第Ⅰ部門　　腐食がケーブル素線の力学性能に与える影響に関する研究

京都大学大学院　学生員　○中　裕紀
京都大学大学院　正会員　北根　安雄
京都大学大学院　正会員　佐藤　顕彦
秋田大学大学院　正会員　青木　由香利
京都大学大学院　正会員　松本　理佐

1. はじめに

腐食したケーブルの残存断面積や腐食減量と，強度・伸び性能との関係性の一部が明らかにされてきた [1]が，荷重変位関係を精度よくモデル化できるまでには至っていない．そこで本研究では，まずケーブル素線に着目し，腐食したケーブル素線の腐食凹凸の 3 次元点群データを正確に取得するとともに，引張試験を行うことで，腐食量や腐食凹凸がケーブル素線の荷重変位関係に与える影響を明らかにすることを目的とする．

2. 試験体作成および 3 次元形状計測

試験体には，熊本県桑鶴大橋のケーブルから採取された腐食前直径 7.1mm，長さ 300mm の亜鉛メッキ鋼素線を使用した．試験体中央の 150mm 区間を腐食させるため，両端から 75mm 分に防食テープを巻き，JIS K 5600 に定義されるサイクル D の複合サイクル試験に供した．試験体は 0 サイクル（C0）を 5 体，100，200，300 サイクル（C100，C200，C300）を各 3 体用意した．試験終了後，亜鉛めっきおよび錆の除去を行った．表-1 に C300-1 の複合サイクル試験後の試験体外観を示す．

表-1　試験体外観の例

サイクル数	試験体外観
300	

錆除去後の試験体表面の 3 次元形状を取得するため，レーザー深度計を用いて長さ方向・幅方向ともに 100 μm 間隔の点群データを取得した．図-1 に示すように，1 方向からの計測では傾斜により正確な測定が困難であるため，固定治具を用いて試験体を 60°ずつ回転させ，6 方向から計測を行った．取得した 6 つのデータ群の重ね合わせには，試験体端部に設けたポンチ穴を基準とし，ICP アルゴリズムを用いて位置合わせを行った．

またマイクロメータ計測と 3 次元形状計測による平均直径誤差は最大 0.8%程度であり，妥当性を確認した．



(a)レーザー深度計



(b)得られた点群データ

図-1　測定状況と重ね合わせ例

3. 腐食凹凸評価

腐食凹凸を評価するため，得られた 3 次元点群データを最小二乗法により円筒フィッティングし，中心ベクトルを基準として円筒座標系へと展開することで平面データに変換した．また，データ重ね合わせに伴う全体的なうねりを除去し局所的な凹凸のみを評価するため，岡本らの研究 [2]を参考にフィルタ幅 500μm のガウシアンフィルタによる平坦化処理を施した．

腐食凹凸の評価指標として，2.5mm×2.5mm の小領域ごとに，ISO 25178 で定義される最大谷深さS_vおよび界面の展開面積比S_{dr}を算出し，得られた結果を表-3 に示す．括弧に 0 サイクルとの差分(%)を示す．200，300 サイクルでは，0 サイクルと比べてS_v，S_{dr}ともに値が大きくなり，複合サイクル試験の進行に伴って，腐食凹凸が大きくなり，凹凸の数も増大していることが確認された．

表-2　各サイクルの平均表面粗さパラメータ

試験体名	平均S_v(μm)	平均S_{dr}(%)
C0-1	16.6	7.45
C100-1	13.6 (-18.1)	7.09 (-4.8)
C200-1	23.4 (+41.0)	14.7 (+97.3)
C300-1	26.9 (+62.0)	15.4 (+106.7)

4. 引張試験結果

MTS 材料試験機を用い，載荷速度 0.03 mm/s の変位制御にて試験体が破断するまで引張試験を行った．試験中の伸びの計測には，デジタル画像相関法（DIC）を用いた．一様伸びに至るまでの荷重変位関係において，ひずみゲージによる計測値と DIC による解析結果が良好に

Yuaki NAKA, Yasuo KITANE, Yukari AOKI
naka.yuuaki.25d@st.kyoto-u.ac.jp

一致することを確認し，本研究における DIC を用いた伸び評価の妥当性を担保した．

標点間内で破断し，DIC 解析が正常に行えた C200-1 と C300-1 の荷重変位関係及び C0 の最大荷重を点線で図-2 に示す．最大荷重到達後から破断に至るまでの挙動に着目すると，C200-1 に比べて C300-1 の伸びは半分ほどに低下していた．C0 では標点間の外で破断したため破断伸びが計測できず，最大荷重のみ計測できたため，最大荷重を複合サイクル試験前後で比較すると，C200-1 では 0.87%減少，C300-1 では 0.46%減少と大きな変化はなかった．図-2 と表-3 より，C300-1 を C200-1 に対して比較し，粗さの変化が与える影響を考察すると，平均S_vが 15.0%，平均S_{dr}が 4.76%増加した際，最大荷重に変化はないが，破断伸びが 10.0%減少したことがわかる．

表-4 に示す通り，平均断面積では，0 サイクルに対する減少率は 200 サイクルで 0.51%, 300 サイクルで 0.43%にとどまり，全体的な断面減少を伴う一様な腐食には至っていない．また，引張破断は最小断面積位置で発生するとされるが，C100-1～C300-1 は最小断面積位置では破断しなかった．C300-1 について図-3 と図-4 に示すように，破断位置では，平均断面積が試験体全体より 0.86%減少し，また最大のS_vを示す断面を含み，平均S_{dr}が他領域の平均値に比べて 37.9%増大していた．図-5 と表-5 で最小断面と破断断面の比較を行ったが，腐食の仕方の違いは見受けられなかった．よって，腐食試験体の破断には，一断面の断面積ではなく小領域での腐食凹凸の深さおよび数が寄与していると考えられる．

表-3　断面積比較　(mm²)

試験体	最小断面積	破断位置断面積	平均断面積
C0-1	36.14	36.14	37.21
C100-1	36.26	37.06	36.89
C200-1	35.92	36.65	37.08
C300-1	36.20	36.66	37.05

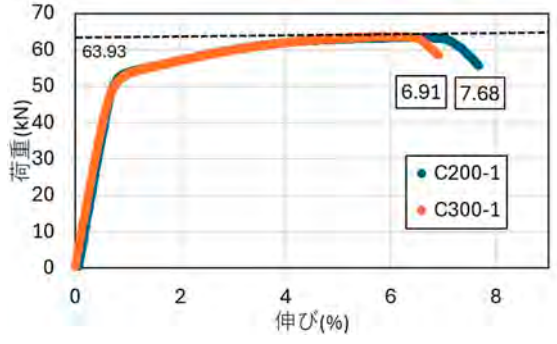


図-2　荷重変位関係

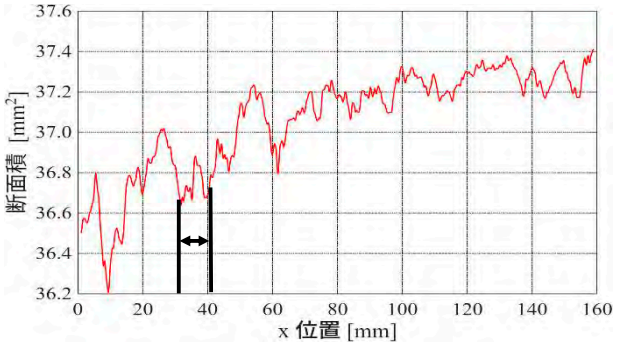
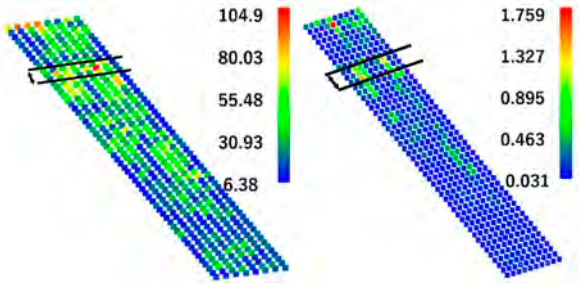


図-3　C300-1　長さ方向の断面積



S_v (mm)　　S_{dr} (mm)

図-4　C300-1　コンター図　(黒線内が破断領域)

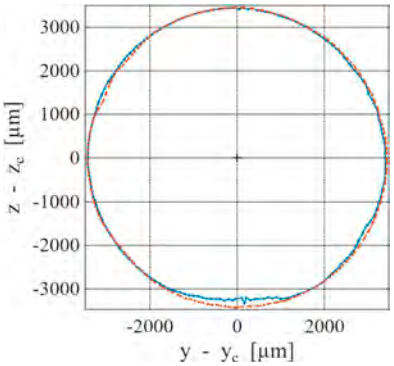


図-5　C300-1　最小断面(青)と破断断面(赤)の比較

表-5　C0-1 を基準とした C300-1 の腐食深さ

C300-1	最大腐食深さ (μm)	平均腐食深さ (μm)
最小断面	268.75	45.72
破断断面	100.53	17.95

5. まとめ

腐食したケーブル素線に 3 次元形状計測と引張試験を行い，荷重変位関係を調べた．複合サイクル試験のサイクル数の増加に伴い腐食深さが大きくなり，腐食凹凸数が増加することが確認され，異なる腐食度の試験体の比較から，平均断面積の変化が大きくなく，腐食凹凸のみ増加すると，最大荷重に大きな変化がない一方で，破断伸びが減少する傾向がみられた．

6. 参考文献

1) 守谷敏之．構造用ワイヤロープの経年腐食劣化の非破壊評価に関する研究．京都大学，博士(工学)，甲第 10540 号，2004.
2) 岡本裕，中村俊一，鈴村恵太．橋梁用亜鉛めっき鋼線の腐食粗度計測および人工ピット付き鋼線の疲労強度．土木学会論文集 A. Vol. 66，No.4，pp. 691-699，2010.