日本建築学会大会学術講演梗概集
（北海道） 2013 年 8 月

防水材料の耐候性試験　その５０
ヒステリシスロスを利用した高伸長形ウレタン防水材の劣化評価　その１

正会員　○中山俊昭*1　正会員　清水市郎*3
正会員　宇都木崇*1　正会員　松村　宇*4
正会員　鈴木　博*1　正会員　高根由充*5
正会員　竹本喜昭*2　正会員　田中享二*6

防水材料　耐候性　屋外暴露
ウレタン　高伸長　ヒステリシスロス

1.はじめに

防水材料促進耐候性試験方法小委員会では，2002 年から防水材料の屋外暴露試験と促進暴露試験を，同じ材料により同時並行で開始した。屋外暴露試験は 3 年目，7 年目に試験体の回収・評価を行い，次回は 15 年目（2017 年）に行う計画である。

これまでの評価方法は，引張試験による機械的物性測定法を標準としているが，この方法では物性値に顕著な差が見受けられなかった。

また，FT-IR（フーリエ変換赤外分光分析装置）を利用した表面分析法は，表面の劣化状態を知る有用な手法ではあるが，表面の凹凸が大きい場合，測定が困難であった。

そこで，簡便にウレタン防水層の経時変化を評価できる試験方法を検討した結果，本報では，ヒステリシスロスを利用した評価方法について報告する。

2.ヒステリシスロス評価法採用の背景

ウレタンの経時的変化を追跡するため，FT-IR により分子構造の変化を調べることも一つの方法ではあるが，直接的にウレタン防水層の変化を捉える手段があれば，さらに有効と考えられる。そこで注目したのがウレタン防水層の劣化（主鎖の切断や固化等）に伴う，弾性力の低下である。今回は，弾性力の経年変化を調べるために引張試験によるヒステリシスロスで評価を行なった。ヒステリシスロス評価法を採用した背景としては，以下のウレタン塗膜の特性が上げられる。

1) 防水層の経年変化：ウレタン塗膜防水における経年変化としては，保護仕上材（トップコート）やウレタン防水材の構成成分の分解や固化等が考えられる。

2) 構成成分の分解：ポリマー成分は，縮合重合することで高分子化しているが，光・熱・水・酸・アルカリ等の影響により，経年で結合部分の局部的な分解を起こし，弾性力が低下する。

3) 弾性力とヒステリシスロスの関係：ウレタン防水層は，弾性と粘性の両方の性質を持つ粘弾性体であり，特に粘性は変形時の運動エネルギーの一部を熱エネルギーに換えて散逸させる性質が強く，この散逸したエネルギーがヒステリシスロスとして示される。したがって，弾性の低下とともに粘性が増加した場合，ヒステリシスロス率は増加すると予想される。

3.評価に使用した屋外暴露試験体

3.1 試験体の種類

試験体として用いたのは，高伸長形ウレタンの手塗りタイプであり，平均膜厚を 3mm とした。またトップコートによる耐久性の差を確認する目的で，試験体はトップコート有り（トップコートはアクリルウレタン系及びフッ素系の 2 種類）及び無しの合計 3 種類とした。トップコートの塗布量は 0.2kg／m^2 とした。屋外暴露試験体一覧を表 1 に示す。

表１　屋外暴露試験体一覧

ウレタン防水材 ＼ トップコート			1 なし	2 アクリルウレタン	3 フッ素
C	高伸長形手塗りタイプ	ブランク	C-1-0	C-2-0	C-3-0
		3年暴露	C-1-3	C-2-3	C-3-3
		7年暴露	C-1-7	C-2-7	C-3-7

3.2 試験体形状

縦 300mm，横 300mm の試験体を，ステンレスベルトでコンクリート舗道板に機械的に固定したものを屋外で暴露した。

3.3 屋外暴露地域

暴露地域一覧を表 2 に示す。今回のヒステリシスロス評価法には，宮古島暴露試験体を用いた。

表２　屋外暴露地域

地域	寒冷地域 (N)	温暖地域 (C)	亜熱帯地域 (S)
暴露地	旭川（北海道）	銚子（千葉県）	宮古島（沖縄県）

4.引張試験によるヒステリシスロス評価

4.1 測定方法

試験は，試験片を一定の速さで引張り，かつ，一定の速さで元へ戻した。これを 1 サイクルとした。

試験片は，ダンベル状 3 号形を用い，引張速さは 0.83±0.08mm/s，引張長さ（伸度）は 10mm とした。引張速さは，JIS K7312 を参考に表 3 からヒステリシスロスが最小となる速度を設定した。引張長さ（伸度）は，JIS K7312 を参考に弾性変形領域内で，トップコートの塑性変形，または破断が起きない長さを設定した。

表３　引張速さとヒステリシスロスの関係

引張速さ(mm/s)	0.17	0.50	0.83	1.17	1.67
ヒステリシスロス(%)	42	19	16	16	30

Weatherability Test Result of Waterproofing Materials Part 50
Assessment of The High Extension Type Urethane Waterproofing Material By Hysteresis Loss Part 1

NAKAYAMA Toshiaki, UTSUGI Takashi,
SUZUKI Hiroshi, TAKEMOTO Yoshiaki, SHIMIZU Ichiro,
MATSUMURA Takashi, TAKANE Yoshimitsu, TANAKA Kyoji

ヒステリシスロス率は，次の式によって，算出した。

H＝（(A－B）／A）×100

H：ヒステリシスロス率（%）

Hn：サイクル数 n 回後に一定となったヒステリシスロス率（%）を示し，3 回同じとなるまで繰り返す。これは弾性変形領域内において限りなく粘性の影響を排除したことを意味し，繰返し伸縮させても残存する粘性を示す。

※サイクル数 1 回の場合，H1 と表記する。

※同試験片にて繰り返し試験する場合，弛みがないよう，毎回試験片を付け直した。

A：塗膜変形時の荷重-伸度曲線の面積

B：塗膜回復時の荷重-伸度曲線の面積

4.2 測定結果及び考察

1) トップコートなしブランク C-1 の測定

図 1 に H1 と H5 のヒステリシス曲線を示す。

青いラインまたは赤いラインで囲まれた面積がヒステリシスロス率を示すが，1 サイクルより 5 サイクルの方が面積は減っている。サイクル数が増えることで，ヒステリシスロス率は低下した。これは繰返し伸縮させることで，運動エネルギーの一部が熱エネルギーに換わり散逸したと推定される。

長期間暴露した場合，ウレタン防水層の変質（構成成分の分解や固化等）により，この Hn 値は，増加すると予想される。つまり Hn 値の増加は，繰返し伸縮させても変化しない貯蔵された弾性が低下していくことを意味しており，最終的にこの弾性の低下は，劣化の進行と関連付けられるものと考えられる。

図 2 に各試験片のサイクル数とヒステリシスロスの関係を示す。

暴露年数が長いほど，H1 値は上昇した。これは，粘性が経年により増大する傾向にあることを示していると思われる。一方，Hn 値は各暴露試験片とも 18%で一致した。当初の予想としては，経年変化により Hn 値は増加すると思われたが，屋外暴露 7 年までは変化が見られなかった。予想の前提として，経年劣化はウレタン防水層全体で均一に進行することを想定していた。しかし経年により H1 値は増加し，Hn 値は一定となった。このことからウレタン防水層は全体が均一に劣化するのではなく，少なくとも一部（暴露面）は劣化しているが，ウレタン防水層内部のほとんどは劣化せず，ブランクに近い状態で維持されているのではないかと考えた。

C-1 試験体の外観を調べることで，暴露面とウレタン防水層内部で劣化による違いが見られるか，次報（ヒステリシスロスを利用した高伸長形ウレタン防水材の劣化評価その 2）にて報告したい。

2) トップコートあり C-2 及び C-3 の測定

表 4 に暴露年数とヒステリシスロスの関係を示す。

C-2 及び C-3 とも暴露年数が長いほど，H1 値は上昇した。C-2 及び C-3 の Hn 値は，屋外暴露 7 年までは，測定誤差の範囲内であまり大きな変化が見られなかった。

C-2 及び C-3 においても暴露面が劣化し，ウレタン防水層内部はブランクに近い状態で維持されていると思われる。

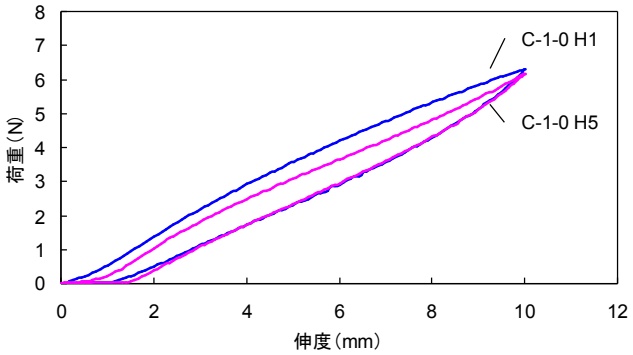

図 1　トップコートなしブランクのヒステリシス曲線

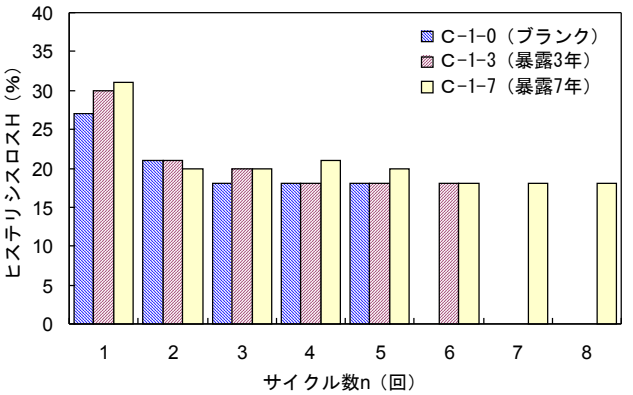

図 2　C-1 のサイクル数とヒステリシスロスの関係

表 4　暴露年数とヒステリシスロス（H1，Hn）の関係

暴露年数（年）	C-1		C-2		C-3	
	H1(%)	Hn(%)	H1(%)	Hn(%)	H1(%)	Hn(%)
0	27	18	29	23	24	20
3	30	18	36	24	28	21
7	31	18	38	24	30	23

5.まとめ

3 試験体（C-1，C-2 及び C-3）とも H1 値は暴露年数が長いほど上昇し，経年で粘性が増大する傾向にあることを示した。但し屋外暴露 7 年までの Hn 値の変化が小さいことから，ウレタン防水層内部はブランクの状態を維持していることが示唆された。より詳細に検討して今後明らかにしていきたい。

（参考文献）

JIS K7312-1996 熱硬化性ポリウレタンエラストマー成形物の物理試験方法

*1 日本ウレタン建材工業会
*2 清水建設　技術研究所　博士（工学）
*3 建材試験センター　中央試験所
*4 北海道立総合研究機構　北方建築総合研究所
*5 日本ウェザリングテストセンター銚子試験場　博士（工学）
*6 東京工業大学名誉教授　工博

*1 Japan Urethane Waterproofing Industry Association.
*2 Shimizu Corporation, Institute of Technology. Dr. Eng.
*3 Japan Testing Center for Construction Materials, Central Test Laboratory.
*4 Hokkaido Research Organization, Northern Regional Building Research Institute.
*5 Japan Weathering Test Center, Choshi test field. Dr. Eng.
*6 Emeritus professor of Tokyo Institute of Technology. Dr. Eng.