

地下空間における内装壁材への苔植物の緑化

D1-14501 赤堀美遊

1. はじめに

現在、地下空間は大都市における残された貴重な空間として、景観上や防災上の観点から活用が改めて認識されつつある。大都市における建築物の多くは地下階を有しており、様々な施設が道路をはじめとする公共用地の地下を中心に存在している。また、2005 年に大深度地下利用法が制定されたことに加え、大規模な都市開発が推進されていることもあり、都市部の地下利用に関する関心は高まりを見せつつある。しかし、既存の都市地下空間では老朽化と空間の劣悪さが目立ち始めており、既存ストックの改善が緊急の課題となっている。

屋外・屋内緑化には、癒し、ストレスの解消等の心理的効果がある。超高層ビルの室内や地下室等の地上と隔絶された無機的な閉鎖空間ほど、生きた植物・緑との共生効果は大きい。なお屋内・地下空間においては、特に植物工場的生産技術の利用が重要であると考えられる。本研究は他の植物に比べ、軽量で建物への負荷が小さく、ローメンテナンスかつ施工性が良い苔の特性を活かし、無機質な地下空間に苔植物による壁面緑化を施すことでアメニティを創出し、屋内の環境を向上させるとともに、下地材と苔植物の定着関係を導き出すことを目的としたものである。

2. 使用材料と実験方法

図 1 に本研究の流れを示す。まず研究 1 で調査を行い、それに基づき使用材料、試験体作成方法、試験方法を決定した。その後研究 2 では実際に試験体を作製し、下地材の物性評価、暴露試験を行った。研究 3 では苔緑化試験体の植生評価を行った。研究 1 で選定した光源、研究 2 で作製した苔付き試験体は図 2 のように配置し、地下空間を想定した屋内暴露実験を行う。その際の試験室内環境、条件を以下に示す。まず各試験体に届く照度は 30lux に統一し、蛍光灯は地下道を想定し常に点灯、赤外線は 1 回の測定で 10 時間照射した。また、室温は 27 度を維持し、初期状態の苔は 40 g に定量化した。表 1 に使用材料、表 2 に実験の要因と水準、表 3 に試験項目と評価方法を示す。

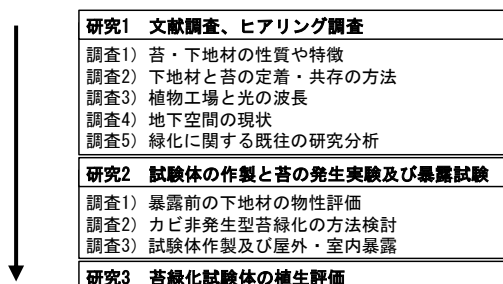


図 1 研究のフロー

表 1 使用材料

項目	種類	内容	特徴
苔付き試験体の下地材	塗材	モルタル	主成分：セメントと砂 防水性：低、汚れ：目立つ
		天然鉱物含有型仕上塗材 (赤・青・黄・白・黒)	成分：アクリルシリコン樹脂 天然鉱物(貝、砂、石)
苔付き試験体の苔	ハマキゴケ	天然物	耐乾燥：強、土壌不要 環境適応力：幅広い 無機質基盤での生育可
光源	カラー 蛍光ランプ	青色	植物が光の方向に曲がる屈光性 や形態形成に効果大 赤色光に次いで光合成作用において重要な波長
		緑色	一般には光合成や形態形成には 無関係な波長域 ただしコケ・シダ類には有効
		赤色	光合成作用の最も大きな波長
	赤外線ランプ	赤色	光合成は 660nm より急激に減少し、1000nm 以上では熱作用

表 2 実験の要因と水準

		実験要因	水準
研究 1	調査 1～5	・文献調査 ・ヒアリング調査	・論文 ・書籍 ・植物工場や地下緑化研究を行っている団体への調査
		調査 1 調査 2 調査 3 ※ 調査 2 調査 3 のみ	下地の種類 ・天然鉱物含有型仕上塗材 (赤・青・黄・白・黒) ・モルタル 保水性あり/なし×凹凸あり/なし 光源の種類 ・カラー蛍光ランプ(青緑・緑赤・赤青) ・赤外線ランプ 苔の種類 ハマキゴケ：八王子に自生しているもの
研究 3		植生評価	・画像解析法 (S_K 、 S_S 、 V_S 、 ρ 、 $W_{(day)}$)

表 3 試験項目と評価方法

		項目	方法
研究 1	調査 1		下地材と苔の性質や特徴に関して調査
	調査 2	・文献調査	下地材と苔の定着・共存の方法を調査
	調査 3		植物工場の現状を調査
	調査 4	・ヒアリング	地下空間のあり方を調査
	調査 5	調査	緑化に関する既往の研究分析を行う
研究 2	調査 1	物性評価	暴露前の試験体の物性評価を行う ・光沢計を用いて表面粗さを測定 ・デジタル水分計を用いて含水率を測定
	調査 2	方法検討	・苔と水をミキサーにかけ、試験体に塗布し、 屋外暴露にて苔の発生実験を行う ・カビの発生との関連を導き出す
	調査 3	・試験体作成 ・暴露試験	下地材、光源、天然苔を使用し、パターンを変えて試験体を作成し屋外・室内暴露させる ①粒状敷設法 ②蒔きゴケ法 ③移植法
		散水方法	・想定年数：約 5 年を想定 ・測定頻度：月に 1、2 回 ・回数：1 日 2 回、朝夕 ・散水時間：1 回あたり屋外 10 分、 室内 1 分の散水 ・想定降雨量：塩ビパイプに 2～3mm の穴を開けて水を流す。全体で約 10 秒ごとに 10ml を想定
研究 3		画像解析による 植生評価	画像解析ソフト <i>lia</i> を用いて試験体全体に対する苔面積比率を算出 $S_K = 0.1 \sim 1g$ (苔の量) $S_S = 100cm^2$ (試験体面積) $V_S = 50cm^3$ (体積) $\rho = 0.6g/cm^3$ (密度) $W_{(day)} = W_A + W_B + W_C + W_D = 10ml/秒$ (水量)

3. 苔緑化に関する調査と研究分析（研究 1）

3.1 苔の性質と特徴

苔は今から 4 億年前の地球で海から陸へと上がった最初の植物で、陸上植物かつ非維管束植物である。世界で 2 万 4 千種類、日本でも 2 千 500 種類が分布すると考えられている。環境によって寿命が変化し、周囲の環境に応じて大きく変化し生息することから苔にはどんな環境下でも対応できることで美観だけでなく環境面での活躍も期待されつつある。近年では地球温暖化や都市の緑化などで苔が注目されている。

写真 1 に工学院大学八王子校舎 11 号館の屋外に暴露されている大井川水系砂に生えていた苔を示す。高解像度顕微鏡により苔の種類の特定を行った。最も多い面積を占めていたのがスナゴケ、次いでハイゴケであることが分かった。他にも数種類の藻類等を確認することができた。この結果より、本研究では屋外暴露実験を行う八王子校舎 11 号館の屋上に生える苔の中で最も多くを占めるハマキゴケを使用する。

3.2 下地材と苔の定着・共存の方法検討

写真 2、3 に本研究の苔付き試験体に適用する苔の植え付け方を示す。苔の植え付けには移植法、貼りゴケ法、蒔きゴケ法の 3 種類の方法がある。移植法とは苔の小さな塊を植えつけるもので、庭や育苗箱、岩の窪みになどへの植え付けに適している。蒔きゴケ法とはほぐした苔を種のように蒔いて殖やすもので、時間と手間は掛かるが、均等なマットを造り、少量のゴケで殖やすことができる。貼りゴケ法とはマット状に剥がした苔をそのまま庭や培養土などに貼る方法である。移植時の仕上がりが美しく、庭造りでは一般的な方法である。

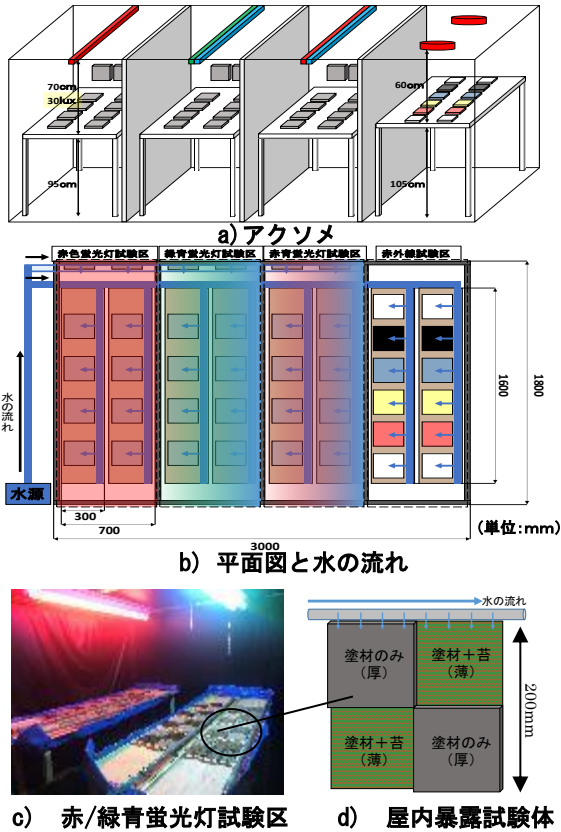


図 2 地下空間を想定した屋内暴露試験室

本論の目的である屋内の緑化を行うには、人工的な光源による成長を確認する必要がある。そこで上記のうち緑化面積を広げることを想定して、移植法と蒔きゴケ法を検討する。

また、これに加えてモスグラフィティという壁面アートを参考にして開発した新たな工法である粒状敷設法の有効性の確認も行う。これは、土壌を必要としない苔の特性を活かしたものである。

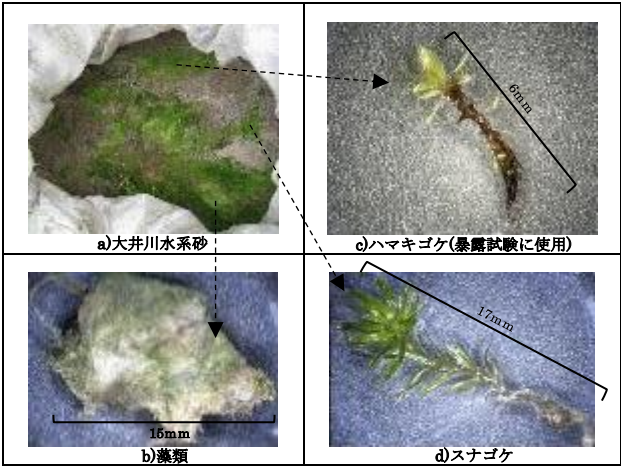


写真 1 大井川水系砂に自然発生した苔

表 4 調査により得られた各植物が必要とする光合成色素

○はその植物が光合成色素をもつことを示す (◎はその中でも主要な色素となる色素)			光合成細菌							藻類植物 コケ・シダ
色素	同化色素	色	光合成細菌	ラン藻類	紅藻類	ケイ藻類	褐藻類	緑藻類		
クロロフィル	クロロフィルa	青緑		◎	◎	◎	◎	◎		◎
	クロロフィルb	黄緑						◎		◎
	クロロフィルc					○	○			
	バクテリオクロロフィル		◎							
カロチノイド	βカロテン	橙黄		○	○	○	○	◎		◎
	ルテイン	黄			○			◎		◎
	フコキサンチン	褐				◎	◎			
フィコビル	フィコシアニン	青		◎	○					
	フィコエリトリン	紅		○	◎					

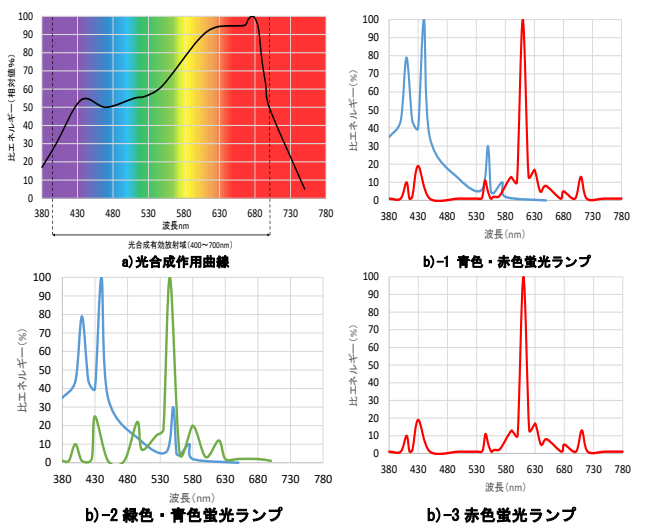


図 3 太陽光と人工照明の波長域と比エネルギー

4. 地下空間を想定した屋内暴露実験の準備

4.1 屋内暴露実験に使用する光源の選定

図3に光合成に必要なエネルギー量と3パターンの蛍光灯の波長域に対する比エネルギー量を、表4に苔を含む各植物が必要とする光合成色素を示す。光と植物の関係の調査を行い、今回の研究で使用する光源を決定した。本研究は地下空間での利用を前提としているため、一般的な地下道等での適用とコストを考え蛍光灯を選択した。①植物の成長に必要なだとされている波長域が400nm～500nm+600nm～700nmであることから、青色・赤色蛍光灯を組み合わせたもの。②苔の成長に必要なと考えられる波長域が400nm～600nmであることから青色・緑色蛍光灯を組み合わせたもの。③光合成に最も大きな影響を及ぼすとされるが、単体ではあまり効果を発揮できない赤色蛍光灯のみ。この3パターンで育てた結果を比較し苔の生育と光の有効波長域との関係を導き出す。

4.2 苔緑化前の下地材の物性評価

4.2.1 下地材の表層残存含水率

図4に水20ml滴定後1時間おきの下地材表層残存含水率を示す。デジタル水分計を用いて1区画に付き9点測定した。天然鉱物含有型仕上塗材は2時間以降の含水率が0となったため、1時間後のみのデータとする。測定結果より、仕上げ塗材の含水率は8.8～12.8%と大きな差異は無く、含水率による苔の生育速度はほぼ均一と考えられる。一方、モルタルではモルタルを練る際にメトロゾを混ぜた保水性ありと、混ぜなかった保水性なしで含水率に差が出ており、今後成長量に影響が出るか検討を続けていく。また、モルタルと仕上塗材では、仕上げ塗材に比べてモルタルがあまり吸水せず、試験体表面に水が残ったためモルタルの方が含水率が高くなったと考えられる。

4.2.2 天然鉱物含有型仕上塗材試験体の電磁波反射率測定

図5に仕上塗材Black, White, Red, Blue, Yellowの5種類を用いた反射スペクトルの特定波長域における電磁波反射エネルギーを示す。反射率は初めはほぼ同等の数値だが、次第にWhiteが著しく上昇し、Blackはゆっくりと数値が増加する結果となった。この結果より、最も光を吸収するのはBlack、最も反射するのはWhiteだと確認できた。電磁波反射率は赤外線、可視光、紫外線どの種類を見てもWhiteの反射率が1番高く、熱を溜めにくいことから、強い光の下では苔の増加量が最も多くなることが期待できる。しかし、40℃以下であれば蓄熱は植物の成長を助けるため、Blackのように蓄熱量が大きいものの方が有効な場合もあると考える。



写真2 既存の苔植え付け方法の試験体への適用

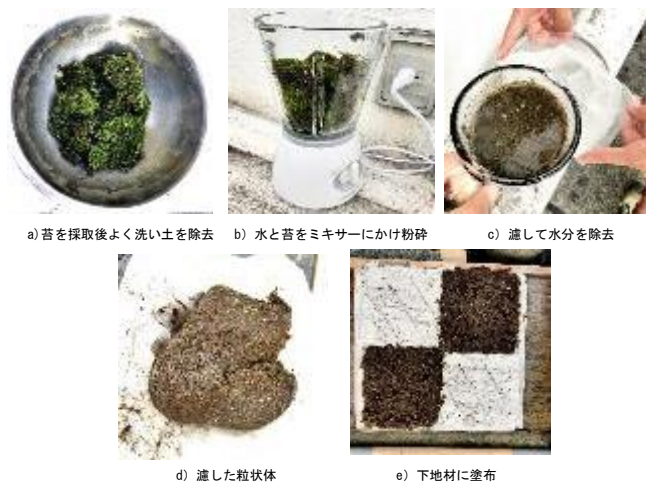


写真3 粒状敷設法試験体作製手順

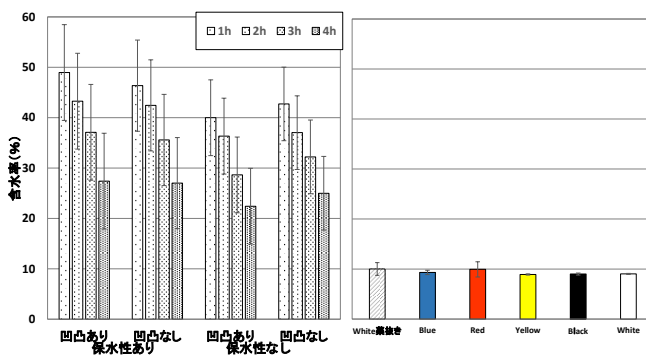


図4 水20ml滴定後1時間おきの下地材表層残存含水率

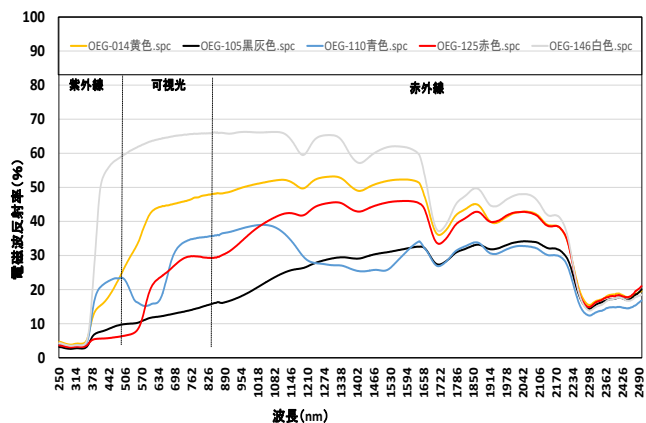


図5 電磁波反射率測定の結果¹⁾

5. 地下空間での苔緑化を目指した屋内外暴露試験の結果

5.1 屋外暴露試験の結果

写真 4 に苔付き試験体屋外暴露試験の経過状況を示す。試験の結果、蒔きゴケ法は水圧により土が流れ、下地材との長期的な安定した定着が難しく、施工の手間がかかるわりに緑覆率の上昇に時間がかかることが分かった。一方、新たに検討した粒状敷設法は土を用いないため、苔と下地材の定着力が非常に高く、2 ヶ月間で緑覆率は 100% に近づき、工法の有効性が確認できた。

5.2 屋内暴露試験(赤・青・緑色蛍光灯、赤外線ランプ)の結果

写真 5 に苔付き試験体室内暴露試験 1 ヶ月の経過状況(a は赤外線照射、b は緑青蛍光灯照射)図 6a)に赤外線 10 時間照射後の試験体表面温度、b)に天然鉱物含有型仕上げ塗材試験体 5 色の L*の蓄熱影響割合を示す。図 6b)では塗材部分の温度を 100 としたときの緑化部分の温度を蓄熱影響割合とする。屋外暴露試験の結果より粒状敷設法の有効性が確認できたため、試験体を作製し屋内暴露試験を開始した。赤外線照射実験では仕上げ塗材 5 色の電磁波反射率の違いが塗材表面の温度上昇に影響し、それが緑化部分にも反映する。その結果塗材の L*による蓄熱量が苔の成長度に影響を及ぼすと考える。仕上げ塗材の L*による蓄熱影響割合は大きい順から赤、青、黒、黄、白となった。屋内では、光源や下地材による明確な差がまだ見られないため、実験を引き続き行っていく。

まとめ

1.屋外暴露実験の結果、今回新しく考案・検討した粒状敷設法の有効性が確認できた。一方、蒔きゴケ法は水圧により土が流れ下地材との安定した定着が難しい。また、施工の手間がかかるうえ、緑覆率を上げるのに時間がかかることが分かった。

2.電磁波反射率は赤外線、可視光、紫外線どの種類を見ても White の反射率が 1 番高く、熱を溜めにくいことから、強い光の下では苔の増加量が最も多くなることが期待できる。しかし、40℃以下であれば蓄熱は植物の成長を助けるため、Black のように蓄熱量が大きいものの方が有効な場合もあると考える。

3.粒状敷設法を用いた実験において、屋内暴露実験ではまだ増加量が明確に出ていないが、2 ヶ月間の屋外暴露実験では、緑覆率が 100% に近づき、工法の有効性が確認できた。

参考文献

- 1) 村松凌 (2017) 「天然鉱物含有型仕上げ塗材の熱的作用による劣化影響と苔植物の定着関係」 日本建築学会関東支部研究報告集
- 2) 株式会社ヴァーロール
(<http://www.valore.jp/>参照 2017.7. 25)
- 3) 岩崎電気株式会社
(<https://www.iwasaki.co.jp/>参照 2017.7. 25)

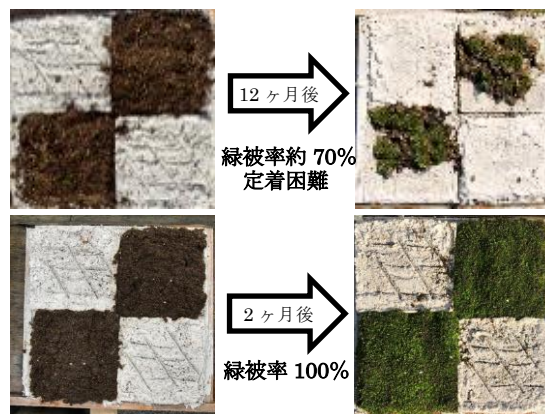
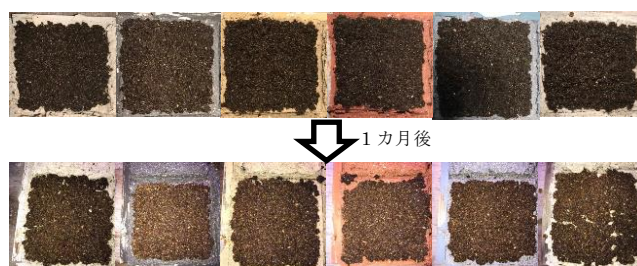
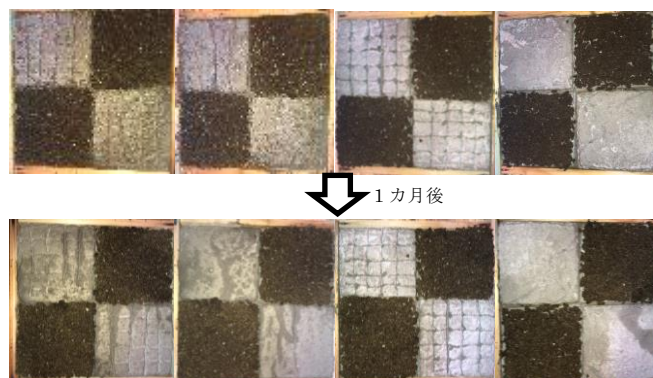


写真 4 苔付き試験体屋外暴露試験の経過状況

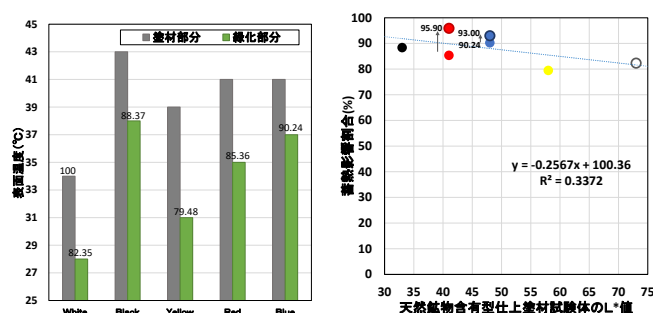


a) 赤外線照射実験 1 ヶ月後



b) 緑青蛍光灯試験区 1 ヶ月後(他の試験区も同様)

写真 5 苔付き試験体屋内暴露試験の経過状況(粒状敷設法)



謝辞

本研究は工学院大学建築学部 ISDC プログラム「セブン&アイクリエイトリンク」の一部である。工学院大学施設課、東急建設株式会社伊藤浩氏には多大なる助力を賜り感謝の意を表します。