

アルカリ骨材反応が生じた RC はりのせん断耐力の評価に関する解析的研究

市民工学専攻：小池 美帆
指導教員：三木 朋広

1. 研究背景と目的

近年、コンクリート構造物の劣化が問題視されており、その要因として主に鉄筋腐食とアルカリ骨材反応、特にアルカリシリカ反応（以下、ASR）が挙げられる。既往の研究¹⁾では、ASRが生じたコンクリートが圧縮強度、弾性係数、引張強度、付着強度に与える影響について確認されているが、ASRはこれらの力学特性がお互いに関連しながら変化することが実験的に明らかとなっている。一方、非線形解析を用いると力学特性1つ1つの変化に着目し、その影響を個別に検討できる。本研究では、ASR劣化したRCはりを各種材料構成則を導入した解析で再現し、RCはりのせん断耐力の評価を行う。

2. 解析概要

図-1に解析対象を示す。要素タイプには4節点アイソパラメトリック要素を用い、圧縮構成則、引張構成則、鉄筋-コンクリート間の付着、せん断構成則、収束判定条件を変化させ、ASR劣化したRCはりを再現した。繰り返し計算手法にはNewton-Raphson法を用い、主鉄筋にはD22、スターラップにはD6を用いた。

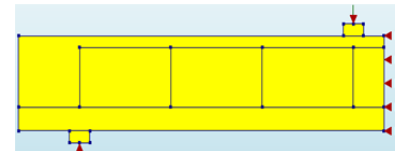


図-1 解析モデル (RCはり)

3. 各種材料構成則のモデル化

3章では図-2に示すモデルに様々な構成則を導入し、いくつかのシンプルな解析モデルを対象として、構成則が適切に導入できているかについて確認した。

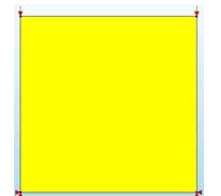


図-2 解析モデル (構成則)

3.1 コンクリートの引張構成則

図-3に引張構成則に用いたHordijkモデルを示す。図-2のモデルに引張方向の荷重を加え、解析結果から応力-ひずみ関係を求めると、要素分割を行ったケースでは図-4のように途中で応力が急激に低下した。解析結果から求めた引張応力-ひずみ関係が正しく挙動するよう、収束条件、特性長さ、要素寸法、最大応力時のひずみを変えて解析を行った結果、収束ノルムを力とし、収束許容値を0.5とすると引張応力-ひずみ関係が入力したHordijkモデルと一致した。

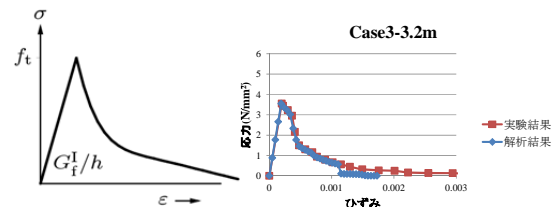


図-3 引張構成則 図-4 解析結果より求めた引張応力-ひずみ関係

3.2 鉄筋の付着モデル

鉄筋-コンクリート間の付着応力-すべり関係には図-5に示す島らによる付着すべり関数を採用した。図-6に示すように、図-2に示すモデルの中央部分に鉄筋を配置し、鉄筋の引抜き試験で用いた供試体を対象として、付着応力-すべり関係を解析から求め、適切に付着応力-すべり関係を評価できることを確認した。解析結果から付着応力-すべり関係を求めると、島らによる付着すべり関数モデルと一致した。

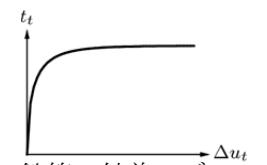


図-5 鉄筋の付着モデル

4. 非線形解析 RC はりのせん断挙動の評価に関する基礎検討

4章では供試体の寸法、力学特性、境界条件など全て実験供試体と同じモデルを作成し、解析結果と実験結果を比較した。その結果、健全供試体、ASR供試体ともに実験結果と最大荷重、荷重-変位関係、ひび割れ挙動、ひずみ分布が一致しなかった。この要因、改善法について5章で検討し、6章で再度解析による再現を行う。

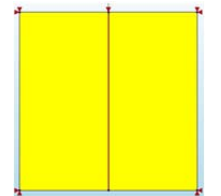


図-6 解析モデル (完全付着)

5. ASRが生じたRCはりを対象とした各種材料構成則の感度解析

4章にて、実験供試体²⁾のせん断挙動を適切に評価できなかった要因を検討するために、5章では圧縮特性や引張軟化特性、せん断剛性保持率が解析結果に与える影響について検討する。

5.1 コンクリートの圧縮特性が与える影響

4章で用いたモデルの圧縮強度、弾性係数を変化させ、解析結果に与える影響を検討する。その結果、圧縮強度が大きいほど最大荷重が大きくなり、圧縮強度はRCはりのせん断耐荷機構に大きな影響を与えられ。

キーワード：ASR、構成則、付着、力学特性

5.2 コンクリートの引張構成則が与える影響

4章で用いたモデルの引張構成則を変化させ、解析結果に与える影響を検討する。図-7 に検討した引張構成則を示すと、最大応力に達したのち急激に応力が低下し0になった ASR-1 ならびに ASR-5 では最大荷重が小さくなった。これは、引張応力が 0 になることで引張縁コンクリートの強度が弱まり、破壊に至ったことが要因である。それに対し ASR-3b ならびに ASR-4 は、最大応力に達したのち応力が緩やかに低下しており、最大荷重も大きくなった。図-8 に最大荷重時の主ひずみ分布を示すと、ASR-1 を用いた Case5-4.3 は、ASR-3b を用いた Case5-4.6 に比べ、引張縁コンクリートのひずみが大きくなっていることから、引張構成則が RC はりのせん断耐荷機構に影響を与えることがわかる。

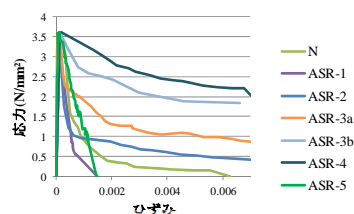
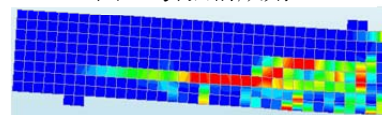
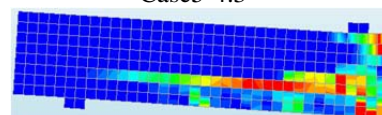


図-7 引張構成則



Case5-4.3



Case5-4.6

図-8 主ひずみ分布

5.3 コンクリートのせん断剛性保持率が与える影響

4章で用いたモデルのせん断剛性保持率を変化させ、解析結果に与える影響を検討する。その結果、図-9 に示す xin モデルにおいて G_β の値が大きいほどせん断伝達効果が大きくなり、最大荷重が大きくなった。 β_0 の値を大きくすることで G_β の値を大きくすると、図-10 のように主鉄筋に沿った部分、圧縮縁コンクリート中央部のひずみが大きくなった。これは、 β_0 の値が大きくなるにつれ供試体がせん断力に対して剛性を保つように働き、せん断破壊しにくくなることが要因である。

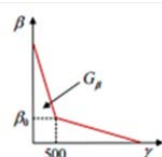


図-9 xin モデル

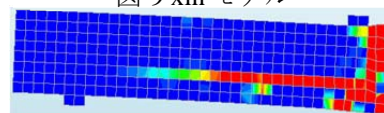
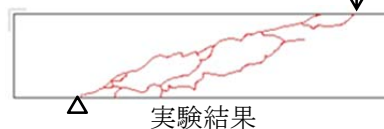
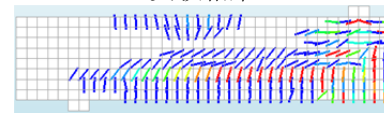


図-10 主ひずみ分布(xin1 0.3)

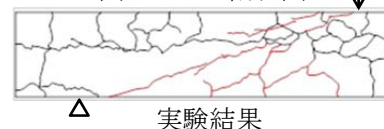


実験結果

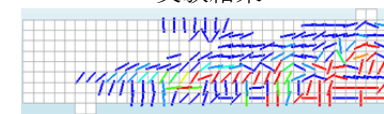


解析結果

図-11 ひび割れ図



実験結果



解析結果

図-12 ひび割れ図

6. ASR が生じた RC はりのせん断耐力の評価に関する詳細分析

6.1 健全供試体の再現

引張構成則に ASR-3b を用い、せん断剛性保持率に xin シリーズを用いて再度解析を行うと、荷重-変位関係の挙動は一致しなかったが、最大荷重は実験結果とほぼ一致した。また、図-11 に終局時のひび割れ図を示すと、解析結果において載荷点下部に赤線で示されたひび割れが見られ、そこからせん断スパン中央部の赤線で示されたひび割れへと斜めにひび割れが進展しており、実験結果における斜めひび割れと似た挙動を示した。

6.2 ASR 供試体の再現

引張構成則に ASR-3a を用い、せん断剛性保持率に xin シリーズを用いて再度解析を行うと、荷重-変位関係の挙動は一致せず、最大荷重も実験結果と一致しなかった。しかし、図-12 に終局時のひび割れ図を示すと、解析結果において載荷点下部からせん断スパン中央部の赤線で示されたひび割れへと斜めにひび割れが進展しており、引張縁コンクリートにも赤線で示されたひび割れが見られ、実験結果における斜めひび割れと似た挙動を示した。

7. まとめ

本研究では、力学特性や圧縮、引張、せん断構成則が RC はりのせん断耐荷機構に与える影響を検討し、ASR 劣化した RC はりの再現を行った。その結果、上記の値がせん断耐荷機構に与える影響を検討できたが、健全、ASR 供試体の荷重-変位関係の挙動、ASR 供試体の最大荷重を再現することはできなかった。しかし、供試体内部のひび割れ挙動をある程度再現することができた。

参考文献

- 1) 土木学会コンクリート委員会:アルカリ骨材反応対策小委員会報告書-鉄筋破断と新たなる対応-, 土木学会, 2005.
- 2) 荒川智大:アルカリ骨材反応が生じた RC はりの損傷度の評価とせん断耐荷メカニズムに関する考察, 神戸大学工学部卒業論文, 2016.2.