

耐候性寿命予測サービス業務について

（財）日本ウエザリングテストセンター

銚子暴露試験場 高根 由充

1. はじめに

ある材料が屋外で何年もつか、または、ウエザーメータ何時間が屋外暴露の何年に相当するののかという問題は、材料や製品を設計する段階や使用する段階で常に問題になることである。この問題については過去多くの実験が重ねられてきたが、ウエザーメータ何時間で特性値がどう変化したかということが主であって、劣化因子の影響を定量的に評価するための試験はあまり行われていないのが実状である。

今から10年前、建築の分野で紫外線と熱の相乗作用と化学反応速度論に基いた解析方法（小池・田中モデル）¹⁾が提案されたが解析方法が複雑であり、劣化因子の膨大なデータが必要なことからその後の展開がなかったが、現在、試験結果を解析するソフトウェアの開発や、劣化因子のデータベースができたことでようやく実用化の段階に達した。今回、この「小池・田中モデル」の簡単な紹介と当財団での予測サービスについて説明する。

2. 小池・田中モデル

光と熱が同時に作用する環境においては、材料の表面では光の影響が大きく、内部や裏面では放射による熱の影響が大きくなってくると考えられる。そこで、全体としては熱による劣化と光が付加されたことによる劣化との和であるとし、次式を仮定した。劣化予測システムはこれを利用して開発された。元の論文ではn次反応も扱っている。

n = 1 のとき

$$\ln(P/P_0) = Ch \exp(-Eh/RT)t + Cu U^\alpha \exp(-Eu/RT)t$$

ここで、

n : 反応次数

- P_0 : 材料の初期特性
 P : 材料特性
 Ch : 材料の熱劣化特性値
 Eh : 材料の熱劣化の活性化エネルギー
 $Cu; \alpha$: 材料の紫外線劣化特性値
 Eu : 材料の紫外線劣化の活性化エネルギー
 R : 気体定数
 T : 材料の温度
 t : 経過時間
 U : 紫外線量

これら Ch 、 Eh 、 Cu 、 α 、 Eu を求めるためには、数段階の温度による熱劣化試験と紫外線照射試験を行わなければならない。試験結果を解析するためのソフトウェア²⁾もすでに開発されている。また、この試験を行うには、紫外線照射試験時の試験片温度、紫外線照射量のデータが必要であるが、すでにこれらの測定が可能なウエザーメータも市販されている。

3. 屋外での劣化シミュレーション

前項で求めた劣化特性式は、一定温度、一定強度の光のもとでの劣化を計算するためのものである。屋外のように時々刻々変化する環境のもとでの劣化を計算するためには、屋外の変動する環境でも微小時間内では一定の環境と考え、微小時間内の劣化を計算して積算する。この微小時間内の劣化を計算するためには、微小時間内の紫外線量のデータと試料温度のデータが必要である。試料温度は、実際に試料温度を観測することが望ましいが、長期の予測を行うには長期間の試料温度の観測が必要になる。そこで、屋外での試料温度を何らかの方法で推定できれば便利である。

屋外の試料温度の指標としてブラックパネル温度が観測されているが、いろいろな明度のつや消しグレーパネル（マンセル明度 $N = 3, 5, 7$ ）及びホワイトパネル（ $N = 9$ ）の温度を測定し、ブラックパネル温度（ $N = 1$ ）と比較すると、それぞれのパネル温度と外気温の

差の比率（以下、温度差比と略す）： γ がほぼ一定の値³⁾となる。

$$\gamma = (T_P - T_A) / (T_B - T_A)$$

ここで、

γ : 温度差比

T_P : グレーパネル温度、または、ホワイトパネル温度

T_A : 気温

T_B : ブラックパネル温度

したがって、あらかじめ明度と温度差比がわかっているならば、ブラックパネル温度と気温から材料の温度を推定できることになる。なお文献³⁾のブラックパネル温度計はつや消し塗装のうえ、熱電対を直付けしたもので、当財団のブラックパネル温度計とは仕様異なるため当財団のブラックパネル温度のデータを用いる際には温度差比を補正している。

4. 劣化予測サービスの内容

当財団による劣化予測サービスを受けるためには、

- ① 促進劣化試験を行い結果を解析して実験定数を求める。
- ② 試料温度を推定するための温度差比を設定する。
- ③ 暴露開始日と暴露終了日（1980年1月1日から1989年12月31日

の間）を指定することで劣化シミュレーションを依頼することができる。出力結果の例を図1及び図2に、また、依頼書の形式を末頁に示す。

5. 今後の課題

1) 今回の劣化予測サービスは、依頼者が促進劣化試験を行って結果を解析しなければならないことから、それなりの設備を備えていることが必要となる。したがって、それらの設備がない場合、当財団で促進劣化試験を行ってほしいという要望が当然でてくるであろう。当財団としてもそれらの要望に応えられるよう、設備の拡充、データの蓄積など予測サービスの充実を図っていきたい。

2) この解析手法は、暴露した後特性値が指数関数的に減少してい

くものについてのみ適用できるもので、特性値が上昇するものや、暴露後ある時期から特性値が急激に変化するようなものには他の劣化モデルが必要である。また、この解析手法は、光と熱の影響の評価のみであり、屋外環境でのもう一つの大きな劣化因子である水の影響は含まれていない。したがって、実際の暴露結果とシミュレーション結果が異なることも予想される。実際の暴露結果との差が何に起因しているのかを検討することが次の大きな課題である。

3) 当財団では、来春沖縄県宮古島に暴露試験場を開設する。ここでは、銚子と同様に環境因子を計測し、データベース化する予定である。将来、銚子と亜熱帯気候区に属する宮古島地方での劣化予測も同時に行えるようにする予定である。

4) 銚子暴露試験場では、発足以来約20年間にわたり環境因子のデータを観測しているが、そのうちデータベース化されているのは、1980年以降の30°紫外線量、気温、ブラックパネル温度のみである。(1990年からは、太陽エネルギー関係、結露時間、表面温度等について自動的に記録されるようになった。) 早い段階で20年分のデータベース化を行い、長期のデータが必要とされる分野にも応用できるようにしたい。

6. 最後に

この解析手法は、材料の暴露後の変化が一次の化学反応と仮定し、材料の温度も推定値を用いるなど大胆な仮定を含んでいる。まだ完全なモデルとはいえないが、今回の劣化予測サービスの開始を契機として、屋外暴露試験を専門業務とする公共的機関としての社会的要請に応えるために努力したい。

参考文献

- 1) 小池迪夫、田中亨二 合成高分子防水層の耐候性(その7)
日本建築学会論文報告集第294号・昭和55年8月
- 2) DGM-1, DGM-2 シリーズ スガ試験機から入手可能
- 3) 富板崇 方位・角度別のブラック・ホワイトパネル温度の測定
日本建築学会論文報告集第404号・1989年10月

DGM - 4F

*** 処理開始 *** 90/11/05 15:43:31

このプログラムは 紫外線 : U と 熱 (温度) : T の複合相乗劣化作用を
1 次の化学反応と仮定し、 温度差比 : γ により試料温度を推定して
初期特性 : P_0 が 経過時間 : t 後に P に低下する場合、

$$\ln (P/P_0) = C_u \sum U^\alpha \exp (-Eu/RT) + C_h \sum \exp (-Eh/RT)$$

で表現し、 $C_h, E_h; C_u, \alpha, E_u$ を与え 劣化シミュレーション を行います

試料名 : DEMO

参照劣化因子										
UV8083S3CH	12	31	24	6	83	UV	MJ/m ² /hr	J.W.T.C.	銚子	担当 : 高根
BP8083S3CH	12	31	24	10	83	BP	DEG C	J.W.T.C.	銚子	担当 : 高根
TP8083ABCH	12	31	24	10	83	TP	DEG C	J.W.T.C.	銚子	担当 : 高根
UV8489S3CH	12	31	24	2	89	UV	MJ/m ² /hr	J.W.T.C.	銚子	担当 : 高根
BP8489S3CH	12	31	24	7	89	BP	DEG C	J.W.T.C.	銚子	担当 : 高根
TP8489ABCH	12	31	24	8	89	TP	DEG C	J.W.T.C.	銚子	担当 : 高根

初期特性 : $P_0 = 100$

$C_h = -10,000.00000$ [1/hour]
 $E_h = 50.0000$ [KJ/mol]
 $C_u = -400.00000$ [1/hour]
 $\alpha = 0.40000$ [-]
 $E_u = 40.0000$ [KJ/mol]
 $\gamma = 0.8000$ [-]

図1 シミュレーション条件の設定

800101	100.0000	*****
800131	99.4410	*****
800229	98.8666	*****
800331	98.1483	*****
800430	97.1857	*****
800531	95.7571	*****
800630	94.0139	*****
800731	92.2595	*****
800831	90.3753	*****
800930	88.3380	*****
801031	87.2344	*****
801130	86.9503	*****
801231	86.2831	*****
810131	85.9274	*****
810228	85.5032	*****
810331	84.8784	*****
810430	84.0019	*****
810531	82.9009	*****
810630	81.7643	*****
810731	79.8510	*****
810831	78.0234	*****
810930	76.7744	*****
811031	75.7813	*****
811130	75.2344	*****
811231	74.7483	*****
820131	74.3249	*****
820228	73.9358	*****
820331	73.3640	*****
820430	72.5941	*****
820531	71.4315	*****
820630	70.3615	*****
820731	69.4718	*****
820831	67.5100	*****
820930	66.4533	*****
821031	65.6102	*****
821130	65.0358	*****
821231	64.6230	*****
830131	64.2784	*****
830228	63.9322	*****
830331	63.4915	*****
830430	62.8365	*****
830531	61.8815	*****
830630	60.9949	*****
830731	59.9256	*****
830831	58.5618	*****
830930	57.3523	*****
831031	56.8225	*****
831130	56.3426	*****
831231	56.0009	*****
840131	55.7198	*****
840229	55.4732	*****
840331	55.1258	*****
840430	54.6787	*****
840531	54.0182	*****
840630	53.2499	*****
840731	52.0221	*****
840831	50.5580	*****
840930	49.4308	*****
841031	49.0292	*****
841130	48.6170	*****
841231	48.2983	*****
850131	48.0449	*****
850228	47.7691	*****
850331	47.4774	*****
850430	46.9773	*****
850531	46.3596	*****
850630	45.5929	*****
850731	44.4731	*****
850831	43.2087	*****
850930	42.4283	*****
851031	41.8666	*****
851130	41.5940	*****
851231	41.2512	*****
860131	41.0499	*****
860228	40.8574	*****
860331	40.5847	*****
860430	40.2008	*****
860531	39.6939	*****
860630	39.1258	*****
860731	38.3832	*****
860831	37.4582	*****
860930	36.7556	*****
861031	36.3092	*****
861130	36.0056	*****
861231	35.7685	*****
870131	35.5634	*****
870228	35.3649	*****
870331	35.0975	*****
870430	34.7192	*****
870531	34.2184	*****
870630	33.6598	*****
870731	32.8709	*****
870831	32.0952	*****
870930	31.5415	*****
871031	31.1260	*****
871130	30.8667	*****
871231	30.6694	*****
880131	30.4749	*****
880229	30.3234	*****
880331	30.1039	*****
880430	29.7659	*****
880531	29.3628	*****
880630	28.8876	*****
880731	28.4406	*****
880831	27.7684	*****
880930	27.3455	*****
881031	27.0091	*****
881130	26.7852	*****
881231	26.6119	*****
890131	26.4467	*****
890228	26.2873	*****
890331	26.0742	*****
890430	25.7784	*****
890531	25.4443	*****
890630	25.0763	*****
890731	24.5949	*****
890831	24.0301	*****
890930	23.5585	*****
891031	23.2719	*****
891130	23.0451	*****
891231	22.9198	*****

*** 正常終了 *** 90/11/05 16:08:32

図2 特性変化シミュレーションの一例

(様式 JWTC ⇄ 依頼者)

特性変化シミュレーション依頼書

日本ウェザリングテストセンター殿 依頼年月日 平成__年__月__日
FAX 0479-23-8132

依頼者 貴社名 _____

御所属 _____

御氏名 _____

TEL _____

出力結果送先宛名(貴社所在地) / 連絡用FAX

郵送 FAX (どちらかをチェック)

以下の条件を指定して、特性変化シミュレーションを依頼します。

試料名/依頼番号等 _____

初期特性 _____

劣化特性値: Ch = _____ Cu = _____

Eh = _____ Eu = _____

温度差比: γ = _____ α = _____

(外気温: $\gamma=0$, BP温度: $\gamma=1$)

シミュレーション期間: 19__年__月__日~19__年__月__日

(1980年1月1日から1989年12月31日の範囲)

* 特性変化シミュレーション依頼に関する承諾事項

依頼される方は、以下の項目について、御了解いただくことといたします。

- (1) 本「特性変化シミュレーション」は、紫外線と熱の相乗作用による、主に高分子系材料の特性変化を、ある仮定に基づいて解析・予測するためのものです。今後の関連研究の発展により、否定される可能性を含んでおります。また、適用が困難な現象や、予測結果が実際の屋外ばくろ試験と大幅に異なる場合があります。従いまして、このシミュレーション結果については、ソフトウェア開発者・日本ウェザリングテストセンターはその責任を負うことができませんし、商取引の条件とすることはできません。このシミュレーション結果に起因して何らかの損害が発生した場合、ソフトウェア開発者・日本ウェザリングテストセンターはその責任を免れるものとします。
- (2) 本「特性変化シミュレーション」のためのソフトウェア・データベース内に欠陥があった場合、日本ウェザリングテストセンターは依頼者にそれを通知し、再度シミュレーション結果を送る責任のみを負います。欠陥のあるソフトウェア・データベースにより発生した損害については、免責といたします。
- (3) 本「特性変化シミュレーション」による結果を第3者に提供し、これにより対価を得ることを業務とすることは、別途二次使用権に関する契約を行わない限り、認められません。
- (4) 本「特性変化シミュレーション」に関する料金の請求・支払は、あらかじめ貴社と日本ウェザリングテストセンターが取決めた方法によるものといたします。

** 本依頼書を、今後の新サービスなどを御紹介するための資料とさせていただきます。