

コンクリート中の鋼材腐食によるコンクリート構造部材の破壊機構

Fracture Mechanism of Reinforced Concrete Members Caused by Corrosion of Reinforcing Steel

小林一輔*・魚本健人*

Kazusuke KOBAYASHI and Taketo UOMOTO

1. はし が き

コンクリート構造物の多くは、鉄筋や PC 鋼材で補強された鉄筋コンクリート構造またはプレストレストコンクリート構造である。これは、コンクリートが脆性材料で、その引張強度が圧縮強度のほぼ 1/10 以下しかなく、コンクリート構造物に作用する引張力を鋼材で分担するか、プレストレスを与えるなどしてコンクリートに生じる引張応力を制御するかしなければならないからである。しかし、近年、海洋構造物や沿岸構造物などのように、厳しい塩分環境下に構築された鉄筋コンクリート構造物やプレストレストコンクリート構造物では、このコンクリート中の鋼材が腐食し、構造物としての劣化が問題となってきた。¹⁾

コンクリート中の鋼材が腐食すると次に示す現象が生じる。

- 1) 鋼材の有効断面積の減少や局部腐食による応力集中が生じ、鋼材の耐力が低下する。
- 2) 腐食した鋼材は体積が増大するため、その膨張圧により周囲のコンクリートに大きな引張応力が発生し、コンクリートにひびわれが生じる。
- 3) コンクリートにひびわれが発生すると、鋼材が露出し、腐食速度が早くなるばかりでなく、鋼材とコンクリートとの付着が切れ、構造物全体としての構造形式が変化する。

これらの現象が生じると、コンクリート構造物全体としての耐力低下などが起こり、作用荷重によっては破壊することになる。このような構造物の劣化機構に関してはいまだ十分明らかにされていないことも多く、コンクリート中の鋼材の腐食機構、コンクリートの破壊機構、ならびに構造物としての破壊機構についてさらに検討することが必要である。

以上のことをふまえ、本文では鋼材腐食によるコンクリート構造部材の破壊機構に関する研究の現状について報告する。

2. 鋼材腐食に伴うコンクリート構造部材の変化

コンクリート中の鋼材は一般に腐食しにくいですが、塩分の浸透・混入等があると急速に腐食する。しかし、この場合でも長期間の日数を必要とすることから、ここでは図-1 に示した定電流法による電食実験の結果について説明する。

図-2 は、定電流法で鉄筋コンクリート梁中の鉄筋を強制腐食させた場合のコンクリートの AE (アコースティックエミッション) および電位差の変化を示したものである。この図から明らかなように、通電開始後電位差は徐々に増大し、図-3 に示すような縦ひびわれ (主鉄筋にそったひびわれ) を生ずると電位差は減少し、定常状態となる。一方、AE は縦ひびわれ発生前において数多く発生し、縦ひびわれ発生後はほとんど発生していない。

縦ひびわれ発生前において AE が数多く発生している

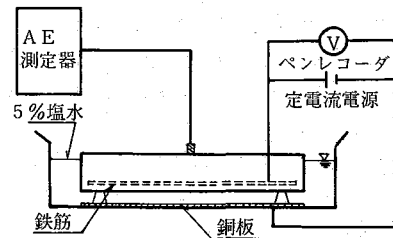


図-1 定電流法による電食実験

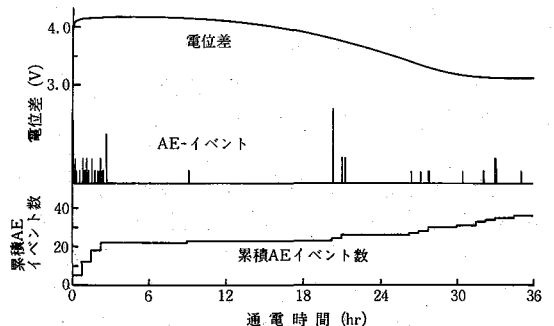


図-2 電食実験時における AE イベント数と電位差の変化

* 東京大学生産技術研究所 第5部

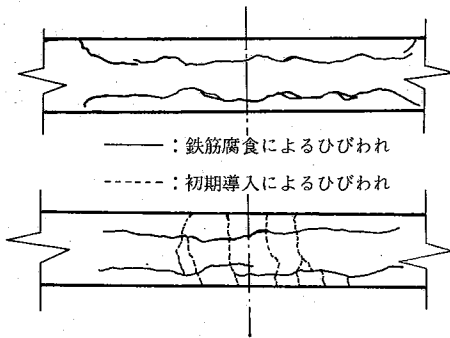


図-3 梁試験体に生じた縦ひびわれ (底面)

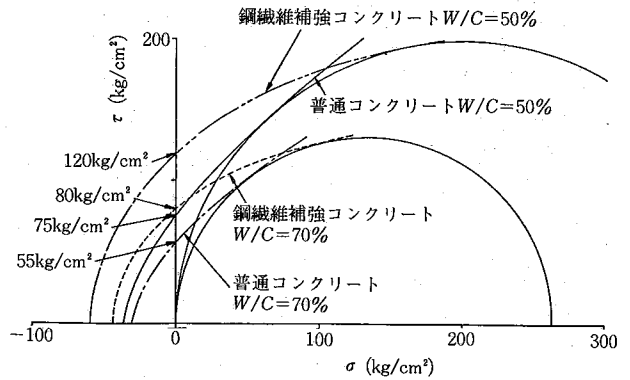


図-5 コンクリートの破壊包絡線²⁾

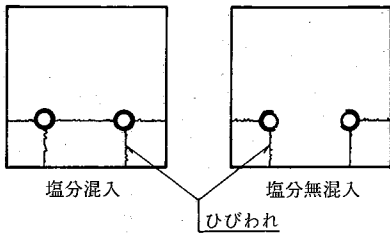


図-4 鉄筋腐食によって生じるひびわれモデル

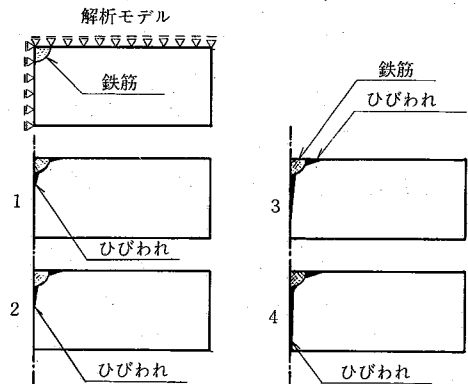


図-6 鉄筋腐食によって生じるひびわれ解析結果 (鉄筋: D10×1本, かぶり: 2cm)

のは、コンクリート表面にひびわれが認められる前に、すでに内部で多くのひびわれが発生していることが原因であると考えられる。縦ひびわれ発生後電位差が減少するのは、鉄筋と鋼板との間の電気抵抗が減少することを意味しており、ひびわれが生じたことを示している。しかし、その値が急激な減少をしていないことから、縦ひびわれは鉄筋近傍から徐々に進んでいると予想される。

これらの結果から、次のように考えられる。鉄筋が腐食すると、その体積膨張が原因でコンクリート内部にひびわれを生じさせるが、鉄筋の腐食量がさらに増大すると、このひびわれがコンクリート表面まで到達する。さらに鉄筋が腐食すると大きな縦ひびわれへと成長するが、そのひびわれが十分大きくなると鉄筋の腐食だけが進行し、荷重作用がない場合にはそれ以上コンクリートのひびわれは発生しなくなる。

3. 鋼材腐食によるコンクリートのひびわれ

コンクリート中の鋼材が腐食した場合、コンクリートに生じるひびわれは、鋼材の断面寸法、コンクリートの断面寸法、鋼材の配置等によっても異なる。

図-1 に示した梁の場合を例に取ると、鉄筋径 10 mm、かぶり 2 cm、コンクリート断面が 10×10 cm では、図-4 に示したようなひびわれとなった。このようなひびわれが生じた原因は、鉄筋の腐食生成物による膨張圧であることを考慮して、有限要素法弾性解析によりひびわれの進展について検討した。なお、コンクリートの破壊条

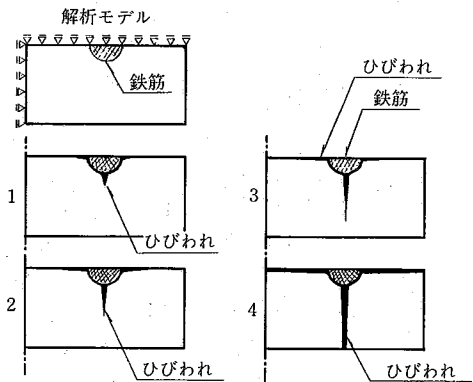


図-7 鉄筋腐食によって生じるひびわれ解析結果 (鉄筋: D10×2本, かぶり: 2cm)

件については、図-5 に示すせん断-圧縮試験から求めた破壊包絡線²⁾のうち、W/C=70%、普通コンクリートの破壊包絡線を用いることにした。

図-4 に示したように、コンクリート中の塩分量が少ないと鉄筋は全面腐食とはならないが、十分に塩分が供給

される場合を想定し、全面腐食の場合を対象とした。なお、鉄筋腐食による膨張は、解析上では熱膨張で与えることとし、鉄筋が1本の場合の解析結果を図-6に、鉄筋が2本の場合の解析結果を図-7に示した。

これらの解析結果から明らかなように、鉄筋が膨張するとコンクリートと鉄筋の付着が部分的に破壊され、鉄筋界面からひびわれが発生する。このひびわれは鉄筋径に比べかぶり小さい場合には放射状となるが、この図に示した場合には最終的にコンクリート表面に対し垂直なひびわれが成長し、鉄筋が十分膨張するとコンクリート表面までひびわれは貫通する。また、鉄筋間隔が小さい場合には、鉄筋と鉄筋を結ぶ面でもひびわれが生じ、貫通する。

この解析結果は、図-2に示したAE計測結果ならびに図-4に示した塩分混入時のひびわれ性状とも良い一致を示していることから、コンクリート中の鋼材が腐食した場合のコンクリートのひびわれについては、上記のモデルでも十分説明できるものと考えられる。

4. 腐食後の鋼材耐力とコンクリート構造物の耐力

図-1に示した梁の通电実験後(D10×2本, 167mA, 10日間)の鉄筋耐力と梁耐力を図-8および図-9に示す。鉄筋耐力は腐食試験後鉄筋を取り出し、引張試験を行ったもので、梁耐力はスパン40cm, せん断スパン比2.0で載荷して求めたものである。

図-8から明らかなように、167mAを10日間通電した場合、腐食した鉄筋の降伏点および破断点はいずれも腐食させない鉄筋の90~95%の範囲である。また、混練水に加えた塩分量が同じであれば降伏点、破断点のいずれもほぼ同じ比率である。塩分量の多いものほど鉄筋の耐力低下は大きい。これは同じ通電条件では、塩分量の大きいものほど腐食量が大きいことが原因であると考えられる。

図-9に示した梁耐力に関しては、図-8に示した鉄筋耐力の場合に比べ、鉄筋腐食の影響は著しい。すなわち、腐食させていない鉄筋コンクリート梁の耐力と比較すると腐食させた梁耐力はその67%~95%となり、腐食による鉄筋耐力の低下以上の耐力低下を示している。この原因としては、2.および3.で述べた鉄筋とコンクリートとの付着力の低下やコンクリートに生じたひびわれによる梁の有効断面積の減少などがあげられる。また、せん断スパン比が2.0であるため、この梁はせん断破壊を生じやすいことも原因であると考えられる。

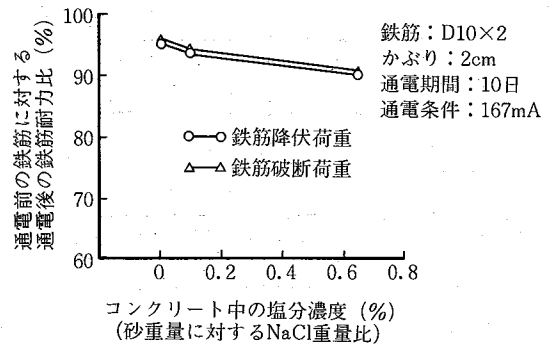


図-8 腐食による鉄筋耐力の変化

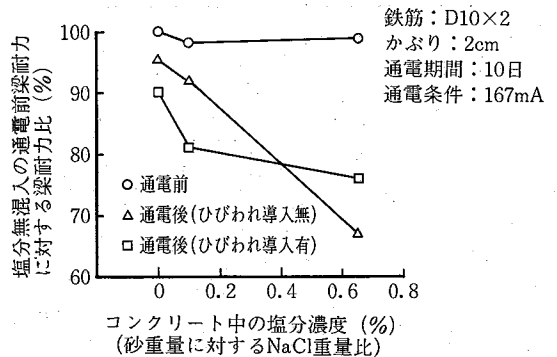


図-9 鉄筋腐食が梁耐力に及ぼす影響

以上の結果からも明らかなように、コンクリート中の鋼材の腐食は、コンクリート構造部材の耐力に及ぼす影響が大きい。

5. あとがき

本文では、鋼材腐食によるコンクリート構造部材の破壊機構に関する研究の現状を報告したが、この問題は社会に与える影響も大きく、破壊機構を解明するためにはいくつもの学問分野にまたがった検討を行うことが必要となる。今後、この破壊機構を明らかにすると同時に、補修・補強方法についても検討することが重要である。

(1984年4月4日受理)

参考文献

- 1) 小林一輔：コンクリート構造物と鋼材の腐食・防食，コンクリート工学，Vol. 19, No. 3, 1981
- 2) 魚本，峰松：コンクリートのせん断強度試験方法に関する基礎的研究，コンクリート工学，Vol 19, No. 4, 1981