第 I 部門　　フォトグラメトリによる腐食凹凸形状の再現性に及ぼす撮影条件の影響

摂南大学　○佐伯　菜々香，田井　政行
いであ株式会社　渡邊　凌

1. はじめに

鋼橋の腐食による耐力低下は，平均減肉量だけでなく，減肉の範囲や深さなどの分布にも影響されるため，腐食形状を面的に把握することが重要である．しかし，超音波板厚計による点計測では面的な把握に時間を要し，3D レーザー計測は現場条件によって適用が制限される．

本研究では，現場適用性の高い面的計測手法としてフォトグラメトリに着目した．腐食鋼板の凹凸形状計測では，撮影距離や画像解像度に加え，撮影画像の重複性や視点配置が点群密度に影響し，形状再現性を左右すると考えられる．そこで，実橋から採取した腐食鋼板を対象に，撮影距離，画像解像度および使用画像枚数と点群密度の関係を整理した．さらに，3D レーザー計測結果を基準として，腐食凹凸の程度が異なる領域における点群密度と形状再現性の関係を検討した．

2. 対象鋼板，計測方法および評価方法

実橋で使用されていた 308 mm×632 mm の腐食鋼板を対象とし，腐食が顕著な 180 mm×180 mm の範囲を評価した（図 1）．また，3D レーザー計測結果に基づき，平坦に近い領域，中程度の腐食領域および腐食凹凸が顕著な領域を選定した．各領域は 50 mm×50 mm とし，表面形状の標準偏差はそれぞれ 0.33 mm，1.00 mm および 1.61 mm である（図 3）．

GoPro HERO11 Black を用いて，撮影距離を 20～25 cm，35～40 cm および 50～55 cm として撮影した．画像解像度は 4K，Full HD および HD とし，使用画像枚数を変化させて点群を生成した．なお，Full HD および HD 画像は 4K 画像から作成した．

3D レーザー計測点群を基準として，ICP 法により両点群を位置合わせした後，1 mm×1 mm の格子ごとに平均高さを算出し，各格子の Z 座標差から RMSE を求めた（図 4）．

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Z_{\mathrm{Photo},i} - Z_{\mathrm{Laser},i}\right)^2} \quad (1)$$

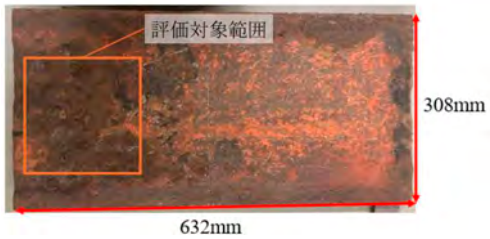
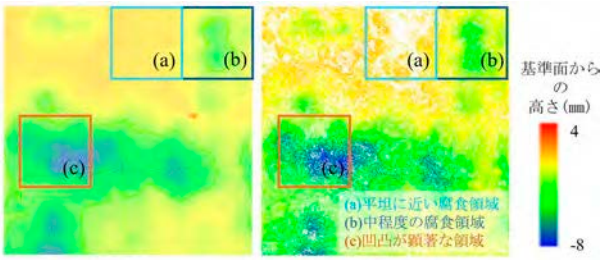


図 1　対象鋼板と評価対象範囲


図 2　使用した画像例（撮影距離 20 ㎝～25 ㎝, 4 K）



(a)フォトグラメトリ　　(b)3D レーザー
図 3 腐食凹凸計測結果及び評価領域

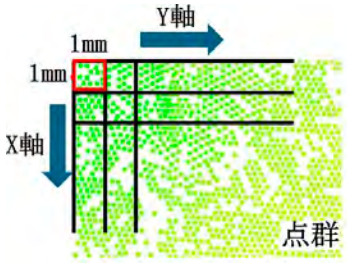


図 4 精度算出方法の概要

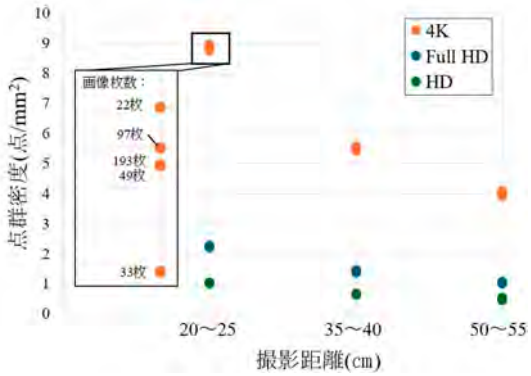


図 5 撮影条件と点群密度の比較

3. 結果および考察

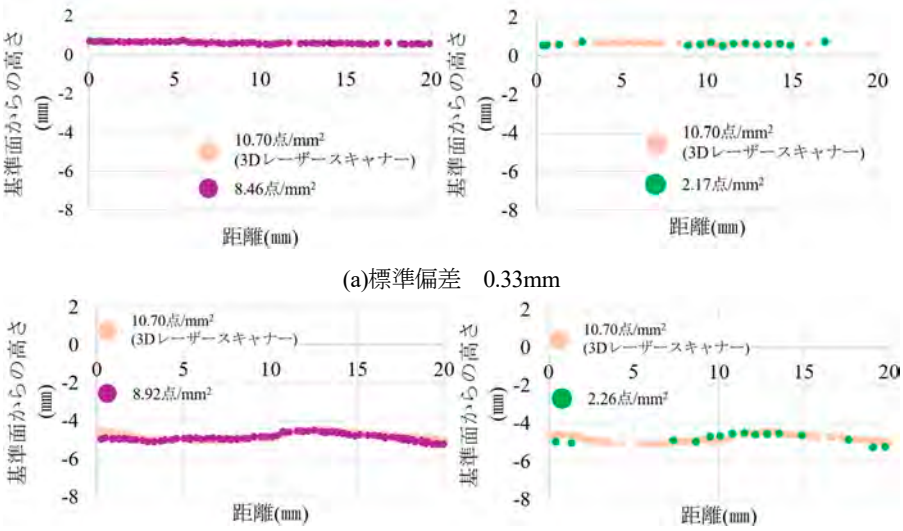
3.1 撮影条件と点群密度の関係

各条件で生成した点群について，評価範囲内の点数を面積で除して点群密度を算出した（図 5）．撮影距離が短く，画

Nanaka SAEKI, Masayuki TAI, Ryo WATANABE
2552m109sn@edu.setsunan.ac.jp

像解像度が高いほど，点群密度は増加した．これは，撮影距離が短いほど対象面における 1 画素当たりの実寸法が小さくなり，腐食表面の微細な濃淡変化や形状を画像上で捉えやすくなったためと考えられる．

一方，同一の撮影距離および画像解像度では，使用画像枚数を増加させても点群密度は大きく増加しなかった．対象範囲を復元するために必要な画像の重複が確保された後は，画像を追加しても新たに得られる対応点が限定されたためと考えられる．以上より，本研究での撮影条件下では，点群密度には，画像枚数よりも撮影距離および画像解像度の影響が大きいといえる．



(a)標準偏差　0.33mm

(b)標準偏差　1.61mm

図 6　点群密度ごとの腐食凹凸形状の比較

3.2 点群密度と形状再現性の関係

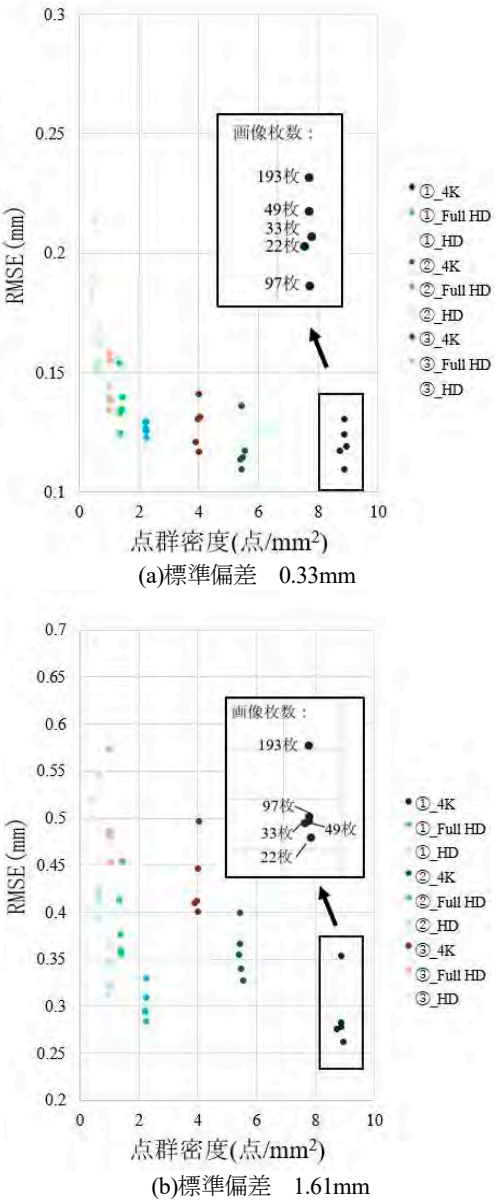
図 6 に，点群密度の違いによる腐食凹凸形状の再現性を示す．平坦に近い領域では，点群密度が低い条件においても，全体的な表面形状は概ね再現できた．一方，腐食凹凸が顕著な領域では，点群密度の低下に伴い，局所的な谷部や突起部を構成する点が十分に得られず，局部腐食を詳細に捉えられないため，腐食形状の再現性が低下した．本検討では，点群密度が約 8.0 点/mm²以上の条件において，細部の完全な再現には至らないものの，凹凸の位置や全体的な傾向を把握できた．

図 7 に点群密度と RMSE の関係を示す．平坦に近い領域では，本検討で最も低い点群密度である 0.40 点/mm²程度の条件においても，RMSE の増加は小さかった．一方，腐食凹凸が顕著な領域では，点群密度の低下に伴い RMSE が増加した．これは，点群密度が低い条件では，局所的な谷部や突起部を構成する点が十分に得られず，3D レーザー計測結果との差が大きくなったためと考えられる．

以上より，腐食凹凸形状の再現性を確保するために必要な点群密度は，対象とする凹凸の程度によって異なることが示された．また，点群密度は，要求精度や腐食状態に応じた撮影条件を検討するための指標となる可能性が示された．

4. まとめ

1) 撮影距離が短く，画像解像度が高いほど，点群密度は増加した．一方，本検討の範囲では，同一の撮影距離および画像解像度において画像枚数を増加させても点群密度の大きな増加は確認されなかった．
2) 平坦領域では低密度点群でも全体形状を概ね再現できたが，腐食凹凸が顕著な領域では，点群密度の低下に伴い形状の再現性が低下した．
3) 腐食凹凸形状の再現性は凹凸程度によって異なり，RMSE や局所凹凸の再現性を基準として点群密度を評価することで，要求精度に応じた撮影条件を設定できる可能性が示された．



(a)標準偏差　0.33mm

(b)標準偏差　1.61mm

図 7 点群密度と RMSE の関係