

京都大学 学生会員 ○山本 晋 金沢大学 正会員 久保 善司
京都大学 正会員 服部 篤史 フェロー会員 宮川 豊章

1.はじめに

ASRにより劣化したRC部材において、内部の鉄筋が不足し過大なASR膨張が生じた場合や、地震時のような過大な正負繰返し荷重が作用する場合の部材の耐震性については十分な検討がなされていない。

本研究では、耐震性状の向上に用いられる横拘束およびシラン処理のASR膨張抑制効果を検討するとともに、ASRによる劣化がRC曲げ部材の耐震性状に与える影響を検討した。また、ASR膨張と塩害との複合劣化の影響についてもあわせて検討した。

2.実験概要

RC梁供試体の形状・寸法を図1に示す。いずれの供試体もコンクリート目標強度は30N/mm²、主筋に2-D10対称複鉄筋(SD295A、引張鉄筋比0.812%)、横拘束筋配置区間には135°フック付きスターラップを配置した。

せん断補強筋には同じくφ6フープ筋を使用し、10cm間隔(せん断補強筋比0.62%)で配置した。なお、参考のため無筋の角柱供試体(10×10×40cm)も作製した。

実験要因の構成および測定項目を表1に示す。添加アルカリは、鉄筋腐食との複合劣化の影響を検討するためのNaClと、逆に防錆効果のあるNaNO₂を使用し、反応性骨材の使用量とあわせて大きな膨張が得られるようにした。暴露は自然環境下で行った。載荷試験は曲げスパン300mm、せん断スパン550mm、(2n-1)δyの対称2点正負交番漸増載荷を行った。

3.実験結果および考察

3.1 横拘束およびシラン処理がASR部材の耐久性に与える影響

自然環境下で梁供試体の軸直角方向膨張ひずみを図2に示す。横拘束の違いが膨張に与える影響が認められ、ρs=2.4%のものはρs=0.8%のものに比べて膨張量は若干小さい。シラン処理したものは無処理のものよりも膨張ひずみが小さく、暴露約5年を経過後も良好な膨張抑制効果が認められる。

暴露開始からの自然電位の経時変化を図3示す。暴露約5年を経過後もNaNO₂添加のものは防錆効果が認められ、非腐食領域に留まっている。一方、NaCl添加のものは不確定領域と腐食領域との境界に位置し、暴露開始以来内部で軸筋腐食が進行しているものと考えられる。また、シラン処理の撥水効果による鉄筋腐食の抑制効果は認められない。

3.2 ASRにより劣化した部材の耐震性状

載荷試験により得られた荷重-変位履歴曲線の包絡線を図4に示す。最大荷重については、劣化後は初期に比べて若干小さくなった。ASRにより曲げ圧縮部のコンクリートが脆弱化し、部材の最大荷重が低下したものと考えられる。劣化後のρs=0.8%およびρs=2.4%の最大荷重は負側で若干異なるものの、正側ではほぼ同程度となり、横拘束比の影響は顕著でない。

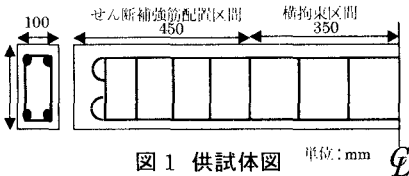


図1 供試体図 単位:mm

表1 要因および測定項目

粗骨材	実験要因			測定項目		載荷試験
	添加アルカリ	横拘束比ρs(%) (配置間隔cm)	シラン処理	膨張ひずみ	腐食モニタリング	
反応性	NaNO ₂	0.8(12.2)	○	コンクリート 軸筋、横拘束筋	自然電位、 分極抵抗	一部 ○
非反応性	NaCl	2.4(4.0)				

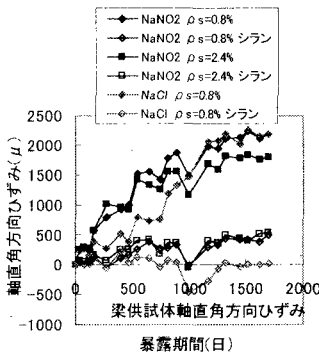


図2 軸直角方向膨張ひずみ

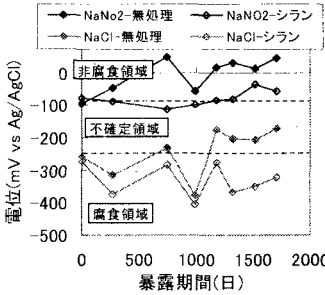


図3 自然電位

終局に至るまでの変位は、 $\rho_s=0.8\%$ の同一要因で比べた場合、劣化後は初期と同程度となった。劣化後の $\rho_s=2.4\%$ は $\rho_s=0.8\%$ のものより4 δy 程度終局変位が大きく、ASR劣化した部材であっても内部に配置された横拘束筋の量に応じて塑性変形能が増大した。

シラン処理のものは無処理のものより最大荷重が若干増加した。シラン処理によりASR膨張が抑制されコンクリートが健全に保たれたことによるものと考えられる。

各変位段階における累積消散エネルギーの変化を図5に示す。

劣化後の $\rho_s=0.8\%$ のものは11 δy あたりからエネルギー消散能が低下し始め、最終的な累積消散エネルギーも初期に比べて低下した。それに対して $\rho_s=2.4\%$ のものは載荷途中のエネルギー消散能の低下も小さく、最終的な累積消散エネルギーも $\rho_s=0.8\%$ のものより大きくなった。 $\rho_s=0.8\%$ のものはかぶりコンクリートの脆弱化により早期にかぶり部が剥離し、鉄筋が座屈したことによりエネルギー消散能の低下が生じた。 $\rho_s=2.4\%$ のものは横拘束筋間隔が小さいために、かぶりの剥離がなく、鉄筋の座屈が起こらなかったため、 $\rho_s=0.8\%$ のものより消散エネルギーが大きくなった。 $\rho_s=0.8\%$ のものより消散エネルギーが大きくなった。地震時のような過大な正負繰返し荷重が作用する場合、ASRにより劣化した部材において内部の横拘束筋量が少ない場合には消散エネルギーが低下する危険性がある。

シラン処理のものは無処理のものに比べて、大変形時でのエネルギー消散能が大きく最終的な累積消散エネルギーも若干大きくなった。シラン処理のものはASR膨張抑制効果があり、僅かであるが、ASR膨張を抑制することにより耐荷性状の低下を妨げることができた。

3.3 ASR膨張と軸筋腐食との複合劣化の影響

NaNO₂およびNaCl添加供試体の荷重-変位履歴曲線から得られた包絡線の比較を図6に示す。また、載荷中の各変位段階における累積消散エネルギーの変化を図7に示す。劣化後のNaCl添加供試体の最大荷重および終局に至るまでの変位は、NaNO₂添加のものよりも小さく、初期値に比べても大きく低下した。消散エネルギーについてもNaCl添加のものは、変位の小さい段階からエネルギー消散能が低下し始めるとともに、最終的な累積消散エネルギーもNaNO₂添加のものよりも小さくなった。添加アルカリの種類にかかわらず、ASR膨張自体は軸方向および軸直角方向ともに同程度であったが、NaCl添加のものは軸筋に沿ったひび割れが卓越し、かぶりの剥離が顕著となった。このため鉄筋とコンクリートの付着が低下したものと考えられる。また、最終的には軸方向鉄筋が破断し、終局に至っており、孔食による伸び能力の低下がじん性を大きく低下させたものと考えられる。ASR膨張と鉄筋腐食により複合劣化した部材の耐震性状はきわめて低下することが予想され、適切な対策が必要である。

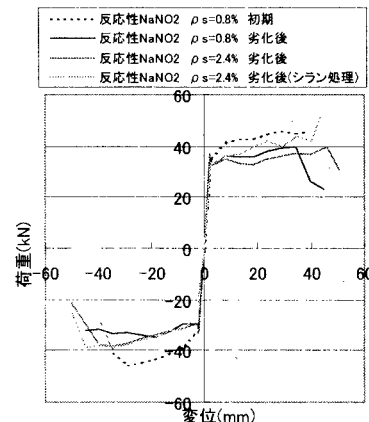


図4 包絡線

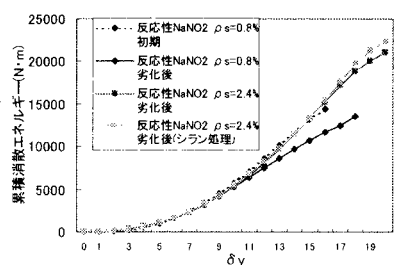


図5 消散エネルギー

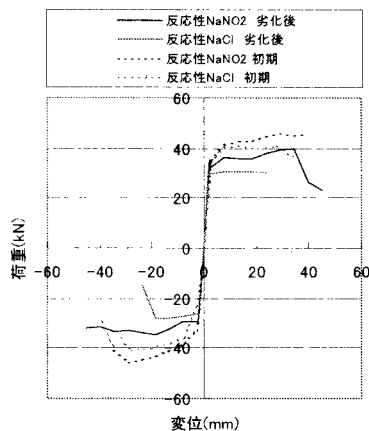


図6 包絡線(複合劣化の影響)

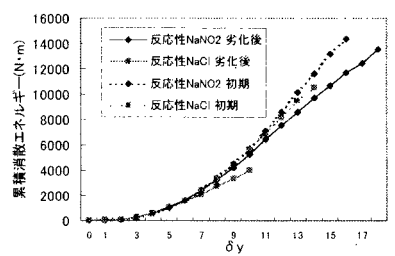


図7 消散エネルギー(複合劣化の影響)