

5. マイクロカプセルき裂検出材の性能評価と実構造への適用性に関する研究

香月 大翔

1. 目的

鋼構造部材の疲労き裂を検出する非破壊検査法として、磁粉探傷試験や超音波探傷試験などが一般的に用いられている。これらの方法に対して、き裂の検出を比較的容易にする方法の1つにエポキシ樹脂系塗料にマイクロカプセルを混入するき裂検出材(以下、検出材)が開発された。マイクロカプセルの粒径は約100 μm で、その内部には染料が入っている。このカプセルが疲労き裂の発生・進展により割れ、染料が検出材の表面に発色することで、き裂を目視確認できる。本研究では検出材の実構造物への適用性を評価することを目的とした。そのために、検出材を貫通き裂および表面き裂を対象とした試験体に塗布し、疲労き裂進展試験を実施した。次に試験体における検出材の発色長さをデジタル画像から計測することで、検出材によるき裂の検出性能について検討した。

2. 内容

2.1 試験方法および測定方法 試験体の形状および寸法を図1に示す。試験体には貫通き裂を対象とした中央切欠き付き鋼板(以下、鋼板)および表面き裂を対象とした面外ガセット溶接継手(以下、溶接継手)の2種類を用いた。試験体の表面状態および塗布条件を表1および表2に示す。鋼橋で想定される部材の表面状態が推定精度に及ぼす影響を明らかにするため、鋼板では(a)グリッドブラスト表面(表面粗さ70 μm), (b)普通塗装(A-1 塗装, 膜厚140 μm)および重防食塗装(C-4 塗装, 膜厚270 μm)による塗装表面, および(c)塗膜劣化を模した腐食表面の3種類を検討した。溶接継手では(a)および(b)の普通塗装(膜厚150 μm)の2種類を検討した。また、検出材の塗膜厚さが発色精度に及ぼす影響を検討するため、検出材を1層または2層塗りとした。さらに、カプセルを保護するための保護層の有無が発色性能に及ぼす影響についても検討した。

疲労き裂進展試験には動的能力 $\pm 200\text{kN}$ の電気油圧サーボ式材料試験機を用いた。試験に用いた応力比は0.1であり、応力範囲は鋼板では80MPa, 溶接継手では150MPaとした。検出材による発色長さ a_d を実際の疲労き裂長さ a_r と比較するため、ピーチマーク試験を実施することで疲労破面にき裂進展性状の痕跡を残した。検出材の発色長さは約300万画素のデジタル画像のpixel数から測定した。なお、1 pixelの最小読取り精度は約0.02 mmである。

2.2 試験結果 各試験体における推定精度($a_d - a_r$)と疲労き裂長さ a_r の関係を図2~図5に示す。図2~図4の印および印は、それぞれ図2(a)に示す向きのき裂進展に対する推定精度のデータである。また、図5の白抜きおよび黒塗りの印は、図5(a)に示す向きのき裂進展に対する推定精度のデータであり、丸印は表面き裂を四角印は貫通き裂を示している。

(1) **鋼板** 鋼板の推定精度を図2~図4に示す。図2(a)および(b)に示すように、検出材が1層塗りの場合、保護層の有無や疲労き裂長さによらず、1mm以内の高い推定精度となっている。一方、検出材2層の場合、推定精度が5mm以上に達することもあり、検出材が1層の場合に比べて推定精度が著しく低下している。

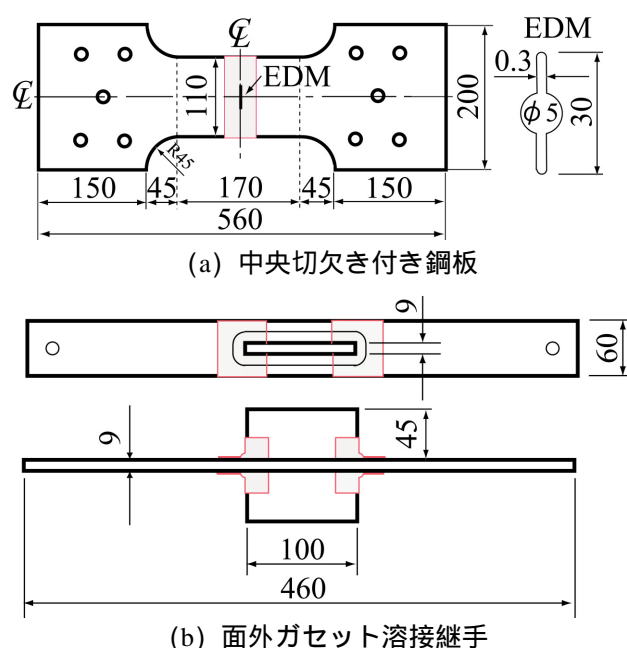


図1 試験体の形状および寸法 (単位: mm)

表1 鋼板の表面状態および塗布条件(単位: μm)

(a) グリッドブラスト表面			
塗布条件	保護層(1層)	検出材膜厚	
1層	100	-	100
	110	50	160
2層	100 + 120	-	220
	100 + 130	100	330
(b) 塗装表面			
塗装	塗布条件	保護層(1層)	検出材膜厚
A-1	1層	150	200
C-4	1層	130	170
(c) 腐食表面			
塗布条件	保護層(1層)	検出材膜厚	
1層	130	60	190

表2 溶接継手の表面状態および塗布条件(単位: μm)

(a) グリッドブラスト表面			
塗布条件	保護層	検出材膜厚	
1層	1層	200, 340	
(b) 塗装表面			
塗装	塗布条件	保護層	検出材膜厚
A-1	1層	1層	410

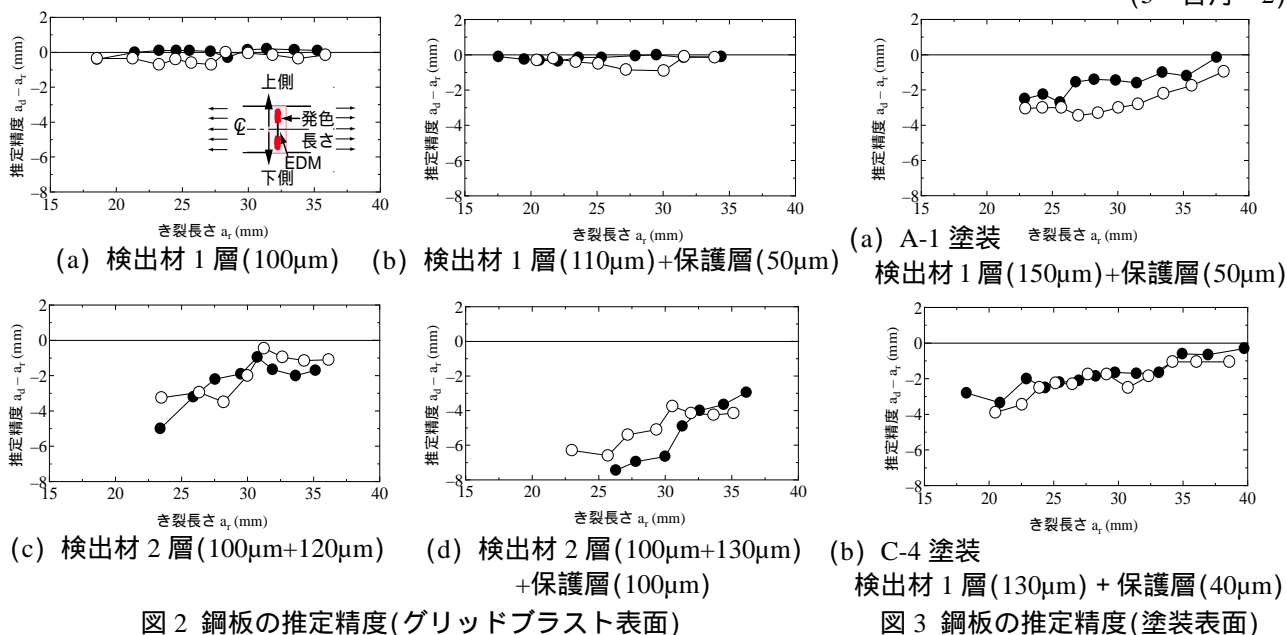
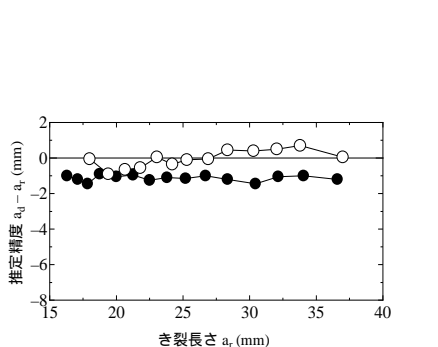


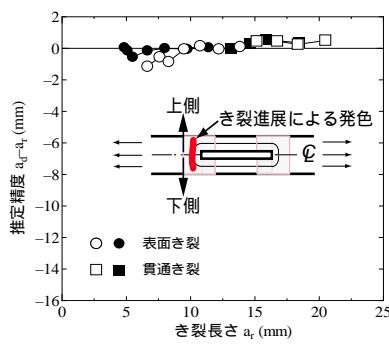
図 2 鋼板の推定精度(グリッドブラスト表面)

図 3 鋼板の推定精度(塗装表面)

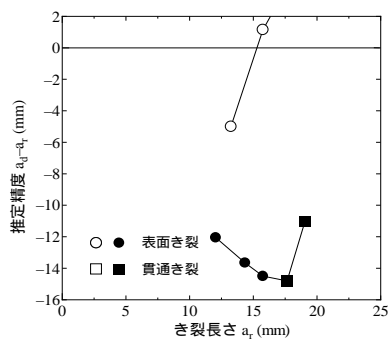


検出材 1 層(130 μ m)+保護層(60 μ m)

図 4 鋼板の推定精度(腐食表面)



(a) グリッドブラスト表面 検出材 1 層+保護層 (総膜厚 340 μ m)



(b) 塗装表面(A-1 塗装) 検出材 1 層+保護層 (総膜厚 410 μ m)

図 5 溶接継手の推定精度

これは、塗膜が厚くなることで、検出材が割れにくくなるためだと考えられる。また、き裂長さが短いほど推定精度が低くなる傾向にある。このことから、検出材と保護層の総膜厚が 200 μ m 以上になる塗布条件下では、き裂開口量が比較的小さい場合、き裂を検出できない場合があると言える。塗装表面では推定精度が最大で 4mm となり、グリッドブラスト表面による鋼板に比べ推定精度が低下している。これは、検出材 2 層の場合と同様に、予め塗布された塗装を含めた総膜厚が厚くなることによる検出材の割れの遅れが原因と考えられる。また、鋼板と塗装との界面剥離が生じていた点も原因と考えられる。腐食表面では、き裂進展初期から推定精度が 2mm 以内で推移し、グリッドブラスト表面の場合と同様に、き裂長さに関係なく推定精度が大きく変化せずに推移している。これは表面の劣化した塗装を除去し、緻密な安定さびの上から検出材を塗布したためと考えられる。

(2) 溶接継手 溶接継手の推定精度を図 5 に示す。グリッドブラスト表面の場合、鋼板と同様に、1mm の高い推定精度が得られる。このことから、グリッドブラスト表面の場合、適正な膜厚を塗布すれば、貫通き裂および表面き裂の両方に対して推定精度を 1mm 以内で検出できると考えられる。塗装表面(A-1 塗装)の場合、図 2(c)・(d)と同様、き裂進展初期では塗膜が割れなかったため、推定精度が低下している。また、表面き裂が貫通した後では、溶接継手の塑性変形のために塗装の割れが先行し、推定精度が正の値側へ低下している。

3. 結論

(1)保護層を含めた検出材の塗膜厚が推定精度に及ぼす影響は大きく、塗膜厚が厚くなるにしたがって推定精度が低くなる傾向にある。(2)グリッドブラスト表面の場合、検出材の塗膜厚を標準的に塗布(貫通き裂:100~160 μ m, 表面き裂:200~340 μ m)すれば、保護層の有無に関わらず、1mm 以内の高い精度で疲労き裂を検出できる。(3)試験体の表面に塗装されている場合、塗装と検出材とを合わせた膜厚が厚くなり、き裂進展初期では塗膜の割れが遅れるため推定精度が低くなる。

参考文献: 高橋一比古,牛嶋通雄: き裂検出用塗料と表面 SH 波による溶接止端部疲労き裂の検出,非破壊検査,54(9), pp.503-508, (2005)

5 . Estimation of Fatigue Crack Length Using Coating Material Containing Dye Microcapsules and Its Application for Welded Steel Structures

Hiroto Katsuki

Recently in Japan, many fatigue cracks have been reported in steel bridges due to heavy traffic loading. Generally, non destructive testing (NDT), such as magnetic-particle testing (MT) and ultrasonic testing (UT) etc. are used to detect the fatigue crack initiated from welded joints of a structural steel member. In addition coating material containing microcapsules in epoxy resin was developed. This is one of NDT to detect the cracks more easily and has higher accuracy compared with existed NDT. This is a coating system for structural material that contains a built-in and crack indicating or warning capability. The impact of this technology will be an improvement in the durability, longevity and safety of large structural systems through the early detection of cracks underneath the coating. The coating material releases a dye which becomes visible on the coating material surface above the crack. This occurs almost immediately after the substrate material fractures.

In order to quantitatively clarify estimation accuracy for length of through thickness and surface of the fatigue crack by coating material, the fatigue crack propagation and beach mark tests were carried out on. In these tests, center-cracked tension (CCT) specimens and welded joint specimens were used. They were coated with the coating material in various conditions. The fatigue crack length and the colored length by the microcapsules were also measured using the images taken by a digital camera. The measurement results mainly indicate that the estimation accuracy of the crack detection coating material depend on the coating thickness regardless with or without the protective coating. The accuracy in applying the material on the general paint coating and is much lower than that on the grit blasted surface.