ASRが生じたコンクリート部材の劣化状態およびせん断耐荷性能に関する検討

神戸大学大学院　学生員　○松田　豊樹　　神戸大学大学院　正会員　森川　英典
日立造船㈱　岩田　卓　　太平洋セメント㈱　正会員　川口　哲生

1.はじめに：近年，ASR劣化により定着破壊や付着破壊といった望ましくないせん断破壊形態に支配される可能性が懸念されており，ASR劣化した構造物の適切な維持管理を行っていくためにも，ASRが生じたコンクリート部材の性能評価は重要であると考えられる．そこで本研究では，ASRが生じたコンクリート部材の劣化状態を評価することに加え，ASRがせん断耐荷性能に及ぼす影響について検討を行った．

2.実験概要：供試体は反応性骨材を用いて作製し，屋外曝露環境で促進劣化させ，円柱供試体，RC はり供試体で非破壊検査および載荷試験を行い，劣化の程度とせん断耐荷性能の評価を行った．本研究では，打設後3年が経過し，ASRを十分進行させた供試体において実験を行っている．**表-1**に供試体一覧を，**図-1**にRCはり供試体の形状，コンタクトチップ貼付け位置を示す．また，健全時ではせん断破壊する供試体でも，ASRが生じた供試体ではせん断耐力が増加し曲げ破壊が先行することが報告されている[1)]．そこで本研究では，ASR劣化供試体においては炭素繊維シート接着による曲げ補強を行った．加えて 1 体には厚さ7(mm)の超高強度繊維補強コンクリート（以下，UFC）パネル接着によるせん断補強を行い，その補強効果についても検討を行った．

表-1　供試体一覧

供試体種類		供試体数
円柱供試体	劣化	15体
	健全	4体
RCはり供試体（せん断破壊型）	劣化	3体
	健全	1体

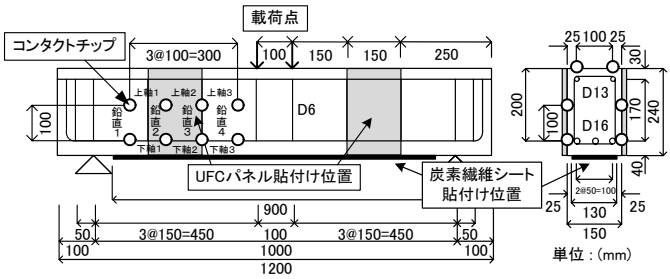
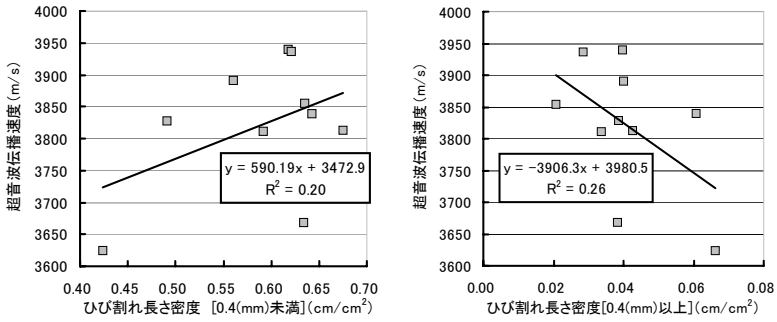


図-1　RCはり供試体の形状

3.劣化状態の評価

3.1 超音波伝播速度の測定：測定は円柱供試体と RC はり供試体について行った．円柱供試体の測定ではひび割れ調査を行った．円柱供試体のひび割れ長さ密度と超音波伝播速度の関係を**図-2**に示す．ASRが生じるとひび割れが増加し，内部の劣化指標である超音波伝播速度は低下する．しかし，ひび割れ幅 0.4(mm)未満のひび割れに着目すると，ひび割れの増加に伴い超音波伝播速度は速くなる傾向が見られる．一方，ひび割れ幅 0.4(mm)以上のひび割れに着目すると，ひび割れの増加に伴い超音波伝播速度は遅くなる傾向が見られ，供試体表面と内部の劣化状態に関係性が見られる．これは，ひび割れ幅が 0.4(mm)以上のひび割れはひび割れ深さも深く，供試体内部の劣化指標である超音波伝播速度に影響を与えたためと考えられる．次に，RC はり供試体においては，長手軸直角方向と長手軸方向の 2 方向について超音波伝播速度の測定を行っており，その試験結果を**図-3**に示す．図より，全ての供試体において軸直角方向と比較して軸方向の超音波伝播速度が速く，軸方向より軸直角方向の劣化が進んでいることがわかる．これは，軸直角方向と比較して軸方向では拘束効果が大きく，劣化程度に差が生じたためと考えられる．



(a)ひび割れ幅[0.4(mm)未満]　(b)ひび割れ幅[0.4(mm)以上]

図-2　ひび割れ長さ密度と超音波伝播速度の関係（円柱供試体）

キーワード　ASR，コンクリート部材，状態評価，せん断，アーチ機構
連絡先　〒657-8501　兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1　神戸大学大学院工学研究科　TEL 078-881-1212

3.2 膨張量の測定：RC はり供試体では膨張量を測定しており，その測定結果を**表-2** に示す．表より，共通して上面，鉛直，上軸，下軸の順に膨張量が大きいことがわかる．これは環境条件の影響を最も受けやすい上面の膨張量が最も大きくなり，供試体側面においては，鉄筋による拘束効果が小さい鉛直方向の膨張量が軸方向より大きくなったと考えられる．また，下軸と比較して上軸の膨張量が大きいのは，上軸が環境条件を受けやすいことに加え，鉄筋による拘束効果も小さいためであると考えられる．以上から，環境条件と鉄筋の拘束効果が劣化程度に影響しているものと考えられる．

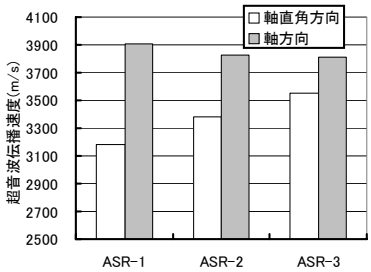


図-3 超音波伝播速度測定結果
(RC はり供試体)

表-2 膨張量測定結果

供試体名	膨張量(μ)			
	上面	側面		
		鉛直	上軸	下軸
ASR-1	10030	7130	590	405
ASR-2	4795	2531	418	298
ASR-3	7425	2089	571	208

4.載荷試験結果：載荷試験結果を**表-3** に，荷重-中央点変位関係を**図-4** に，ひび割れ性状を**図-5** に示す．健全供試体と比較すると ASR-1，ASR-2，ASR-3 の最大荷重は増加している．また 40(kN)時での剛性を健全供試体と比較すると，ASR-1，ASR-2，ASR-3 で増加している．また，非破壊試験の結果より，供試体の劣化は ASR-1 が最も進行しており，ASR-2 と ASR-3 は同程度であった．ここでは，劣化が最も進行している ASR-1 が耐力，剛性ともに最も大きくなり，ASR によるせん断耐荷性能の低下は見られなかった．また，ASR 劣化供試体は全て定着部の割裂破壊で終局に至った．全ての供試体でストラット部におけるひび割れが見られ，特に劣化の進行していた ASR-1 ではストラット部のせん断ひび割れが発達していた．しかし，先行ひび割れの影響を受けひび割れが複雑化し，徐々に引張鉄筋に沿うような形でひび割れが進展し，最終的には定着部の割裂破壊で終局に至った．ASR 劣化供試体の載荷試験後，定着部の割裂破壊で剥き出しになった引張鉄筋とコンクリートの間には隙間が見られ，ASR により付着強度が低下し，載荷の進展に伴い付着すべりが生じたと考えられる．付着すべりによりせん断耐荷機構が一部アーチ機構に移行し，**表-3** に示したようにせん断耐力が増加したものと考えられる．また**図-4** より，同程度の劣化程度である ASR-2 と，UFC パネル接着補強を行った ASR-3 を比較すると，荷重-中央点変位関係も初期段階では同じであった．しかし，せん断ひび割れ発生荷重の 130(kN)付近以降から差が生じ始め，ASR-3 ではせん断ひび割れ発生後も剛性の低下は見られなかった．このことから，UFC パネル接着補強は補強効果を有していたと考えられるが，最終的には定着部の割裂破壊で終局に至った．

表-3 載荷試験結果

供試体名	圧縮強度 (N/mm^2)	最大荷重 (kN)	40(kN)時剛性	破壊形式
健全供試体	24.2	155.6	108.9	せん断
ASR-1	25.3	253.0	192.5	定着部割裂
ASR-2	25.3	212.5	156.9	
ASR-3 ※	25.3	240.3	164.0	

※UFCパネルによるせん断補強を実施

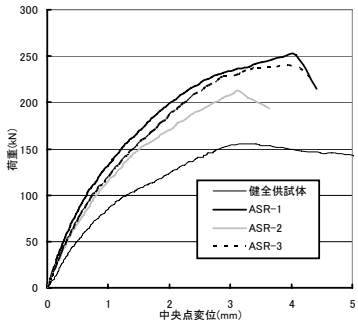


図-4 荷重-中央点変位関係

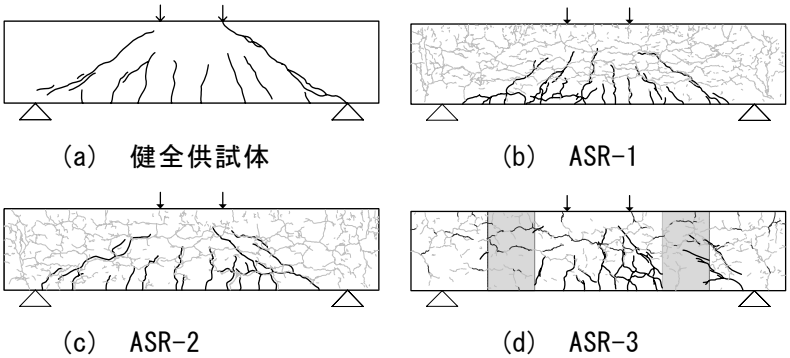


図-5 ひび割れ性状

5.結論：ASR による劣化程度は，供試体内でも環境条件や鉄筋の拘束効果によって異なった．ASR 劣化した RC 部材において，本研究の劣化程度ではせん断耐荷性能の低下は見られず，せん断耐力が向上した．また，ASR が生じた RC 部材に対して，UFC パネル接着による補強効果が確認された．

《参考文献》1)岩田卓，森川英典，北野剛，小林秀恵：ASR により劣化したコンクリートおよび RC 部材の状態評価，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第 8 巻，pp201～208，2008.10.