

アルカリ骨材反応による鉄筋破断事例

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 佐々木孝彦
 京都大学大学院 フェロー 宮川 豊章
 神奈川工科大学 松山 晋作
 (財) 鉄道総合技術研究所 正会員 飯島 亨

1. はじめに

アルカリ骨材反応による劣化 (ASR) が原因と考えられる鉄筋破断事例が確認されたので、破断状況の確認と原因究明に資する目的で現地調査、破断鉄筋の破面の観察、硬さ分布、鉄筋中の拡散性水素量、コンクリート中の塩化物イオン量および水素量を調べた結果を報告する。

2. コンクリートの外観と鉄筋破断の状況

コンクリートの劣化原因として ASR が特定され、ひび割れ注入と表面被覆による補修を繰り返してきた橋脚 (昭和 53 年竣工) 張り出しの上部に、開口幅 2mm ずれ 5mm のひび割れ (図 1a) と 0.2~0.5mm 程度のひび割れ (密度: 5 個/m 以上) および浮きが認められたので、かぶり (120~160mm) を除去し、鉄筋の状況を調べた結果、 $\phi 32\text{mm}$ 主筋の折曲げ部で破断が確認された (図 1b)。さらに、破断面とその近傍は腐食していること、鉄筋籠内に躯体の中心に向かうひび割れがあること、鉄筋の曲げ半径は適切であったことが確認されている。また、ひび割れ幅は細い (0.5mm) が躯体中心に向ってかつひび割れ下部に浮きが認められた箇所 (図 1(c)でも鉄筋破断 (図 1(d)) が確認された。なお、この鉄筋表面には腐食は見られない。

3. 試験結果

図 1(d) に示した鉄筋の右隣の鉄筋には、破断には至っていないが磁粉探傷により折曲げ部の内側のリブ下にき裂 (図 2(a)) が確認された。この鉄筋を試料として、き裂の様子、き裂面の観察、折曲部の硬さを調べた。鉄筋表面には錆は認められないが、き裂を開口して破面を調べた結果、図 2(b) に示すように錆が認められた。錆を除去した後の破面は図 2(c) に示すとおりで、延性破面でなく脆性的な破面であった。また、き裂の形状は図 3 のとおりで、先端の鋭さやジグザグな進行から、水素脆性割れの可能性が見て取れる。

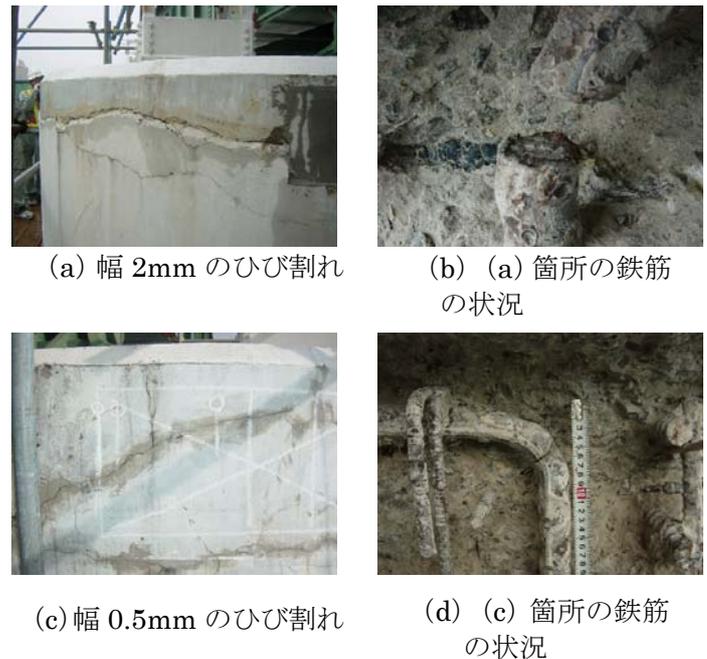


図 1 ハツリ箇所の外観と鉄筋の状況

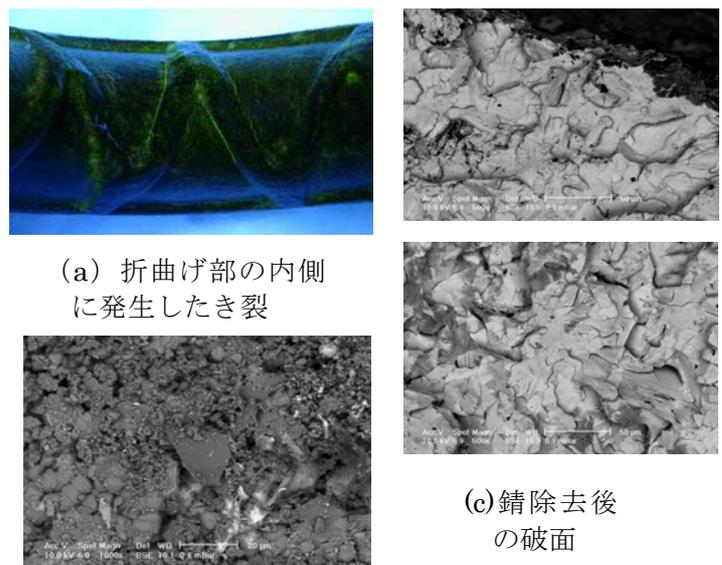


図 2 き裂面の観察結果

キーワード: アルカリ骨材反応, 鉄筋破断, コンクリートの水素量, 塩化物イオン

連絡先: 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所事業推進室 TEL042-573-7293

折曲げ部と折り曲げていない平坦部のビッカース硬さを調べた結果は表1に示すとおりで、折曲げ部では加工硬化により表層で高く、鉄筋中心で低い。因みにビッカース硬さ 172 (HV) は 570MPa の引張強さと換算される。

採取した鉄筋の周囲のコンクリートの塩化物イオン量は海砂の使用に起因して、 $0.63\sim 1.37\text{kg/m}^3$ の塩化物イオンが検出されている。また、図1(d)に示した鉄筋の破断部近傍の拡散性水素量とその周囲のコンクリート中の水素量を表2に示した。

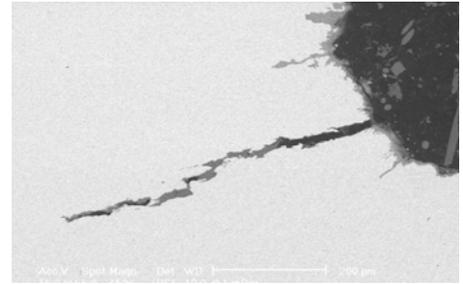


図3 折曲げ部のき裂の形状

表1 ビッカース硬さ測定結果

	折り曲げ部(HV)	平坦部 (HV)
中心	215	172
表層	255	179

4. 水素脆性割れの可能性の検討

環境から鋼材中に浸入する拡散性水素量と鋼材の強さが水素脆性によるき裂を生じさせる可能性に及ぼす影響は松山¹⁾によってまとめられていて、これを図4に示す。図中の拡散性水素量とは水中やコンクリート中に鋼材が置かれた場合に鋼材に浸入した水素量である。この図から 570Mpa 程度の鉄筋はコンクリート中で水素脆性割れに対して危険域になる可能性は推定できない。しかし、鉄筋中の拡散性水素量は試料採取時の水素逃散後の値であり、き裂発生部の局所ではより高濃度の水素量があった可能性がある。この理由について考察した。折曲げ部の内側には当初からき裂がある場合が考えられる。き裂内の液相には塩化物イオンが存在するため内面の不動態皮膜が破壊されると内面で形成される局部セルにより鉄はイオン化し、さらに水酸化物として沈積する。このため、溶液は酸性を呈することになる。このき裂内溶液の酸性化すなわち pH 低下に伴い、き裂内をカソード、鉄筋の表面をアノードとする隙間腐食モデルによるマクロセルが形成されれば、き裂先端付近では酸性溶液中でのカソード反応の結果、水素が多量に発生することになる。この水素が鉄筋に浸透し、折曲げ部の内側に生じた引張残留応力により水素脆性き裂が進展した可能性が考えられる。

表2 コンクリート中の水素量

試料	水素量 (ppm)
既に破断していた鉄筋	
鉄筋	0.097
近傍のコンクリート	1.21

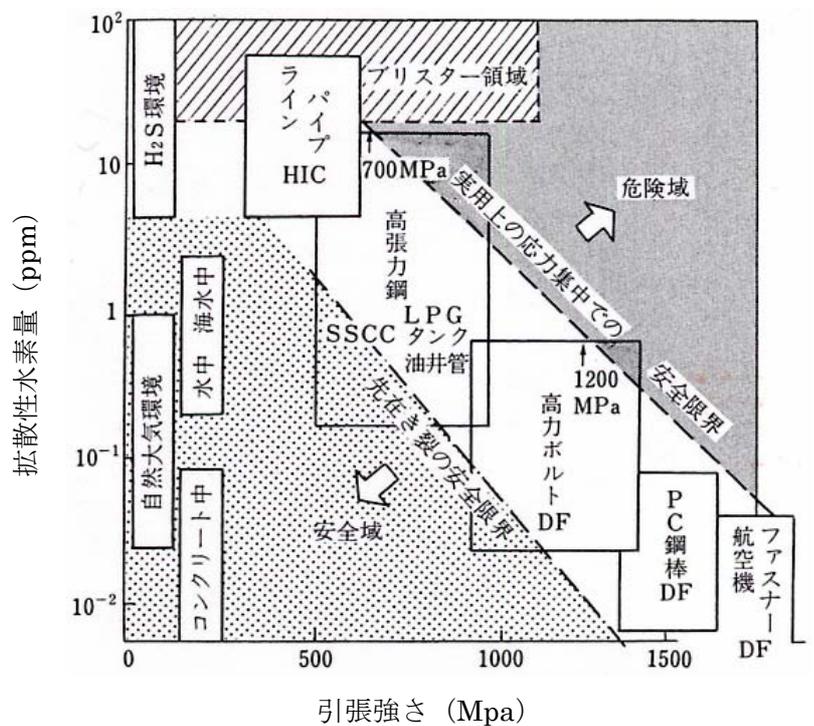


図4 水素脆性によるき裂の発生に及ぼす拡散性水素量と引張強さの影響

5. まとめ

アルカリ骨材反応に起因する鉄筋破断のメカニズムの解明に資する目的で諸試験を実施した結果、鉄筋破断が生じていればその近傍下方に濁音箇所が認められる可能性が高い。また、き裂の進展には水素脆性が関与している可能性が示唆される。

参考文献

1) 松山晋作：遅れ破壊，日刊工業新聞社，1989年，p. 70