日本海沿岸地域で約 10 年間空気中に暴露された鉄筋の腐食性状

鉄道総研　正会員　○大屋戸理明　　正会員　渡辺　　健
東京工業大学大学院　　学生会員　　Patarapol Tantipidok

１．目的　　本稿では，劣化した鉄筋コンクリート構造物の性能評価に関して，構造物中の腐食の分布を把握し，劣化の空間的なばらつきについて参考データを提供することを目的として，日本海沿岸地域で約 10 年間空気中に暴露され腐食した鉄筋の形状を 3D スキャナ [1] で測定した結果を報告し，考察を加える．

２．暴露環境　　計測対象とした鉄筋は D16, D13 および D6 の 3 種類で, 過去の研究に用いた RC 試験体 [2] に使用された鉄筋と同一である．これらは，2001 年 11 月より 2011 年 3 月まで，日本海沿岸地域（新潟県村上市山北町）の暴露試験場において空気中に暴露されてきたものである．暴露試験場の周辺状況を図 1 に示す．なお，暴露期間中は事情により 1 度も現地での試験体の確認・整正作業は行われていない．

暴露試験場には直近に海岸があり，海岸からの距離は 10 数 m 程度であり，暴露試験場と海岸の間に 2 車線道路 1 本，1 車線道路 1 本，単線鉄道線路 1 本がある．海側は岸壁となっており，地表面は海面から数 m の高さにあり，潮汐による浸水はない．このことから，暴露試験場は直接海水に晒されることなく，潮風のみにより劣化因子が飛来する状況にあると考えられる．冬季はピーク時で数 10cm 程度の積雪がある．なお，陸側は断崖となっており，海からの風雪を受けとめるような地形となっている．

鉄筋は図２に示すようにコンクリートブロックの穴を固定台として用い, 突き刺した姿勢で上方に向けて暴露されたが，2011 年 3 月時点では図３に示すように固定台としたコンクリートブロックが移動し，パレット（雑草防止を目的として天地反転して設置された）の穴に鉄筋端部が落ち込んだ状態となっていた．また，パレットの穴の底には，2011 年 3 月時点で水分を含んだ塵埃・落葉等があり，鉄筋端部がそれに触れ一部が埋没した状態となっていた．

３．鉄筋の概要と測定結果　　対象鉄筋の外観を図４に示す．対象鉄筋は，異形鉄筋 D16，D13，D6 の各種類 1 本ずつの計 3 本であり，全長は約 1000mm である．いずれの対象鉄筋も端部 100～200mm の区間が著しく腐食しており，特に D16 と D13 には端部において厚い腐食生成物の層が鉄筋に固着して軸方向に亀裂（図４A）を伴いながら膨張したような外観を呈している．これは図５に示すように，表層の鉄が腐食し体積膨張を生じた（図５左）のち，下層の鉄が腐食して最初の腐食層を裏側から押し出し亀裂を生じさせ（図５中），これを繰り返してより深層の鉄にまで腐食が生じた際には当初の鉄筋表面は著しい体積膨張と表面亀裂を伴う状態（図５右）となったと考えられる．この端部の著しい腐食は，いずれも暴露時に下側に位置し，図３に示すように鉄筋が常時水分に接した状態となったことによって生じたと考えられる．このことから，鉄筋は同

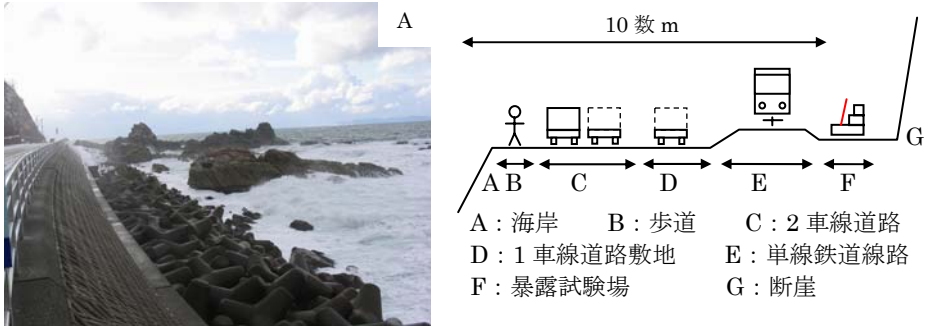


図１　暴露試験場の周辺状況

図２　対象鉄筋の暴露方法

キーワード　鉄筋腐食，飛来塩分，暴露試験，断面形状
連絡先　　〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総研　TEL 042-573-7281

一の地点で暴露されても対象物の部位等によって腐食の程度は著しく異なり，その理由として周囲に水分が存在するかどうかが影響していると推測される．鉄筋の腐食速度を議論する際は，塩分などの劣化因子よりも，むしろ水分の存在を強く意識して検討する必要があるとも考えられる．腐食生成物は，ハンマーの打撃等によって少しずつ鉄筋から離脱する状態であり，調査時点では図４B のように一部が欠け，その箇所では鉄筋の節が確認できない．逆に，図４C のように著しく腐食していても節が残っている箇所では腐食生成物の脱落がないと判断できるので，当初の鉄筋表面の膨張している状況を観察することができる．

一方，D6 では，D13 や D16 の場合とは異なり，端部において腐食生成物を含めて細径化し鋭く尖った形状となっている（図４D）．D13 および D16 では太径化したのに対して D6 で細径化した理由としては，D6 の場合は鉄筋表面の形状が急曲面であるために，表面亀裂によって腐食生成物が容易に脱落したことが挙げられる．

腐食生成物を除去する前後の対象鉄筋について，3D スキャナにより形状を測定し，腐食に伴う断面形状の変化を確認した．断面形状のスキャン結果のうち，特定の断面を抽出して図６に例示する．なお，3D スキャンでは，対象物の固定・解除を伴う複数回のスキャンにおいて鉄筋の絶対座標を固定することが不可能であるため，図６では表示位置を偏位（オフセット）および回転し，推測した位置で重ねて描写している．図６より，腐食によって元の鉄筋に対して 2 倍前後の太さに膨張した様子が感覚的に理解できる．

４．まとめ　本報では，飛来塩分による影響のある環境に約 10 年間暴露された鉄筋の断面形状を測定した経緯と結果をとりまとめた．この結果，同一地点であっても水分の存在によって腐食の程度は大きく異なり，厳しい場合には腐食生成物によって鉄筋の太さが 2 倍前後にまで膨張する場合があることが確認できた．

図４
対象鉄筋の外観

（上：腐食生成物除去前，
下：除去後）

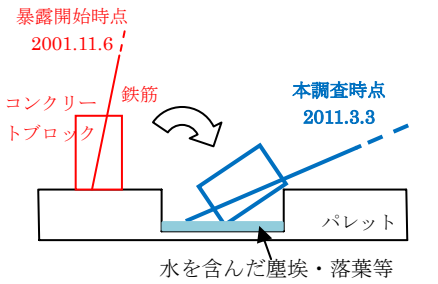
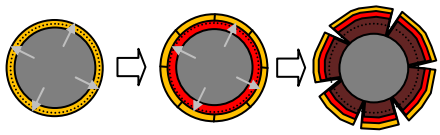


図３　対象鉄筋の暴露状況



左　表層の鉄が腐食，体積膨張
中　下層の鉄が腐食，B の腐食層を
　　裏側から押し出し亀裂が発生
右　調査時の状態

図５　腐食に伴う形状変化の推移のイメージ

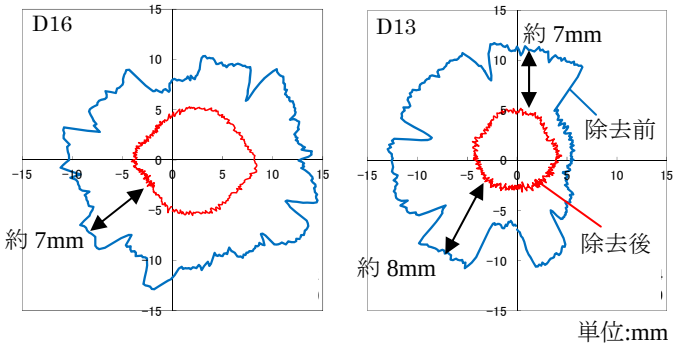


図６　腐食生成物除去前後の断面形状の比較

謝辞　本研究は，文部科学省科学研究費補助金 A「材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能評価に関する技術学術体系の構築」（研究代表者 長岡技術科学大学下村匠准教授，実施年度 2009～2011，課題番号 21246072）により実施された．

参考文献　1)大屋戸理明，金久保利之，山本泰彦，佐藤勉：鉄筋の腐食性状が鉄筋コンクリート部材の曲げ性状に与える影響，土木学会論文集 E，Vol.62，No.3，pp.542-554，2006.　2)大屋戸理明，長谷川雅志，佐藤勉：促進劣化させた鉄筋コンクリートはりの疲労性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.2，2161，2002.