

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：17104

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630196

研究課題名(和文) アルカリ骨材反応による鉄筋破断原因の究明

研究課題名(英文) Fracture mechanism of stirrups suffering ASR damage

研究代表者

幸左 賢二 (Kosa, Kenji)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：00315160

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：ASR構造物の鉄筋破断現象を以下の実験的検討により明らかにした。まず多数の鉄筋破断が確認された北陸地方の橋脚梁を対象として鉄筋の損傷分布の傾向について分析した。その結果、本橋脚では梁軸方向および断面方向の双方において、損傷鉄筋の発生分布に明確な規則性を有していなかった。このため、初期曲げによる鉄筋損傷度の差異により、不規則な鉄筋破断分布になったと考えられる。ついで、供試体実験を実施し、外観および内部ひび割れ進展度を比較すると劣化が進んでも、内部ひび割れは骨材周辺に留まることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The reason for fracture of many stirrups in a bridge pier suffering ASR damage is discussed. Evaluation are conducted for the distribution of damaged stirrups in axial and cross sectional direction of the beam, for the bending radius and generated cracks of used stirrups. The progress of initial cracks is thought to be the reason for fracture of many stirrups. Further, the random distribution of damaged stirrups is estimated to be caused by the great scatters in generating of initial cracks. As the next step, RC specimens using reactive aggregate have been carried out for a long-term exposure test over 5 years at outdoor environment. It is found that the external crack width near the fracture location has an intense increase, while a great crack is confirmed to spread from the center of concrete to the exterior of surface and cut throughout the fracture location.

研究分野：コンクリート構造

キーワード：アルカリ骨材反応 ひび割れ 鉄筋破断 コンクリート劣化

## 1. 研究開始当初の背景

我が国においては ASR により劣化構造物が 2000 を超え、広く北陸、関西、中国、九州地方に分布している。一方 ASR によるコンクリート構造物の鉄筋破断事例は 13 都道府県の 100 を超える構造物で確認されているが、破断鉄筋を有する橋脚の比率、一橋脚あたりの鉄筋破断本数、破断率も地域によって異なっている。具体的には北陸地方では 50 を超える橋脚で破断、また一橋脚について 100 本を超える鉄筋破断が報告されている。一方他の地域では数橋脚程度に、せいぜい数本の破断本数のものが多い。このように、鉄筋破断率や本数には地域的な差異があることから、鉄筋破断発生の原因にはコンクリートによる ASR 劣化の発生だけではなく、鉄筋の特徴にも着目する必要がある。具体的には地域における使用鉄筋の材料特性や施工手法の特徴に着目した分析が必要である。

## 2. 研究の目的

多数の鉄筋破断が確認された北陸地方の解体再構築の橋脚梁を対象として、まず、橋脚梁に発生した鉄筋損傷と梁側面のひび割れ状況から、部材位置ごとの ASR 損傷分布を確認し、続いて亀裂鉄筋および破断鉄筋の発生状況を配列や断面方向における分布に基づき分析することで、鉄筋の損傷分布が部材内で進展した傾向について考察を加えた。さらに、使用された鉄筋の曲げ加工による初期亀裂の確認から多数の鉄筋が損傷した要因と部材内において鉄筋損傷の配列や分布が進展するパターンについて考察を加えた。

## 3. 研究の方法

### 1) 構造物のひび割れ状況評価

鉄筋損傷とひび割れ性状との相関を確認するために、梁側面を鉄筋曲げ加工部が含まれる隅角部と部材中央部分とに分割し、鉄筋損傷状況を比較した。

### 2) 実構造物における鉄筋損傷

梁の打ち替えが行われた橋脚 3 基のスターラップ曲げ加工部に生じた亀裂、破断などの損傷状況を調査した。具体的には現場で確認された損傷鉄筋の目視観察結果を基に、損傷鉄筋の配置位置や配列を分類・整理することで、多数の損傷鉄筋の分布状況について考察を加えた。

### 3) 使用鉄筋の分析

曲げ加工半径と初期、および進展亀裂の発生状況に着目することで多数の鉄筋が損傷した要因と損傷が不規則に発生した要因について検討した。

### 4) 反応性骨材を用いた劣化分析

採取した鉄筋および反応性骨材を用いて供試体を作成し、5 年間の長期暴露に供し、コンクリートの外観および内部のひび割れ状況を詳細に比較した。

## 4. 研究成果

### 1) 構造物のひび割れ状況評価

本橋脚では、隅角部の広い範囲で多くの鉄筋損傷を生じていたが、梁側面のひび割れ分布では曲げ加工部を含む隅角部と中央部分(腹部)のひび割れ密度に明確な差異はなく、側面が全体的に膨張しているような挙動を示していた。

### 2) 実構造物における鉄筋損傷

多数の鉄筋損傷が生じた要因を検討するために、損傷鉄筋の梁軸方向における配列とスターラップごとに断面方向の損傷状況に着目した分析を行った。その結果、本橋脚では梁軸方向および断面方向の双方において、損傷鉄筋の発生分布に明確な規則性を有していなかった。特に、健全鉄筋と健全鉄筋の間で破断鉄筋が存在したことなどを勘案すると、損傷鉄筋の分布は隣接する鉄筋や周辺の応力状態に依存したというより、むしろ、橋脚全体で不規則に発生した結果と考えられた。

### 3) 使用鉄筋の分析

本橋脚で使用された鉄筋を分析した結果、曲げ加工に伴う初期亀裂が現行鉄筋に比べて相対的に大きく発生する鉄筋であったことが、多数の鉄筋を損傷させる要因と考えられる。また、同一条件で曲げ加工を行った際にも、初期亀裂深さが大きくばらついたことで、最終的な鉄筋損傷の有無に差異が生じ、このことが、結果的に不規則な分布を生じさせた要因と考えられた。

### 4) 反応性骨材を用いた劣化分析

4 年間経過した No.6 供試体では外観ひび割れは鉄筋拘束の方向に依存しながら長さを増すことで進展し、内部ひび割れは劣化が大きく進んだ場合でも骨材粒子界面、および内部に発生するものが主要であった。内部から表面に連続するひび割れは、劣化の進行とともに鉄筋曲げ加工部に対して 45 度の角度をもったひび割れが卓越する傾向を示し、鉄筋外側では曲げ戻しに起因すると考えられる付着切れが認められた。

5 年間経過した No.7,8 試験体からはつり出した鉄筋の亀裂観察より、平均亀裂率はそれぞれ 13.3、40.5% となり、No.7 供試体では鉄筋破断が確認された。また、ASR 供試体よりはつり出した鉄筋の亀裂率は曲げ加工試験により求めた初期亀裂率 1.43% を大きく上回っていることから、各々の鉄筋でその度合は異なるものの、ASR の進展に伴い、鉄筋亀裂は進展すると考えられる。No.7 供試体では破断鉄筋周辺の劣化性状の分析結果より、外観では幅 3.0mm で、1.0mm の段差を伴うひび割れが発生した。なお、このひび割れは、材齢 1750~1845 日の期間に 1.2mm から 3.0mm へ急激にひび割れ幅が増大した。一方、コンクリート内部では、破断箇所を貫通し、コンクリート表面から 93mm の深さまで、ひび割れは延伸していた。以上より、鉄筋破断が

生じた場合、外観では段差を伴う急激なひび割れ幅の増大、内部では破断箇所を貫通し、コンクリートの中心方向に延びるひび割れの発生が認められた。

以上をまとめると、鉄筋破断が生じた場合における外観上の特徴として、段差を伴う急激なひび割れ幅の増大が確認された。したがって、実構造物のASR点検業務においては、特に段差、および幅に着目した経時的なひび割れ進展状況の調査が重要であると考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計12件)

上園祐太, 幸左賢二, 上原伸郎, 益田鉦孝, 鉄筋破断を生じたASR供試体の劣化性状評価, 構造工学論文集, Vol.61, 2015, pp.672-682, 査読有.

Yulong Zheng, Kenji Kosa, Nobuo Uehara and Jingmin Wang, Experimental simulation of structure suffering ASR-induced damage, 構造工学論文集, Vol.51, 2015, pp.683-693, 査読有.

上原伸郎, 幸左賢二, 大代武志, 原口政仁, 多数の鉄筋破断が生じた劣化構造物の特性分析, 構造工学論文集 Vol.60, 2014, pp.729-739, 査読有.

上原伸郎, 幸左賢二, 上園祐太, ASR供試体を用いた鉄筋損傷の再現実験, 構造工学論文集, Vol.60, 2014, pp.740-750, 査読有.

上原伸郎, 幸左賢二, 上園祐太, 反応性骨材を用いた暴露供試体の長期劣化, コンクリート工学論文集, 2014, pp.700-705, 査読有.

上園祐太, 幸左賢二, 上原伸郎, 原口政仁, 反応性骨材を使用した大型PC桁供試体の劣化性状評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, 2014, pp.706-711, 査読有.

Yulong ZHENG, Kenji KOSA, Nobuo UEHARA and Jingmin WANG, EVALUATION FOR DEFORMATION OF STIRRUPS IN ASR-SIMULATION SPECIMENS, コンクリート工学年次論文集, 2014, pp.1125-1131, 査読有.

上原伸郎, 幸左賢二, 久保祐太, アルカリシリカ反応によるコンクリート内部ひび割れの評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, 2013, pp.721-726, 査読有.

山口和成, 幸左賢二, 大代武志, 上原伸郎, 鉄筋破断が生じたASR構造物の損傷評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, 2013, pp.955-960, 査読有.

柴田綾野, 幸左賢二, 草野昌夫, 西岡勉, ASR膨張を模擬した供試体による鉄筋破

断再現実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, 2013, pp.997-1002, 査読有. 原口政仁, 幸左賢二, 上原伸郎, 曲げ加工方法の相違による鉄筋の初期損傷評価, コンクリート工学論文集, 2014, pp.1108-1113, 査読有.

原口政仁, 幸左賢二, 上原伸郎, 大代武志, 複数の鉄筋破断が生じたASR劣化構造物の特性分析, プレストレスコンクリート工学会第22回シンポジウム論文集, 2013, pp.189-194, 査読有.

[学会発表](計6件)

鄭玉龍, EVALUATION OF DAMAGE CONDITIONS IN ASR-AFFECTED STRUCTURES, 土木学会第69回年次学術講演会, 2014.9.15 大阪大学

WANG JINGMIN, EVALUATION FOR EXTERNAL AND INTERNAL DAMAGES INDUCED BY ASR, 土木学会第69回年次学術講演会, 2014.9.15, 大阪大学

原口政仁, 複数の鉄筋破断が生じたASR劣化構造物の特性分析, 土木学会第68回年次学術講演会, 2013.9.10, 日本大学  
上園祐太, ASR劣化したPC桁供試体の緊張力および変形挙動の評価, 土木学会第69回年次学術講演会, 2014.9.10, 大阪大学

Yulong ZHENG, EVALUATION FOR FRACTURE OF REBAR DUE TO ASR EXPANSION, 土木学会第68回年次学術講演会, 2013.9.10

Jingmin WANG, AN EXPERIMENT OF SIMULATING THE STIRRUP FRACTURE DUE TO ASR, 土木学会第68回年次学術講演会, 2013.9.10, 日本大学

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等

6．研究組織

(1)研究代表者

幸左賢二 (KOSA KENJI)  
九州工業大学・大学院工学研究院  
研究者番号：00315160