

風・日射による植物の生育障害を軽減する壁面緑化手法の開発

赤川 宏 幸 杉本 英 夫 榎木 康 太
井口 雄 太 松井 宣 明
(大阪本店建築設計部)

Development of Green Wall Method that Reduces Wind and Insolation Damage to Plants

Hiroyuki Akagawa Hideo Sugimoto Kouta Enoki
Yuta Iguchi Nobuaki Matsui

Abstract

Strong wind and intense solar radiation often damage plants located on upper floors or on balconies. Our developed green wall method can reduce the effects such strong winds and insolation damage by using permanent metal shields installed in front of plants. The effects of wind reduction and solar shielding are summarized as follows. (1) The bend perforated plates used as shields reduced wind speed by approximately 20% and insolation by approximately 65%. (2) The mean radiant temperatures behind the shields were lower than those without shields by 20°C to 50°C. The developed method can maintain appropriate thermal conditions for green wall plants, particularly those that have been newly installed.

概 要

つる性植物をワイヤやメッシュ等を用いて生育させる壁面緑化は、比較的安価で普及している。しかし、高所やバルコニー等の風が吹き抜ける空間において、植物が風や強い日射のストレスによって衰退するケースが見られ、維持管理費用の増大につながっている。そこで、これらのストレスを軽減するための遮蔽物を壁面緑化前面に設置する手法を開発した。本報では、本手法を適用した建物と壁面緑化の概要、および風速と日射量の低減効果の測定結果を報告する。主な結果は以下のとおりである。(1)有孔折板によって風速は約20%、日射量は約65%低減することが確認された。この際、植物の成長に必要な光量も確保されている。(2)有孔折板内側のMRTは、折板無しの時と比べて20～50°C下げることができ、植栽植え付け直後の状態の温度環境の改善が期待できる。

1. はじめに

近年、ヒートアイランド対策とともに街の景観向上にも寄与する壁面緑化の適用面積が増えている。壁面緑化手法には、大きく分類して、壁面に植栽基盤を設置する方式と、植栽基盤を上段または下段に設置し、誘引材を用いてつる性植物を育成させる方式とがある。特に後者の中でも、面的な誘引材を用いず、ワイヤ、ネット、金属メッシュ等を用いる方式は、価格も安価で多くの建物で採用されている。しかし、この方式は、高所やバルコニー等の風が吹き抜ける空間においては、植物が風や強い日射のストレスによって衰退するケースが見られ、維持管理費用の増大につながっている。そこで、これらのストレスを軽減するための遮蔽物を壁面緑化前面に設置する手法を考案した。本報では、本手法を適用した建物、および壁面緑化の概要と、風速、日射の低減効果を中心とする性能の評価について、現地での実測結果を報告する。なお、植物は数年かけて生長することを期待しているため、植物の生長の程度については言及せず、遮蔽物の効果についてのみ述べる。

2. 対象建物と壁面緑化の概要

2.1 建物

Fig. 1に対象となる建物の配置図を示す。建物は大阪市浪速区にある地上3階建の音楽ホールである。西側を高速道路の高架部、東側を鉄道高架部に挟まれた敷地の一部に建つ。さらに、建物の東側には地上12階建のオフィスビル、北側には道路を挟んで、地上4階建のオフィスビル、南側には、地上33階建のタワーマンションが立地する。壁面緑化は建物西側の2階および3階部分の壁面の一部に設置されている。Table 1, およびFig. 2に建物の概要と諸元を示す。

2.2 壁面緑化手法

壁面緑化の一部を遮蔽しつつ、緑化の機能として重要な景観も確保する外装材として、透過度を自由に選択できる有孔折板を用いた。有孔折板は、屏風状に折り曲げることで強度を持たせた有孔鋼板のことで、設備機器や通路等の目隠しとして用いられている。近年は、その特徴ある形状から、建築の外装材として使用されることも多く、軽量で意匠性を高めた製品も数多い。汎用データの取得のためには、全壁面が同じ製品であることが理想

Table 1 建物・壁面緑化諸元
Specifications of Building
and Green Wall

竣工	2012年3月	
階数	地上3階	
建物高さ	18.8m	
面積等	敷地面積	8,000 ²
	建築面積	2,340 ²
	延べ面積	3,446 ²
構造	鉄骨造	
主な外装	ALCの外周に有孔折板	
壁面緑化 基盤	プランター ポリエチレン製ネット	
植物種	ヘデラカナリエンシス、ス イカズラ、テイカカズラ、カ ロライナジャズミン	

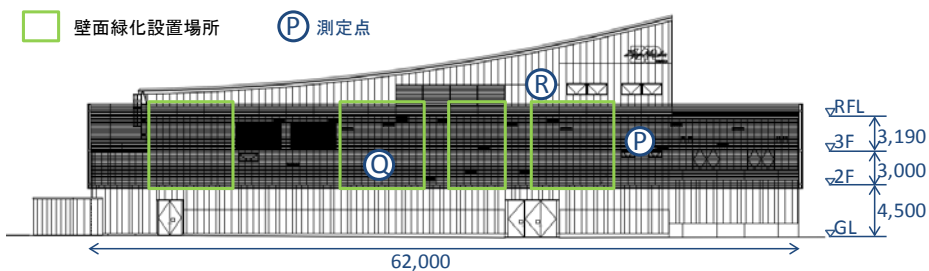


Fig. 2 西立面図 (壁面緑化施工面)
West Elevation (Green Wall Facade)



Fig. 1 建物配置図
Location Map

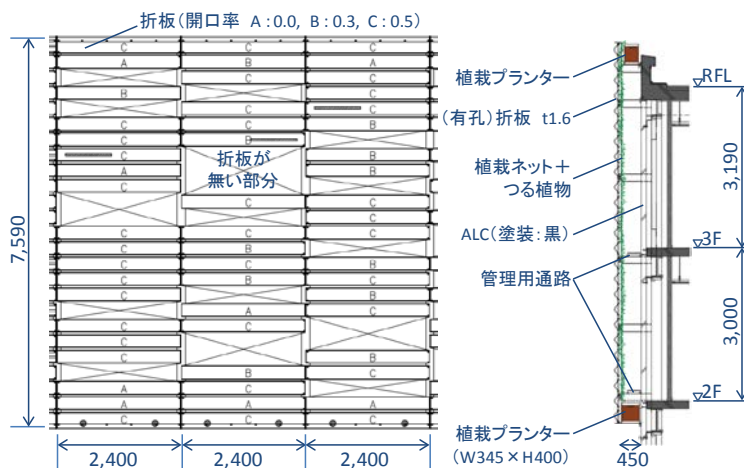


Fig. 3 遮蔽用折板と壁面緑化断面図 (測定点Qの緑化部)
Cross-Sectional View of Bend Perforated Plate and Green Wall

ではあるが、今回は実物件への適用のために意匠性を優先した。結果的に、1種類の折板ではなく、3種の開口率の異なる折板をランダムに配置する仕様であった。

Fig. 3は、測定点Qを含む緑化部の遮蔽用折板の配置の様子と、その断面図を示す。折板の開口率は0.0, 0.3, 0.5である。また、緑化を設置した壁面の一部には、植物を遮蔽無しの状態で見せるために折板の無い部分も設けた。黒色の壁面 (ALC: 軽量気泡コンクリート) と折板との間には、幅45cmの管理用通路が、2階、および3階部分に設けられており、植栽の管理に用いられている。植栽基盤用のプランターは壁面緑化の最下層 (2F) と最上部 (屋上) に設置されており、登はん型と下垂型の2つのタイプのつる植物で全体を覆う計画である。

Photo 1は、壁面緑化と有孔折板の外観、Photo 2は、各開口率の有孔折板を裏側から撮影したもの、Photo 3は、有孔折板内側の植物の様子と日射の当たる様子を示す。有孔折板の開口率は最大0.5と大きいので緑化は部分的に見通すことができる。また、音楽ホールはほぼ夕方から夜間の利用のため、折板の裏側にライン状に設置したLED照明によって、緑化壁面全体を効果的に見せることが可能である。なお今回の測定は、竣工直後のため植物



Photo 1 有孔折板による遮蔽の状況 (測定点Q)
Shielded by Bend Perforated Plate (Point Q)

は全面に生長するには至っておらず、植物が十分に生長していない状況での測定結果であることを注記しておく。

2.3 現地の気象状況

過去におけるこの地域の風環境実測から、夏季晴天日には、午後から夕方にかけて海風である西風が強くなる傾向がある¹⁾。Fig. 1にも示すように、壁面緑化が設置された西側壁面は道路を挟んで高速道路の高架部に面して

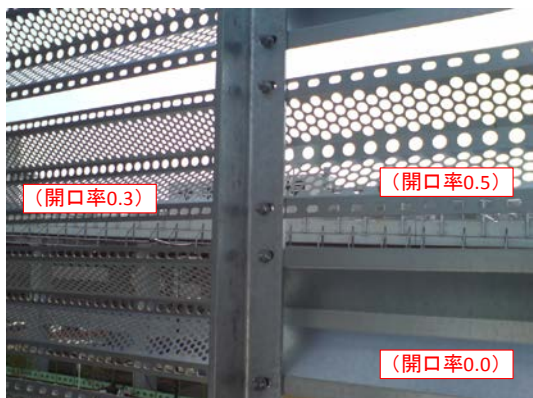


Photo 2 折板の開口率の違い
Difference of Aperture Ratio of Bend Perforated Plate

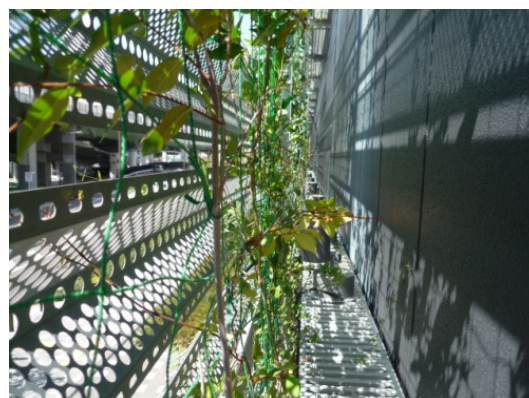


Photo 3 折板内の植物と日射の様子
Plants and Insolation behind Bend Perforated Plate

Table 2 測定概要
Measurement Details

測定項目	測定点			測定器	サンプリング時間 平均化時間
	P(緑化なし)	Q(緑化あり)	R屋上		
温湿度	1 (内) 1 (外)	1 (内)	1	小型温湿度計 ※小型百葉箱内	10min
風向風速	1 (内) 1 (外)	1 (内)		二次元超音波風速計	1s 10min
表面温度	1 (折板,開口率0.5) 1 (折板,開口率0.3) 1 (折板,開口率0.0) 1 (ALC)	1 (折板,開口率0.5) 1 (ALC)	1 (ALC) 1 (防水面)	熱電対	10min
日射量	1 (内,垂直面) 1 (外,垂直面)	1 (内,垂直面) 1 (外,垂直面)	1 (水平面)	日射計	1s 5min
光量子束密度	1 (内,垂直面) 1 (外,垂直面)	1 (内,垂直面)		光量子計	5min
土壌水分		4 (プランター)	4 (プランター)	土壌水分センサ	1hour

内:折板の内側 外:折板の外側

いる。また、南に隣接して地上33階建のタワーマンションがあるため、特に夏季の午後には前面の道路を吹く風が強くなることが多い。また、夏季の午後には、強い西日が当たる位置でもあり、壁面緑化の植物の生育にとって、日射・風のストレスを軽減することが有効であると考えられた。

3. 測定概要

Table 2に測定概要を示す。測定は2012年4月12日から約1年間実施した。本報では、植物の生長の時期に当たり、特に風や日射の影響を受けやすい4~10月の測定結果について示す。土壌水分については、植栽の生育についての議論に関係するため、本報では言及しないこととする。表内の測定点P~Rは、それぞれFig. 2の記号P~Rに対応する。測定点Pは3種類の折板に覆われた場所で、内部に壁面緑化はない。測定点Qは壁面緑化があり、測定点Pと同様に3種類の折板に覆われているが、一部に折板が無い部分が設けられている。また、今回は折板の影響を主として評価するため、折板外部の温湿度、風向風速については、測定点Pのみ測定を行った。

Fig. 4は測定器の設置状況を示す。超音波風速計は90°横に倒した状態で折板内外に設置した。折板表面温度は、

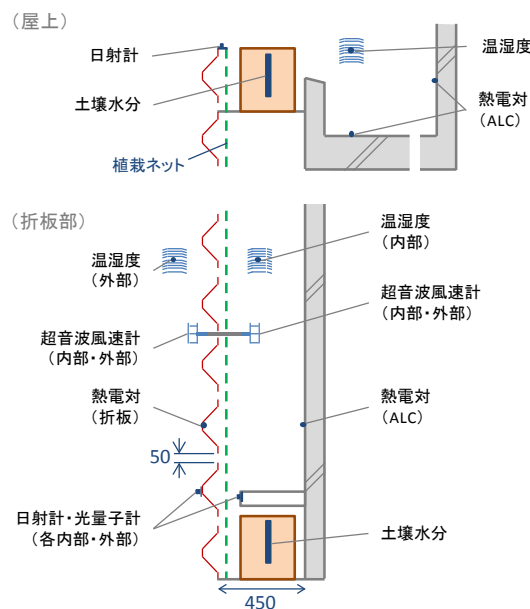


Fig. 4 測定器の設置状況
Measurement Points

最も凸となる部分の裏面に熱電対を貼り付けて測定した。ALCは黒色防水塗装が施してあるので、熱電対をアルミテープで固定した上から黒色ビニルテープを貼った。

4. 測定結果

4.1 風速低減効果

Fig. 5は、2012年8月の風速の日変化を、1か月平均として示したものである。折板外側の風速計は折板凸部から5cm程度と近接した位置に設置したため、一般風として便宜的に大阪管区気象台の風観測値を、ベキ指数1/4で8mの高さの値に換算して求められた風速日変化の月平均(16:40に日最大風速3.3m/s)と比べると値は小さい。これは有孔折板の凹凸や孔による風の減衰効果と考えられ、有孔折板が無い場合には、さらに大きい風速が予想される。測定点Pの内側/外側の風速比は0.8前後と、約20%の風速低減効果が見られた。測定点Qの折板内側の風速は、午前と午後で風速の強弱の傾向が測定点Pとは逆であった。その要因としては、折板が無い部分からの風の流入、壁面における位置の違い、および正午前後から強まる西寄りの海風の影響が大きいものと考えられる。

Fig. 6は、4～10月の全データ(10分間平均値)による

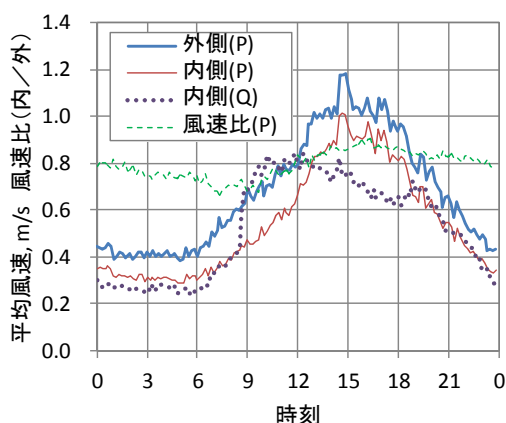


Fig. 5 折板内外の風速の日変化(1か月平均)(2012/8)

Diurnal Variations of Wind Speed in front of and behind Bend Perforated Plate (Monthly Average)

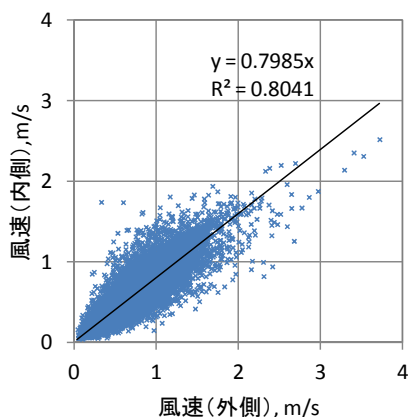


Fig. 6 折板内外の風速の相関(10分間平均値)(2012/4～2012/10, 測定点P)

Scatter Plot of Wind Speeds between in front of and behind Bend Perforated Plate (10 Minutes Average) (Point P)

折板外側と内側の風速の相関を示す。回帰式の傾きは、おおよそ8月の風速比である約0.8と同様の値を示した。一方、Table 3の風速階級別の比では、サンプル数は少ないものの、折板外部の風速が2m/sを超えた時に、内部では2/3程度まで低減する傾向があることがわかった。つまり、風速が高い時に低減率が高いことが示された。

4.2 温度環境

Fig. 7は、典型的な快晴日の測定点Pにおける折板内外の気温と表面温度を示す。測定点Qの気温は図示していないが、測定点Pと傾向が大きく異なることは無く、一般風の風向や風速に影響され、日によってその大小が多少変化した。なお、植物はまだ十分には生長していない状況であり、気温に及ぼす影響は小さいものと考えられる。折板に覆われた測定点PのALCの壁面温度は、遮蔽物の無いALC(屋上R)よりも大幅に低く、午後のピーク時には20℃程度の温度差が見られた。

開口率の異なる3種類の折板の表面温度を比較すると、無孔折板と比べて有孔折板は、最大で10℃前後低い傾向があった。折板の孔の存在によって、気流の乱れが生じ、対流熱伝達が促進された効果であると推察される。また、開口率0.3と0.5の違いによる差異はほとんど認められなかった。つまり、開口率の違いよりも、開口の有無そのものが温度低減の大きな要因であることがわかる。なお、有孔折板は溶融亜鉛メッキ仕上げであり、日射反射率は0.2～0.35程度²⁾と大きいいため、屋上のALC(黒色)と開口率0の折板の温度差が20℃以上となっている。

Fig. 8は、折板内外の風速(Fig. 5)と温度(Fig. 7)の

Table 3 折板内外の風速比(風速階級別)(2012/4～2012/10, 測定点P)
Ratio of Wind Speed behind Bend Perforated Plate to Outer Wind Speed (Point P)

折板外部の風速	1m/s未満	1～2m/s	2m/s以上
風速比(内部/外部)	0.813	0.817	0.674

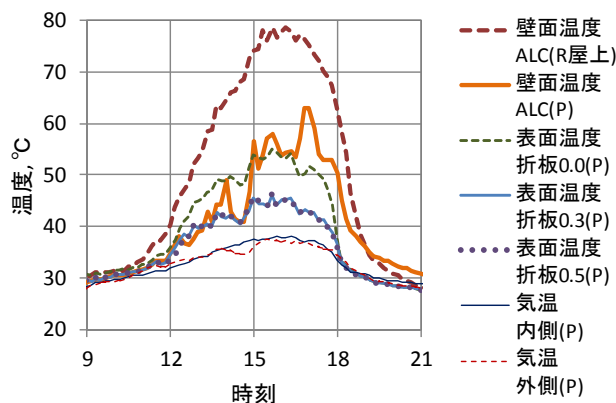


Fig. 7 折板内外の気温と各表面温度の日変化(2012/8/8, 測定点P)(R屋上のALCは参考)

Diurnal Variations of Air and Surface Temperature between in front of and behind Bend Perforated Plate (Point P) (Point R: Reference)

概況を模式的に示すために、壁面に入射する日射量がピークに近い時刻（8/8、15:40）について、温度と風速を示した図である。折板の有無によって、日射エネルギーの分配が行われる様子がわかる。また、測定点Qのように折板の無い部分（大きな開口部）があると、風が折板とALCの間の空間に流れ込み、折板の遮風効果が薄れることがわかる。

4.3 日射遮蔽効果

4.3.1 日射量 Fig. 9は、各測定ポイントの4～10月の旬平均された日積算日射量と、測定点P、Qにおける折板内外の日射量比の変化を示す。折板に全面が覆われた測定点Pは0.34～0.39と安定的な推移を示し、日射量は61～66%低減することが確認された。一方、測定点Qは0.19～0.34と測定点Pよりも比率が小さく、値も季節間で大きく変動した。測定点Qの比率の小ささは植栽の影響、比率の変動は折板の無い部分の影響と推測される。

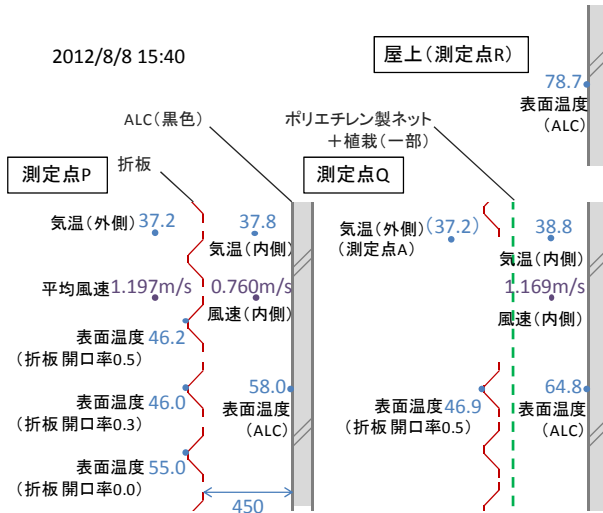


Fig. 8 温度、風速の状況 (2012/8/8 15:40)
Instantaneous Temperatures and Wind Speeds

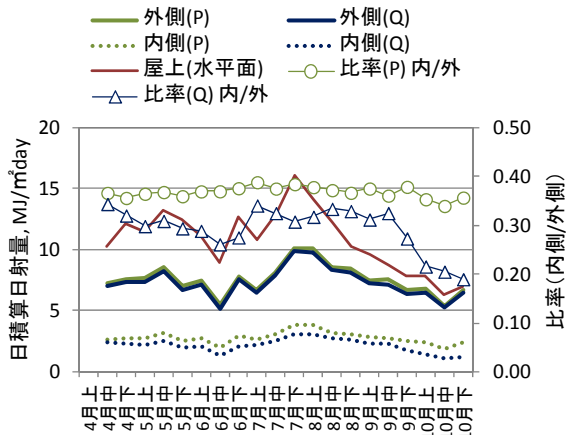


Fig. 9 日積算日射量の旬平均の季節的变化
Seasonal Variations of 10-Days Average of Daily Insolation

Fig. 10は、快晴日の日射量の日変化を示す。西向き壁面のため午後ピークが出現する。折板内側では折板の取り付け間隔（50mm）の影響で、櫛の歯のような増減を示す。取り付け間隔は自由に設定でき、隙間を開けずに設置すれば、日中を通して、日射量を低減できる。

4.3.2 光子束密度 Fig. 11は、主に日射が当たる12時から18時の、旬平均された光子束密度を示す。壁面緑化によく使用されるヘデラヘリックスの研究例³⁾では、5月の晴天日の光子束密度が最大35 $\mu\text{mol/s}\cdot\text{m}^2$ 程度の室内においても、2年間で葉が大きく成長し、十分に鑑賞に堪える状態を維持したことが確認されている。折板内側の環境は、これと比べても十分な光量が確保されていると言える。しかし、植物種が異なる点、屋外の風による影響を加味していない点もあり、概略の目安として本図を示した。

5. 平均放射温度 (MRT) の推定

植物の生育環境における、熱ふく射等による高温環境は、蒸散の促進、落葉、葉が小さくなるなどの現象につながる。特に、つる植物等の壁面緑化では、植栽基盤の制約等から蒸散量に見合った水分量が得られず、植物の衰退が起きやすい。

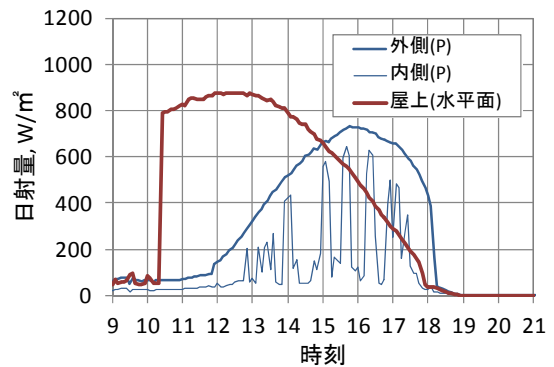


Fig. 10 日射量の日変化 (2012/8/8)
Diurnal Variations of Insolation

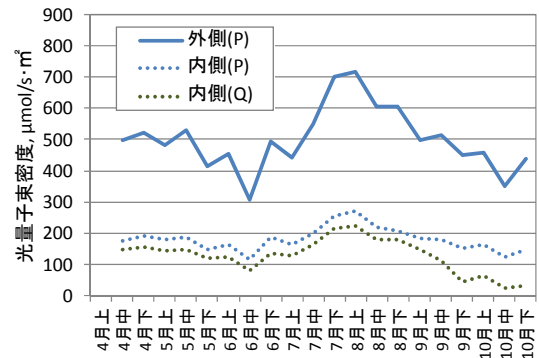


Fig. 11 光子束密度の12-18時平均の旬平均の季節的变化
Seasonal Variations of 10-days Average of 6-Hour Mean Photon Flux Density from 12:00 to 18:00

Fig. 12は、測定点P, Rについて、無限に広い壁面と仮定して推定した平均放射温度 (MRT) である。つまり、測定点Pは無限に広い有孔折板 (使用率の高い開口率0.5で代表した) とALCに挟まれた空間、測定点Rは無限に広いALC壁面の前面を仮定した。ここで、外気温と垂直面に入射する日射量は測定点Pの値で代表させた。また、壁面に相対する天空や地物の温度は平均的に外気温で代表させた。植栽の日射反射率は0.25, ALCの長波放射率は1, 有孔折板の長波放射率は簡易測定から0.21と仮定した。その他は各測定点の実測値を使用した。式(1), (2)に測定点P, RのMRTの算出式を示す。また、各式の記号を巻末に示す。

MRT(測定点P) =

$$\left[\frac{\left\{ \frac{(1-a)I_w}{2} + \varphi_w \sigma T_{wa}^4 + \varepsilon_f \varphi_f \sigma T_f^4 + \varphi_{1-f} \sigma T_{aa}^4 + (1-\varepsilon_f) \varphi_f \sigma T_{ai}^4 \right\}}{\sigma} \right]^{1/4}$$

※下線は有孔折板の長波長反射 (1)

$$\text{MRT(測定点R)} = \left[\frac{\left\{ \frac{(1-a)I_w}{2} + \varphi_w \sigma T_{wc}^4 + \varphi_a \sigma T_{ac}^4 \right\}}{\sigma} \right]^{1/4} \quad (2)$$

遮蔽する折板が無いALCの前面 (屋上R) では、MRTはピークで90℃近くまで上昇する。一方、折板とALCの間の空間 (測定点P) のMRTは日射量と同様に櫛の歯状に変動する。ここで、折板の影の部分におけるMRTは30~45℃程度であるが、上下の折板の間で直達日射が当たる場合には20℃程度上昇する。しかし、この時でも折板無しの時と比べて10℃以上低い。これは、散乱日射が抑えられる効果と考えられる。12~18時のMRTの平均値は、ALCの前面 (屋上R) が74.3℃に対し、折板とALCの間の空間 (測定点P) では51.4℃と、20℃以上の差となった。

6. まとめ

強風と、強い日射を有孔折板で遮蔽する壁面緑化手法と、その適用例を紹介し、実物件における風、温度、日射環境等を測定した。有孔折板を用いた遮蔽によって風速は約20%、日射量は61~66%低減することが確認された。この際、植物の成長に必要な光量も確保されている。有孔折板内側の平均放射温度は、折板が無い時と比べて20~50℃下げることができ、植物が導入されて間もない状態などの温度環境を改善することが期待できる。

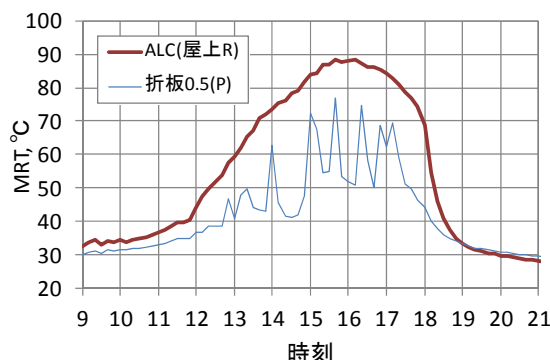


Fig. 12 ALC前面および折板内側の平均放射温度 (MRT) の日変化 (推定値) (2012/8/8)
Diurnal Variations of Mean Radiant Temperature (MRT) at a Point in front of ALC and at a Point between ALC and Bend Perforated Plate (Estimated Value)

記号

a : 植物の日射反射率 (0.25), I_w : 壁面に入射する日射量 (折板外側), φ_w : 評価点から見た壁面の形態係数 (0.5), σ : ステファン・ボルツマン定数, T_{wa} : 測定点PのALC表面温度, ε_f : 有孔折板の長波放射率 (0.21), φ_f : 評価点から見た有孔折板 (金属部) の形態係数 (0.208), T_f : 測定点Pの折板 (開口率0.5) 表面温度, φ_{1-f} : 評価点から見た有孔折板側の空隙部の形態係数 (0.292), T_{aa} : 測定点Pの折板外側の気温, T_{ai} : 測定点Pの折板内側の気温, T_{wc} : 測定点RのALC表面温度, φ_a : 評価点から見た外部側の形態係数 (0.5), T_{ac} : 測定点Rの気温

謝辞

株式会社Zeppライブエンタテインメントご担当者にご多大なるご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 赤川宏幸, 他: 屋上庭園の風速制御に関する研究 夏季の温熱快適性と風速分布の特徴について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.839~840, (2012)
- 2) 日本建築学会: 建築環境工学用教材 環境編, p.51, (1995)
- 3) 栗田瑞江, 他: 室内の低照度条件下における造園植物の生育可能性について, ランドスケープ研究, 59(1), pp.12~23, (1995)