

ASR実構造物の鉄筋損傷に着目した調査・検討

Investigation of reinforcing bar damage in ASR structures

幸左賢二*, 川島恭志**, 合田寛基***, 興梠展朗****

Kenji Kosa, Yasushi Kawashima, Hiroki Goda and Nobuaki Kouroki

*Ph.D. 九州工業大学教授 工学部建設社会工学科 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

**工修 住友大阪セメント株式会社 セメント・コンクリート研究所 (〒551-0021 大阪市大正区南恩加島7-1-55)

***工修 九州工業大学大学院 工学研究科 機能システム創成工学専攻 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

****九州工業大学大学院 工学研究科 建設社会工学専攻 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

To evaluate the effect of reinforcing bar damage on ASR structures, the relationship between the damage ratio of reinforcing bars and physical properties of concrete, hoop ratio and bending radius were investigated. From the survey results, a correlation was found between reinforcing bar damage and bending radius. Therefore, a material testing was carried out, and the effect of bending method and bar type on the reinforcing bar damage was investigated. From the test results, it was found that the possibility of existing type reinforcing bar damage was very low if bars were bent in accordance with JIS standard.

Key Words : alkali silica reaction, breaking of reinforcing bars, bending radius

キーワード: アルカリ骨材反応, 鉄筋破断, 曲げ加工半径

1. はじめに

近年アルカリ骨材反応（日本において多く確認されているのはアルカリシリカ反応、以下ASRと表記）等によるコンクリート構造物の劣化が問題となっている。

従来、ASRによる損傷は、コンクリートの体積膨張により発生するひび割れや、圧縮強度および静弾性係数の低下、ひび割れからの雨水浸入による鉄筋腐食などが問題視されており、極端な耐力低下はないと考えられてきた。しかし、近年の調査により、ASR劣化構造物中において、鉄筋の曲げ加工部や圧接部が破断している事例が報告された¹⁾。特に被害事例が多く報告されている帯鉄筋曲げ加工部での破断が多く発生した場合、帯鉄筋の有効付着長に変化が生じ、せん断耐力が低下する可能性があることから、注意を要すると考えられる。

そのため、本研究においては、鉄筋に特に着目することで、鉄筋の曲げ加工方法や節形状が鉄筋損傷に与える影響について検討することとした。図-1に研究フローを示す。まず、本研究においては、鉄筋損傷の発生したASR実構造物の損傷状況を把握するため、ひび割れ、コンクリート物性値、鉄筋損傷状況について調査した。調査結果より、鉄筋損傷と鉄筋の曲げ加工半径に強い相関性が見られたため、鉄筋の加工条件に着目し、鉄筋曲げ加工試験を行うこととした。鉄筋曲げ加工試験においては、既往の研究等^{1), 2), 3)}を参考とし、曲げ加工および測定方法の精度を調査した後、鉄筋種別、曲げ加工半径をパラ

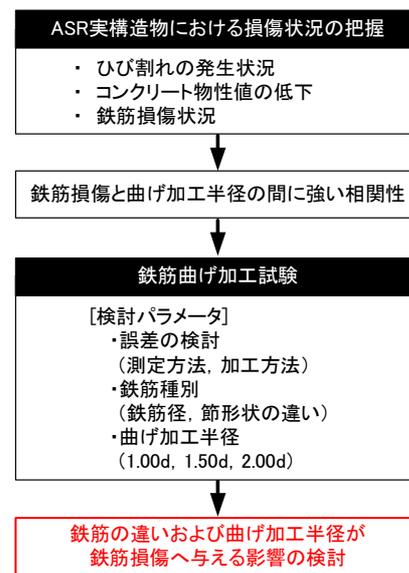


図-1 研究フロー

メータとした検討を行い、鉄筋の違いおよび曲げ加工半径が鉄筋破断の起因となる初期亀裂の発生傾向に与える影響について検討した。

2. 鉄筋破断に関する実構造物調査結果

2.1 代表例

鉄筋損傷が発生したASR構造物の劣化進展度を、都市高速道路A橋脚を用いて説明する。

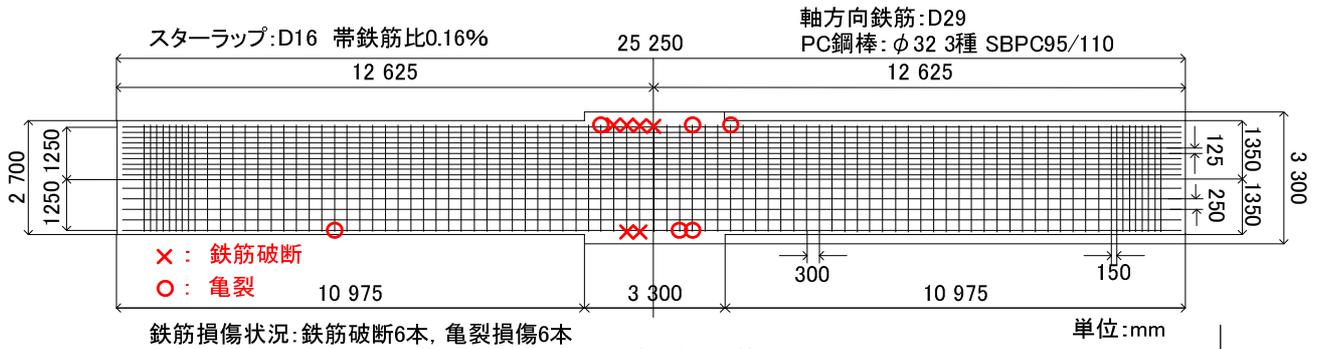


図-2 橋脚 A 配筋

まず、橋脚Aの配筋状況を図-2に示す。橋脚Aは1979年竣工のPCT型橋脚であり、スターラップにD16（帯鉄筋比0.16%）、軸方向筋にD29、PC鋼棒にはφ32のSBPC95/110を用いている。平成15年時の調査において、鉄筋曲げ加工部の亀裂損傷が6箇所、鉄筋破断が6箇所確認された。図-3に橋脚Aの寸法を示すが、鉄筋損傷は主に柱上部において確認された。また、橋脚Aでは平成15年までに経年的なASRによる被害により橋脚梁部の補修が3回行われていたが、補修を行った数年後に、鉄筋損傷が確認されたことから、平成15年にCFRP補強がなされた。

次に、図-4に橋脚Aの平成15年の外観変状とコア調査結果を示す。図-4より、橋脚梁部は全面的にひび割れが発生し、ASRによる劣化が進んでいる。補修後再発生したひび割れを最初のひび割れ密度に加え、累積ひび割れ密度として調査したところ、ひび割れ密度は1.25m²に達していた。また、鉄筋損傷が顕著に確認された柱上部では最大11mmの大きなひび割れ幅が計測された。

コアの物性値では、圧縮強度は、設計基準強度を上回る値を計測しているが、静弾性係数はコンクリート標準示方書に記載されている一般値に対して50%程度に低下しており、ASRのコンクリート損傷の特徴を有している。また、平成15年時のJCI法によるコアの促進膨張試験では全膨張量が105~235μと小さな膨張量であった。

鉄筋破断時期とひび割れの発生状況を比較するため累積ひび割れ密度の経時変化を図-5に示す。図-5より、竣工後ひび割れ密度は徐々に大きくなっていく傾向が見て取れる。鉄筋破断は竣工後22年目の調査で確認されているが、その前後の調査においてもひび割れの進行が認められ、膨張の進展途中において鉄筋破断が確認されたと考えられる。そのため、明確な鉄筋破断時期の推定は難しく、竣工後20年以前において鉄筋が破断していた可能性もあると考えられる。

最後に橋脚Aの鉄筋の状況について示す。橋脚Aでは、鉄筋のはつり調査時に、あわせて化学成分分析や引張試験等を行っており、鉄筋の性質上の問題に関する調査が行われている。調査結果によると、橋脚Aの鉄筋は化学成分のJIS G3112を満足していた。また、鉄筋の機械的性質は引張強度、伸びを満足しており、鉄筋の品質はJIS G3112の規格値を満足していた。

鉄筋の曲げ加工状況に関する調査結果を図-6に示す。

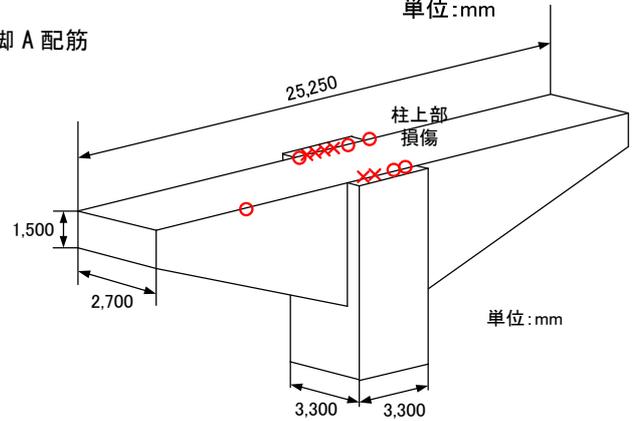


図-3 橋脚 A 寸法

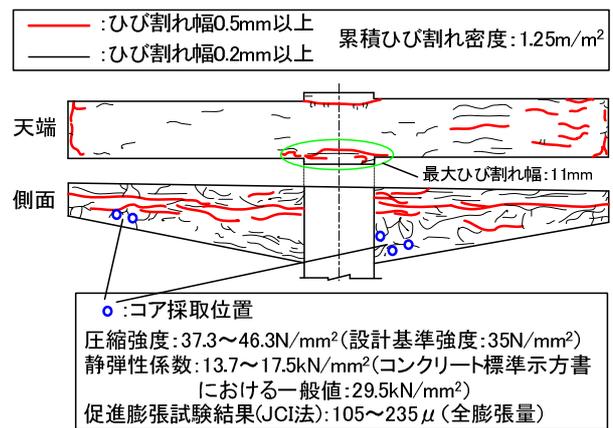


図-4 橋脚 A 外観変状およびコア調査 (H15 時)

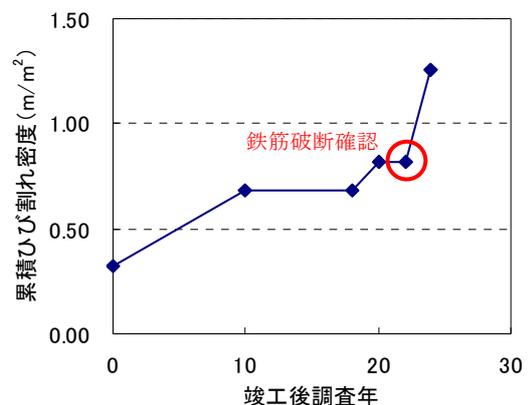
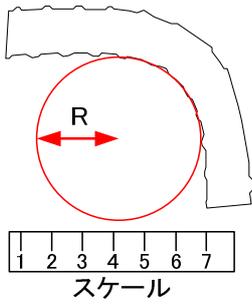


図-5 橋脚 A 累積ひび割れ密度経時変化

ここでは、既往の調査報告¹⁾では曲げ加工半径の測定が行われていなかったため、鉄筋の曲げ加工部が撮影された画像を用いて、後述する画像測定を行うことで曲げ加工半径の推定を行った。画像測定では、鉄筋曲げ加工部の内側に沿って円を描くことで曲げ加工半径の推定を行



試料数	D16鉄筋曲げ加工部 11本	
	曲げ加工半径 (mm)	25.2
	26.4	28.5
	28.2	27.9
	27.3	27.7
	26.8	24.8
	27.0	
平均 (mm)	27.0	1.69d

図-6 代表橋脚曲げ加工半径

っている。また、鉄筋曲げ加工部の内側において、節の形状が明確に判明している場合においては、節部分に沿って測定している。図-6に示すように、推定曲げ加工半径は平均27.0mm (曲げ加工半径1.69d) 程度であった。

2.2 橋脚9基に関する調査結果

ここでは、既往の調査報告や文献¹⁾、ヒアリング等から鉄筋損傷が判明した19基の橋脚の中で、耐力低下に繋がると考えられるフーチングとスターラップの鉄筋損傷に着目し、かつ比較的鉄筋損傷に関してデータが多く取られていた9基の橋脚について検討を行うこととした。今回分析対象とした橋脚の構造形式および損傷箇所のデータを表-1に示す。表-1より、対象橋脚は多くが、1970年代竣工のRCT型梁であり、鉄筋損傷はD16スターラップ鉄筋で多く発生していた。各構造物の竣工年と鉄筋損傷確認時期を図-7に示す。図-7より、各構造物とも2000年前後に鉄筋破断が確認されている。各構造物とも補修が1~4回の頻度で行われており、鉄筋損傷判明後は速やかに補強が行われた。また、昭和60年頃に疲労破壊を回避する目的で鉄筋の節形状が変更されている。今回対象とした構造物はほぼ全ての橋脚が変更以前に竣工しており、旧規格の節形状を有する鉄筋 (以下、旧鉄筋と呼ぶ) を使用している可能性が高いことが伺える。

(1) 鉄筋損傷率とコンクリート損傷の関係

鉄筋損傷が生じた橋脚のコンクリート劣化状況や帯鉄筋比、曲げ加工状況から鉄筋破断に至った経緯を検討する。なお、検討に用いる鉄筋損傷率は、式 (1) により算出している。

$$\text{鉄筋損傷率} = \frac{\text{破断および亀裂本数}}{\text{調査本数}} \dots (1)$$

まず、橋脚のコンクリート被害と鉄筋損傷の関係から、鉄筋損傷が顕著となるASRの進行程度を検討した。

図-8に鉄筋損傷率とひび割れ密度の関係を示す。図-8より、ひび割れ密度と共に鉄筋損傷率も大きくなる傾向があるが、ひび割れ密度が1.0m/m²程度でも鉄筋損傷は生じていた。中でも橋脚Eはひび割れ密度が1.5m/m²程度で鉄筋損傷率が40%を超える損傷が見られたが、フーチングの損傷である橋脚G、Iはひび割れ密度が2.0m/m²程度で鉄筋損傷率が80%程度発生しており、フーチングにおいて顕著に損傷が発生する傾向となっている。

表-1 対象橋脚構造形式および損傷箇所一覧

橋脚	竣工年	構造形式	損傷箇所	鉄筋径		
				主鉄筋	帯鉄筋	フーチング
A	1979	PCT型梁	柱上梁天端スターラップ	D29	D16	-
B	1979	PCT型梁	柱上梁天端・梁端部上側スターラップ	D35	D16	-
C	1977	RCT型梁	梁下面スターラップ	D32	D16	-
D	1978	RCT型梁	梁側面上側・中央部・梁下面スターラップ	D35	D16	-
E	1969	PCT型梁	柱天端付近スターラップ	D22	D22	-
F	1979	RCT型梁	スターラップ	不明	不明	-
G※	1980	RCT型梁	梁張出部スターラップ	D32	D19	D16
			フーチング	D25		
H	1978	RCT型梁	梁張出部スターラップ	D29	D13	-
I※	1985	RCT型梁	フーチング	D32	D22	D25

※G・I橋脚はフーチング損傷

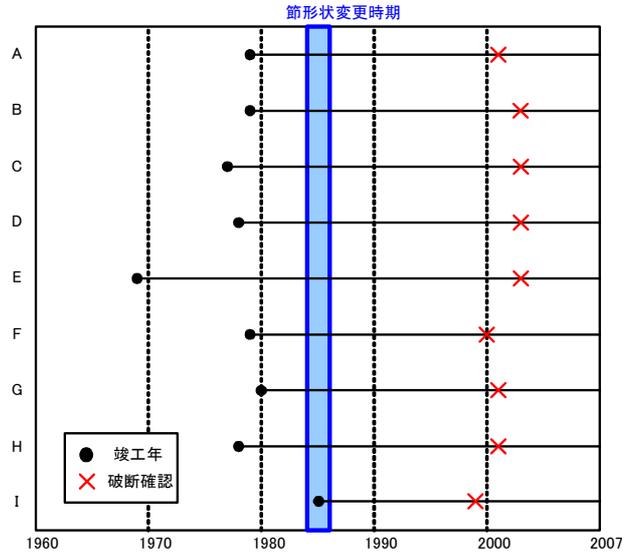


図-7 竣工年から鉄筋損傷確認

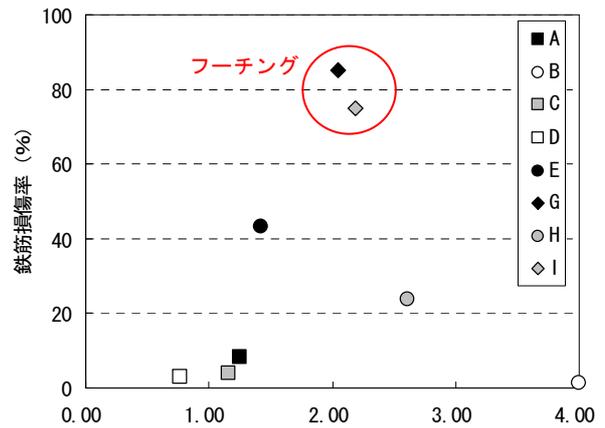


図-8 鉄筋損傷率とひび割れ密度の関係

次に、コア圧縮強度と鉄筋損傷率との関係を図-9に示す。ここでは、最新のコア圧縮強度の平均値を橋脚の設計基準強度で除すことにより、無次元化して比較している。図-9より、鉄筋損傷率に関係なく、コア圧縮強度はそれほど大きな差異が発生していないことがわかる。鉄筋損傷率が80%を超え、図-8に示すひび割れ密度が2.00m/m²を超えるような橋脚B、Hにおいても、コア圧縮

強度は設計基準強度付近の強度を保っている。

圧縮強度と同じくコンクリートの物性値の目安となる静弾性係数と鉄筋損傷率との関係を図-10に示す。静弾性係数についても圧縮強度と同様に、静弾性係数をコンクリート標準示方書に記載されている一般値で除すことにより、無次元化して比較している。図-10より、圧縮強度に比べ静弾性係数の低下が著しいことが分かる。特に、静弾性係数が50%低下するような橋脚では、鉄筋損傷率が大きくなる傾向を示している。静弾性係数が50%以上低下している橋脚G, H, Iはいずれもひび割れ密度が 2.00m^2 を超えており、ひび割れの発生度合いと静弾性係数が密接に関係していると考えられる。

(2) 鉄筋損傷率と帯鉄筋比, 曲げ加工半径の関係

次に、鉄筋による拘束状況の影響および鉄筋の曲げ加工が鉄筋損傷に与える影響を調査するため、帯鉄筋比と曲げ加工半径が鉄筋損傷に与える影響を検討した。

図-11に鉄筋損傷率と帯鉄筋比の関係を示す。図-11より、橋脚Eにおいて帯鉄筋比が0.8%程度であるにも関わらず、鉄筋損傷率が40%以上確認されており、帯鉄筋比と鉄筋損傷率の間には明確な相関性は認められなかった。しかしながら、鉄筋損傷率が80%を超える橋脚G, Iはフーチング部のため、構造的に帯鉄筋比が0.10%以下と帯鉄筋比が非常に小さい条件であったことが鉄筋損傷率を大きくした一要因であるとも考えられる。

図-12に鉄筋損傷率と曲げ加工半径の関係を示す。ここでは、曲げ加工半径を鉄筋径で除すことにより無次元化して比較している。図-12より、鉄筋損傷率と曲げ加工半径の間には非常に強い相関が見られた。曲げ加工半径が $1.60d$ を下回る程度から鉄筋損傷率が大きくなる傾向が見られるが、曲げ加工半径 $1.60d \sim 1.80d$ においても鉄筋損傷は発生しており、JIS規格の曲げ加工半径 $2.00d$ を下回る曲げ加工半径となっている場合、鉄筋損傷が発生しやすい結果となっている。また、図-11において特異な点を示していた橋脚Eは図-12では、 $1.26d$ 程度で加工されており、曲げ加工半径が小さいために、鉄筋損傷率が大きくなったと考えられる。

以上の実構造物における調査・検討結果より鉄筋の曲げ加工半径と鉄筋損傷率の関係性は極めて大きいと考えられる。そのため、本研究では、鉄筋の曲げ加工半径と鉄筋損傷の関係性について詳細に検討することで、鉄筋破断の要因となる初期亀裂の発生傾向および初期亀裂の進展傾向を調査することとした。

3.鉄筋曲げ加工試験

3.1 試験ケースおよび検討項目

表-2に鉄筋曲げ加工試験ケースを、表-3に検討項目を示す。本試験では、先ず10~30本の同一試験体を用いて曲げ加工半径の計測誤差を検討した後、鉄筋種別、曲げ加工半径の違いに着目した初期亀裂の評価を行った。

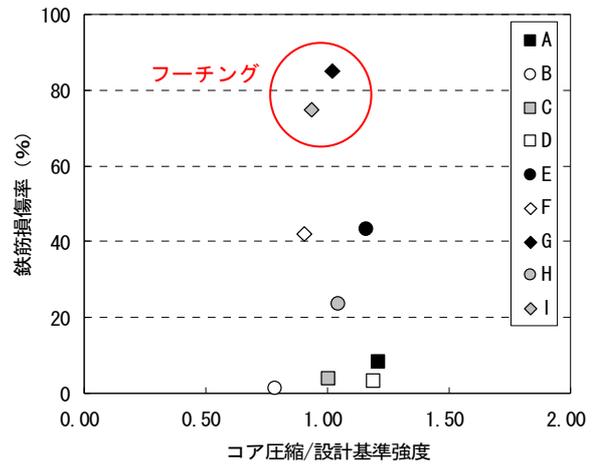


図-9 鉄筋損傷率と圧縮強度の関係

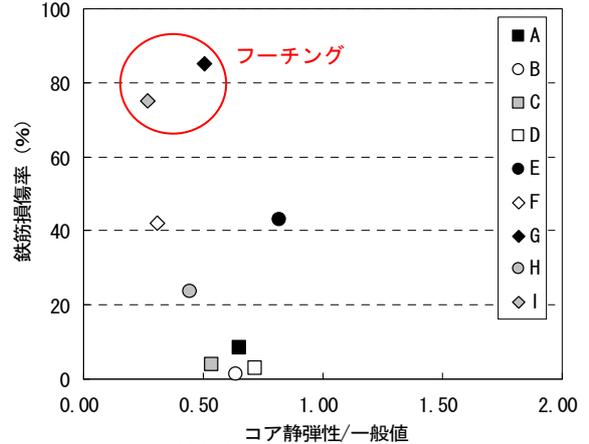


図-10 鉄筋損傷率と静弾性係数の関係

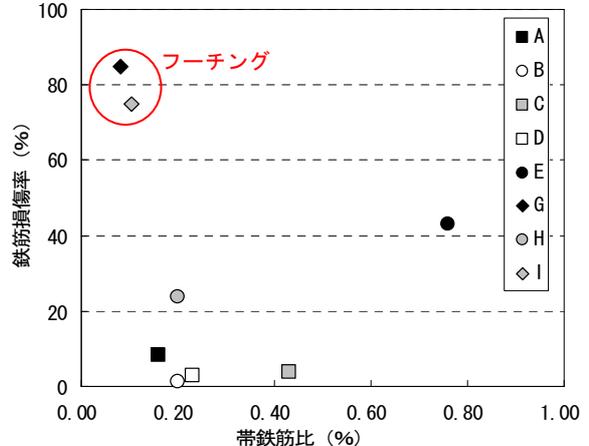


図-11 鉄筋損傷率と帯鉄筋比の関係

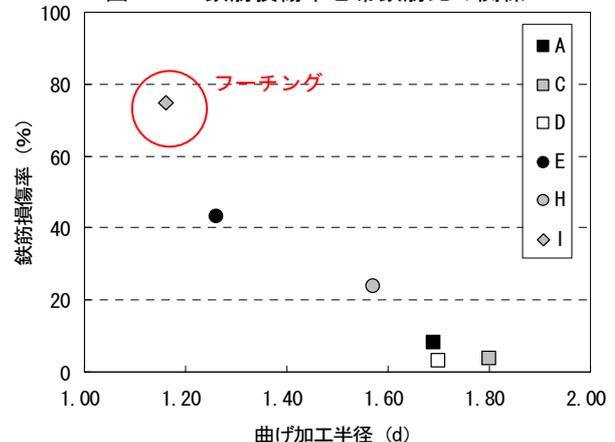


図-12 鉄筋損傷率と曲げ加工半径の関係

なお、検討した試料はすべてJIS G3112の成分および機械的性質を満足していたものを用いた。

(1) 曲げ加工に関する精度

既往の報告等¹⁾より、鉄筋の曲げ加工半径の調査では、JIS G3112の規定の2.00dを下回る曲げ加工半径での施工がされていた可能性がある。曲げ加工半径2.00dを下回った原因として、曲げ加工半径の測定方法や、加工時の治具調整による誤差の影響も考えられるため、まず曲げ加工に関する精度を検討した。試料としては、比較的入手が容易である現行D16を用い、表-2に示すように、精度が十分判明すると考えられる試験数での検討を行った。

(2) 初期亀裂の検討

曲げ加工半径をパラメータとすることで、加工条件が初期亀裂に与える影響を検討した。設定した曲げ加工半径としては、JIS G3112で規定されている2.00d、図-12における平均値程度である1.50d、極端に厳しく加工された場合を想定した1.00dの三水準によって比較検討した。

(3) 鉄筋種別の検討

鉄筋種別に関しては、写真-1に示すように、旧節形状の鉄筋と現行の節形状の鉄筋や鉄筋径の異なる鉄筋を同様の曲げ加工半径で加工することで、初期亀裂にあたえる影響について検討した。試料としては、現行D16、旧D16、旧D13鉄筋を用いており、一般的にスターラップに多く使用されている鉄筋径での検討を行った。

3.2 試験方法

(1) 曲げ加工方法

図-13に曲げ加工方法を示す。鉄筋の曲げ加工は、ローラー式の鉄筋曲げ加工装置を用いて全試料を横節が加工芯に当たるようにして、9.8rpmの加工速度で90度に曲げ加工した。試料長は300mm程度とし、90度の曲げ加工が行える長さを確保した。また、鉄筋は加工する際、鉄筋に対し固定ストッパーやローラーと曲げ加工芯の間隔(治具間隔)を調整する必要がある。この治具間隔の違いの影響を検討するため、治具間隔を最小にした加工パターンAと、試料の交換が容易に行える程度に治具間隔をとった加工パターンBの比較を行った。

(2) 曲げ加工半径測定方法

図-14に曲げ加工半径の測定方法を示す。図-14に示すように、本試験では既往の報告等¹⁾で一般的に実施しているRゲージによる曲げ加工半径の測定(図中a)と、デジタル画像から曲げ加工半径を測定した画像計測(図中b)を行った。Rゲージによる曲げ加工半径の測定では、複数の種類のRゲージを曲げ加工部に当てることで、最も適合したRゲージによる評価を行っており、本試験においてはRが1.0mmずつ変化するRゲージを使用した。画像測定に関しては、撮影した鉄筋の曲げ加工部の内径に沿って円を描き、その直径を計測して、曲げ加工半径を判断した。また、曲げ加工部内側において節の形状が明確に判明する場合は節部分に沿って測定した。

表-2 試験ケース

検討ケース	鉄筋径	加工半径	試験数
Case1	現行D16	1.0d	10
Case2		1.5d	30
Case3		2.0d	10
Case4	旧D16	1.0d	10
Case5		1.5d	10
Case6		2.0d	10
Case7	旧D13	1.0d	10

表-3 検討項目

検討ケース	曲げ加工・測定精度	初期亀裂測定※		
		現行・旧の比較	鉄筋径の影響	曲げ加工半径の影響
Case1	○	○		
Case2	○			
Case3	○			
Case4		○	○	○
Case5				○
Case6				○
Case7			○	

※各Caseとも5本の試料を対象

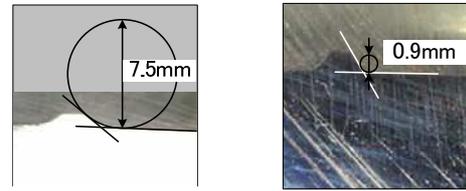


写真-1 節形状

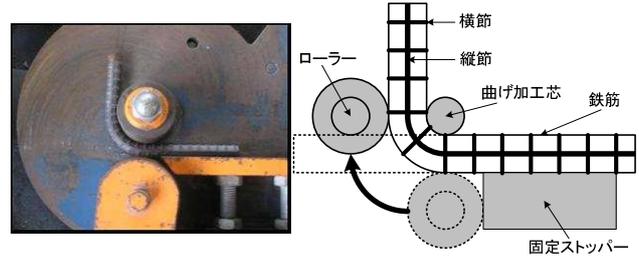


図-13 曲げ加工方法

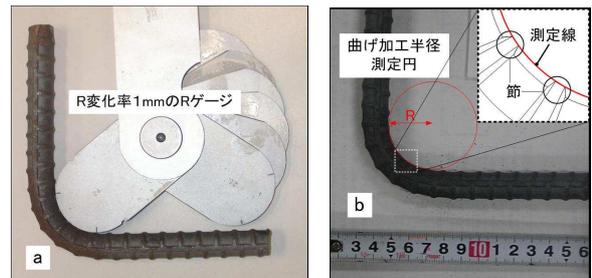


図-14 曲げ加工半径測定方法

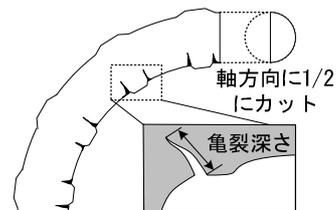


図-15 亀裂の測定方法

(3) 初期亀裂測定方法

曲げ加工時に発生する初期亀裂の測定方法に関しては、図-15に示すように、曲げ加工した鉄筋の曲げ加工部を切り出し、その部位を軸方向に1/2にカットした後、カッ

トした断面を顕微鏡を用いて50~200倍の断面を観察することで亀裂深さを測定した。

3.3 曲げ加工半径の測定誤差および加工誤差

(1) Rゲージによる測定精度

図-16にRゲージを用いた場合での曲げ加工半径測定結果を示す。縦軸は30の試験体に対する発生確率となっており、横軸が曲げ加工半径の大きさとなっている。また、曲げ加工半径が正規分布に従うと仮定し、確率密度関数を用いて各曲げ加工半径の発生確率を算出し、曲線で示した。図-16より、Rゲージを用いた場合、曲げ加工半径の1.50dの計測確率が高く、設定した曲げ加工半径と同様の測定結果が多く得られた。しかしながら、Rゲージでは測定結果が2種類しか出ておらず、Rゲージの変化率によるRゲージの測定精度が1.0mm (0.06d) であることが原因となり、曲げ加工半径を細かく測定できていないと考えられる。そこで、より細かく曲げ加工半径を測定できると考えられる画像測定との比較を行った。

(2) 画像測定による測定精度

図-17に図-16と同様の評価を行った画像測定での曲げ加工半径測定結果を示す。図-17より、画像測定ではRゲージによる測定と比べ、曲げ加工半径を細かく測定することができた。測定結果としては、設定した曲げ加工半径よりも最大で0.12d (約2.0mm) 大きくなっており、平均値の設定値との差異は0.05dであった。Rゲージと画像測定の平均値を比較すると、その差は0.04d (0.6mm) 程度であった。今回調査を行ったRゲージ、画像測定の相関性を図-18に示す。図-18では曲げ加工半径1.00dにおける測定結果も併せて示している。図-18より、Rゲージと画像測定の相関性は非常に良いことが分かる。このことから、Rゲージおよび画像測定による曲げ加工半径の測定値は信頼性の良い値であると考えられる。特に、画像測定では構造物の鉄筋曲げ加工部の画像があれば測定できる点や、曲げ加工半径を細かく測定できることから、Rゲージよりも容易に曲げ加工半径を測定できると考えられる。

(3) 加工パターン比較

上記の検討より、画像測定において曲げ加工半径の厳密な検討が出来ると考えられるため、画像測定を用いて加工パターンの違いによる曲げ加工への影響を検討した。図-19に鉄筋と治具間隔を変化させた加工パターンの違いによる曲げ加工状況の比較を示す。なお、加工パターンの違いは曲げ加工半径1.00dに着目し、図-16と同様の評価を行っている。

図-19より、加工パターンAは曲げ加工の設定値1.00dに対し平均1.03d、加工パターンBは設定値に対し平均1.10dであり、鉄筋と治具間隔を少し設けた加工パターンBで曲げ加工半径が0.07d (約1.1mm) 程度大きく計測された結果となった。これより、治具間隔によっては曲げ加工半径に0.10d程度の差が生じると考えられる。

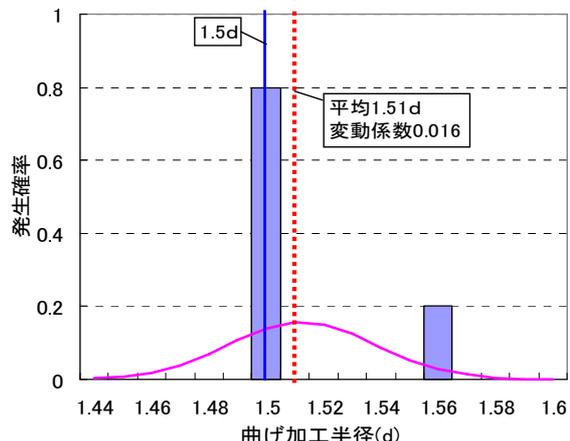


図-16 Rゲージ測定の精度の検討 (case2)

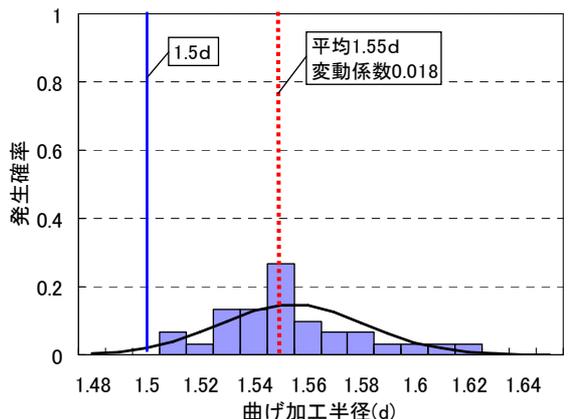


図-17 画像測定の精度の検討 (case2)

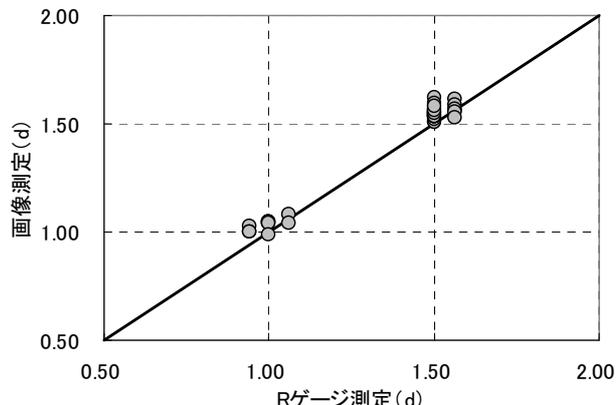


図-18 Rゲージと画像測定の相関性

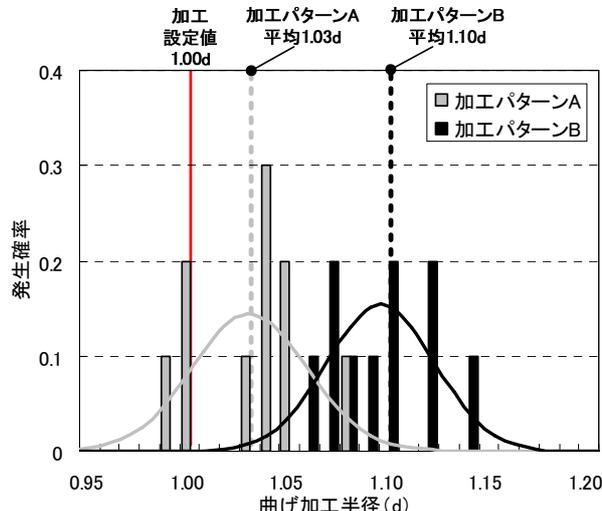


図-19 加工パターンの違い比較

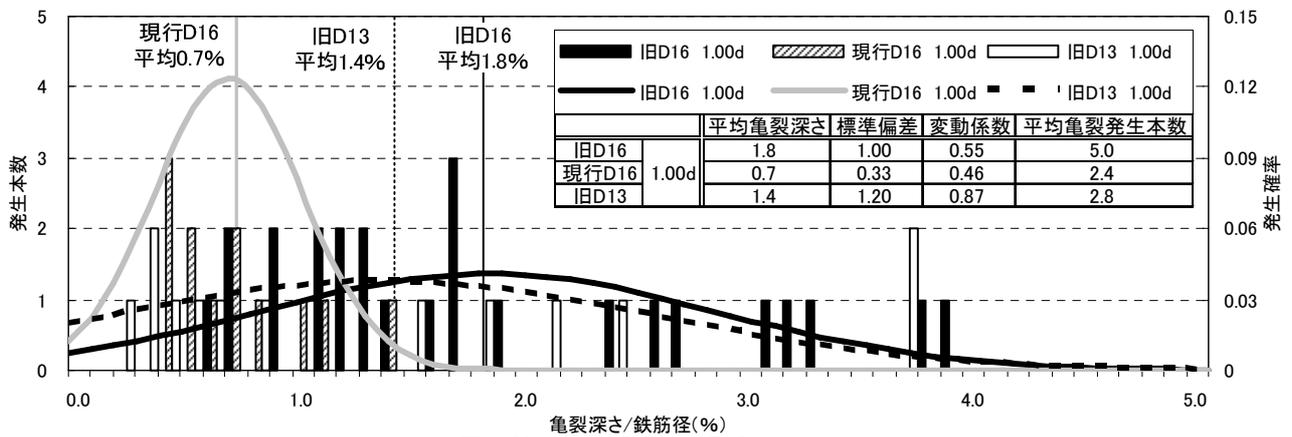


図-20 鉄筋種別の亀裂発生状況

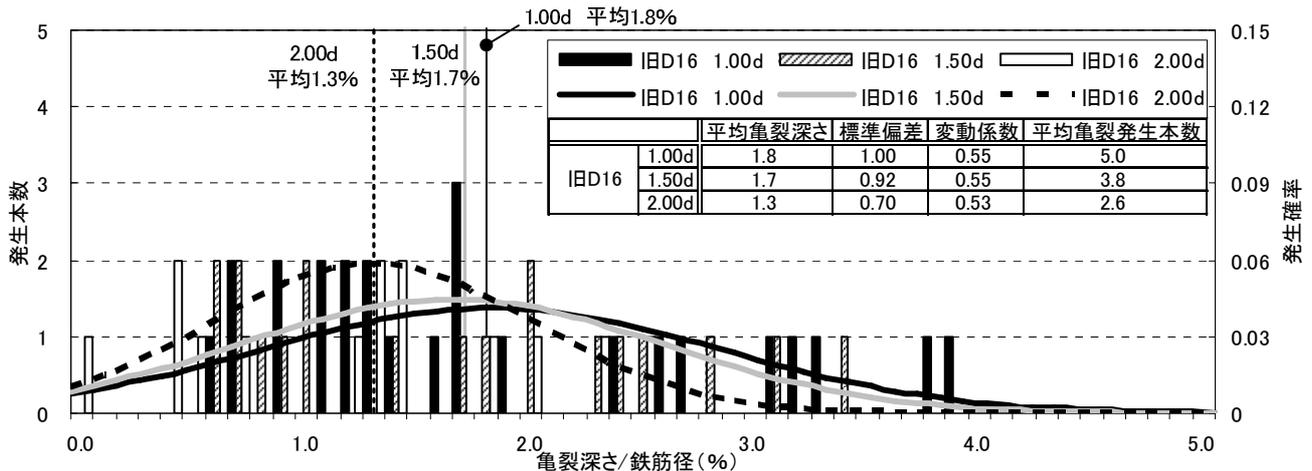


図-21 曲げ加工半径の違いによる亀裂発生状況

以上の結果から推察すると、鉄筋の曲げ加工や曲げ加工半径の測定結果は信頼性が高く、曲げ加工の設定値に対して計測結果に差異が発生したとしても0.10d以下の微小な差異であると考えられる。

3.4 初期亀裂について

鉄筋破断の起因と考えられる初期亀裂に関して、鉄筋種別、曲げ加工半径の違いが与える影響を検討した。

(1) 鉄筋種別の影響

図-20に鉄筋種別ごとの鉄筋の初期亀裂比較を示す。ここでは、最も初期亀裂が発生すると考えられる曲げ加工半径1.00dで現行D16、旧D16、旧D13の比較を行った。横軸は亀裂深さを0.1%区切りで示し、縦軸は亀裂深さに対する度数となっている。また、本来亀裂深さは連続的に変動する数値を持つため、亀裂深さの発生傾向が正規分布に従うと仮定し、確率密度の和に対する各亀裂深さの確率密度の比から発生確率を算出した。そのため、第2縦軸には発生確率を示し、曲線で確率分布を示している。

図-20より、現行D16に比べ、旧鉄筋の亀裂深さが非常に大きく、現行D16の最大亀裂深さが1.4%であるのに対し、旧D16では3.9%、旧D13で3.7%と旧鉄筋では現行鉄筋に対し2.5倍以上の最大亀裂深さが確認された。平均値比較においても旧鉄筋は現行D16に対して2倍以上の亀裂深さであった。確率分布では、1.0%以下の微小な亀裂が多く発生する現行D16に比べ、旧鉄筋では4.0%程度

の亀裂が発生する可能性があり、損傷傾向が高いと言える。平均亀裂発生本数を見ると、現行D16、旧D13が3本以下であるのに対し、旧D16では平均5本を確認しており、旧D16鉄筋が最も損傷を受けやすい鉄筋であった。

(2) 曲げ加工半径の影響

次に、前項の結果から最も亀裂が発生しやすいと考えられる旧D16に着目し、曲げ加工半径の違いが初期亀裂の発生に与える影響を検討した。図-21に亀裂深さと亀裂の発生本数および発生確率の関係を示す。

図-21より、曲げ加工半径が小さい方が初期亀裂深さが大きい傾向となっている。しかしながら、旧D16の最大亀裂深さは、曲げ加工半径1.00dで3.9%、1.50dで3.4%、2.00dで2.5%となっており、曲げ加工半径1.50dや2.00dにおいても大きな初期亀裂が発生していた。平均値を比較しても、1.00dと2.00dで亀裂の大きさは0.5%程度の小さな差であった。また、亀裂発生確率分布より、いずれの曲げ加工半径においても大きな初期亀裂が発生する可能性があることから、旧D16のような旧筋形状を持つ鉄筋を使用した場合、JIS規格通りに曲げ加工されたとしても、大きな初期亀裂が発生する可能性があるとも考えられる。

(3) 初期亀裂進展傾向

鉄筋曲げ加工試験より、旧鉄筋には大きな初期亀裂が生じる可能性が判明した。そのため、初期亀裂を受けた鉄筋が膨張を受けた場合の進展傾向を既往の実験結果と比較検討した⁴⁾。詳細は参考文献⁴⁾に示すが、今回使用し

た旧D16鉄筋と同じものを中空部のあるRC供試体内に配置し、その中空部に膨張コンクリートを打つことで内部膨張圧を与えた場合の初期亀裂の進展状況を検討している。パラメータは、曲げ加工半径、帯鉄筋比、鉄筋種別、環境条件を設定しているが、ここでは、鉄筋種別に着目して同一供試体内に現行鉄筋と旧鉄筋を曲げ加工半径1.0dで配置し、各鉄筋の曲げ加工部の損傷度の違いを検討した3つのケースに着目する。

まず、既往の研究と本研究における初期亀裂深さの比較を図-22に示す。図-22より、既往の研究と本研究での初期亀裂の発生傾向は、現行D16、1.00dの平均比で1.13（本試験平均/既往平均）、最大比で0.81（本試験最大/既往最大）旧D16、1.00dの平均比で1.21、最大比で0.98となっており、ほぼ同程度の亀裂発生状況であると言える。

そこで、本試験での初期亀裂と既往の研究における進展後亀裂を比較することとした。図-23に初期亀裂の発生傾向と3つのケースの進展後亀裂の比較を示す。図-23より、進展後亀裂では3供試体とも旧鉄筋において大きな亀裂を確認した。特にNo.2, 3の供試体では30%や80%の進展後亀裂が発生しており、初期亀裂最大値と進展後最大値間で最大20倍もの進展傾向が確認された。それに対し、現行D16では進展後亀裂が5.0%以内の損傷程度であり、進展傾向はほとんど見られなかった。

現行鉄筋と旧鉄筋で同一条件下において損傷程度に大きく差が生じたことから、現行鉄筋より旧鉄筋を使用する場合、鉄筋破断が発生する可能性が高いと考えられる。また、旧鉄筋において鉄筋破断程度の損傷が生じる状況下にあっても初期亀裂が1.0%程度であった現行鉄筋では、亀裂の進展は非常に小さいことが分かる。

4.まとめ

今回、ASR実構造物の鉄筋損傷調査結果を元に、鉄筋曲げ加工試験を行い、以下の結果が得られた。

- 1) 曲げ加工半径の測定および加工精度の検討を実施した。その結果、測定方法、加工方法ともに設定曲げ加工半径に対し、0.10d以下の微小な差異しか生じず、設定曲げ加工半径は十分な信頼性を有することが判明した。また、本試験において行った画像測定に関しても設定値に対して差異が0.60d (1.0mm)程度であり、精度良く測定できたといえる。
- 2) 曲げ加工時に発生する初期亀裂の検討より、曲げ加工半径1.00dでの鉄筋種別の影響を見ると、旧鉄筋の方が現行鉄筋に比べ、2倍以上の初期亀裂深さが発生することが判明した。
- 3) 初期亀裂の鉄筋破断への影響を検討するため、膨張コンクリートを用いてASRによる内部膨張圧を模擬した供試体実験より、初期亀裂と進展後亀裂を比較し、進展傾向を検討している既往の研究と比較した結果、旧鉄筋では最大初期亀裂深さ3.9%に対して最大20倍も

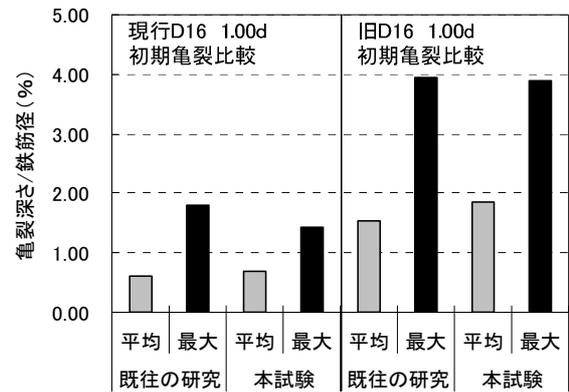


図-22 初期亀裂比較

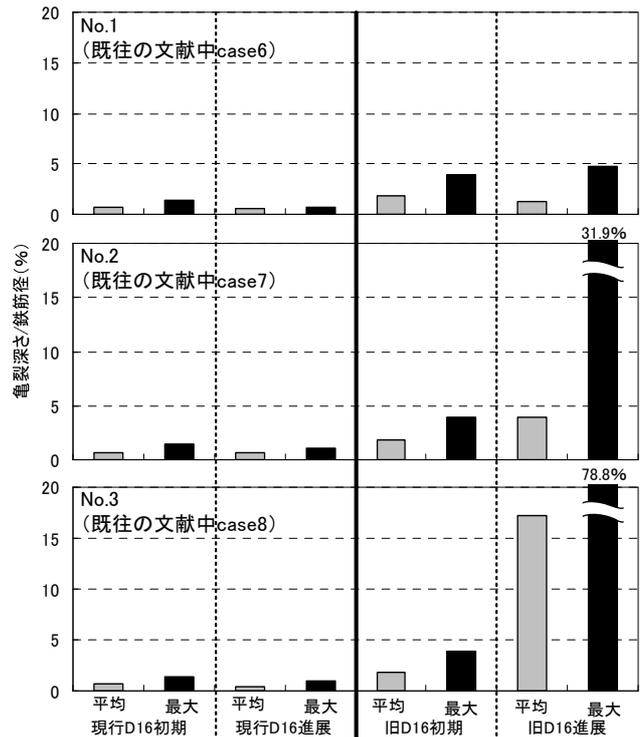


図-23 鉄筋損傷状況 (90度曲げ加工部)

の亀裂進展傾向が見られた。一方、現行鉄筋では最大初期亀裂深さは1.4%程度であり、その進展傾向も非常に小さかった。

参考文献

- 1) 土木学会：アルカリ骨材反応対策小委員会報告書－鉄筋破断と新たな対応－，コンクリートライブラリー No.124, pp. I -32- I -65, 2005
- 2) 幸左賢二，川島恭志，眞野裕子，佐々木一則：アルカリ骨材反応による鉄筋破断メカニズム推定のための材料試験，構造工学論文集, Vol.52A, pp.951-958, 2006.3
- 3) 佐々木一則，熊澤美早，五十嵐弘行：アルカリ骨材反応による鉄筋損傷の原因究明に関する検討報告，土木学会第60回年次学術講演会pp.31-32, 平成17年9月
- 4) 興展展朗，幸左賢二，川島恭志，合田寛基：ASRによる鉄筋破断の模擬実験，土木学会第61回年次学術講演会 pp.113-114, 平成18年9月

(2007年9月18日受付)