

平成 22 年 5 月 24 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19760303

研究課題名（和文） 鉄筋腐食を生じた鉄筋コンクリート部材のせん断耐荷性能評価

研究課題名（英文） Estimation method of shear capacity in reinforced concrete member deteriorated by reinforcing steel corrosion

研究代表者

山本 貴士（YAMAMOTO TAKASHI）

京都大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：70335199

研究成果の概要（和文）：本研究では、鉄筋腐食が RC はりのせん断耐荷特性に与える影響を明らかにすることを目的として、鉄筋腐食を生じさせた RC はりの曲げ載荷試験をもとにせん断耐荷性状を検討した。また、鉄筋腐食による鉄筋とコンクリートの付着性能の低下に着目した有限要素解析による検討をあわせて行った。これらの結果、腐食なしの健全時において斜めひび割れを原因として終局に至る RC はりでは、斜めひび割れが発生する状況ではせん断補強筋の付着低下によりせん断耐力が低下するが、主筋の付着低下により斜めひび割れが発生しなくなると、アーチ耐荷機構の形成で耐力が増加することが分かった。

研究成果の概要（英文）：A load carrying capacity, especially the shear capacity, should be examined in a deteriorated RC member. In this study, the influence of corrosion of reinforcements on shear behavior of RC beams was investigated. As a result, when a diagonal shear crack occurred in RC beam deteriorated by shear reinforcements corrosion, the shear capacity was likely to decrease. However, when the bond characteristic between concrete and longitudinal reinforcement was degraded by corrosion, the diagonal shear crack was hard to occur. In consequence, the load carrying capacity was increased by the formation of arch action mechanism.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,200,000	0	1,200,000
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,200,000	600,000	3,800,000

研究分野：土木材料学，コンクリート工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：鉄筋コンクリート，鉄筋腐食，せん断耐荷性能，せん断耐荷力算定式，斜め引張破壊，アーチ耐荷機構，コンクリート負担せん断耐力，付着性能

1. 研究開始当初の背景

中性化，塩害，アルカリ骨材反応，化学的侵食あるいは疲労といった劣化機構によって，社会基盤を担う重要な構造形式であるコ

ンクリート構造物の性能が時間的に大きく変化する可能性が指摘されている。中でも，中性化や塩害に起因するコンクリート構造物中の鉄筋腐食劣化は，RC 構造の耐荷性能の

根幹を成す鉄筋の断面減少および鉄筋とコンクリートの一体性低下をまねき、構造物あるいは部材の耐荷性能の低下を引き起こす恐れがある。しかし、RC 構造部材中には様々な機能を期待された鉄筋があり、鉄筋腐食劣化で比較的検討の対象に多く挙げられる引張主筋の腐食の影響だけでなく、圧縮主筋、せん断補強筋あるいは横拘束筋などの腐食の影響も検討する必要がある。

2. 研究の目的

本申請課題では、RC 部材の耐荷性能のうちせん断耐荷性能に着目し、鉄筋の腐食を模擬した RC 供試体の載荷実験および耐荷挙動の数値解析的な検討を通じて、鉄筋腐食が生じた RC 部材のせん断耐荷性能の評価手法を提案することを目的とした。

3. 研究の方法

鉄筋腐食劣化を受ける RC 構造のせん断耐荷性能を明らかにし、その構造物の供用期間中の性能挙動を照査できる手法を提案するために、本申請課題では、図 1 に示すような、(1)せん断補強筋の腐食、(2)引張主筋の腐食、(3)圧縮主筋の腐食、(4) (1)~(3)が複合した状態の腐食、の 4 項目の鉄筋種類の腐食がせん断耐荷特性に与える影響について、これらの腐食を電食により模擬した供試体に対する各種の載荷実験、ならびに鉄筋腐食による鉄筋断面積の減少、腐食ひび割れの発生による鉄筋とコンクリートの一体性の低下などをモデル化した有限要素解析により検討した。

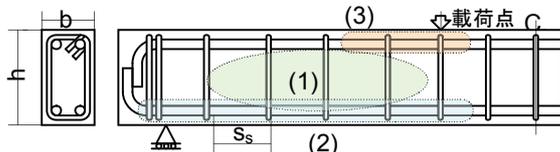


図 1 RC はり 供試体の概要と腐食鉄筋部位

4. 研究成果

(1) せん断補強筋腐食の影響

せん断補強筋の腐食による質量減少率と最大荷重の対健全比の関係を図 2 に示す。ここで整理した結果は、いずれもせん断補強筋のみを腐食模擬の対象としており、主筋は健全であって腐食していないものとして取り扱っている。なお、腐食供試体では、健全において斜め引張破壊に至る供試体であっても、せん断耐荷機構や破壊状況が変化することがある。そこで、性能指標は「せん断耐荷力」ではなく単に載荷実験によって得られた「最大荷重」として表現した。

いずれの供試体においても数%程度の質量減少率にあつては、最大荷重の低下は見られていない。終局時の斜め引張ひび割れ性状の一例を図 3 に示す。せん断補強筋の腐食した

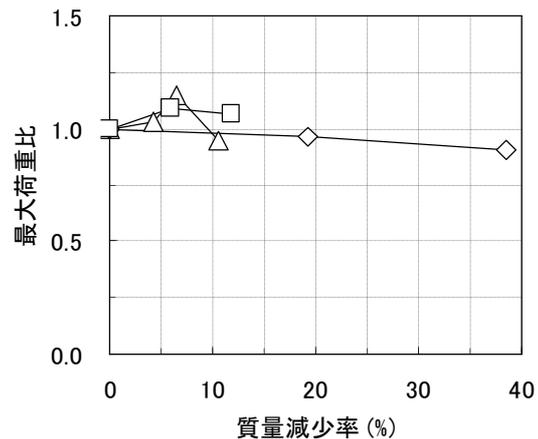


図 2 最大荷重とせん断補強筋腐食量の関係

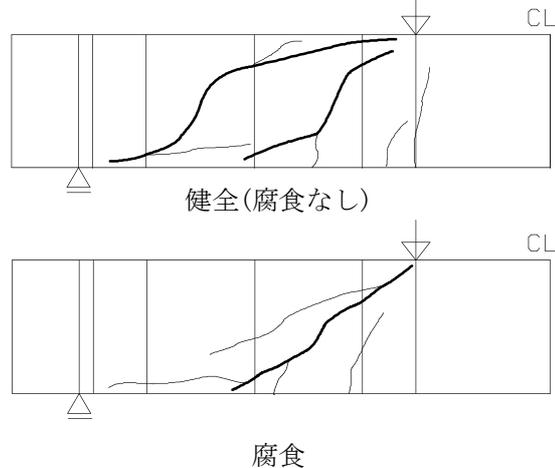


図 3 終局時のひび割れ状況の一例

供試体の斜め引張ひび割れが、腐食なしの健全供試体に比べて載荷点寄りに発生している。せん断補強筋の腐食と付着の低下でせん断スパンウェブ域の応力状態が変化すると推察されるが、詳しい原因は不明である。しかし、結果としてせん断圧縮領域が大きくなってせん断抵抗が増加したと考えられる。また、せん断補強筋に沿った鉛直方向の腐食ひび割れを挟んでせん断伝達が不連続になり、斜めひび割れの進展が妨げられせん断抵抗が持続したことも一因として挙げられる。切削による鉄筋の断面減少とテープ巻き付けによるせん断補強筋とコンクリートの付着低下が工作鉄筋により模擬された場合、腐食ひび割れは導入されていない。腐食量が小さい段階のデータがないため判断は難しいが、このようなモデル化実験では腐食ひび割れによるせん断抵抗の持続は見られず、鉄筋断面減少による最大荷重の低下はあっても増加は得られないと推察できる。なお、このような腐食にともなう鉛直ひび割れは、部材厚(幅)方向に貫通していれば効果が大きいですが、かぶり方向のみの鉛直ひび割れであった場

合、せん断抵抗の向上効果を評価の安全側に採り入れることは難しいと考えられる。

これに対して、10%を超える質量減少率では、最大荷重に低下が見られているものもある。斜め引張ひび割れがせん断補強筋と交差する耐荷機構を呈する場合は、腐食によるせん断補強筋の断面減少によってせん断補強筋の断面減少分の負担せん断力が低下すると考えられる。さらに、解析検討では、せん断補強筋の付着低下によって骨材かみ合わせによるせん断抵抗が低下するとしている。このことは、腐食がない健全な状態ではせん断補強筋の降伏で終局になることが想定されている。せん断補強筋が降伏に至らず、十分に機能しないうちに斜めひび割れが拡大して終局を迎えることを意味している。すなわち、せん断補強筋の降伏で終局とするせん断耐力評価式をせん断補強筋が腐食した部材への照査手法として用いることが適切でないことも起こり得る。また、(斜め引張破壊する範囲で)せん断補強筋量が多いほど斜めひび割れが交差するせん断補強筋の本数が多くなり、せん断補強筋の腐食の影響が大きくなることも予想される。

なお、このような電食や腐食工作鉄筋などは、(自然)腐食に比べると腐食の一樣性が高いと考えられる。したがって、局所的な腐食で最小断面が小さくなる時は低下が顕著になり、質量減少率として、引張を受けるある長さを持った鉄筋の区間平均的な値よりも、強度差などによる局所的な値を用いることが望ましいといえる。さらに大きな腐食によってせん断補強筋がすでに不連続になっている(切れている)とせん断耐力の低下はきわめて大きいことから、まず鉄筋の連続性を確認することが点検における着眼点になる。

さらに、これらの結果は一方向の静的単調載荷実験から得られた結果である。しかし、正負交番型の繰返し載荷条件下では、腐食の程度によっては腐食した帯筋の破断が容易に生じ、脆性的なせん断破壊に至ることが予想される。したがって、橋脚などの耐震性を要求される部材に対して鉄筋腐食の影響を考慮するためには、本検討のみでは不十分であるといえる。また、安定したアーチ耐荷機構を形成するためには、スパン全長にわたって均一に付着が低下することが望ましいが、実験ではやはり軸方向に沿って主筋の腐食状態にばらつきがあり、付着低下の状況が一樣でなかったために、最大荷重に顕著な差が見られなかった可能性もある。

(2) 引張主筋腐食の影響

(3) 圧縮主筋腐食の影響

主筋の腐食による質量減少率と最大荷重の対健全比の関係を図4に示す。これらは、

せん断補強筋の配さず主筋のみで、電食によって腐食を模擬した供試体の結果である。せん断補強筋腐食の影響と同様に性能指標は「せん断耐力」ではなく単に載荷実験によって得られた「最大荷重」として表現した。

主筋に沿った軸方向ひび割れの発生によって主筋の付着性能が低下する。この結果、腐食量が増えるにしたがって、タイドアーチ的な耐荷機構(コンクリート負担せん断力が増加)を形成して最大荷重が増加するようである。このように、主筋の付着状況がせん断耐荷機構に影響しているのであれば、耐荷機構および破壊形式の推定にあたって腐食ひび割れの状態を点検することが有効になる。これに対し、さらに腐食が進行すると曲げ破壊に移行する。この場合、引張主筋の断面減少とともに曲げ耐力が低下し、曲げ耐力と腐食量の考え方を適用できる。ただし、最大荷重の増加を得るのに十分なタイドアーチ的な耐荷機構を形成するためには、特に付着劣化によって定着部に大きな力が作用するため、引張主筋の定着部が腐食による損傷を受けておらず十分に機能する必要がある。また、圧縮鉄筋が存在してこの鉄筋も腐食した場合は、アーチクラウンの圧縮域に腐食ひび割れが存在することで、アーチ耐荷機構が早期に失われることもある。

さらに、主筋の付着はスパン全長にわたって一樣に劣化していることが望ましい。ただし、整理した結果は、すべて電食によって腐食を模擬したものである。電食では主筋に沿った腐食に多少のばらつきはあるものの、実際の腐食と比べると全体的に一樣な腐食形態になっていることが多いと予想される。ところが、実際の腐食では腐食因子の量や速度が部材軸に沿ってばらつきをもつことが多く、結果として腐食量が一樣に生じにくいと考えられる。このような状況では、安定したアーチが形成されないこともあるため、生じうる耐荷機構を検討するためにも腐食ひび割れの幅や分布といったデータが不可欠である。

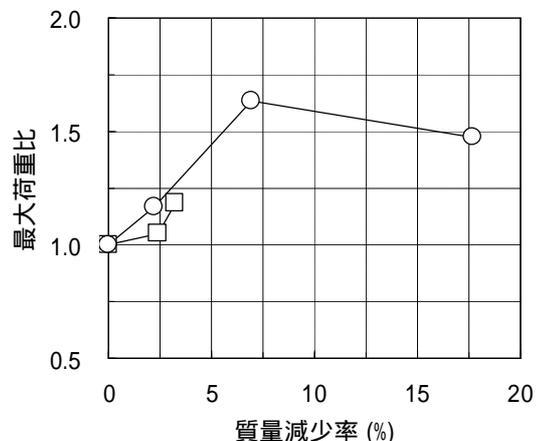


図4 最大荷重と主筋腐食量の関係

(4) (1)～(3)の腐食が複合した場合の影響

質量減少率と最大荷重の対健全比の関係を図5に示す。これらは、せん断補強筋と主筋を同時に腐食させた供試体の結果で、電食あるいは塩水散布によって腐食を模擬している。これまでと同様に性能指標は「せん断耐力」ではなく単に載荷実験によって得られた「最大荷重」として表現した。なお、横軸は主筋の質量減少率で表した。

主筋の腐食量が小さい段階では、斜めひび割れが発生する耐荷機構となり最大荷重は増加しないが、低下するまでのせん断補強筋の腐食量でもないようである。これに対し、腐食量が大きくなると主筋に沿った腐食ひび割れが大きくなって顕著な斜めひび割れが減少し、タイドアーチ的な耐荷機構、さらには曲げ破壊に移行することで、せん断補強筋の腐食状況によらず、斜め引張破壊で決まる初期のせん断耐力を下回ることはないと考えられる。ただし、曲げ破壊に移行するまでの腐食であれば、主筋腐食の影響で述べたように曲げ耐力が低下する。

これらの供試体では、主筋に沿った概ね0.3mmから0.4mm程度の腐食ひび割れが、スパン全体にわたって観察されている。しかし、この腐食ひび割れ性状を基にして、せん断耐荷メカニズムあるいは破壊モードの変化を判定するには至っていない。今後、このような主筋とせん断補強筋の腐食のバランス、および腐食ひび割れの幅や分布状況からせん断耐荷メカニズムあるいは破壊モードの判別を行い、かつ腐食ひび割れという比較的点検しやすい劣化諸量を用いて判別できるようになることが実務上有益であると考えられる。

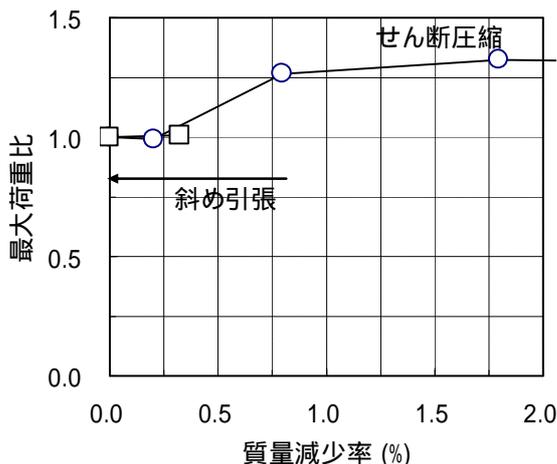


図5 最大荷重と腐食量の関係

(5) 本申請課題のまとめと今後の展望

主筋の腐食が生じたRC部材では、斜め引張破壊を生じない可能性があるものの、そのせん断耐力は、現行のせん断耐力式に、ダウエル作用による抵抗力の低下を主筋断面の

減少として考慮することで、斜め引張破壊を生じる場合には適切に、また、アーチ耐荷機構を形成する場合には安全側に評価することができる。

せん断補強筋の機械的性質が低下した場合、せん断補強筋の断面積の減少、および降伏点の低下によって、せん断補強筋負担せん断力が低下する。また、せん断補強筋の付着性能が低下した場合、せん断補強筋の役割のうち、せん断ひび割れ幅の拡大を抑制する効果が低下することで、コンクリート負担せん断力が低下する。

主筋およびせん断補強筋の腐食が生じたRC部材のせん断耐荷特性は、主筋の腐食による影響、およびせん断補強筋の腐食による影響を複合して受ける。

本申請課題の供試体の腐食模擬方法は、多くが電食であった。腐食の一様性が高いと考えられるこの手法に対して、実環境下での腐食では、劣化因子の部位ごとのばらつきなどに起因して局所的な腐食が顕著になり、鉄筋が不連続になっている(切れている)状態もありうる。このような劣化状態を含めた実部材との相違を念頭に置いた検討が必要である。また、せん断耐荷機構や破壊モードは腐食ひび割れの発生に起因する鉄筋の付着状態に影響することが判明した。したがって、質量減少率よりも容易に入手できる腐食ひび割れ性状(幅、密度および分布)という劣化諸量を用いたRCはり部材のせん断耐荷性能の照査が可能となるように、腐食量だけでなく腐食ひび割れ性状の分布を含めてデータ収集しておくことがきわめて肝要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

山本貴士, 宮川豊章: RCはりのせん断耐荷挙動に与える鉄筋腐食の影響, セメント技術大会講演要旨, 査読無, Vol.63, pp.132-133, 2009.5

〔学会発表〕(計1件)

山本貴士, RCはりのせん断耐荷挙動に与える鉄筋腐食の影響, セメント技術大会, 東京, 2009.5.20

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 貴士 (YAMAMOTO TAKASHI)
京都大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 70335199