

外装塗装材料のひび割れ追従性評価技術

Technology for Evaluating Crack Followability for Exterior Coating Materials

和田 環 藤井 大輔
澤田 瑞恵 富田 洸

要 約

コンクリートのひび割れに追従する外装塗装材料の性能は、一般的に塗膜の伸び試験やゼロスパンテンション試験で評価されている。本報では小さな塗膜片で評価が可能なナノインデンテーションによる方法（NI法）と動的粘弾性装置による方法（DMA法）を検討した。NI法では、得られるパラメーターと塗膜のひび割れ追従性との相関関係を評価し、弾性回復エネルギーやクリープ/HMの値と関係があること、塗膜の弾性変形・塑性変形が影響することを確認した。DMA法では、貯蔵弾性率 E' や損失弾性率 E'' とひび割れ追従性との関係を検討し、貯蔵弾性率 E' がひび割れ追従性や疲労耐久性との相関性が高いことを確認した。DMA法で求めたひび割れ追従性や変動幅毎の破断回数から S-N 曲線を作成することで耐久性の評価に展開できることを明らかにした。

目 次

- I. はじめに
- II. ナノインデンテーション法による塗膜評価の検討
- III. 動的粘弾性装置による塗膜評価の検討
- IV. 塗膜の耐久性評価の検討
- V. まとめ

I. はじめに

近年、地球環境問題を背景とした建築物の長寿命化への意識の高まり、建築物の維持保全における環境負荷の低減やライフサイクルコストの削減の観点から、耐久性の高い材料・工法により建築物を長期にわたって使用し、活用することが求められている。意匠性が重視される外装塗装材料も下地コンクリートのひび割れ挙動に追従する性能を有することで、構造体や下地を保護し建築物の長寿命化に貢献することが期待できる。これらの性能を有するものとして Table 1 に示すアクリルゴム系外装塗装材料が使用される。これらは、下塗材+主材+上塗材の塗装仕様で 3~5mm の膜厚を有し、それぞれの主材には JIS A 6021 と JIS A 6909 の品質規格がある。しかし、材料の種類や仕様により性能が異なるため、これらの中から実構造物に発生するひび割れに対して要求

Table 1 アクリルゴム系外装塗装材料
(Acrylic Rubber Exterior Coating Materials)

種 類 (呼び名)	塗装仕様・膜厚	JIS 規格	建築工事 標準仕様書 JASS
アクリルゴム系 塗膜防水材	下塗材+主材+ 上塗材 3~5 mm 程度	JIS A 6021 建築用 塗膜防水材	JASS 8 防水工事
防水形複層塗材 E 防水形複層塗材 RE	下塗材+主材+ 上塗材 3~5 mm 程度	JIS A 6909 建築用 仕上塗材	JASS 23 吹付け 工事

性能を満たす材料選定や設計が重要となる。Table 2 に従来の評価方法を示す。外装塗装材料のひび割れ追従性は所定のスパンの伸びを測定し塗膜の伸び率を評価する伸び試験、ひび割れ直上の塗膜破断する最大ひび割れ幅を評価するゼロスパンテンション試験、所定の温度条件下でひび割れ直上の塗膜に繰返しの伸縮を与え耐久性を評価する疲労試験がある。これらの評価方法で材料を比較することは可能だが、実環境下での寿命を評価するには多量の試験体が必要となること、試験期間が長くなるなどの課題がある。本報では、コンクリートのひび割れに対して、簡便・迅速に外装塗装材料のひび割れ追従性を評価する技術を検討した結果を報告する。

キーワード : ひび割れ追従性, ナノインデンテーション, 動的粘弾性装置, 外壁塗装材料, 塗膜, 耐久性, 疲労試験
Keywords : crack followability, nanoindentation, dynamic mechanical analysis, exterior coating material, coating, durability, fatigue test

II. ナノインデンテーション法による塗膜評価の検討

1. ナノインデンテーション法の概要

硬さ測定時に弾性率を算出できる微小圧縮試験機による方法¹⁾ (以下, ナノインデンテーション法, NI法と略す) に着目し, 外装塗装材料のひび割れ追従性との関係を検討した。

ナノインデンター装置と測定原理を Fig.1 と 2 に示す。ナノインデンター装置は, ダイヤモンド製の突起状圧子を試験体表面に一定の荷重負荷速度で所定の深さまたは荷重まで押し込み, その後, 一定の除荷速度で圧子を試験体表面から引き抜く一連の荷重～除荷過程から荷重変位曲線が得られる。NI法のパラメーターをもとに Table 3 に示す NI 特性値が計算で求められ, 材料・皮膜の硬さや物性解析に利用されている。ここで, マルテンス硬さ (HM) は塑性変形と弾性変形の両方の情報を評価する硬さ値, 塑性硬さ (HIT) は試験荷重を押し込み試験時の圧痕の面積で割った硬さ値, ηIT は%で表した仕事量の弾性部分, CIT は%で表した荷重下のクリープ, EIT はヤング率に相当する値として示される。

2. NI 特性値による塗膜評価の検討

(1) 塗装試験体

本章で用いた外装塗装材料の試験体を Table 4 に示す。上塗り塗膜は水系と弱溶剤系のウレタン樹脂, アクリルシリコン樹脂, ふっ素樹脂, 主材は JIS A 6909 の防水形複層塗材 E と JIS A 6021 のアクリルゴム系の主材を選定し, 複層塗膜は主材に上塗りを塗布した試験体とした。主材単体はゼロスパンテンション試験に供するため, JIS A 5430 に規定するフレキシブル板 200×80×4mm (Fig.3) に下塗りを塗布後, 主材を wet 厚さ 1mm となるように平滑に塗り付けた。上塗り塗膜は伸び試験を行うため, 離型紙に塗布してシート状とし, キセノンランプ式促進耐候性試験機 (スガ試験機社製スーパーキセノンウエザオメーターSX75, 以下, XWOM と略す) に 3500 時間まで照射させたものを試験体とした。ナノインデンテーションで測定する試験体は 30×30mm とした。

(2) 試験方法

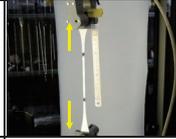
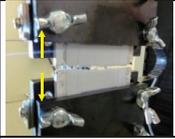
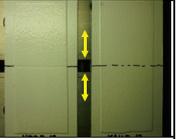
(a) ナノインデンテーションの測定

ナノインデンテーション (フィッシャー製, HM-2000) の測定は変位制御で行い, 450mN/sec の荷重負荷速度でダイヤモンド製のパーコピッチ型圧子を試験体表面に押し込み, 複層塗膜と主材は深さ 40 μ m で 5 秒間保持した後一定の除荷速度で圧子を試験体表面から引き抜いた。なお, 上塗り塗膜は乾燥膜厚が 100 μ m のため, 押し込み深さを 10 μ m とした。

(b) 伸び・ひび割れ追従性試験

上塗り塗膜の伸びは, 伸び幅 10mm で標線間 40mm の塗膜片を島津製作所社製 EZ テスター500N で 5mm/min で引張り, 塗膜破断時の伸び量を測定した。主材・複層塗膜のひび割れ追従性は, Fig.3 の試験体を室内養生後, 塗膜を破断せずに試験板中央の切り込みに沿ってフレキシブル板に亀

Table 2 従来の評価方法
(Conventional Evaluation Method)

名称	伸び試験	ゼロスパンテンション試験	疲労試験
試験			
試験法	JIS A 6909 JIS A 6021	JSCE-K532-1997	JASS 8 T-501
試験体サイズ	ダンベル状2号形 ダンベル状3号形	50×100mm以上	50×100mm以上
評価	伸び率	ひび割れ追従幅	疲労破断回数

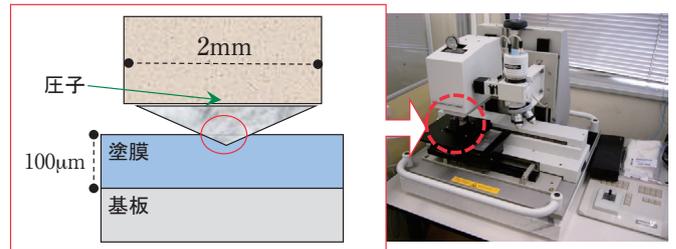


Fig.1 ナノインデンター装置
(Apparatus of Nano Indenter)

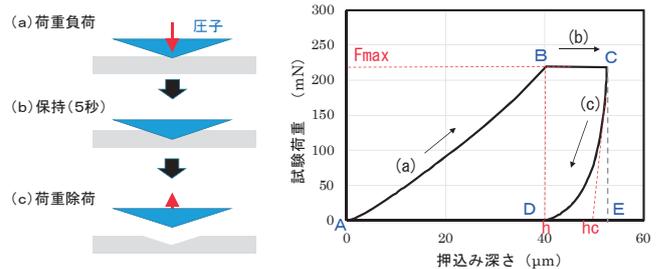


Fig.2 ナノインデンテーション法の測定原理
(Measurement Principle of Nanoindentation Method)

Table 3 ナノインデンテーション特性値
(Characteristics of Nanoindentation)

特性値	記号	単位	説明
マルテンス硬さ	HM	N/mm ²	押し込み深さhのFmax(B)/圧子の表面積(圧子の形状補正なし)
塑性硬さ	HIT	N/mm ²	押し込み深さhのFmax(B)/圧子と試験片が接している投影面積(圧子の形状補正なし)
弾性回復エネルギーの割合	ηIT	%	全仕事量に対する弾性変形仕事量の割合 (CDEC/ABCEA)
クリープ	CIT	%	測定押し込み深さ後の塑性変形 (BC)
押し込み弾性率	EIT	Gpa	除荷過程 (CD) の接線 (C-hc) の傾きから計算

裂を入れた。引張速度 1mm/min の条件でインストロン社製万能材料試験機 1185 型 (10kN) を用いて試験体の両端を引張り, 塗膜破断時の伸び量を測定した。

3. 結果

(1) 上塗り塗膜のナノインデンテーションと伸びの関係
水系と弱溶剤系を代表して WU・LU の XWOM 試験前後の試験荷重ー変位曲線を Fig.4, XWOM 試験後の伸びを Fig.5 に示す。水系塗膜の WU の試験荷重ー変位曲線は

XWOM の試験時間とともに試験荷重が高く、押し込み深さは小さくなる。一方、弱溶剤系塗膜の LU の変化は小さく、WU とは異なる傾向を示したが、XWOM 試験後の伸びは両者とも時間とともに低下し、XWOM 試験時間が試験荷重や押し込み深さ、伸びと関連することを確認した。ここで、水系塗膜が XWOM の試験時間とともに硬くなるのは、造膜助剤として配合される塗膜中の高沸点溶剤が時間とともに消失したことが影響していると考えられる。

(2) 主材・複層塗膜のナノインデンテーション測定結果

Fig.6 に E と Ac の主材とそれぞれの弱溶剤系上塗りを塗布した複層塗膜の試験荷重-変位曲線を示す。Fig.7 に試験荷重とひび割れ追従性の結果を示す。上塗り塗膜と同様に試験荷重の大きさがひび割れ追従性の大きさに影響する傾向にあることがわかる。複層塗膜のひび割れ追従性は上塗りの種類に依存し、NI の試験荷重や最大押し込み深さが対応する関係にある。試験荷重が小さい EF と AcF のふっ素樹脂塗膜のひび割れ追従性が大きい傾向にある。

(3) NI 特性値と伸び・ひび割れ追従性の相関性

Table 5 に NI 特性値と塗膜の伸びの相関関係を評価した結果を示す。上塗り塗膜では、水系塗膜がクリープ、弱溶剤系塗膜は硬さと相関性が高い結果となった。これは、前述したように水系塗膜は造膜に用いた成膜助剤の残存量が影響していると考えられる。複層塗膜では弾性回復エネルギーの割合 (Fig.2 の CDEC, 荷重を取り除いたときに解放される弾性反発が占める部分) が最も相関性が高い結果となった。NI 法は押し込み深さの 10 倍以上は下地の影響を受けるとされているので、下地である主材の影響が反映されたものと考えられる。クリープに相関性がないのは、40 μ m の変位に対し、下地の軟らかい塗膜の影響で押し込み荷重が小さくなるのが原因と考えられた。そこで、荷重に対する塑性変形はクリープを HM で除した値 (CIT/HM) とし、ひび割れ追従性との関係性を評価した結果 (Fig.8), 複層塗膜の決定係数 R^2 は 0.96 と高く、NI 特性値により塗膜のひび割れ追従性を評価することができると考えられる。

Table 4 試験体の種類 (Test Pieces)

主材塗膜		上塗り塗膜		複層塗膜	
記号	主材	記号	上塗り材	記号	主材
E	JIS A 6909 防水形複層塗材 E	WU	水性弾性ウレタン樹脂塗料	EU	E
		WSi	水性弾性アクリルシリコン樹脂	ESi	
		WF	水性弾性ふっ素樹脂塗料	EF	
Ac	JIS A 6021 アクリルゴム系	LU	弱溶剤系ウレタン樹脂塗料	AcU	Ac
		LSi	弱溶剤系アクリルシリコン樹脂	AcSi	
		LF	弱溶剤系ふっ素樹脂塗料	AcF	

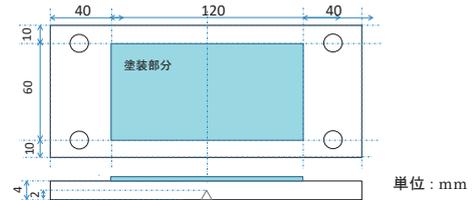


Fig.3 試験体 (Specimen Shape)

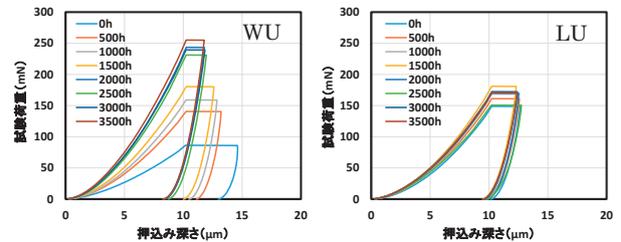


Fig.4 上塗り塗膜 WU・LU の試験荷重-変位曲線 (Load-Displacement Curves for Finishing Coat WU・LU)

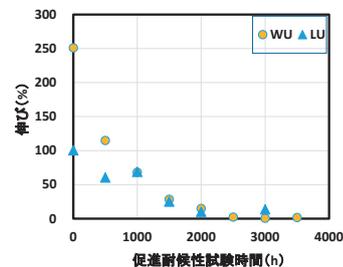


Fig.5 上塗り塗膜の伸びと XWOM 試験時間 (Relationship between Elongation of Topcoat and XWOM Time)

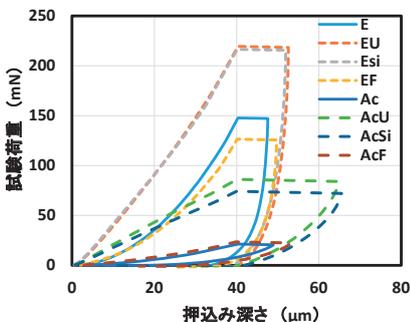


Fig.6 塗膜の試験荷重-変位曲線 (Load-Displacement Curves of Coating Film)

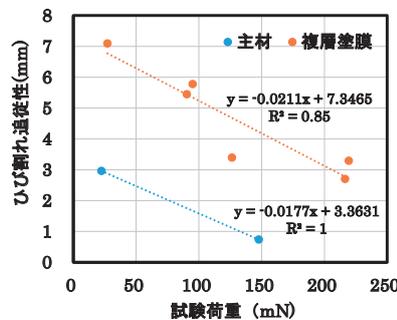


Fig.7 試験荷重とひび割れ追従性 (Relationship between Test Load and Crack Followability)

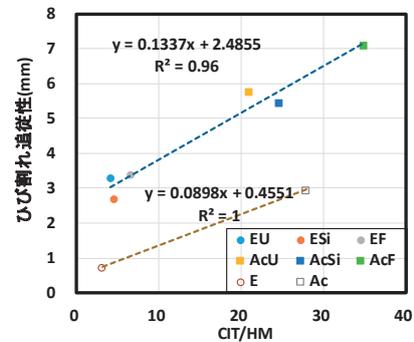


Fig.8 クリープ/HM とひび割れ追従性 (Relationship between Creep / HM and Crack Followability)

Table 5 NI 特性値と伸び・ひび割れ追従性の相関性
(Correlation between NI Characteristic Value and Elongation / Crack Followability)

特性値 (x)	水系塗料塗膜	弱溶剤系塗料塗膜	全塗膜	複層塗膜
マルテンス硬さ HM(N/mm ²)	y = -2.1409x + 196.01 R ² = 0.6235	y = -2.1329x + 177.49 R ² = 0.7922	y = -2.0007x + 180.27 R ² = 0.6723	y = -0.7988x + 6.8094 R ² = 0.7095
最大荷重時の押し込み硬さ(塑性硬さ) HIT(N/mm ²)	y = -1.6183x + 166.06 R ² = 0.6228	y = -2.2294x + 165.21 R ² = 0.7983	y = -1.5886x + 154.73 R ² = 0.6457	y = -1.1432x + 6.8481 R ² = 0.7815
弾性回復エネルギーの割合 ηIT (%)	y = -8.3607x + 286.69 R ² = 0.6963	y = -7.4008x + 228.57 R ² = 0.6089	y = -6.6832x + 229.66 R ² = 0.6154	y = 0.1313x + 0.89 R ² = 0.934
最大荷重下のクリープ CIT (%)	y = 10.139x - 93.516 R ² = 0.8779	y = 3.5943x + 0.0067 R ² = 0.6336	y = 4.7502x - 18.397 R ² = 0.5976	y = 0.059x + 3.0208 R ² = 0.1783
押し込み弾性率 EIT(Gpa)	y = -69.308x + 179.87 R ² = 0.3051	y = -80.521x + 198.07 R ² = 0.7016	y = -74.705x + 189.5 R ² = 0.4506	y = -15.091x + 6.0796 R ² = 0.753

Ⅲ. 動的粘弾性装置による塗膜評価の検討

1. 動的粘弾性測定の実験概要

NI 法での結果より、塗膜のひび割れ追従性は材料の塑性・弾性の粘弾性特性と関連性があると考えられる。そこで、Fig.9 の動的粘弾性測定装置を用いて粘弾性特性で評価することを検討した。本装置は小さな試料に時間によって変動する周期的な歪または応力を与えて、それにより発生する応力または歪の大きさ・遅れを測定することで、材料の弾性特性である貯蔵弾性率（以下、E'と略す）、粘性特性である損失弾性率（以下、E''と略す）、E'とE''の比で粘性成分の寄与率を示す損失正接 (E''/E'=tan δ, 以下、tan δ と略す) が得られる。これらから、ゴムや樹脂の粘弾性特性、分子構造や分子運動に関する力学的特性の評価ができる。

動的粘弾性測定は、日立ハイテクサイエンス(株)製、動的粘弾性測定装置 DMA7100 を用いて、測定温度範囲-100~100℃、昇温速度 2℃/min、計測モードは引張モードで測定周波数は 0.5, 1, 2, 5, 10Hz で行った。本検討で用いた試験体を Table 6 に示す。JIS A 6909 防水形複層塗材 E を 4 種、防水形複層塗材 RE を 2 種、JIS A 6021 アクリルゴム系塗膜防水材を 4 種の合計 10 種類の塗膜を用いた。動的粘弾性測定に供する試験体は、wet 膜厚 1mm のシート状の塗膜を幅 5mm、長さ 50mm とした。

2. DMA 法によるひび割れ追従性の評価

Fig.10 に周波数 1Hz で測定した動的弾性率と横軸に測定温度とした温度分散の結果を示す。ここで、E', E''の大きい低温側では分子の運動が凍結された硬質のガラス状態を示し、E', E''の小さい高温側は分子が運動しやすい軟質のゴム状態を示している。ゴム状態からガラス状態となる境目の点ガラス転移点を示し、この温度がガラス転移温度（以下、Tg と略す）と呼ばれ、弾性率や強度などの力学的物性が変化する温度として評価される。Tg を E''のピークトップとして比較すると、各試験体の Tg は-50~0℃付近に見られる。アクリルゴム系は-20℃付近、防水形複層塗材は-20~0℃に分布しており、アクリルゴム系が低温領域まで軟らかいことが推測できる。また、Tg 以上の温度域ではアクリルゴム系

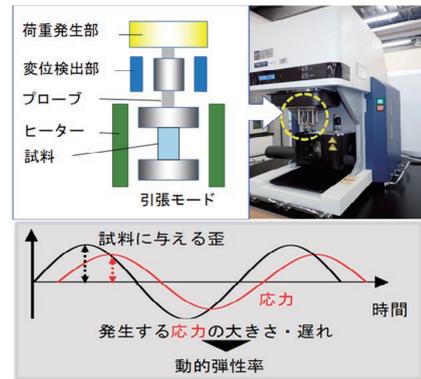
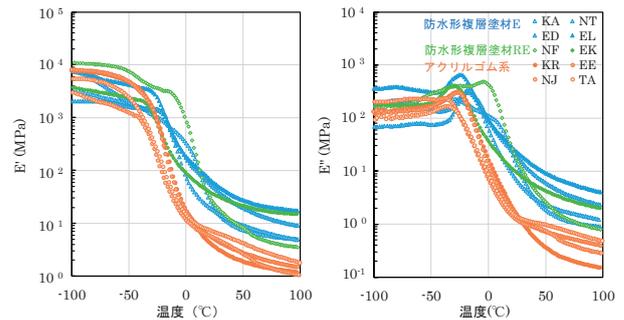


Fig.9 動的粘弾性測定装置
(Dynamic Mechanical Analyzer)

Table 6 試験体の種類
(Test Pieces)

試験体記号	種類
EL, ED, NT, KA	JIS A 6909 防水形複層塗材 E
NF, EK	JIS A 6909 防水形複層塗材 RE
KR, TA, EE, NJ	JIS A 6021 アクリルゴム系



(a) 貯蔵弾性率 (E') (b) 損失弾性率 (E'')
Fig.10 動的弾性率 (周波数 1Hz) の温度分散の結果
(Results of Temperature Dispersion Measurement of Dynamic Modulus (Frequency 1Hz))

の E', E''は小さく、防水形複層塗材 E および RE は大きい値を示すので、防水形複層塗材 E および RE よりもアクリルゴム系が軟質の塗膜であることが推測できる。これより温度環境毎の塗膜物性の推定が可能と考えられる。複数の周波数で測定した動的弾性率の温度分散のデータは、低温での測定

曲線ほど短時間側（高周波数側）へ、高温での曲線ほど長時間側（低周波数側）へ平行移動する温度-時間換算則を適用することで周波数分散の結果で表すことができる。基準温度を20℃としてEL, EK, EEの周波数分散の結果をFig.11に示す。この結果、ひび割れ挙動がゆっくりと動く低周波数領域ではアクリルゴム系(EE)の弾性率が小さく伸びやすいことがわかる。

Fig.12に、ひび割れ追従性試験の試験体毎の周波数(1/破断するまでに要した時間 sec))を用い、20℃の周波数分散曲線から求めたE', E''とひび割れ追従性との関係を示す。これより、E'とE''の決定係数R²は0.8以上あり、特にE'はひび割れ追従性と高い相関性があることを確認した。

3. DMA法による疲労耐久性の評価

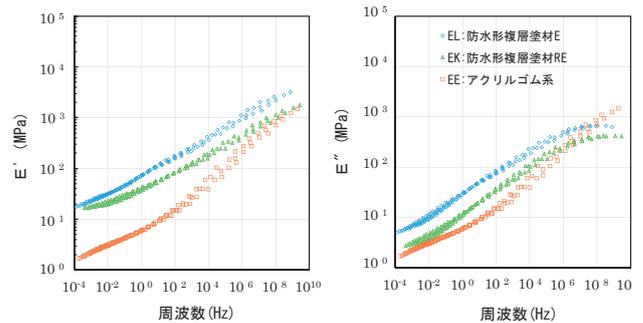
コンクリートのひび割れ幅挙動は日変動や年変動するため、塗膜が追従できる小さな変動幅でも繰り返されることで疲労が蓄積し破断すると考えられる。そこで、Table 4の塗装試験体の主材塗膜と複層塗膜を用い、Fig.3と同じ試験体を作製し、ひび割れ幅に相当する変動幅と破断するまでの回数を疲労試験で評価し、動的弾性率との関係を検討した。疲労試験は、(株)インテスコ社製の疲労試験機で繰り返し周期1回/minの条件で、材料の最大伸び幅に応じて変動幅を0.5, 0.7, 1.2, 1.5, 2.0mmの中から3水準選定し、変動幅毎に塗膜にピンホールが生じた時を破断回数として求めた。

Fig.13に2種類の主材塗膜と同じ上塗り材の複層塗膜を変動幅0.7mmで行った時の破断までの繰り返し回数の結果を示す。塗膜のひび割れ追従性と同じようにEよりもAcの方が破断までの繰り返し回数が多い傾向にある。上塗り別に比較するとウレタン樹脂系(U)またはアクリルシリコン樹脂系(Si)を上塗りにした場合は主材塗膜単体よりも破断までの回数が少なくなり、ふっ素樹脂系(F)の場合は主材塗膜単体よりも破断までの回数が多い結果となった。これは、硬さの異なる材料が積層された複層塗膜の場合、硬い方の塗膜が先に破断することで、その箇所を基点に全体が破断したと考えられる。

疲労試験の周波数(1回/min=0.167Hz)を用い、Fig.11の20℃の周波数分散曲線から求めたE'とひび割れ追従性との関係をFig.14に示す。変動幅1.2mmと0.7mmともに塗膜の破断までの繰り返し回数の決定係数R²は高い値を示し、動的弾性率で疲労耐久性を推定できることが示唆された。

IV. 塗膜の耐久性評価の検討

一般的に、金属やプラスチック等の材料の疲労耐久性は、応力振幅と破断までの繰り返し回数をプロットしたS-N曲線を求め、疲労寿命を累積疲労損傷則(マイナー則)により評価する。そこで、複層塗膜のひび割れ追従性を破断回数1回とし、変動幅と破断までの繰り返し回数をプロットした複



(a) 貯蔵弾性率 (E') (b) 損失弾性率 (E'')

Fig.11 動的弾性率(温度20℃)の周波数分散の結果 (Results of Frequency Dispersion Measurement of Dynamic Modulus (Temperature 20℃))

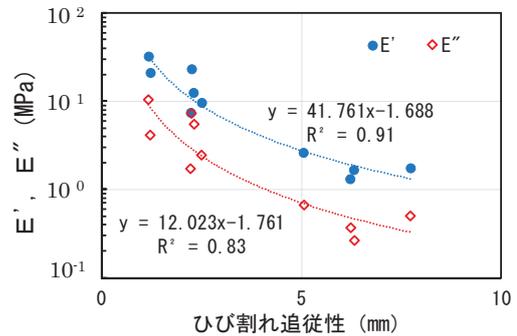


Fig.12 動的弾性率とひび割れ追従性との関係 (Relationship between Dynamic Modulus and Crack Followability)

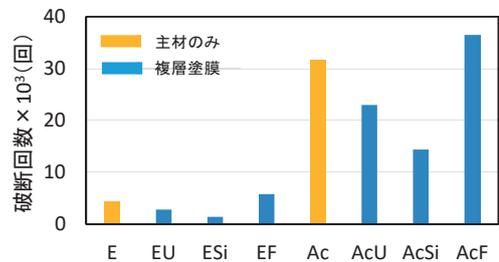


Fig.13 0.7mm変動幅での破断までの回数 (Number of Breaks with 0.7 mm Fluctuation width)

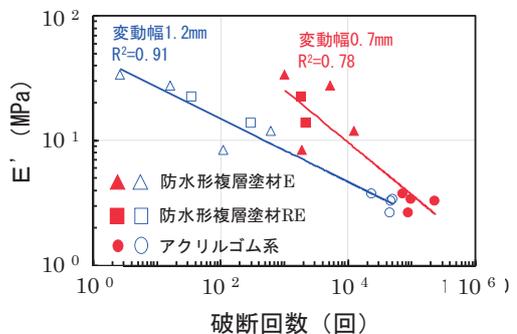


Fig.14 動的弾性率と破断回数との関係 (Relationship between Dynamic Modulus and Fatigue Test Count)

層塗膜の S-N 曲線を求めた結果を Fig.15 に示す。変動幅と破断までの繰り返し回数は良好な関係が得られ、全体的に変動幅が小さくなるほど破断までの繰り返し回数は多くなる傾向を示した。しかし、変動幅が大きい範囲では初期のひび割れ追従幅の差が顕著であるが、小さい変動幅の範囲では初期のひび割れ追従幅の差ほど破断までの回数に差はなかった。ひび割れ追従性を有する外装塗装材料は、主材層でひび割れ追従性を担保し、上塗り塗料には意匠性や耐候性が求められるが、選定する上塗り塗料により耐久性が違うことを確認した。DMA で作成した S-N 曲線から実環境のひび割れ変動幅を考慮した外装塗装材料の耐久性評価が可能であることが明らかとなった。

V. まとめ

小さな塗膜片で測定が可能な NI 法と DMA 法でひび割れ追従性を有する外装塗装材料の評価方法を検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- a) NI 法の試験荷重や押し込み深さは伸びやひび割れ追従性と関係し、弾性回復エネルギーやクリープの HM で除した値 (CIT/HM) で複層塗膜のひび割れ追従性を評価できる。
- b) DMA 法は温度環境・周波数ごとの塗膜物性を評価でき、塗膜の動的弾性率とひび割れ追従性が高い相関性があること、 E' からひび割れ追従性や疲労耐久性を評価できる。
- c) ひび割れ追従性や疲労耐久性の値で作成した S-N 曲線から実環境のひび割れ変動幅を考慮した外装塗装材料の耐久性予測が可能である。

以上から、NI 法では建物の既存塗膜のひび割れ追従性評価、DMA 法は得られる動的弾性率から力学的性能を迅速に推定できることから、使用環境を想定した耐久性評価への活

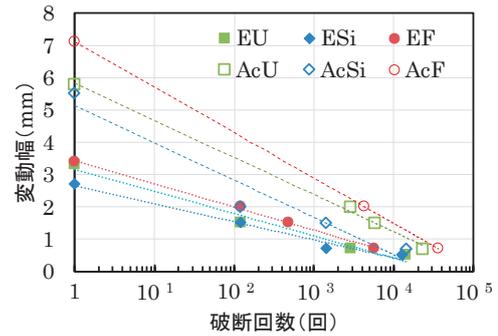


Fig.15 変動幅と破断までの繰り返し回数の関係
(Relationship between Fluctuation Width and Number of Breaks)

用が期待できる。今後、実建物のひび割れ挙動や経年劣化による物性変化の影響を検証し、活用していく予定である。

参考文献

- 1) 和田環ほか；鹿島技術研究所年報，64，2016，pp.98-103.
- 2) 岩井弘；ユニバーサル硬さ試験による塗膜の劣化過程に於ける物性の評価，日塗検ニュース，106，2000，p.2.
- 3) 和田環，富田洸；外装塗装材料の耐候性評価に関する研究 その 5 ナノインデンテーションによる塗膜の力学的評価，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），2018.9，pp. 1331-1332.
- 4) 藤井大輔，和田環ほか；外装塗装材の耐候性評価に関する研究 その 6 塗膜の疲労耐久性評価，日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），2019.9，pp. 1295-1296.
- 5) 藤井大輔，和田環ほか；動的粘弾性による塗膜のひび割れ追従性の評価，日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），2021.9，pp. 853-854.

Technology for Evaluating Crack Followability for Exterior Coating Materials

Tamaki Wada, Daisuke Fujii, Mizue Sawada and Koh Tomita

The performance of exterior coating materials that follow cracks in concrete is generally evaluated by coating film elongation tests and zero span tension tests. In this report, we investigated nanoindentation (NI method) and a dynamic mechanical analyzer (DMA method), which can be evaluated with a small coating film piece. Regarding the NI method, the correlation between the obtained parameters and the crack followability of the coating film was evaluated. It was determined that there is a relationship with the elastic recovery energy and creep/HM (Martens hardness) values and that the elastic and plastic deformation of the coating film have an effect. Regarding the DMA method, the relationship between the viscoelasticity of the coating film and the crack followability and fatigue durability was examined on the basis of the storage modulus E' and the loss modulus E'' . As a result, it was confirmed that the storage elastic modulus E' has a high correlation with crack followability and fatigue durability. It was clarified that the durability can be evaluated by creating an S-N curve from the crack followability obtained by DMA and the number of breaks for each fluctuation width.