断面設計に選択肢の幅を与える。環境作用に対して道路橋RC床版は、二重三重の対策を講じ、耐疲労性の低下に対して冗長性を持たせることが肝要であり、例えば積雪寒冷地域仕様の設計や今後の合理的な維持管理法の構築に寄与すると考える。

研究成果の概要（英文）：The more dilapidation problems of road bridge has been deterioration problem of RC bridge decks. It is for this reason that the materials of RC bridge deck has deteriorated to decrease a structural performance directly. These material deterioration, for example chloride attack, occur that the water penetration is occasioned into RC bridge decks. This kind of deteriorations has greatly affected to fatigue resistance decreasing. However, in case of water penetration from any cause, The cross-sectional specifications of RC bridge deck which these countermeasures conducted has not be studied. This experimental study has proposed the control decreased fatigue resistance due to water penetration by conduct fixed-point fatigue test. As the results, fatigue resistance was improved double reinforced cross section than single reinforced cross section. Moreover, fatigue reinforced more improved by carbon fiber grid reinforcement and short fiber reinforcement.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：鉄筋コンクリート床版 砂利化 耐疲労性 長寿命化 道路橋

様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、我が国における既存道路橋の老朽化問題が顕在化している。その多くが鉄筋コンクリート(以下、RC)系床版の劣化問題であり、施工に起因する初期欠陥や水の侵入、凍結防止剤の散布、または凍結融解などによって、単一劣化が生じることの方がむしろ稀で、複合劣化の様相を呈する場合が殆どである。実際、複合劣化により、床版の取り替えを余儀なくされた橋梁は少なくはなく、維持更新にかかる経費の大半が橋梁床版に費やされる現実にある。すなわち、高耐久なRC床版を具現化し実装することは、コンクリート系構造物の老朽化問題の解決に大きく近づくものと考えられる。

この種の劣化問題の誘因は、疲労という荷重作用と環境作用に大別される。このうち環境作用は、凍害と塩害など複合劣化が多い。材料劣化は、水の存在とその侵入が必要条件である。現行の水対策は、排水工と防水工が担っている。しかし、排水の不具合によって橋面に水が溜まる状況や防水工の損傷は、上面から水が侵入する状態となる。まず、溜水状態の疲労は砂利化を起こすが、水溜まりは床版上面の施工精度と関係する。これに対して、侵入した水は、塩害、凍害、ASRを誘発し、砂利化と同様にRC床版の耐疲労性を急激に低下させる。最終的には、上側鉄筋に沿った水平ひび割れの発生により構造性能は消失し終局状態になる。著者らは、RC床版における各種材料劣化と耐疲労性の解明を行っている。研究成果より、1)砂利化は上側かぶり部に顕在化する、2)塩害は上側鉄筋の腐食が耐疲労性に影響する、3)凍害は上側かぶり部が大きく損傷する、とRC床版断面上(圧縮側)の劣化が耐疲労性の低下に影響することを示した。本研究課題の着想は、「上側(圧縮側)配筋は、水平ひび割れを誘発する可能性があり、環境作用の面から耐疲労性に対して負の効果の方が大きいのでは?」という疑問から始まった。一部の橋梁設計者も上側(圧縮側)配筋をしない設計も有効と指摘している。著者らは、RC床版の耐久性確保のため、使用材料や配合を工夫した多重防護という構想を具現化し、これを実装した。しかし、高耐久なRC床版を合理的に進化させるには、材料、配合に加え、さらに本来、RC床版断面に必要な性能は何かを検討することも重要と考えられる。この具体化には、RC床版断面を複数案用意しRC床版の疲労試験によって耐疲労性を評価することが必要になる。

2. 研究の目的

本研究課題では、上側鉄筋を境界として上縁までの間に発生する材料劣化が耐疲労性の低下を誘発するという考えに基づき、図-1のRC床版断面を考案した。具体的には、1)I型は上側鉄筋を配筋せず上側の腐食ひび割れを排除する、2)II型はI型に短繊維コンクリートを使用しひび割れの進展抑制をする、3)III型はI型に炭素繊維グリッドを縦配置し水平ひび割れやせん断ひび割れの補強をする、4)IV型はII型とIII型を合わせる、という4条件である。そして、定点による疲労試験を実施し、従来断面と構造性能に遜色はなく、かつ耐疲労性の低下を抑制するというRC床版断面を提案するものである。

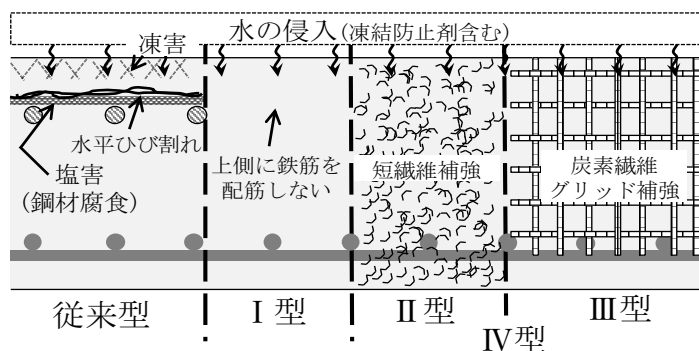


図-1 考案断面の概要

表-1 実験条件

供試体ID	断面型	単鉄筋	複鉄筋	グリッド	短繊維	静的試験	疲労試験
D-N-N-S	従来		○			○	
S-N-N-S	I	○				○	
D-G-N-S	III		○	○		○	
S-G-N-S	III	○		○		○	
D-N-N-F	従来		○				○
S-N-N-F	I	○					○
D-G-N-F	III		○	○			○
S-G-N-F	III	○		○			○
S-N-Pv-F	II	○			○		○
S-G-Pv-F	IV	○		○	○		○

### 3. 研究の方法

まず、図-1 の本研究で考案した RC 断面の断面構成について述べる。図より、I型は上側鉄筋を配筋しない断面、II型は短繊維補強を施した断面、III型は炭素繊維グリッド(以下、グリッド)を縦配置し、せん断補強を施した断面、IV型はI型、II型、III型を合わせた断面である。表-1 に、実験条件を示す。表より、配筋を単鉄筋(S)と複鉄筋(D)の2条件、グリッドの有無(G と N)と短繊維の有無(Pv と N)のそれぞれ2条件、および荷重試験を静的荷重(S)と疲労荷重(F)とする2条件を組み合わせた合計 10 条件とした。

コンクリートは水セメント比 68% であり、材齢 28 日の圧縮強度が 28.7MPa であった。図-2 に供試体の寸法、図-3 に供試体の配筋とグリッドの設置状況を示す。

疲労試験に際しては、静的最大荷重の 60% を疲労荷重試験における上限荷重とし、荷重を 1Hz の正弦波として与えた。また、全ての荷重試験において湛水状態とした。測定項目は、静的試験が最大荷重と中央たわみ、疲労試験では荷重回数と中央たわみとした。また、荷重試験終了後は、供試体下面に発生したひび割れと供試体切断面のひび割れを測定した。

### 4. 研究成果

図-4 に、静的荷重試験の結果として荷重荷重と中央変位の関係を示す。図より、最大荷重は S-N-N-S が 103.0kN、D-N-N-S が 109.8kN であった。さらに、グリッド補強を施した S-G-N-S が 110.4kN、D-G-N-S が 111.3kN と押抜きせん断耐力は複鉄筋の方がわずかに大きい結果となったが両者には大きな差は認められず同程度の最大荷重と判断された。図-5 に、疲労荷重試験の結果として中央たわみと荷重回数の関係を示す。図より、疲労破壊回数は、従来型断面の S-N-N-F が 25500 回、D-N-N-F が 15900 回と単鉄筋断面の疲労破壊回数が複鉄筋断面の約 1.6 倍と、耐疲労性の向上が確認された。また、従来型断面にグリッド補強を施した S-G-N-F が 40650 回、D-G-N-F が 25780 回と両断面ともに従来型

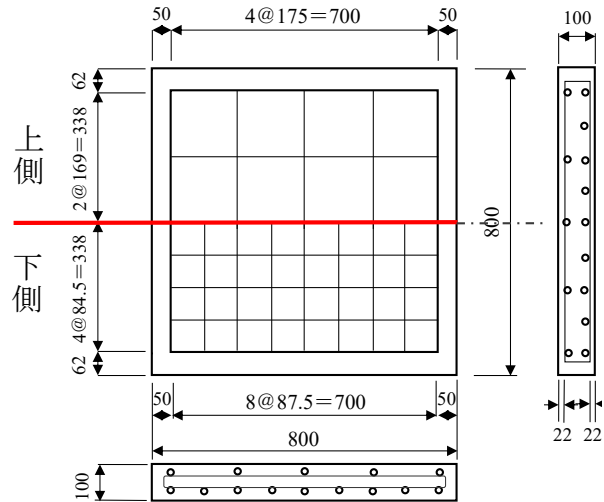


図-2 供試体の寸法



図-3 供試体の配筋とグリッドの設置状況

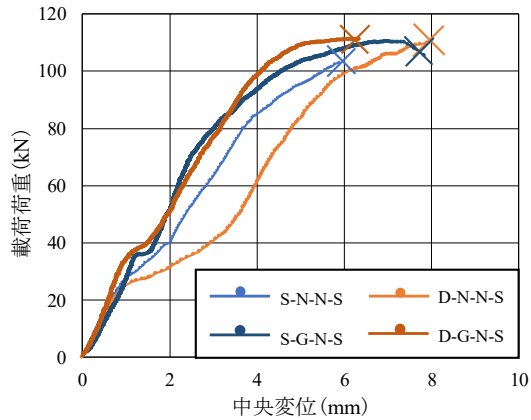


図-4 荷重荷重と中央変位

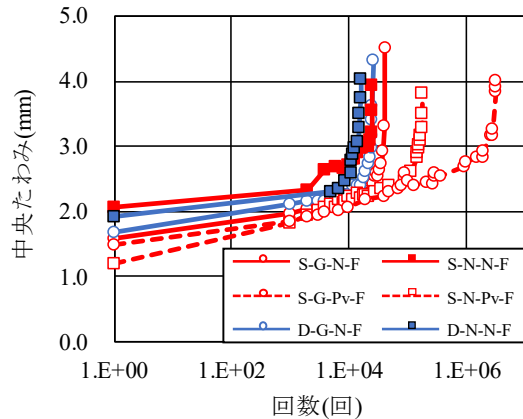


図-5 中央たわみと荷重回数

断面の約 1.6 倍となった。さらに、短繊維補強を施した S-N-Pv-F が 18 万回と従来型断面の約 7 倍、グリッドと短繊維補強を組み合わせた S-G-Pv-F が 319 万回と従来型断面の約 125 倍となり、湛水状態において飛躍的な耐疲労性の向上を得た。以上の疲労試験の結果より、複鉄筋断面に比べ単鉄筋断面において耐疲労性の向上が確認されるとともに、グリッドと短繊維を組み合わせることで更なる耐疲労性の向上が認められた。図-6 に、断面ひび割れの観察結果を示す。図より、斜めひび割れの発生と面外方向への押抜きが観察された。これに対し、短繊維補強を施した S-N-Pv-F、S-G-Pv-F の断面においてはひび割れの進展お

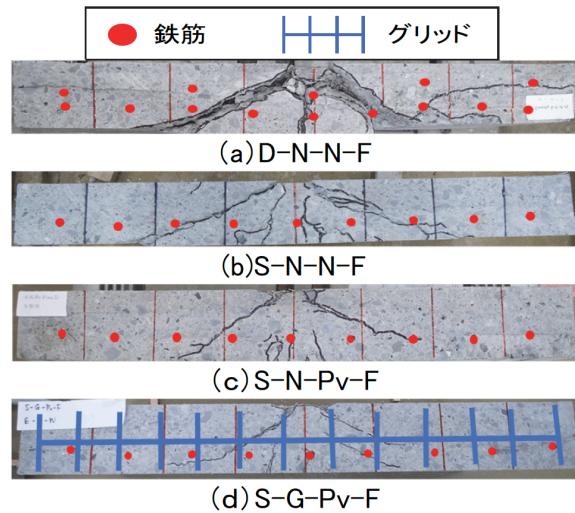


図-6 供試体の断面ひび割れ状況

よびひび割れ幅の抑制が確認された。これは、斜めひび割れ部において短繊維による架橋効果が発揮されたためと考えられた。よって、グリッドと短繊維の相乗効果により脆性的な押抜きせん断破壊を防ぎつつ、ひび割れへの水の浸入を抑制したことが耐疲労性を向上させた要因と考えられた。また、S-N-N-F は、斜めひび割れの角度が約  $30^\circ$  であったが D-N-N-F は約  $45^\circ$  と角度が大きくなった。複鉄筋では、斜めひび割れが床版中央の上側鉄筋から近い下側鉄筋を結ぶように進展していた。すなわち、上側鉄筋が斜めひび割れを誘発し、下側鉄筋と短絡するようなひび割れを形成したことで、せん断抵抗領域が単鉄筋断面よりも減少し、結果的に複鉄筋断面の耐疲労性が劣る原因になった可能性が考えられた。

本研究より、複鉄筋断面よりも単鉄筋断面において耐疲労性の向上が確認された。また、グリッドと短繊維補強を施すことで耐疲労性がさらに向上した。すなわち、湛水状態における版部材の耐疲労性は、単鉄筋断面とし短繊維によるひび割れ進展抑制と炭素繊維グリッドによるせん断補強によって飛躍的に向上することが判明した。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 子田康弘, 皆川翔平, 岩城一郎	4. 巻 74
2. 論文標題 コンクリート及びRCはりの耐疲労性に及ぼす環境温度と含水状態の影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集E2	6. 最初と最後の頁 35-52
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 -

1. 著者名 子田 康弘, 島野 孝則, 田中泰司, 岩城一郎	4. 巻 66
2. 論文標題 輪走行作用を受ける道路橋 RC 床版の疲労損傷過程に関する実験的研究	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 733-740
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2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 滝澤日向, 子田康弘, 岩城一郎
2. 発表標題 押抜きせん断試験に基づく水の侵入による 耐疲労性の低下を抑制するRC断面の検討
3. 学会等名 H31年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 何宗耀, 大川健太郎, 子田康弘, 岩城一郎
2. 発表標題 輪荷重走行試験による水の浸入を受けるプレキャスト床版継手部の耐疲労性評価
3. 学会等名 R1年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 鉄筋コンクリート床版	発明者 子田 康弘	権利者 学校法人日本大 学
産業財産権の種類、番号 特許、2019-212221	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----