

壁面緑化システムの構造と樹木の生育特性の研究

Research on the Structure of Planting System and the Growth Characteristics of Trees on the Wall Surface of the Building

佐久間 護 Mamoru Sakuma*1 菅田 昌宏 Masahiro Sugata*2

梗概

建物の外壁壁面上に安全に木を植えると同時に、木を健全に育てることに関心が高まっている。固定ボード、水分保持と根張りのための不織布、断熱材、外壁面のためのガラス繊維補強セメント（GRC）の4層からなる緑化パネルを用いた工法を開発するため、筆者らはFEM解析と不燃性試験を行った。また、同パネルによる樹木の生長試験を8年以上継続して行った。FEM解析の結果から、GRCパネル全体に設定した風荷重（300kg/m²）が作用しても壊れない強度であることを確認した。また樹木の生長試験では100種類以上の植物が健全に生育することを確認した。本研究で成された4層システムは、構造的な安全性と樹木の健全性に関する機能を保有していることが示唆された。

キーワード：壁面緑化、緑化パネル、耐久性、樹木、生育特性

Summary

In order to develop the technique using four layer system of the green panel, which is consisted by fixing device, non-woven fabrics for irrigation, heat insulator, glass fiber reinforced cement for outer surface, authors conducted Finite Element Method (FEM) analysis and nonflammable test of the panel. Another test for the growth characteristics of various trees on the wall has been taken for over 8 years on a pilot scale. As a result of FEM analysis, whole panel of this system was durable to the wind pressure load 300 kg/m², which simulated the location at the outer wall of the low storied part of the building. In addition, results of the growth tests showed that more than 100 species of various plants have been grown soundly within this system.

Keywords: greening wall, greening panel, tree, durability, growth characteristics

1 はじめに

環境負荷低減の重要課題であるヒートアイランド現象解決策の一つとして屋上緑化や壁面緑化による都市内の緑化が政策課題となっている。現在、建築物の屋上は薄層基盤に植栽する緑化が、また建築物の壁面は主にツタ植物や草本植物で覆う緑化が行われている。

壁面の緑化では屋上とは異なる様々な植物育成上の困難がある。施工面の傾斜で植栽基盤が風雨により流亡するため、植栽した植物の生育の維持が困難な場合が多く見られる。また垂直面に近づくほど降雨を利用できないため灌水が必要となるが、傾斜の厳しい植栽基盤に均質に水分供給することは難しい課題であった。これらの理由から2000年以前ではツタ植物以外での壁面緑化はほとんど見られなかった¹⁾。壁面緑化は2001年4月施行の東京都条例による建物緑化の義務化や2005年の愛知万博「バイオラング」の展示などで、社会的に急速に関心が高まった。以来屋上緑化の普及とともに壁面緑化の事例も増えている。建物の緑化は環境配慮技術の一つとしても重視され、いまでは緑化提案の無いプロジェクトはないほどである。ただし壁面緑化



Photo 1 独身寮外壁適用事例（埼玉県蕨市）
Outer wall application of the dormitory
(Saitama Prefecture Warabi)

*1 技術研究所 主任研究員 Chief Researcher, Research & Development Institute

*2 技術研究所 新生産システム部長 General Manager, Research & Development Institute

への適用植物はほとんどが移植の容易なツタ植物もしくは草本植物であった。壁面緑化は屋上緑化と異なり多くの人目に触れるので、美しさと同時に安全性と耐久性が必要となる。

筆者らが開発した樹木が生育可能な壁面緑化工法「パーティカルフォレスト」は、世界ではじめて樹木を本格的に壁面緑化に取り入れた工法である。景観の永続する多様な樹木が壁面で健全に生育し、意匠性だけでなく安全性と耐久性も高い緑化システムを創出することが最大の課題であった。以下に開発の概要を報告する。

2 樹木対応型壁面緑化システム

2.1 システム概要

この壁面緑化パネルの詳細はFig. 1に示すとおりであり、以下の特長を有する。

緑化システムの主な構成は、植物を生育させる緑化パネルと自動灌水装置及び植物である。植物は草花から高木まで多様な種類が適用可能である。緑化パネルは、再生塩ビボード、不織布、断熱ボード、表面パネルの四層から成る。植栽ポット付きの表面パネルはガラス繊維補強セメント（GRC）製で、地震や強風でも壊れない強度がある。断熱ボードは植物の根の温度環境変化を和らげる。不織布は上部から来る灌水の養・水分を適度に保持して根に供給する。根は不織布内を上下左右に隣接するパネル間を超えて伸張するため、植物は健全に大きく生育する。灌水は最上部に設置したドリップホースで点滴給水する仕組みである。なお施肥は液肥灌水で与える方法となる。植栽ポットは8個/m²で、上下での重なりを避ける構成である。GRC緑化パネルは独自の固定機構により建物の壁面に支障なく緊結でき、防水性や耐風安全性などの建築的要求条件を満たした仕様となっている。新築のみならず既存ビルの壁面や土木構造物の擁壁等も緑化が可能である²⁾。

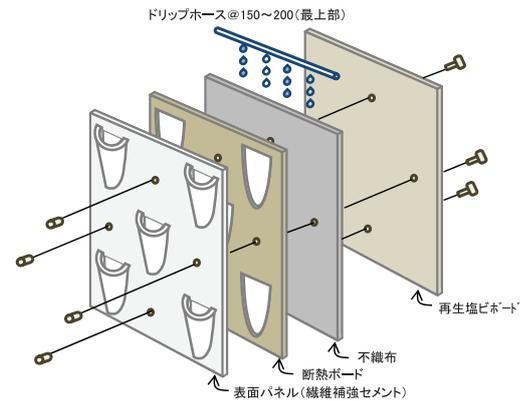


Fig. 1 GRC緑化パネルの構成
 Configuration of GRC greening panel

2.2 樹木の生長量測定結果と考察

2006年7月上旬に南面に向けて試験体を設置し植栽実験を開始した。Fig. 2に壁面緑化パネル試験体の概要を示す。Table 1に実験に用いた植物を示す。62種類の植物の配置は、乱数表を用いて緑化パネルの横列に割り付け、縦方向で繰り返しを3回とした。つまり上段と中段及び下段に同様の植栽パターンが出現する。地上部にはワグネルポット（1/2000a）に62種類の植物を植栽し、生長量の比較を行った。生長量比較には5種類の植物を選定して、樹高H、葉張りW、幹周長Cを毎月測定した。ここでは測定誤差の少ない幹周長Cの値をもとに結果の提示と考察を行う。

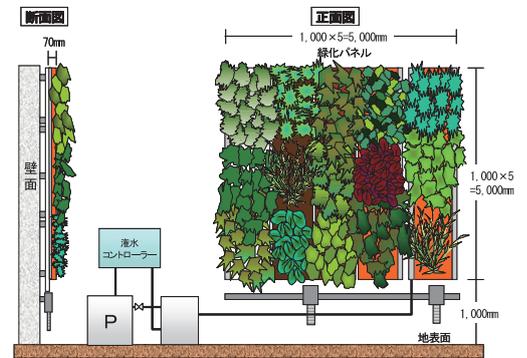


Fig. 2 壁面緑化パネル試験体の概要
 Overview of wall greening test body

Table 1 壁面緑化パネル試験体の植物リスト
 Plant list of green wall specimens

針葉樹	アスナロ	イチョウ	イヌマキ	カヤ	キャラボク
	コノテガシワ	ヒノキ	クロマツ	ドイツトウヒ	9種
常緑広葉樹	アオキ	アラカシ	イヌツゲ	オオムラサキ	カナメモチ
	キンシバイ	ギンマサキ	クスノキ	クチナシ	クロガネモチ
	サザンカ	サツキ	スダジイ	シャリンバイ	シラカシ
	シロダモ	ヤブツバキ	トキワサンザシ	ナワシログミ	ネズミモチ
	ハクチョウゲ	ヒイラギ	ヒサカキ	ビヨウヤナギ	モッコク
落葉広葉樹	イヌシデ	イロハモミジ	カマツカ	ウメ	ウメモドキ
	エゴノキ	オウバイ	ガマズミ	クスギ	ケヤキ
	コウヤボウキ	コナラ	コブシ	ザクロ	シモツケ
	ドウダンツツジ	ナニワイバラ	ニシキギ	ボケ	マンサク
	ミズキ	ムクゲ	ムクノキ	ムラサキシキブ	ムレスズメ
	メギ	ヤマハンノキ	レンギョウ		53種

2.2.1 ポット植栽との生育比較

ポット育成及び壁面育成樹木の植栽後20ヶ月経過した幹周長の比較をFig. 3に示す。クスノキではポット育成樹木に比べて壁面育成樹木の生育が良く、壁面内では上段のものが下段のものに比べて生育が良いことが判る。ネズミモチ



Photo 2 植栽直後の壁面緑化試験体 (2006年8月)
Wall greening test body after planting



Photo 3 1年後の壁面緑化試験体 (2007年6月)
Wall greening test body after one year

もポット育成に比べ、壁面育成の生育が良いことがわかる。ただし壁面内での上下方向での生育量に大きな差は見られない。

2.2.2 植栽部位の相違による生育比較

上段と下段で比較したクスノキの生長量をFig. 4に示す。植栽の部位はPhoto 2の白色パネルの列にある。Photo 3の左上(○内)に大きく生育するクスノキがある。このクスノキは全植物中で最も大きく生育したもので、上段は幹周長で下段の約2倍の生長量を示している。

上段と中段及び下段で比較したネズミモチの生長量をFig. 5に示す。植栽部位は黒色パネルの列である。特徴として年間を通じた生長が見られること、上下方向での植栽部位による生育の差がほとんどないこと、下段が上段より生育が良いことなどが挙げられる。

垂直面は植物の生育に大きな影響を及ぼす太陽からの受光量が、方位により異なるが水平面の2分の1以下であり、上部もしくは植栽面の両端で生育する植物が有利な条件にある。上段のクスノキは競争に勝った植物として大きな生育を示したが、ネズミモチは上中下の各段で個々の植物との競争関係に影響されずに生育した。ネズミモチは冬季においても生育が確認できたが、これは断熱パネルによる根系の温度環境の安定及び水分供給と通気の確保などが良好な生育環境形成に寄与したものと考えられる。なお本緑化パネルに生育した落葉樹の落葉時期が、周囲の同樹種と比べて遅いことも明らかになった³⁾。

壁面で樹木を生育させる場合、樹木が大きくなりすぎないか、また根が肥大成長して緑化パネルを破壊しないかという問い合わせが多い。Fig. 6からわかるように、別途実施した人工地盤植栽実験で根の量と地上部の生育量は比例関係にあることを確認していたため⁴⁾、壁面での樹木の生育量が剪定で管理可能か否かを実験的に確かめた。毎月の幹周長の測定及び5年後の解体調査の結果、Fig. 7に示すとおり適切な剪定管理で幹周や根の生育を抑制でき、根詰まりすることなく健全な生育を長期にわたり確保できることがわかった。

以上の壁面緑化パネルの樹木生育特性に関する実験により、壁面で永続的な植栽景観を確保する樹木の健全な生育が確認できた。また壁面を上部からかけ流す灌水方式と断熱性の高い植栽パネルで根系を保護する仕組みは、植物の年間の継続生長をももたらすことがわかった。さらに適切な剪定管理により、樹木の大きさや根系の生育量を

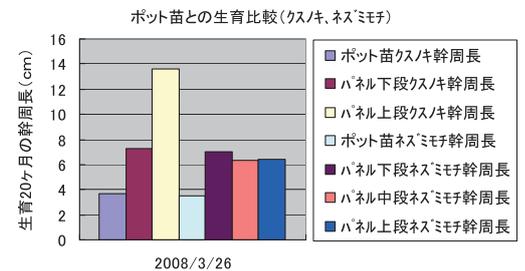


Fig. 3 ポット植栽と壁面植栽の生育比較(幹周長)
Growth comparison of pot planting and the wall planting (stem length)

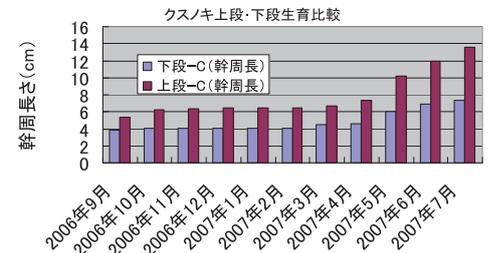


Fig. 4 壁面緑化の部位別生育比較(クスノキ)
Growth comparison in different planting sites (Cinnamomum camphor)

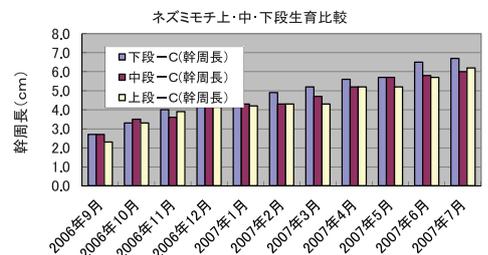


Fig. 5 壁面緑化の部位別生育比較(ネズミモチ)
Growth comparison in different planting sites (Ligustrum Japonicum)

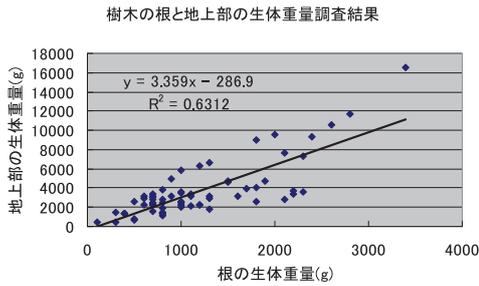


Fig. 6 樹木の根と地上部の生体重量調査結果
Live weight survey of roots and above-ground parts of trees

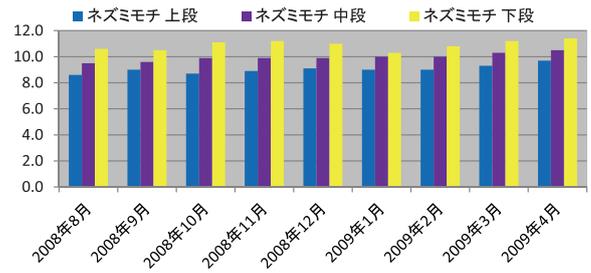


Fig. 7 剪定したネズミモチの生育量 (H20.06-H21.05)
Growth amount of Ligustrum Japonicum was pruning

抑制可能であることが明らかになった。

3 樹木対応型壁面緑化工法の耐久性検討

樹木の生育に伴う課題として懸念される緑化パネルの耐久性について検討した結果を以下に示す。

3.1 GRC緑化パネルの構造検討

当初植栽試験に用いた自己消火性のあるEPS緑化パネルは、垂直面では火が燃え上がることが燃焼実験でわかった。そこで金属、セラミック、モルタル等の材料検討を行い、製作の容易さ、仕様の作りやすさ、低コスト対応を検討した結果、GRC（ガラス繊維補強セメント）で製作することとし、耐久性のある不燃パネルの開発に取り組んだ。以下にFEM構造解析および不燃試験の結果を示す。

3.1.1 FEM解析の概要

壁面緑化の適用範囲を高所作業車の一般的な高さ12mを想定し、その時のGRC緑化パネルに自重および風荷重が作用した際の構造検討をFEM解析を用いて行った。検討の結果、緑化パネル全体に1,000N/m²の分布荷重が作用したとき、緑化パネル全体は面外に曲げ変形を生じ、緑化パネル前面応力が0.5N/mm²程度になること、支持部および、ポット・パネル取り付け部で応力集中により、1.8N/mm²程度の応力が発生することがわかった。緑化パネルの短期許容曲げ応力度が2.3N/mm²であることから、1,256N/m²の風荷重に対して緑化パネルに発生する最大応力は短期曲げ許容応力度以内になることがわかった。なお本検討で行った解析は線形解析であるため、変形および応力は荷重値に比例する。

3.1.2 検討対象

検討した壁面緑化パネルをFig. 8に示す。GRC緑化パネルの材料特性は次のとおりとした。

$$E(\text{ヤング係数}) = 8.55 \times 10^4 (\text{N/mm}^2)$$

$$G(\text{せん断弾性係数}) = 3.56 \times 10^4 (\text{N/mm}^2)$$

$$\rho(\text{質量密度}) = 1.97 \times 10^{-6} \text{kg/mm}^2$$

3.1.3 解析モデル

解析には汎用有限要素解析ソフトNX Nastranを用いた。材料は全て等方弾性体とした。また変形は微小であることから、幾何学的非線形は考慮せず線形解析を行った。

3.1.4 モデル概形

解析モデル概形をFig. 9に示す。緑化パネル部

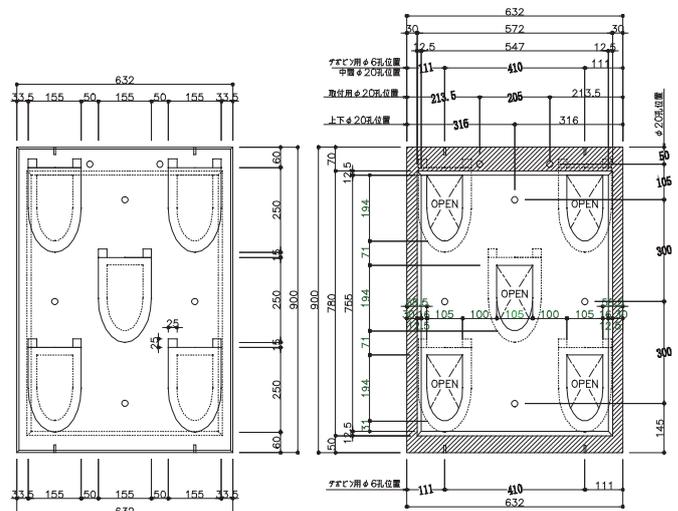


Fig. 8 GRC緑化パネル
GRC greening panel

分はshell要素を、背面リブはBeam要素を用いてモデル化した。Table 2に背面リブの寸法をそれぞれ示す。なおポットのフィレット部は直線形状でモデル化し、ポット部については一部厚さ25mmのshell要素でモデル化した。

3.1.5 境界条件

形状の対称性よりFig. 9 (a) に示すように対称境界を設けた。支持条件は取付用□20孔の中心に節点を生成し、その節点に円周部節点を剛体接合しピン支持とした。またダボピン設置位置は並進x, z方向自由度に関してMPC (Multi Points Constraint) 機能を用いて周期境界を設定した。

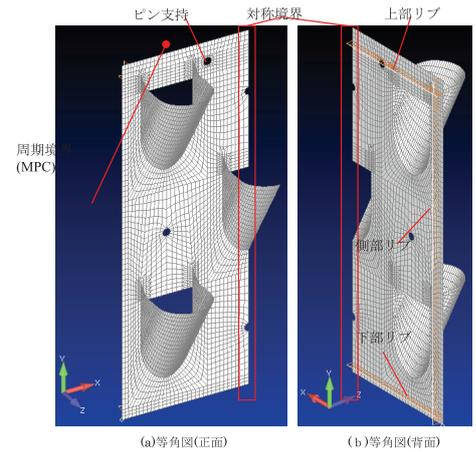


Fig. 9 解析モデル
Analysis model

3.1.6 荷重条件

風荷重の条件をFig. 10に示す。本解析では、緑化パネル全体正面方向 (Fig. 10内z方向) に等分布荷重を与えた。

Table 2 背面リブ寸法 (mm)
Rib dimension that is attached to the rear (mm)

	幅 (mm)	厚み (mm)
上部	70	20
下部	50	20
側部	30	20

3.1.7 解析結果

FEM解析により得られたGRC緑化パネル表面のMean Stress分布をFig. 11に示す。緑化パネル全体では面外曲げ挙動が支配的で、局所的に支持部およびポットとパネルの取り合い部分で応力が集中していることがわかる。緑化パネルおよび樹木・不織布等の重量のみを作用させたときのパネル表面のMean Stress分布をFig. 12に示す。

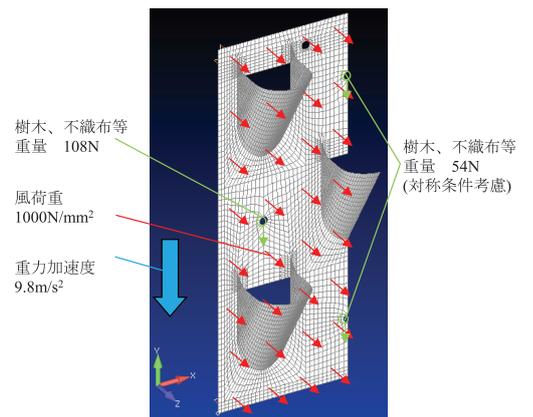


Fig. 10 風荷重
Wind load

Fig. 12より自重によりパネルに発生する応力の全体への影響は小さいことがわかる。

3.1.8 考察

GRC緑化パネルに風荷重が作用したときのFEM解析を行った結果、自重の全体挙動に対する影響は小さいことから、GRC緑化パネルに発生する応力は風荷重の大きさに比例するものとして考察を行う。

風荷重1,000N/mm² (および自重) を作用させたときに

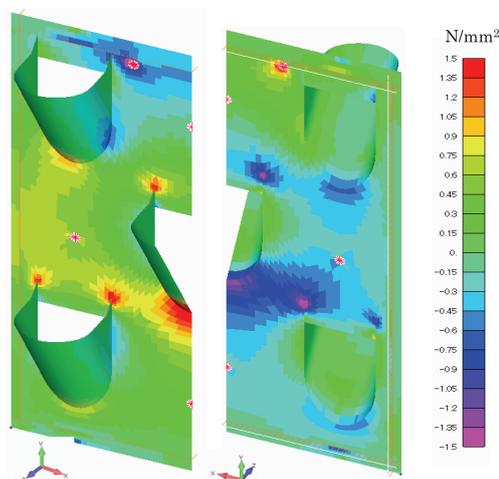


Fig. 11 Mean Stress 分布 (全体)
Mean Stress distribution (total)

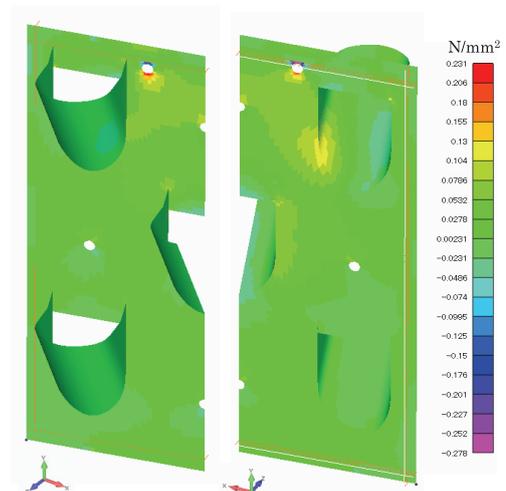


Fig. 12 Mean Stress 分布 (自重のみ作用)
Mean Stress distribution (action of its own weight)

GRC緑化パネル表面に発生する最大応力は 1.83N/mm^2 である。ところでGRCの許容曲げ応力は 2.3N/mm^2 であることが別途実験よりわかっている。GRCパネルに発生する応力は風荷重の大きさに比例することから、短期荷重として許容される風荷重を W_s とすると、 W_s は(1)式より $1,256\text{N/m}^2$ となる。

$$W_s \geq 1,000 \times 2.3 / 1.83 = 1,256 \quad (1)$$

なおパネル支持部およびダボピン設置部については、別途実験による耐力確認が必要である。FEM解析の結果得られたパネル支持部の支点反力は以下のとおりである。

x方向 (パネル横向き) : -862N
y方向 (パネル上向き) : 347N
z方向 (パネル正面方向) : -330N

今回のFEM解析ではGRC緑化パネル本体に作用する風荷重に対して検討を行っており、建物角部や頂部に設置され樹木への風荷重がクリティカルとなる場合は別途検討を必要とする。

3.2 GRC緑化パネル不燃性試験

現在法律的には壁面緑化は不燃の認定は必要とされていないが、安全性確保のため壁面緑化パネルの不燃性を確認する実験を行った。GRC緑化パネルの不燃性能を確認する試験方法としては不燃性試験と発熱性試験の二つの方法があるが、ここではPhoto 4に示す発熱性試験により性能を確認した。なおGRC緑化パネルは外部に用いるためガス有害性試験は不要である。

3.2.1 試験体

試験体はGRCパネル、GRCパネル(塗装あり)、GRCパネル(本仕様)の3種類とした。試験体の一覧をTable 3に示す。いずれの試験体についても3回試験を行った。

3.2.2 試験方法(発熱性試験)

試験は財団法人建材試験センター防耐火性能試験・評価業務方法書に従って行った。

3.2.3 判定基準

判定基準は同上防耐火性能試験・評価業務方法書に従い、以下の3基準により判定した。

- (1) 加熱開始後20分間の総発熱量が 8MJ/m^2 以下であること。
- (2) 加熱開始後20分間、防火上有害な裏面まで貫通する亀裂及び穴がないこと。
- (3) 加熱開始後20分間、最高発熱速度が10秒以上継続して 200kW/m^2 を超えないこと。

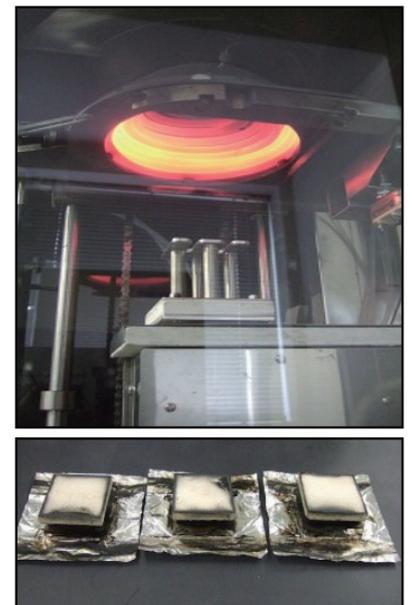


Photo 4 発熱性試験(上)と試験後のサンプル(下)
Non-flammable test (above) and sample after the test (below)

Table 3 試験体一覧
List of test body

No.	試験体	寸法				気乾密度 (g/cm^3)	試験前重量 (g)
		W (mm)	L (mm)	t (mm)	Vol (cm^3)		
1	GRCパネル	99.95	99.85	15.40	153.69	1.93	297.01
2		99.60	100.00	15.75	156.87	1.93	302.25
3		100.10	99.85	16.25	162.42	1.89	306.51
1	GRCパネル (塗装あり)	100.50	100.20	15.70	158.10	1.88	297.21
2		100.25	99.50	14.80	147.63	1.91	282.31
3		99.65	99.90	15.40	153.31	1.90	291.90
1	GRCパネル (本仕様)	102.00	102.20	56.05	584.29	0.54	317.68
2		101.80	101.50	55.35	571.91	0.52	297.19
3		99.90	100.75	55.10	554.58	0.58	321.29

Table 4 試験結果一覧
List of test results

No.	試験体	(1) 総発熱量 (MJ/m^2)		(2) 亀裂, 穴		(3) 最大発熱量 (kW/m^2)		判定
		値	OK	なし	OK	値	OK	
1	GRCパネル	$0.40 \leq 8$	OK	なし	OK	$6.27 \leq 200$	OK	OK
2		$1.55 \leq 8$	OK	なし	OK	$7.96 \leq 200$	OK	OK
3		$2.28 \leq 8$	OK	なし	OK	$6.14 \leq 200$	OK	OK
1	GRCパネル (塗装あり)	$2.67 \leq 8$	OK	なし	OK	$15.96 \leq 200$	OK	OK
2		$3.39 \leq 8$	OK	なし	OK	$6.19 \leq 200$	OK	OK
3		$2.79 \leq 8$	OK	なし	OK	$18.29 \leq 200$	OK	OK
1	GRCパネル (本仕様)	$2.18 \leq 8$	OK	なし	OK	$8.78 \leq 200$	OK	OK
2		$2.99 \leq 8$	OK	なし	OK	$9.23 \leq 200$	OK	OK
3		$2.47 \leq 8$	OK	なし	OK	$12.27 \leq 200$	OK	OK

3.2.4 試験結果

試験結果の一覧をTable 4に示す。試験の結果、GRCパネル、GRCパネル（塗装あり）、GRCパネル（本仕様）のいずれの試験体も不燃材料と同等の性能を有することを確認した。

4 適用プロジェクト

4.1 味の素スタジアム外壁への適用

東京都「味の素スタジアム」改修工事に適用された事例について紹介する。「味の素スタジアム」は平成25年度開催の東京国体のメイン会場として、第1種公認陸上競技場とするために改修を行った。設計のコンセプトは、「武蔵野の森」にふさわしい緑の再現とそれに囲まれた美しい緑の陸上競技場である。壁面緑化の植栽は武蔵野にふさわしい在来種約300種の中から選定されている。樹木を用いることで、年を経るごとにより良く生育する「森のような景観」を形成する狙いがある。

様々な形状のスタジアムの窓や開口部を既存のまま残すという設計コンセプトを実現するため、5つのパターンの植栽用パネルを特別に製作し、パズルのように隙間なく配置した。

樹木は「味の素スタジアム」が位置する武蔵野に自生しているシラカシ、シロダモ、ヒイラギなど、今後形成される予定の“武蔵野の森”にふさわしい32種類の樹木を選定した。一年を通して緑を確保するために、常緑樹を多くし残りは彩を加える季節ごとの花木や紅葉樹等の落葉樹とした。32種の樹木それぞれが最も生育しやすい環境を築くために、どの位置にどの樹木を植えるべきか最適な植栽レイアウトを検討した。

緑化パネルの面積は約1,450m²であるが、枝葉の拡がりを考慮した実質的な緑化面積は2,000m²になる。緑化工事は施工期間2011年8月28日～11月4日であった。



Photo 5 2012年7月現況写真
Growth situation of July 2012

4.2 緑化システムの構成

緑化システムの模式図をFig. 13に示す。緑化パネルの標準の大きさは600×900×70mmとした。植栽された状態で重量は約45kg/枚である。施工はRC構造壁面に乾式工法で取り付けた。灌水は最上部に設置したドリップホースによる自動灌水である。灌水量や灌水頻度は年間の降雨量に応じた設定を行った。施肥は液体肥料を灌水タンク内で希釈し適宜供給している。

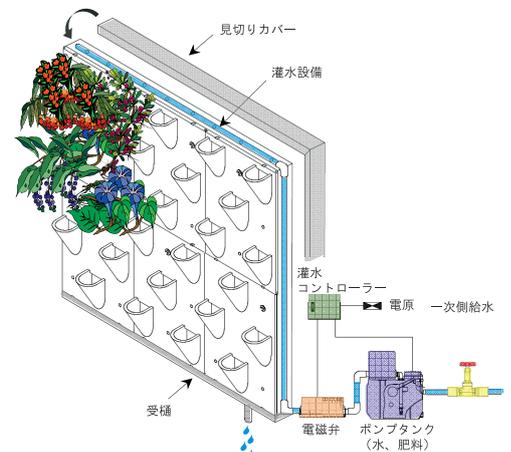


Fig. 13 緑化システムの模式図
Overview of greening system

4.3 樹木選定のコンセプト

「味の素スタジアム」が位置する武蔵野に自生しているシラカシ、シロダモ、ヒイラギなどを用いて、“武蔵野の森”にふさわしい樹種の選定と植栽レイアウトを実施した。常緑樹は19種、落葉樹は13種である。樹種配置は原則として、各スパン全て常緑樹70%、落葉樹30%で構成した。さらに植栽配置で以下の点に留意した。落葉樹は常緑樹の中にばらばらに配植し、両端および下端に用いる樹種の内部への植栽は避けるようにした。全体的に高木、中木、低木をバランスよく植栽した。また樹木により季節感を演出すると同時に、1年を通して花が見られるよう樹種選定を行った。

4.4 壁面の熱収支改善効果

壁面緑化の熱収支は、三坂や鈴木が詳しく研究している⁵⁾。一般的には壁面緑化の熱的な効果として、外壁に蓄熱しないことや大気を冷却する効果があることがあげられる。スタジアム壁面を緑で包み込むようにしたことで、樹木の生長と共に蒸散効果などで緑化面の表面温度が低くなり、スタジアム壁面温度の上昇の抑制と照り返し防止

の効果が期待できる。

4.5 緑化パネルCO₂固定量の推定

4.5.1 根系容積の固定した樹木生体総重量推定

樹木の地上部重量は根の生長量に比例することが、植栽樹木の根と地上部の生体重量に関するアクロス福岡での植栽実験（1995.03-1997.03）で明らかになっている（Fig. 6）。実験で得られた計算式をもとに、緑化パネルで成長する樹木の重量を以下のように求めた。

(1) 根の重量

根の生長する空間は、不織布の厚み（15mm）から、1m²当たり15ℓの容積となる。根の比重（生体重量）は、ほぼ1.0なので根の重量は最大で15.0kgと考えてよい。

したがって単位面積当たりの根の最大生育重量（a）は、15,000g/m²となる。

(2) 地上部重量

根の重量に対して地上部重量は次式に従い計算できる。1m²当たりの地上部の最大生体重量（b）は、根系の総重量を15kg/m²とすると次のようになる。

$$(b) = 3.359 \times 15,000 (\text{根系総重量}) - 286.9 = 50,098 \text{g/m}^2$$

(3) 予想されるGRC緑化パネルでの樹木総重量（MAX）は次のとおりである。

$$\text{樹木総重量 (MAX)} = a + b = 50.1 + 15.0 = 65.1 \text{kg/m}^2$$

10年で根系容積が最大となったと仮定すると、年平均6.5kg/m²増加となる。木質部のC含有量は多くの分析結果から、樹種に限らず樹木重量比で50%である。CO₂とCの分子量比（44/12）を乗じることでCO₂量に換算可能である。また生体樹木の約50%は水分である。したがって正味のCO₂固定量は上記重量の二分の一相当と考える。

以上から当該樹木対応型壁面緑化工法のCO₂年間固定量は次のように推定できる。

$$\text{年間増加量} (6.5 \text{kg/m}^2) \times \text{C含有量} (0.5) \times (44/12) \times 1/2 = 5.95 \text{kg/m}^2$$

したがって味の素スタジアムでは1,450m² × 5.95kg/m² = 8,628 kg/年のCO₂を固定すると考えられる。

5 まとめ

壁面緑化パネルを用いた樹木生育特性に関する実験、FEM構造解析及び不燃性試験などにより、壁面で永続的な植栽景観を確保する樹木の健全な生育と緑化パネルの耐久性に関する安全性が確認できた。またプロジェクト適用の結果、樹木を用いた壁面緑化ならではのCO₂年間固定量の算出や壁面緑化の熱的な効果が確認できた。

今後は維持管理に関する諸特性、つまり樹木生長に伴う緑化パネルの耐久性評価や灌水計画のための年間水収支評価、さらには病虫害防除の効率化等を研究する予定である。

参考文献

- 1) 佐久間護, 武藤浩, 輿水肇: 建築物の壁面緑化に関する研究 (その1) 緑化の目的と緑化手法の現状, 日本建築学会大会梗概集, 2001.9
- 2) 佐久間護, 三坂育正, 小島倫直: 樹木が植栽可能な壁面緑化に関する研究—緑化システムと生育特性の評価—, 日本建築学会大会梗概集, 2008.9
- 3) 輿水肇: 建築空間の緑化手法, 彰国社, 1985年10月
- 4) 佐久間護, 川畑茂男, 輿水肇: 人工地盤植栽実験における植物の生育要因分析について, 竹中技術研究報告 No.52 1996
- 5) 鈴木弘孝: 敷地・街区を対象とした壁面緑化による温熱環境改善効果に関する研究, 千葉大学大学院自然科学研究科, 2006年7月

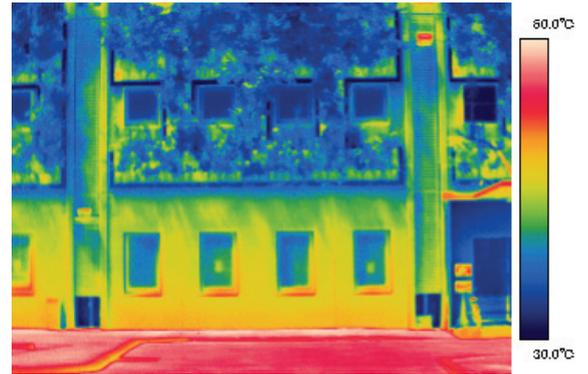


Photo 6 2012年7月スタジアム壁面緑化熱画像
Stadium wall greening thermal image (July 2012)