

大型 ASR 模擬供試体による鉄筋破断感受性評価実験

九州工業大学 学生会員 稲垣 裕之
住友大阪セメント株式会社 正会員 草野 昌夫

九州工業大学 正会員 幸左 賢二
九州工業大学 正会員 合田 寛基

1. はじめに

ASR の著しく進行した構造物において、鉄筋の曲げ加工部や圧接部で亀裂・鉄筋破断が数多く確認されているが、ASR 劣化現象と鉄筋の損傷・破断の感受性を実験的に評価した例は少ない。

そこで本研究では、ASR 膨張の進展と鉄筋の損傷や破断の感受性関係を明らかにするために、実構造物の 1/4 寸法で大型供試体を作製し、実構造物に近い配筋状態で、採取場所、節形状が異なる旧節形状鉄筋 3 種類を用いた実験を行った。

2. 実験概要

表-1、図-1 に供試体のパラメータ、形状について示す。供試体は普通コンクリートで中空供試体を作製したのち、中空部に膨張コンクリートを打設することで ASR 劣化を膨張コンクリートで模擬した実験を行った。供試体は 3 体作製し、帯鉄筋比が鉄筋損傷に与える影響を検討するため Case11, 13 は帯鉄筋本数 5 本(帯鉄筋比 0.22%)、Case12 は帯鉄筋 9 本(帯鉄筋比 0.39%)を配置した。帯鉄筋径は D16 で、Case11, 12 では現行鉄筋と旧基準である A 鉄筋を、Case13 では現行鉄筋と旧基準である B 鉄筋、C 鉄筋を図-1 のように配置し鉄筋種類による影響を検討した。なお、現行鉄筋と A～C 鉄筋は表-2 に示すように、それぞれ節の形状について節変化部に接する円の曲率 ϕ を測定し、現行鉄筋、A 鉄筋、B 鉄筋、C 鉄筋の順に小さくなっていること、また曲げ加工のみを行った場合の初期亀裂量を測定し、節変化部の曲率が小さいほど初期亀裂量が大きいことを確認している。

曲げ加工半径は実構造物でも特に厳しい条件である $1.0d$ (d は公称直径)とし、加工部の時効硬化は 120°C の 10 時間加熱処理で再現した。

3. 実験結果及び考察

3.1 外観劣化状況

図-2 に実験結果として Case12, 13 のひび割れ損傷図を示す。膨張に伴い中央部に 0.2mm 程度のひび割れが主鉄筋方向に発生し、その後隅角部に 1.0mm 以上のひび割れが発生し最後に既存のひび割れ幅が進展した。Case13 では全面的に 1.0mm を超えるひび割れが発生したのに対し、Case12 では 0.3mm 程度の軽微なひび割れが多く、ひび割れ密度(ひび割れの総延長を対象面積で除した値)を比較すると、膨張終了時 Case11 では 5.46, Case12 は 3.86, Case13 は 5.08 となり、帯鉄筋比の増加によりひび割れ本数、長さ、ひび割れ幅の抑制が確認された。

3.2 帯鉄筋亀裂結果及び感受性評価

図-3 に帯鉄筋曲げ加工部の進展後亀裂結果を示す。平均値では A

表-1 供試体パラメータ

No.	帯鉄筋比	鉄筋組み合わせ
Case11	0.22%	現行鉄筋, A鉄筋
Case12	0.39%	現行鉄筋, A鉄筋
Case13	0.22%	現行鉄筋, B鉄筋, C鉄筋

表-2 使用鉄筋の節形状, 初期亀裂

	現行	A	B	C
節の曲率 ϕ (mm)	7.1	3.1	1.1	0.9
初期亀裂率 (%)	0.6	2.21	3.87	20.44

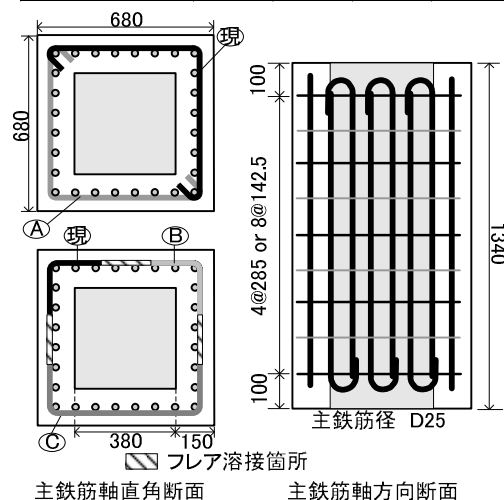


図-1 供試体形状 Case11~13

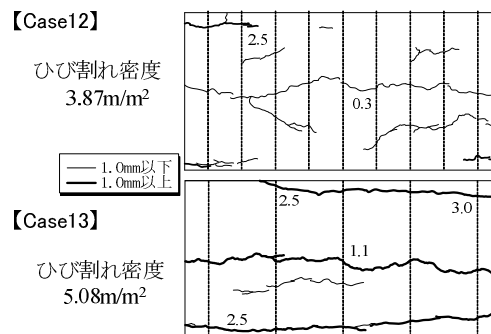


図-2 ひび割れ損傷図 Case12, 13

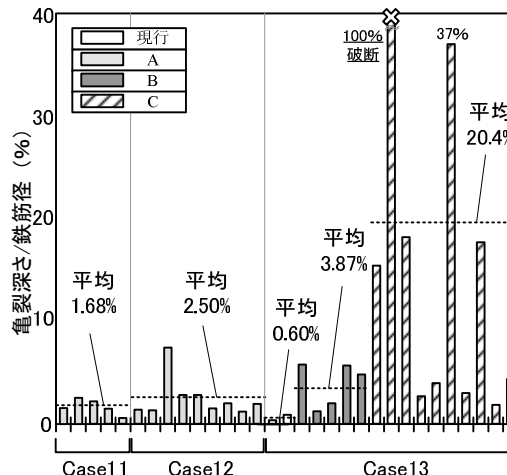


図-3 進展後亀裂結果 Case11~13

鉄筋を使用した Case11 は 1.68%, Case12 は 2.50% となり, 帯鉄筋比増加による影響はみられなかった. Case13 では, 現行鉄筋は 0.60%, B 鉄筋は 3.87%, C 鉄筋は 20.4% となり, 現行鉄筋に比べ旧節形状鉄筋が大きく亀裂が進展していた. また旧節形状内でも C 鉄筋が特に亀裂が大きく, 鉄筋破断が 1 箇所確認された.

ここで, 曲げ加工時の初期亀裂が進展後の亀裂に与えた影響を各鉄筋で平均し比較を行った. 図-4 に初期亀裂と進展後の亀裂を比較した結果を示す. 現行鉄筋は 0.81% から 0.60% とほとんど進展は見られない. A 鉄筋は 1.43% から 2.21% と 1.5 倍の進展, B 鉄筋は 2.27% から 3.87% と 1.7 倍の進展, C 鉄筋では 2.56% から 20.4% と 8 倍の進展となった. 以上より現行鉄筋では初期亀裂が 1.0% 以下の場合には損傷も小さく, 1.0% を超えるような初期亀裂を有する鉄筋種類の中で, 例えば感受性の差異などにより亀裂が急激に進展する種類があることを確認した.

次に膨張量が与える影響を詳細に検討するため, 各曲げ加工部から両側に 340mm (側面長の 1/2) 範囲のひび割れ幅より帯鉄筋付近の局所的な膨張ひずみを算出し, 進展後亀裂結果との関係を検討した. その結果を図-5 に示す. 膨張ひずみは 8000 μ まで幅広く分布し, 2000 μ 以下の少量の膨張ひずみ箇所では進展も軽微であり, 2000 μ を超える膨張ひずみ箇所では 30% を超える亀裂, 破断が確認された. しかし, 膨張ひずみが大きい場合でも進展が小さい箇所が存在し, 膨張自体は鉄筋亀裂を発生させる必要要因であるが, 必ずしも膨張と鉄筋損傷関係が比例関係にないことを確認した.

亀裂, 破断発生と外観変状の関係について, Case13 で測定した帯鉄筋位置の変形角度と進展後亀裂を比較した. 角度算出範囲はかぶりの影響を考慮し図-6 上部に示すように隅角部から 140mm 範囲とした. 結果を図-6 に示す. 角度進展はすべて帯鉄筋が曲げ戻される方向に変形しており, 0.5° より比較的大きな亀裂の発生している. 破断箇所は 2.0° であったが, 1.0° を超えても B 鉄筋, C 鉄筋ともに 5.0% 未満の軽微な亀裂も存在し, 膨張ひずみ同様, 必ずしも角度変形が亀裂発生量に比例しないことを確認した. また同じ変形状態でも B 鉄筋よりも C 鉄筋亀裂が大きく, 初期亀裂の程度とともに, 鉄筋種類による感受性の影響が高いと考えられる.

4. まとめ

- (1) 膨張コンクリートを用いて ASR 劣化を模擬した供試体で, 帯鉄筋比をパラメータに用いた結果, 外観上の損傷ではひび割れ発生本数, 長さ, ひび割れ幅が帯鉄筋比の増加により抑制されたが, 帯鉄筋の損傷程度はほぼ同じであった. また曲げ加工部近傍で個別に膨張ひずみを評価した場合, 2000 μ 以上で 10% 以上の亀裂進展が認められたものの, 5% 以下の軽微な亀裂もあり必ずしも膨張と鉄筋損傷関係が比例関係にないことを確認した.
- (2) 鉄筋種類をパラメータに用いた結果, 1.0% 以下の初期亀裂を有する現行鉄筋を用いた場合は亀裂の進展が確認できず, 1.0% 以上の初期亀裂を有する旧基準鉄筋で亀裂の進展, 鉄筋破断が確認された. また亀裂の進展程度に外観上の膨張量や変形の影響度は低く, 旧基準鉄筋の中でも初期亀裂程度, 亀裂の感受性の差異などで急激に亀裂が進展 (30% 以上), 破断に至る鉄筋があることを確認した.

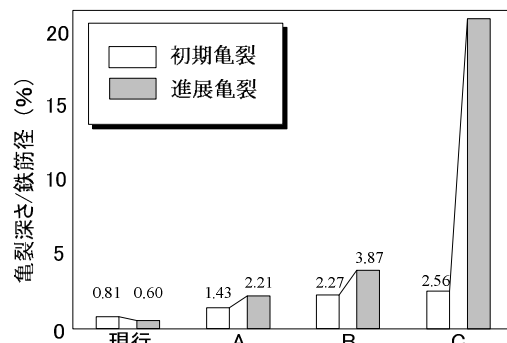


図-4 初期亀裂と進展後亀裂 (平均値)

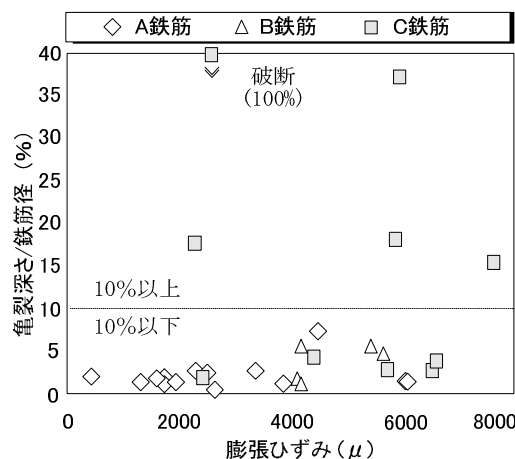


図-5 膨張ひずみと進展後亀裂

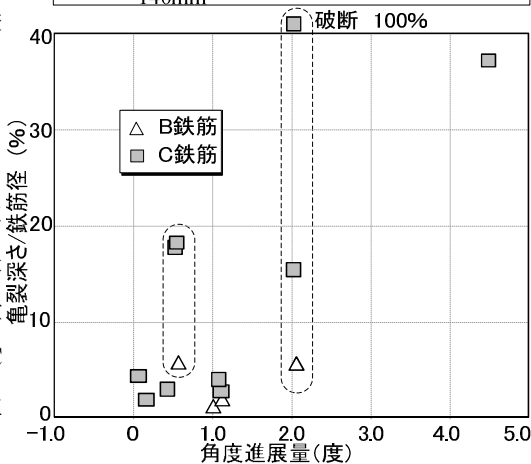
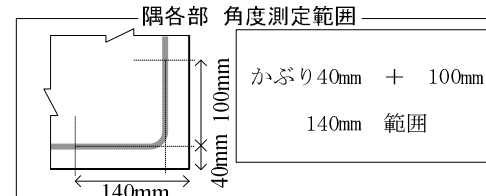


図-6 角度進展量と進展後亀裂