ALC を下地とする防水層機械的固定工法の耐風性試験方法の開発

DEVELOPMENT OF WIND RESISTANCE TEST METHOD
OF MECHANICALLY ANCHORED WATERPROOFING SYSTEM
WITH ALC SUBSTRATE

バルトコ ミハエル*, 宮内 博之**, 田中 享二***

Michal BARTKO, Hiroyuki MIYAUCHI and Kyoji TANAKA

Flat roof systems are subjected to negative wind forces. This effect is especially important when waterproofing membrane is attached to a substrate by spot fasteners of mechanically fastened waterproof system. Wind forces cause fatigue stresses on the system and its reliability, however, is not determined sufficiently. This refers mainly to systems with recently used ALC panel substrate, because ALC's strength is much lower in comparison to regular reinforced concrete substrate. Unevaluated reliability of the system led us to the development of the apparatus capable of fatigue effects investigation. We produced the equipment; its principle is, that negative pressure of wind force is substituted by air pressure of 2965N/m^2 and 8235N/m^2 respectively applied in EPDM bag placed under membrane. Specimens consist of all same parts as actual systems- ALC substrate, fastener with disc and membrane. As a result we can state that failures occurred during the tests are identical to those occurred during typhoons on actual roofs.

Keywords: Test method, Mechanically fastened waterproofing system, Fatigue evaluation apparatus, Wind resistance, Autoclaved Lightweight Concrete, Fracture mode

試験方法、防水層機械的固定工法、疲労試験装置、耐風性、ALC、破壊形態

1. はじめに

防水層をあと施工アンカー（以下、アンカーとする）で機械的に固定する工法は、下地のひび割れや接合部でのムーブメントの影響を受けないこと、乾式工法であり施工が早いこと、さらには下地の種類を問わないため、補修工法としての利便性があり、急速にその普及が拡大している。しかし、この工法は点状でしか下地に固定されていないため、耐風性に対しては十分な備えが必要であることは、この工法の開発の当初から指摘されているところであり、現在では屋根面に作用する吸い上げ力に対して、十分な安全性をもつように、アンカーの種類と位置の設計がなされるようになってきている。幸い今まで大きな事故のないまま、この工法は多くの陸屋根の防水層として使用されてきた。

しかし、2004 年秋に日本全土に強い風を伴った台風がいくつか襲った。そして防水層にも被害が生じ、その中のいくつかには、機械的固定工法による防水層も含まれていた。従来から懸念されていた被害はアンカーの下地からの引き抜けであったが、それ以外に、防水シートと円板状固定金具（以下、固定金具とする）間の接着破壊や、防水層の破断といった、いわば防水システムとしての破壊も多かった。また破壊の状態から判断して、瞬間的な突風で破壊したというよりは、風の作用の繰り返しによるものと考えられるものであ

った。

防水システムとしての耐風性については、試験体の上に吸引箱をかぶせ、内部を風外力に相当する負圧とし、破壊が起きるかどうかを評価する方法がとられていた¹⁾。現在でもこの方式による試験が世界的にも多く採用されている。しかしこの方法では、負圧にするための装置が大掛かりであり、さらにそれを繰り返し負荷させることは原理的には可能であるものの急速な繰り返しは難しく、数百回の繰り返しをするのが実際上の限度であった。今回、被害のあった防水層もその程度の確認はなされていたものであった。しかし今回の被害は、さらに多数回の疲労試験の必要性を示唆するものであった。風は息をしており、強風の継続時間、さらには現状の防水層の期待耐用年数が 10~20 年であることを考慮すると、その繰り返し回数は数万回を超えるものとなると思われるからである。

現状では、このような機械的に固定した防水層を対象とした疲労試験装置は現存しない。しかし 2005 年に報告された機械的固定工法を用いた防水層の被害実態²⁾より、下地、アンカー、防水層を一体とした防水システムとしての耐疲労性の評価が可能な疲労試験装置が必要と考えられる。これより、本研究では防水層機械的固定工法の耐風性について、多数回の繰り返し荷重を作用させることのできる、試験装置を開発することを目的とした。

* 東京工業大学 大学院生・理修

** 東京工業大学建築物理研究センター 助手・博士(工学)

*** 東京工業大学建築物理研究センター 教授・工博

Graduate Student, Tokyo Institute of Technology, M. Sc.

Res. Assoc., Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Prof., Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

2. 耐風試験装置製作に必要な条件

2.1 再現させる現象

強風下での防水層は、その上面を走る風により上方向への吸い上げ力が生じ、持ち上げられる。それに対して一定間隔で取り付けられたアンカーが下地 ALC 板からの浮き上がりを抑えようとする。ただしアンカーは点状にしか配置されていないので、防水層は風の吸い上げ力のためにアンカー間でふくれ上がる。写真1は風洞試験により、防水層がふくれ上がった状態の例である。この状態を模式的に図1に示す。ここで製作しようとする試験装置は、この風による現象の再現を目標とする。

2.2 試験装置の具備すべき条件

(1) 吸い上げ力の最大値

吸い上げ力は風速と関係する。建築物荷重指針³⁾によると設計用速度圧は次式で表される。

$$q_H = \frac{1}{2} \rho U_H^2 \quad (1)$$

ここに、 q_H : 設計用速度圧 (N/m²)
 ρ : 空気密度、1.22 (kg/m³)
 U_H : 設計風速 (m/s)

設計風速 U_H は建物高さや風速の再現期間に応じて定められるものであるが、防水層の耐風性については、現時点では詳細な議論のできる水準にはない。そのためこれに関しては同指針で定める基本風速を参考とすることとした。

また、吸い上げ力は、同指針によると次式により計算される。

$$W_C = q_H \hat{C}_C A_C \quad (2)$$

$$\hat{C}_C = \hat{C}_{pe} - C_{pi}^* \quad (3)$$

ここに、 W_C : 吸い上げ力 (N)
 A_C : 外装材等の受圧面積 (m²)
 $\hat{C}_C$: ピーク風力係数
 $\hat{C}_{pe}$: ピーク外圧係数
 C_{pi}^* : 内圧変動の効果を表わす係数

陸屋根では屋根面の位置によって吸い上げ力の異なることは良く知られており、同指針での外装材のピーク外圧係数 $\hat{C}_{pe}$ は、屋根コーナー部分において最大で-5.4 とされている。従って風荷重としては設計用速度圧に-5.4 倍を見込まなければならない。日本の基本風速の最大値 50m/s を用いると (内圧は考慮していない)、風荷重は 8,235N/m² が最大として期待される。従って試験装置としては、8,235N/m² までの吸い上げ力の試験ができる能力が必要となる。

写真1 防水層がふくれしている状態(風洞試験結果)

(2) 吸い上げ力の最小値

風が防水層の上面を走ると、防水層はフラッタリングを起こす。そのため吸い上げ力は変動する。その振幅は同じく Baskaran 等⁴⁻⁶⁾の塩化ビニル樹脂防水層を用いた測定によれば、ほとんどは負圧の領域で変動しているが、時々ゼロの値も観測される。そのため、吸い上げ力の最小値としてはゼロとすることが必要である。

(3) 周期

前述の Baskaran 等の実大スケールの測定⁴⁻⁶⁾によると、塩化ビニル樹脂防水層機械的固定工法ではその周期の卓越周期は2Hzにあり、EPDM ゴムシート機械的固定工法では2.5Hzにある。従って装置としては数 Hz までの試験のできる能力が必要である。

3. 試験装置

3.1 吸い上げ力の負荷方法

風の吸い上げによりアンカーに作用する力は、吸引箱等により負圧を作用させることにより再現するのが一般的であるが、図2に示すように、防水シート下側から押し上げることによって、原理的には再現可能である。こうすることにより、大掛かりな吸引箱を防水シートの上にかぶせる必要がなくなり、試験装置が簡略化される。また試験体が露出状態になるため、吸引箱をかぶせる方法では欠陥発生 の直接観察は困難であるが、この方式では至近距離からの観察が容易になる。そのため、ここでは防水シートを下側から空気圧で押し上げる図3に示す方式を採用することとした。

ただし、空気を直接防水シートの下側に導入すると、防水シート の破壊が急激に進んだ場合は非常に危険である。また軽微な破壊でも空気の漏洩が多いと、空気供給が追いつかなくなり実験が不能となる可能性がある。そのため、写真2に示す防水シートの下側に中

図1 風の吸い上げ力による防水層のふくれ状態

図2 防水層下側から押し上げることで防水層のふくれを生じさせる方法

図3 エアバックにより防水層を押し上げる方法

中央部が円形にくりぬかれた（この部分にアンカーが固定される）浮き袋のようなエアバッグを挿入し、それを膨らませることにより防水シートを下側から押し上げる方式を考えた。

このことにより防水シートの一部が破断しても、急激な空気の漏洩を防止することが可能となる。また吸引箱方式では、箱と防水シート間で完全な気密が必要となるが、この方法では完全な気密状態でもなくとも実験が可能であり、この点でも作業が容易となる。

また、試験体の大きさについては、通常の機械的固定工法におけるアンカーの固定ピッチは 450～900mm 程度であることと、試験のし易さを考慮して、縦 1000mm×横 1000mm の試験体サイズとした。これらを考慮して作製した試験装置を写真 3 に示す。

3.2 繰り返し負荷方法

吸い上げ力を最大値から最小値（ゼロ）まで数 Hz の周期で繰り返すためには、エアバッグ内空気圧を制御する方式では、圧力制御系装置が大掛かりとなる。ここでは簡便に最小値（ゼロ値）とするために、防水シートを介してアンカー部分にかかる吸い上げ力に対して、図 4 に示すように逆に上面から加圧することにより相殺させ、ゼロ値とする方式を採用した。これには外部モーターからの回転運動を、クランク機構を用いて、加圧治具を上下させる運動に変換し、アンカー近傍に相殺力が作用するようにした。

この時、当然アンカーや防水シートを痛めない工夫も必要である。そのため加圧ヘッドの部分は図 4 に示すように、直接アンカー部分には接触させないように円筒形とし、周囲の防水シート部分のみを押し付ける構造とした。また防水シートとの接触部分はフラット面であるが、そのエッジ部分には丸みをつけて、さらにゴムパッドを挟み込み、防水シートに軟らかく接触させ、加圧ヘッドによる防水シートの破断を起こさせないようにしている。

3.3 圧力の制御方法

圧力はコンプレッサーからの空気を送り込み、エアバッグを膨らませることにより生じさせるが、最大圧力制御は図 5 に示すように水柱の頂部高さ (h) を一定に保つ装置を途中に設置することで行なった。これは必要以上の圧力は自動的に水柱を通して漏気する仕組みであるため、電気的な制御を必要としない利点がある。この装置は水頭 1m の高さの実験が可能であり、9800N/m² 相当の吸い上げ力までを発生させることができる。

3.4 吸い上げ力の測定方法

風による負荷は「吸い上げ力→防水層→固定金具→アンカー→ALC 板」と伝達される。最終的にはこれら各部位での力を測定することが必要であるが、本研究では第一段階として、まず吸い上げ力から ALC 下地へ伝達する力により繰り返し疲労試験の制御を行なった。これより、吸い上げ力の測定については、図 6 に示す試験体下部にアンカーを中心とした位置から 3 箇所配置されたロードセル（許容荷重 9800N）により行い、これら出力値の合計値を吸い上げ力とした。吸い上げ力をゼロとするための制御はアンカー近傍に作用する力を、加圧ヘッドに組み込まれたスプリングの変形量を調節することにより制御した。ゼロ値の確認は、実験前にアンカー部分にロードセルを取り付けて確認した。

4. 疲労試験

4.1 試験の方針

写真2 エアバッグによる防水シートの吸い上げ方法

写真3 作製した試験装置

図4 防水層機械固定工法における繰り返し疲労の与え方

図5 圧力の制御方法

図6 ロードセル配置図

図7 破壊位置

ここでの目的は、この試験装置により疲労試験を行い、どのような破壊が生じるかを調べ、実際の建物の被害例と比較し、試験方法の有用性を検証することにある。

ところで機械的固定工法はいくつかの部材と部品とから構成されている。そのため破壊の予想される部位は図7に示すような、複数の部位が予想される。機械的固定工法による防水システムの損傷は最も脆弱な位置での破壊による。本研究では、防水システムの耐風性に及ぼす要因として、工法の違い（先付け工法と後付け工法の2種類）、防水シートの強度の違い（標準用、高強度用の2種類）、アンカーの埋め込み深さの違い（深さ40mm、深さ65mmの2種類）の3点を取り上げ、本試験装置を用いて耐疲労性の検討を行った。

4.2 試験体の製作

下地は屋根板として用いられる厚さ100mmのALC板であり、これ

に1000mm×1000mmの面積の防水シートを取り付けた。アンカーは中央部1ヶ所に取り付け防水シートを固定した。周囲はアングル状固定板で固定した。なおエアバッグは、施工に先立ち防水シートと下地ALC板の間に挿入した。

4.3 試験条件

(1) 防水システム

本実験で行なった防水システムの概要を表1に示す。

表1 試験条件

固定方法	防水シート	・先付け工法 (固定金具と防水シートを熱溶着により固定)
		・後付け工法 (防水シートを施工した後、 固定金具により防水シートを固定)
材料	防水シート	・複合タイプ塩化ビニルシート(標準用) : ガラスクロス入り、厚さ1.5mm
		・複合タイプ塩化ビニルシート(高強度用) : ポリエステル樹脂製の補強クロス入り、厚さ1.5mm
アンカーの埋め込み深さ	固定金具	・先付け用固定金具(直径87mm、板厚0.65mm)
		・後付け用固定金具(直径75mm、板厚1.1mm)
アンカーの埋め込み深さ	アンカーの埋め込み深さ	・長さ40mm
		・長さ65mm

(2) 加圧力

ここでは、陸屋根を対象とし、吸い上げ力が最も高い場所となるコーナー部における耐風性の試験を行なった。風圧力のパラメータについては、日本の基本風速の下限值30m/sと最大値50m/sの2水準について調べた。コーナー部のピーク外圧係数 $\hat{C}_{pe}$ は、-5.4となり、内圧を考慮しない場合には(1)～(3)式より、風速30m/s時の風圧力(以降、試験装置で与える圧力を加圧力と記述する。)は計算上2,965N/m²、また風速50m/s時の加圧力は8,235N/m²となる。これより、疲労試験による防水システムに与える加圧力の振幅として、①0N/m²⇔2,965N/m²と、②0N/m²⇔8,235N/m²の2水準で行なった。

(3) 周期

繰り返しの周期はBaskaran等の実験結果による卓越周期をもとに2Hzとした。従って機械的固定部分には繰り返しの負荷が0.5秒間で作用することになる。

(4) 環境温度

防水材料は合成高分子材料であり、その力学特性は温度の影響を受ける。そのため試験は20±2℃の環境下で実験を行った。

4.4 試験方法

まずエアーコンプレッサーにより、所定の圧力まで加圧する。この圧力は試験期間中継続して、作用させ続ける。その間、0.5秒ごとに、加圧ヘッドを固定金具近傍部分に押し付け、固定部の吸い上

表2 疲労試験結果(加圧力: 0N/m²⇔2,965N/m²の場合)

試験	防水層の固定工法	防水シートの強度	アンカーの埋め込み深さ	破損が観察されるまでの繰り返し回数						破損の形態
				10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	
I	先付け	標準	浅い(長さ40mm)	■	■	■	■	■	■	防水シートと固定金具間の接着破壊
			深い(長さ65mm)	■	■	■	■	■	■	
II	後付け	標準	浅い(長さ40mm)	■	■	■	■	■	■	防水シートの破断
			深い(長さ65mm)	■	■	■	■	■	■	
III	後付け	高強度	浅い(長さ40mm)	■	■	■	■	■	■	固定金具の破壊
			深い(長さ65mm)	■	■	■	■	■	■	

表3 疲労試験結果(加圧力: $0\text{N/m}^2 \Leftrightarrow 8,235\text{N/m}^2$ の場合)

試験	防水層の固定工法	防水シートの強度	アンカーの埋め込み深さ	破損が観察されるまでの繰返し回数						破壊の形態
				10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	
I	先付け	標準	深い(長さ65mm)	破損	破損	破損	破損	破損	破損	防水シートの破断
II	後付け	標準	深い(長さ65mm)	破損	破損	破損	破損	破損	破損	防水シートの破断
III	後付け	高強度	深い(長さ65mm)	破損	破損	破損	破損	破損	破損	固定金具の破壊

図8 防水シートの応力-伸びの関係

図9 疲労試験における応力振幅の変化
(加圧力 $2,965\text{N/m}^2$ の場合)

げ力をゼロにすることで、繰返し疲労を与える。試験期間中の所定の繰返しが確実に実行されているかどうかの確認のために、試験体下側に取り付けたロードセルにより、荷重の変化および周期をモニターした。なお、試験の途中、1000回ごとに試験機を停止させ、目視により固定金具近傍の破壊の有無を観察した。繰返し回数は特に定めず、試験体が破壊する時までとした。

5. 試験結果

防水システムの構成については、以下の流れで検討を行った。その試験結果を、風速ごとに表2、及び表3に示す。

I. 試験体 (先付け工法)

まず、最も多く行われている方式のひとつである固定金具の先付けによる機械的固定工法を選定し、疲労試験を行なった。これは図7に示すように、まず固定金具をねじ式のアンカーで、下地 ALC 板にねじ込み固定する。ALC 板への埋め込み深さは 40mm と 65mm (加圧力 $8,235\text{N/m}^2$ の試験では、長さ 65mm のみ) である。その後、図8に示す力学特性をもつ標準用の複合タイプ塩化ビニル樹脂シート (ガラスクロス入り) を固定金具に高周波溶着により接着した。なお、本研究では電磁誘導加熱装置を用いて、適切な溶着時間 (5秒) で防水シートと固定金具を接着させている。また、本研究で使用し

<実験結果>

試験条件	加圧力 $0\text{N/m}^2 \Leftrightarrow 2,965\text{N/m}^2$ の繰返し	加圧力 $0\text{N/m}^2 \Leftrightarrow 8,235\text{N/m}^2$ の繰返し
I	<p>写真4 防水シートと固定金具間の接着破壊</p>	<p>写真6 防水シートの破断</p>
II	<p>写真8 防水シートの破断</p>	<p>写真9 防水シートの破断</p>
III	<p>写真10 固定金具の破壊</p>	<p>写真11 固定金具の破壊</p>

写真5 機械固定部から防水シートが剥がれた事例(そのため防水シートが片側に吹き寄せられた。)

写真7 アンカー周辺部の防水シートが破断した事例

たエアバックは、防水シートより軟らかい材料であるため、エアバックの剛性の影響を受けることなく、所定の加圧力が防水シートに加わっていることを確認している。

写真4に試験後の固定金具面とシートの裏面の状態を示す。加圧力 $2,965\text{N/m}^2$ では試験の開始後1万回を超えたところから、防水シートと固定金具間から剥離 (接着破壊) した。

加圧力 $2,965\text{N/m}^2$ 時の応力振幅の変化を図9に示す。本装置において、アンカー1本の風荷重負担面積を 0.25m^2 と定義すると、加圧力 $2,965\text{N/m}^2$ に対して 741N の吸い上げ力が生じなければならないが、

実験では吸い上げ力が計算値より低い値 (330N) となった。これは、防水シートが吸い上げ力の一部を負担することによるものと考えられ、試験装置の改良も含めて今後の検討課題である。

この破壊事例は、実際の被害でも良く見られるものであり、写真 5 は防水シートが固定金具から剥離 (接着破壊) して自由な状態となったため、屋根の片側に吹き寄せられた事例である。

一方、加圧力 $8,235\text{N}/\text{m}^2$ では、1 千回程度の繰り返しで、防水シートが写真 6 に示すように、固定金具のエッジ周りの防水シートから破れ始めた。これは加圧力 $2,965\text{N}/\text{m}^2$ の破壊形態とは異なるものであった。この防水シートは補強のためにメッシュが挿入されているが、メッシュも損傷し、防水シートが破断する結果となった。この破壊事例は、実被害としても見られるものであり、写真 7 は防水シーが破断した例である。

II. 試験体 (後付け工法)

防水シートと固定金具の剥離を防止するため、図 10 に示すように両者の位置を反転させ、固定金具をシートの上面から取り付けた。機械的固定部の固定金具は後付け用のものを用いた。なお、試験体の破壊の観察のため、固定金具の上に防水シートは施工せずに試験を行なった。

図10 後付け工法

加圧力 $2,965\text{N}/\text{m}^2$ では試験開始後十万回程度の繰り返しで、防水シートが写真 8 に示すように、固定金具のエッジ周りに沿って破れ始めた。加圧力 $8,235\text{N}/\text{m}^2$ でも写真 9 に示すように防水シートから破断したが、試験開始直後、アンカーを貫通させるための防水シートの孔回りから損傷し始め、50 回程度で完全に破壊に至った。

III. 試験体 (高強度塩化ビニル樹脂シートにより改善したシステム)

防水シートの破断を防止するために、図 8 に力学的性質を示す、高強度用の複合タイプ塩化ビニル樹脂シート (ポリエステル樹脂製の補強クロス入り) に交換した試験体を用いた。機械的固定部品等は試験条件 II と同じである。

この場合は、加圧力 $2,965\text{N}/\text{m}^2$ では 2 万～3 万回を過ぎたあたりから、次第に固定部のねじ式アンカーの入っている固定金具の孔回りの金属を疲労させ始め、最後には写真 10 のように円形状に完全に破壊させた。これは防水シートの上方への力が、固定金具を曲げ変形させ、その繰り返しにより疲労破壊したものである。

加圧力 $8,235\text{N}/\text{m}^2$ では、吸い上げ力が大きいために固定金具が曲がり、アンカーが固定金具の孔回りを切り刻みながら破壊させた (写真 11)。

6. 考察

試験ではいくつかの形態で破壊したが、それらと実際の屋根での破壊との関係で考察を加える。

(1) 防水シートと固定金具間からの接着破壊

風の被害として良く見られるものである。試験機による試験体の破壊性状も実際のものに類似している。

(2) 防水シートの破断

これは以前より、風の被害として良く見られる破壊形態である。その観点からはこの試験方法での破壊形態は類似している。ただし、実被害では固定金具際から半円形に損傷を受けた後、一気に防水層が引き裂かれるが、この試験機では、下からの押し上げが一定のサイズの膨れで止まってしまうため、その後の破壊進行は再現されていない。

(3) 固定金具の破壊

筆者等の知る範囲での被害事例としての経験はない。現実にかかるかどうかは疑問であるが、風の特に強い場合は、防水層がさらに吸い上げられて膨らむ。その時、アンカー周りの固定金具は上方にめくれ上がり、強い曲げ変形を受ける。そのような場合には固定金具の破壊が起きる可能性もある。

7. 結論

屋上防水層の風による吸い上げ力を、防水層の下側から加圧するという、新しい耐風性評価試験方法の提案と、試験装置の開発を行なった。

この試験機を用いて各種耐風性の水準を変えた試験体における多数回の疲労試験を行い、実際の風被害による防水システムの破壊形態を本試験装置により再現することができた。また、従来の評価では繰り返しの影響はほとんど検討されておらず、問題ないとされていた防水システムでも多数回の繰り返しにより破壊に至る可能性を示した。

疲労試験による破壊までの繰り返し回数と破壊形態との関係から防水システムの耐風性を評価する際、静的試験だけでは困難であり、多数回の繰り返しによる疲労試験が不可欠であることを示した。

今後は、機械的固定工法の各構成要素 (ALC 下地、固定金具部、防水層) の強度バランスを考えながら本工法の耐疲労性と耐風性を評価していくとともに、最終的に防水システムの耐風設計法へと反映させていく予定である。

謝辞

本試験機作成には、東京工業大学応用セラミックス研究所の石井元氏の協力を得ました。また試験体作製には、(株)アーキヤマデ中野五郎氏、三ツ星ベルト(株)岩本憲三氏の協力を得ました。また研究の討論には東急建設(株)・技術研究所加藤信男氏、技術部市川裕一氏に加わっていただきました。心よりの謝意を表します。

参考文献

- 1) 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 8 防水工事、日本建築学会、2000
- 2) 第 3 回防水シンポジウム資料集 (部分固定式防水工法の実態調査結果と風洞実験結果の報告)、日本建築学会、2005
- 3) 建築物荷重指針・同解説、日本建築学会、2004
- 4) Baskaran, A., Chen, Y., Vilaipornasawai, U.: A New Dynamic Wind Load Cycle to Evaluate Mechanically Attached Flexible Membrane Roofs, Journal of Testing and Evaluation, pp. 249-265, 1999
- 5) Baskaran, A., Chen, Y.: Wind Load Cycle Development for Evaluating Mechanically attached Single-ply Roofs, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, pp. 83-96, 1998
- 6) Baskaran, A., Chen, Y., Lei, W.: Wind Load Resistance of Modified Bituminous Roofing Systems, Construction and Building Materials, pp. 471-480, 1998

(2005年2月10日原稿受理、2005年9月14日採用決定)