

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06160

研究課題名(和文) 鉄筋腐食で損傷した鉄筋コンクリート橋梁が有する冗長性の解明

研究課題名(英文) CLARIFICATION OF THE REDUNDANCY FOR RC BRIDGE DECK DAMAGED BY SALT ATTACK

研究代表者

上原子 晶久 (KAMIHARAKO, Akihisa)

弘前大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：70333713

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、塩害で劣化した橋の力学性能や冗長性を実験的検討により明らかにした。まず、複雑な配筋の代わりに繊維補強モルタルを用いた小型のRCはりを作製して載荷試験を行った。その結果、一般的なスケールを有するRCはりとの力学的な矛盾がないことを確認した。その小型はりを電食試験に供して、塩害劣化を模擬した試験体を作製した。それらについて載荷試験などを実施した結果、一般的な鉄筋腐食の生じたRCはりと同様の力学挙動を示すことを確認した。さらに、そのはりを複数連結して、通常の橋梁上部工を模擬した載荷試験を行った。その結果、腐食量が10%程度のはりが複数連結されていても、力学挙動は大きく低下しない結果を得た。

研究成果の概要(英文)：This study was clarified structural performance and the redundancy of the bridge deck deteriorated by salt attack by experimental studies. At first, the small RC beam specimen which was using short fiber reinforced mortar substituted the complicated steel arrangement was fabricated. Then that specimen was loaded for flexural testing. In comparison with the RC beam which was a general scale, we confirmed that the performance of the small beam did not have structural contradiction. After that, the small beam specimen was tested an electrolytic corrosion test due to simulating deterioration by salt attack. Then that specimen was loaded. We confirmed that the structural behavior showed like the RC beam which the general corroded reinforcement. Thereafter coupling the small beams, we conducted the loading test that simulated a bridge deck. The structural performance of the deck did not decrease so much, even if the beams which had around 10% corrosion mass-loss were in parallel coupled.

研究分野：維持管理工学

キーワード：塩害 鋼材腐食 小型模型 短繊維補強コンクリート

### 1. 研究開始当初の背景

研究代表者はこれまで、既往の研究において著しい塩害を受けて劣化したプレストレストコンクリート橋の上部工について、有限要素解析を実施した。これらの橋は深刻な塩害劣化を受けて架替、または撤去されており、旧橋の残存耐荷力を予測するため解析を実行した。その際に、橋の桁が大規模なために、解析値を実験で検証できないことが課題として残された。さらに、通常の橋は多数の桁が連結されている。従って、一つの桁が損傷を受けても他の健全な桁に荷重が分散されて安全性が確保できる。本研究では、そのことを構造物の有する冗長性と定義する。橋のような大規模構造物の劣化時における冗長性を検証するためには、実験室でのスケールモデルによる実験が必須となる。本研究では、成人一人で持ち運びできる小型試験体に載荷試験を行ってそれらを明らかにする。

大人が一人で持ち運びできる小型はりの載荷試験などを駆使することにより、実際に塩害劣化した鉄筋コンクリート橋の冗長性や力学性能を明らかにすることに、本研究の主眼を置く。一方で、劣化した実際の鉄筋コンクリート橋について、残存性能を予測するために数値解析結果に依存しなければならないことは大きな課題の一つである。この解決策として、実際の構造物の劣化を模擬した小型はりを作製・載荷試験を行う。その実験結果で冗長性の傾向を検証すれば、解析結果への依存度を減らすことができる。さらに、費用や時間などの制約で断念していた橋以外の大規模な構造物の劣化を模擬した実験を行うことができる。その結果、単体の部材の実験では再現することができない構造物が有する冗長性を実験で検証することが可能になる。

### 2. 研究の目的

この研究計画では、橋の力学性能や冗長性(リダンダンシー)を小型縮小モデルで再現することを明らかにすることを目的とする。その目的を達成するため、劣化した鉄筋コンクリート橋を研究の対象にして、年度ごとに次の3つの項目を実施する。

- (1) 鉄筋腐食の生じていない数メートルオーダーの鉄筋コンクリートはりにおける実験結果を参照した小型化したはりで、どの程度のスケールダウンが可能なのか明らかにする。
- (2) 鉄筋腐食が生じた鉄筋コンクリートはりについても以上と同様の検討を行う。
- (3) 塩害劣化を模擬した小型はりを連結して橋の模擬上部工を作製する。その力学性能と冗長性を検証する実験を行う。

### 3. 研究の方法

#### (1) 平成 27 年度

本研究では、図-1のように2種類のはりを作製した。一方は、通常の鉄筋コンクリ

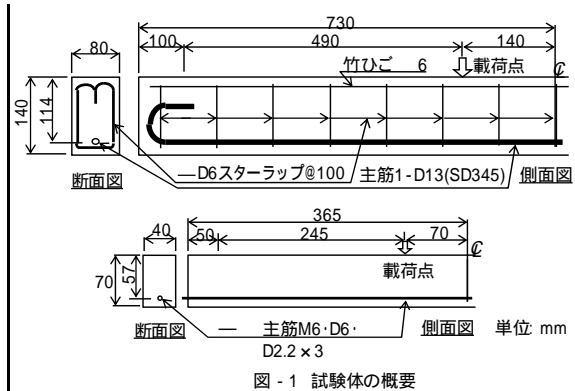


図-1 試験体の概要

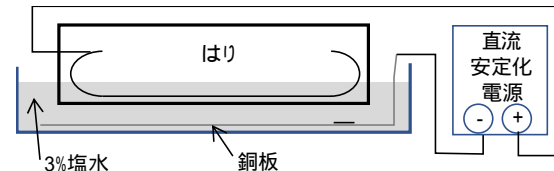


図-2 電食試験の模式図

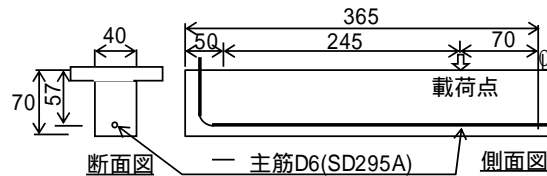


図-3 T型はりの概要

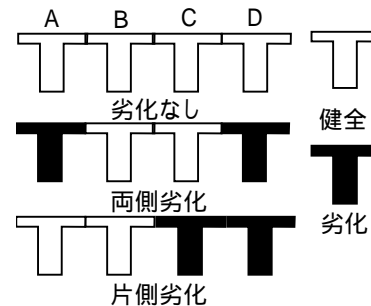


図-4 T型はりの概要

トはりで中型はりと称する。もう一方は、中型はりを 1/2 にスケールダウンした小型はりである。小型はりでは、スターラップを挿入するのは困難なので、境らの研究(2004)を参照して短繊維材を混入した繊維補強モルタルを利用した。なお、中型はりは比較用の1体を作製した。小型はりに関しては、実験のパラメータを、モルタルにおける繊維混入率( $V_f=1.0 \cdot 1.5 \cdot 2.0\%$ )と主筋の種類(M6・D6・M2.2×3本)である。それぞれを組み合わせる7体の小型はりを作製した。

所定の養生終了後、図-1に示したように2点曲げ載荷試験を行った。その際に荷重と中央変位を計測した。

#### (2) 平成 28 年度

前年度と同様に、図-1のような2種類のはりを作製した。実験のパラメータを、小型はりにおける繊維混入率( $V_f=1.0\% \cdot 1.5\%$ )と主筋の腐食量(0%・15%・30%)である。それぞれを組み合わせる8体の小型はりを作製した。

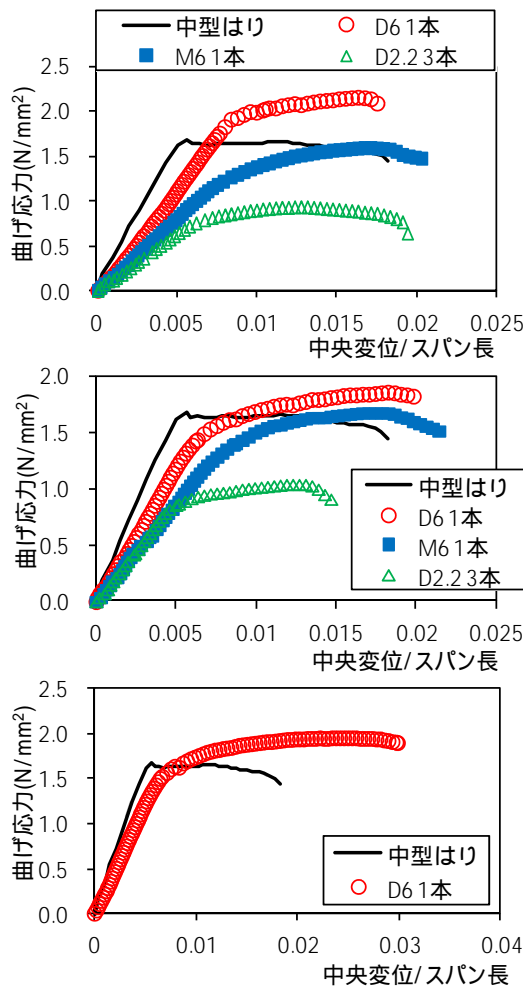


図 - 5 曲げ応力と中央変位 / スパン長との関係  
(上:  $V_f=1.0\%$  中:  $V_f=1.5\%$  下:  $V_f=2.0\%$ )

中型はりは、腐食量(0%・15%)をパラメータとした2体を作製した。鉄筋腐食を再現するため、図-2のような電食試験により中型・小型はりの主鉄筋に腐食を与えた。中型はりでは0.65A、小型はりでは0.30Aの定電流でそれぞれ電食試験を行った。なお、目標腐食量に合わせて通電時間を計算して、所定の時間に渡り通電した。電食試験終了後、図-1に示したように、2点に集中荷重を加えて曲げ載荷試験を行った。計測項目は、荷重と中央変位の2項目である。載荷試験終了後、鉄筋腐食の生じたRCはりについては、鉄筋を削りだした。その後、質量を計測して実測の腐食量を計測した。

### (3) 平成29年度

前年度までの検討結果を受けて、図-3のようなT型の小型はりを作製した。はりの設計に当たって、上フランジが付加したことによる曲げ耐力の増加が見込まれた。そこで、モルタルに混入する短繊維のみならず、はり完成後にフランジの左右両側面に炭素繊維シートをエポキシ樹脂で接着した。これにより、せん断破壊が先行することを防ぐことができた。繊維混入率  $V_f$  を1.0%および2.0%にした単体のT型けたをそれぞれ1体ずつ作製した。それらとあわせて、図-4に示したよ

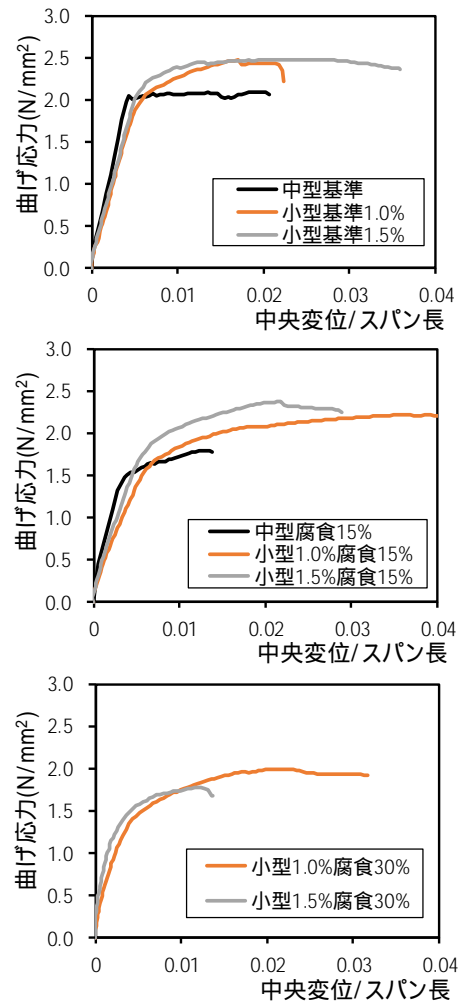


図 - 6 曲げ応力と中央変位 / スパン長との関係 (小型はり・腐食)

うに、単体のT型けたを4本連結した桁を作製した。桁の連結は、上フランジ左右側面をエポキシ樹脂で接着するとともに、桁の長軸直交方向に帯状の炭素繊維シートを7本等間隔で接着して連結を強固にした。連結桁における実験のパラメータは、主筋の腐食が生じた桁の有無と位置(両側・片側)、および繊維混入率( $V_f=1.0\%・2.0\%$ )である。これらについても、2点曲げ載荷試験を行って荷重と中央変位を計測した。なお、連結桁の変位については、左右両側(図-4のA・D側)で計測した。

### <参考文献>

境 有紀ほか：超縮小模型を用いた鉄筋コンクリート構造の簡易振動実験手法の開発 - 超小型模型による鉄筋コンクリート造の復元力特性の再現性 - , 日本建築学会構造系論文集, 第584号, 147-152, 2004

## 4. 研究成果

### (1) 平成27年度

図-5に曲げ載荷試験の結果である曲げ応力と中央変位/スパン長との関係を示す。中型はりと小型はりの寸法が異なるので、荷重については有効断面積、中央変位についてはスパン長で基準化して同一図面で比較することを試みた。なお、図-5に示した曲げ応

力と中央変位/スパン長との関係は、繊維混入率( $V_f=1.0 \cdot 1.5 \cdot 2.0\%$ )ごとにプロットしている。この図より、小型はりの繊維混入率が高くなるほどに、中型はりの力学挙動を概ね再現することに成功している。小型はりの主筋ごとに比較すると、中型はりの力学挙動に最も近いものが D6 鉄筋を使用した場合である。これは、破断のびが大きい主筋を使用することにより、中型はりの力学挙動を再現していることを示している。したがって、図 - 5 の結果を総合的に判断して中型はりの力学挙動を再現するには、適切な繊維混入率と D6 鉄筋のような破断のびの大きい材料を使用することが望ましいといえる。

### (2) 平成 28 年度

図 - 6 に曲げ載荷試験の結果である曲げ応力と中央変位/スパン長との関係を示す。荷重と中央変位については図 - 6 と同様の基準化を行った。なお、図 - 6 に示した曲げ応力と中央変位/スパン長との関係は、腐食量(0%(基準)・15%・30%)ごとにプロットしている。なお、中型はりでは、目標腐食量が 30% 相当の試験を諸事情により行っていない。この図より、腐食の生じていない基準試験体において、小型はりの繊維混入率が 1.0%であれば、中型はりの力学挙動を概ね再現することに成功している。しかし、腐食が生じた場合には、特に繊維混入率が 1.0%の場合において中型はりとして小型はりと対応が悪い。これは、小型はりにおける実測腐食量が目標腐食量を大きく下回っていることが原因である。繊維混入率が 1.5%の場合では、腐食量の実測値が目標値に近いため、曲げ応力の最大値が中型はりのそれに近づく傾向にある。

### (3) 平成 29 年度

図 - 7 に荷重と中央変位との関係を示す。上段の単体 T 型けたの耐荷性状を比較すると、繊維混入率  $V_f$  が 2.0% のはりの方が 1.0% のものよりも若干ながら大きな耐荷性状を示している。次に、中段と下段に示した連結桁の荷重と中央変位との関係を示した。図では、繊維混入率  $V_f$  が 1.0% と 2.0% で片側に劣化偏在している場合(図 - 4 の C・D 側が腐食)についての実験結果である。この結果を見ると、いずれも腐食側である A 側における部材降伏前の中央変位が、健全な D 側の変位よりも同一荷重において大きくなっていることが分かる。これは、主筋が腐食している A 側の曲げ剛性が、健全な D 側よりも低いことが原因と推測される。これが原因となり、同一荷重における A・D 両側の変位に不均衡が生じていると考えている。表 - 1 に連結桁における最大荷重の比較を示した。表中、繊維混入率  $V_f=2.0\%$  の結果に着目する。この結果を図 - 7 上段に示した単体 T 型けたの最大荷重(8.0kN)と比較してみる。連結桁は 4 本であるため、単純に考えると連結桁の最大荷重は 32kN 程度になると思われる。ところが、

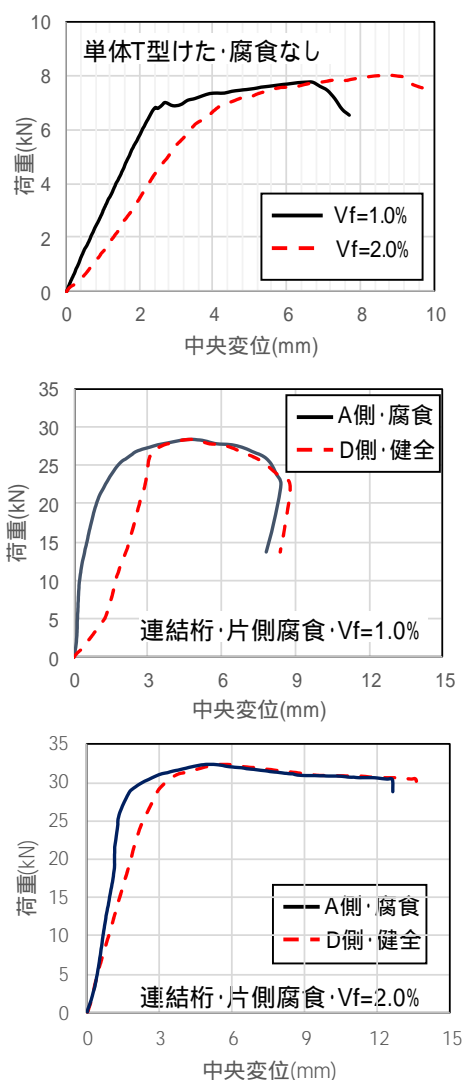


図 - 7 荷重と中央変位との関係

$V_f=2.0\%$  の連結桁における最大荷重は、主筋腐食の有無に関わらず、いずれも 32kN を上回る結果となった。これは、桁を連結することによる冗長性が現れたものと考えている。しかしながら、この結果は主筋の腐食量が全て 10% 以下の結果である。通常の塩害劣化した橋梁上部工のように腐食量が 20% 以上になった場合に、このような冗長性が現れるのかについては、さらなる追試と考察が必要である。さらには、既存の鉄筋コンクリート製上部工の大半を占めるプレストレストコンクリートで同じような傾向が現れるか否かについても検討を進める必要がある。以上は今後の課題としたい。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

1. 上原子 晶久: 小型模型による鉄筋腐食の生じた RC はりにおける力学挙動の再現性, 土木学会 第 72 回年次学術講演会, 2017
2. 上原子 晶久: 小型模型を利用した鉄筋コン

クリートはりにおける力学挙動の再現性に関する研究，平成 27 年度 土木学会東北支部技術発表会，2016

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

特になし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

上原子 晶久 (KAMIHARAKO, Akihisa)

弘前大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：7 0 3 3 3 7 1 3