

発泡廃ガラス材の緑化基盤材料への 適用性に関する実験的研究

山中 稔* ・高木 謹**
松本健一郎*** ・後藤惠之輔****

Experimental Study on Applicability of Expanded Waste Glass Material to Planting Basis

by

Minoru YAMANAKA*, Susumu TAKAGI**

Kenichiro MATSUMOTO*** and Keinosuke GOTOH****

The purpose of this study is to develop the new roof replanting material mixed the expanded waste glass material into usual roof replanting materials. It has the high water receptivity, because the expanded waste glass material is porous. This paper tried to assess activity of vegetation planted in the new roof replanting material by using the thermal infrared imaging equipment and the spectrometer as remote sensing techniques.

1. はじめに

ヒートアイランド現象緩和や地球温暖化防止として、都市建築物の屋上緑化が注目されている。都市地域特有の気象現象であるヒートアイランド現象の主な要因は、一般的に、コンクリート、アスファルト面等の増加及び農地、樹林等の減少という土地被覆の改変にある¹⁾とされている。コンクリート、アスファルトに代表される市街地構造物は熱容量が大きく、日中の日射熱によって蓄熱され、夜間になっても高温を保っており、一方、樹林、草地等の緑地は蒸散作用などによって周囲から気化熱を吸収し気温を低減させ、熱容量も小さいため日中は暖まりにくく、夜間になっても低温を保っているからである²⁾。

さらに、屋上緑化は、建築物そのものに対する効果、利用者（人間）に対する効果、周辺環境に対する効果、建築物の上層階の温度を低減する効果等があると言われている。

一方、循環型社会形成推進基本法の制定にもみられ

るように、リサイクルの重要性が叫ばれ、ガラスビンのリサイクル技術の開発が必要となっている。

本研究で用いる発泡廃ガラス材は、廃ガラスビンを粉碎して添加剤を混合後、焼成炉で過熱することにより得られた多孔質材料であり、軽量性に優れ、また多孔質性により高い保水性が期待される材料であることから、屋上緑化基盤材への適用が期待される。発泡廃ガラス材はこれまで建設資材への適用研究³⁾や屋上緑化基盤材の下部に敷設する適用例⁴⁾はあるが、本研究で提案する緑化基盤材へ混合しての利用は、著者らの研究^{5),6)}があるのみである。

本研究では、従来の屋上緑化材料に発泡廃ガラス材を混入することにより、新しい屋上緑化材料を開発することを目的としている。今回は、地上リモートセンシング装置である熱赤外線映像装置および分光反射計により、植物の生育度（活性度）を測定することを試みたものである。

平成14年4月19日受理

*社会開発工学科 (Department of Civil Engineering)

**東亜建設技術(株) (元・社会開発工学科学生)

***西日本エンジニアリング(株) (Nishinohon Engineering Co.,Ltd.)

****大学院生産科学研究科 (Graduate School of Science and Technology)

2. 用いた廃棄物試料

2.1 発泡廃ガラス材

発泡廃ガラス材の製造工程として、まず各自治体から集められた原料のガラスびんを分別作業をすることなく、ある程度の大きさに粒状化し、250ミクロン程度に粉碎・粒度選別した後、添加材を混合し、約900℃での高温で焼成・発泡させることで、発泡廃ガラス材が製造される。

写真-1には発泡廃ガラス材の外観を、写真-2には電子顕微鏡写真を示している。いずれの写真からも、無数の小孔を有する多孔質体であることが分かる。なお、製造過程で調整することで、発泡廃ガラス材を連続間隙構造としたり、単独間隙構造とすることが可能となっている。

表-1に、用いた発泡廃ガラス材の一般的性質を示す。発泡廃ガラス材の熱伝導率は、乾燥した木材における値0.14~0.18W/m・Kと同程度であることから、緑化材料に混入し屋上に敷設した場合、屋上下部の階の減熱化が期待できる材料である。その他発泡廃ガラス



写真-1 発泡廃ガラス材の外観

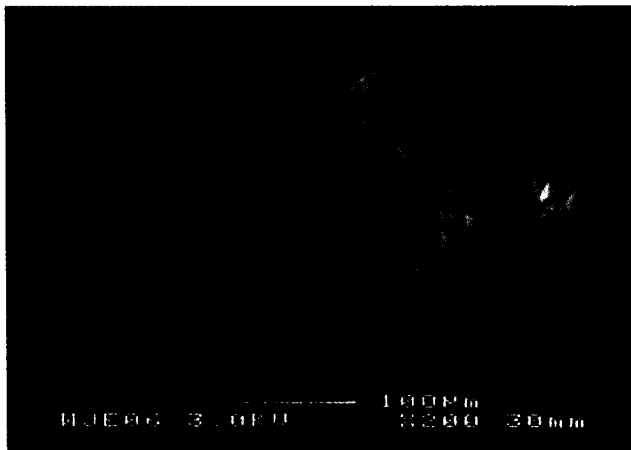


写真-2 発泡廃ガラス材の電子顕微鏡写真

表-1 発泡廃ガラス材の一般的性質

特性項目	特性値
絶乾比重	0.3~0.6
吸水率	30%以上
孔径	10 μ m~2mm
熱伝導率	0.166W/m・K

材の特徴をまとめると、以下のようになる。

- ・約900℃で焼成するため、有害物質の溶出がなく、地盤・地下水等への悪影響がない。
- ・多孔質間隙構造を有し、軽量である。
- ・連続間隙構造は吸水性・保水性・保肥性に優れている。
- ・アルカリ性であるため、酸性土の中和剤となりうる。

2.2 熔融スラグ

一方、熔融スラグとは、焼却灰等の廃棄物を燃焼熱や電気から得られた熱エネルギー等により超高温下(1200℃以上)で加熱、燃焼させ、無機物を熔融した後に冷却したガラス質の固化物である。

熔融スラグの一般的特徴を、以下に示す。

- ・透水性および通気性に優れているため、覆土に使用した場合、廃棄物層の早期安定化に寄与する。
- ・粒径が均一であり、下層への水や空気の供給が均一に行なわれるため、土壌層全体を均一に安定化できる。
- ・表面が滑らかなガラス質であるため、微生物が附着しにくく、目詰まりがなく安定した通気性が確保できる。

3. 調査内容

3.1 表面温度分布

活性の高い植物は活発な蒸発散を行い、気化熱により表面温度が低下し、また含水の高い土壌は相対的に低い表面温度を呈することが予想される。そこで、熱赤外線映像装置を用いて植物及び土壌の放射温度を測定することにより、発泡廃ガラス材の混入により付与される土壌の保水性及び植物の活性度の変化を測定が可能となる。

3.2 分光反射特性

健康な緑色植物は、可視光を吸収して光合成を行い、光合成に使用しない近赤外光は強く反射する特性を有している。この反射率の特性を利用してNDVI(正規化植生指標)を算出し、植物の活性度を評価すること

ができる。すなわち、健康な植物のNDVIは高い値を、弱ったまたは枯れた植物のNDVIは低い値を呈する。なお、本研究で測定対象とした芝生のNDVI値は、次式を用いた。

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$$

NIR：波長850nm（近赤外線域）の反射率

VIS：波長650nm（可視光線域）の反射率

3.3 供試体内の温度測定

植生の存在が、その下位にある構造物へもたらす温度低減効果を明らかにするために、芝草部及び土壌部の温度（いずれも深さ約2.5cmの位置）、及びコンクリート屋上床面の温度をそれぞれ測定した。

4. 供試体及び調査方法

本研究では、実験Aおよび実験Bの二種類の実験を行なった。すなわち、実験Aでは緑化基盤材に混入する廃棄物材料として発泡廃ガラス材を、実験Bでは、発泡廃ガラス材に加え溶融スラグを使用した。なお、実験Bでは、緑化基盤材を詰める容器として、廃棄物であり軽量かつユニット化が容易な発泡スチロール箱を用いている。

4.1 実験A

図-1に示す縦横1m、高さ5cmの木枠の中に、計5種類の緑化材料（腐葉土のみ、発泡廃ガラス10%、20%、30%配合、及び一般芝草用土）を入れ、その緑

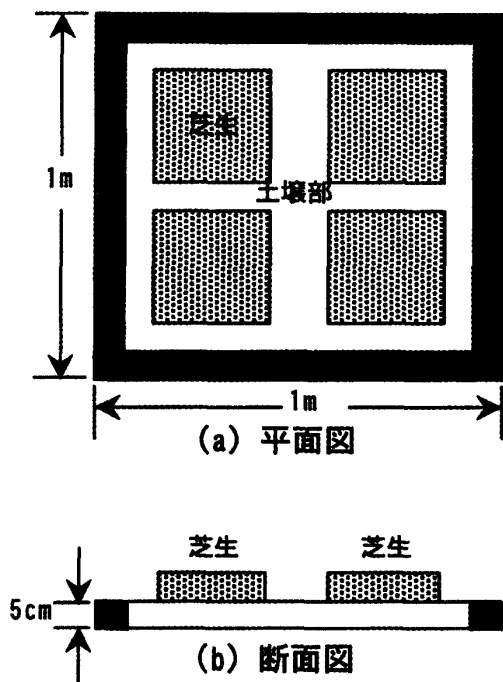


図-1 供試体模式図（実験A）

化材料の上面にシート状の芝草（高麗芝）を植付けた。なお、いずれの供試体共に若干の微生物堆肥を添加し、供試体下面と屋上床面（コンクリート）の間にはビニールシートを敷設し、コンクリート床への水と根の侵入を防いでいる。

表-2には、実験Aにおける計5種類の供試体試料の単位体積重量を示している。灌水前においては、芝草用一般土のみ1.0kN/m³と重く、他は0.41kN/m³程度と軽量であることが分かる。

これら5種類の供試体に対し、①熱赤外線映像装置、②分光反射計、③棒状温度計を用いて、芝草の植付けを行った2001年7月19日以降、継続的に測定を行った。

表-2 各供試体の単位体積重量（実験B）

供試体		灌水前	灌水後
①腐葉土のみ		0.3	0.8
発泡 廃ガ ラス	②10%配合	0.4	0.8
	③20%配合	0.4	0.8
	④30%配合	0.4	0.8
⑤芝草用一般土のみ		1.0	1.4

(単位：kN/m³)

4.2 実験B

図-2に、実験Bにおける供試体の模式図を示す。実験Bでは、軽量かつ断熱性のある発泡スチロールを型枠として用いて、各型枠には粒径10~25mmの発泡廃ガラス材を5cmの層で下部に敷いており、その上

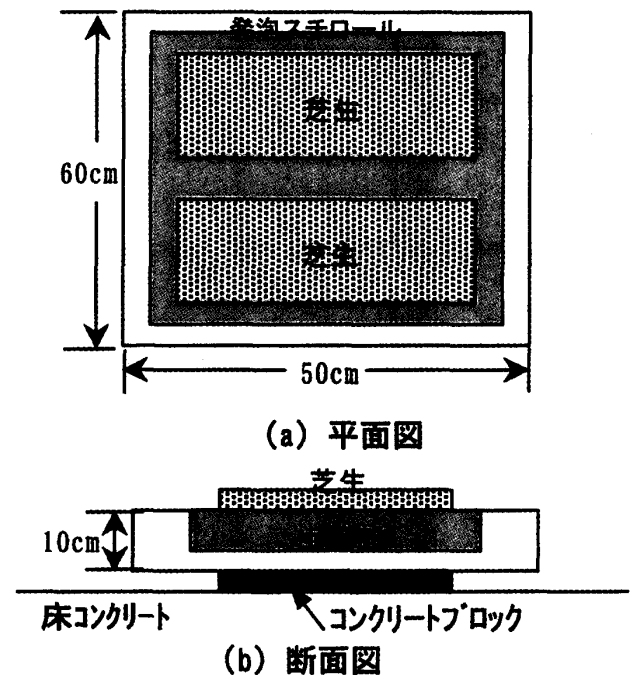


図-2 供試体模式図（実験B）

層には、4種類の緑化土壌（①腐葉土のみ、②腐葉土に発泡廃ガラス材30%配合、③腐葉土に溶融スラグ30%配合、④芝草用一般土）を、それぞれ5cm設置した。なお、いずれの供試体共に、芝生の発育を促進するために、若干の微生物肥料を添加している。

表-3には、実験Bの各供試体における灌水前の単位体積重量を示す。軽量性という面からは、配合条件①及び②が優れていると言える。配合条件③の溶融スラグにおいては、発泡廃ガラス材の2倍の重さであることが分かる。

表-3 各供試体の単位体積重量（実験B）

供試体	上層部	下層部
①腐葉土のみ	0.4	発泡廃ガラス材 (ϕ 10-25mm) 0.3
②発泡廃ガラス材 30%配合	0.4	
③溶融スラグ 30%配合	0.8	
④芝草用一般土のみ	1.0	

(単位: kN/m^3)

測定方法としては、実験Aと同様に、①熱赤外線映像装置（サーマルカメラ）による土壌及び芝生の表面温度測定、②スペクトルフォトメータによる分光反射特性曲線及び正規化植生指標（NDVI）の算出の二つを中心に行い、さらに層内の温度を、③棒状温度計により測定した。

5. 調査結果

5.1 実験Aの場合

1) 表面温度分布

写真-3には、発泡廃ガラス材20%配合の供試体状

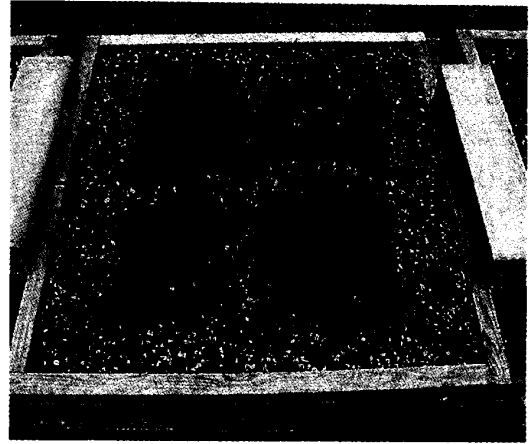


写真-3 芝草の生育状況（2001年9月5日撮影）

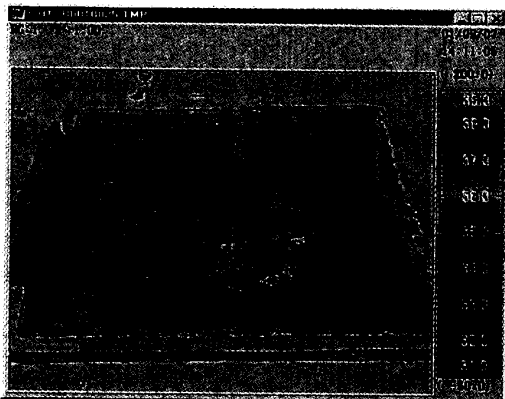
況（2001年9月5日撮影）を、画像-1(a), (b)には、同じ供試体の表面温度分布を示している。芝草の枯れている箇所は、生育の良い芝の箇所と比べて、表面温度が高くなっていることが分かる。また、芝生部の温度と土壌表面温度の温度差を比較すると、画像-1(a)に示す夏期では約7℃、画像-1(b)の冬期では約4℃と、放射熱の多い夏期での芝生による減熱効果が大いことが分かる。

2) 正規化植生指標（NDVI）

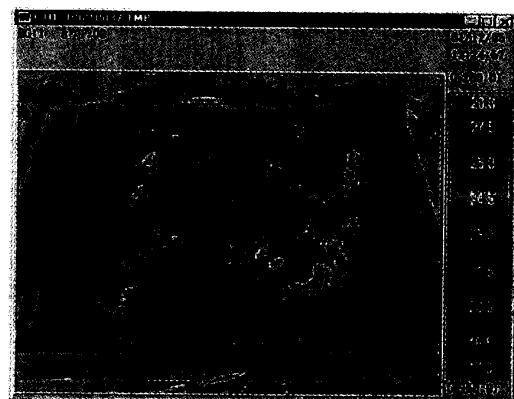
図-3には、各供試体のNDVI値の変化を示している。NDVI値は、9月7日が最も高く、また高い値を示す供試体は発泡廃ガラス材を混入したものである。特に発泡廃ガラス材20%配合の供試体においては、いずれの時期においても高いNDVI値を示し、芝草の活性が高いことが分かる。

3) NDVI値と減熱温度の関係

図-4は、発泡廃ガラス材20%配合供試体の夏期の4時期におけるNDVI値と、同時に行った棒状温度計による測定結果から減熱温度（=土壌内部温度-芝生



(a) 2001年9月7日測定



(b) 2001年12月5日測定

画像-1 熱赤外線映像（発泡廃ガラス材20%配合）

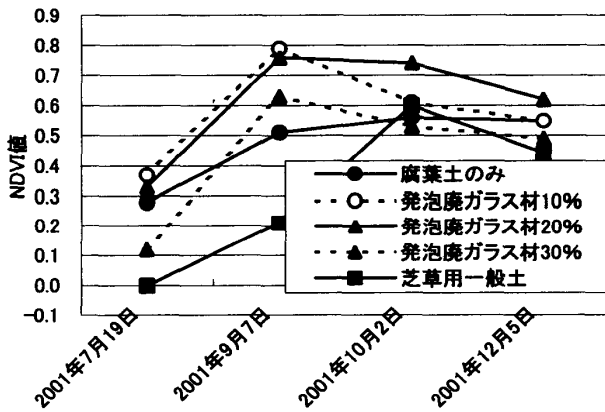


図-3 供試体毎のNDVI値の比較 (実験 A)

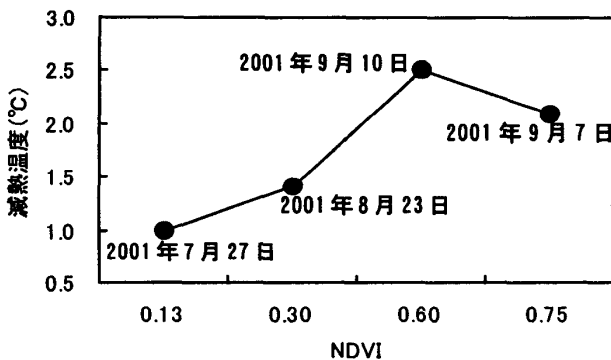


図-4 NDVI値と減熱効果の関係

下部温度)を算出しグラフ化したものである。図より、NDVI値と減熱温度はほぼ正の相関があることが分かる。すなわち、屋上緑化材料の減熱効果は、NDVI値により評価が可能となることが示唆されている。

5.2 実験 B の場合

1) 表面温度分布

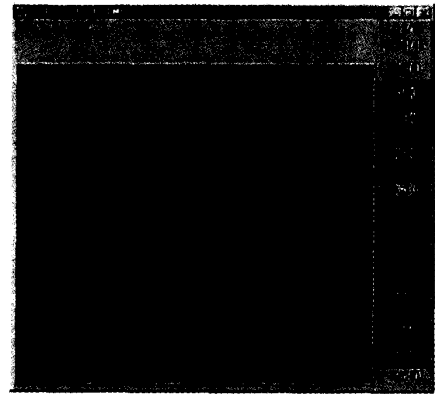
画像-2 (a), (b)に、熱赤外線映像装置による発泡廃ガラス材30%配合及び熔融スラグ30%配合の供試体における表面温度の分布を示す(調査日:快晴)。表面温度分布から、発泡廃ガラス材30%配合の供試体の方が、熔融スラグ30%配合の供試体よりも低い温度分布を呈することが明らかとなった。

2) 分光反射特性

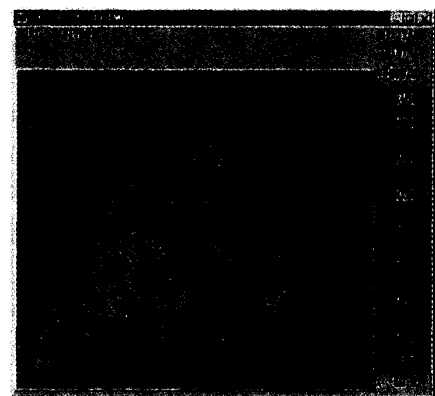
図-5に各供試体のNDVIの結果を示すが、熔融スラグ30%配合の供試体のみ、芝生の活性度を示すNDVI値が約2ヵ月後に低下していることが分かる。

3) 土壌内温度

熱赤外線映像装置では検出できない土壌内部、芝生下部、そして供試体下部の温度を、棒状温度計を用いて測定し、各箇所を温度比較を行った。



(a) 発泡廃ガラス材30%配合



(b) 熔融スラグ30%配合

画像-2 表面温度分布 (12月5日観測)(実験B)

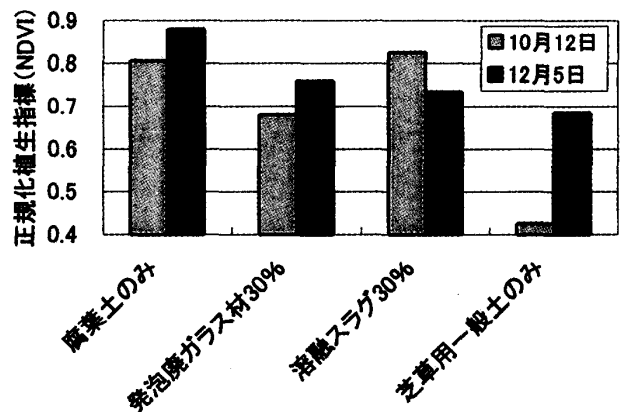
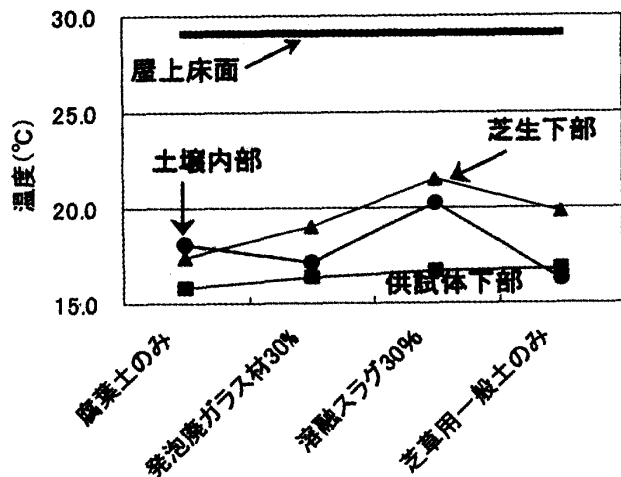


図-5 二時期におけるNDVI (実験B)

図-6には、各個所における温度の測定結果を示している。熔融スラグ30%配合以外の供試体の温度は、コンクリートの屋上床面の表面温度よりも10℃以上低かった。「供試体下部」の温度とは、供試体と屋上床面の接点であり、この温度と屋上床面の温度を比較することで、屋上緑化による減熱効果が把握することができる。



図一 6 各層の温度 (12月5日測定) (実験B)

6. まとめ

本研究で得られた結果として、まず実験 A において、芝草の枯れている箇所は生育の良い芝の箇所と比べて、表面温度が高くなっており、放射熱の多い夏期での芝生による減熱効果が大きいことが判明した。さらに、NDVI値と減熱温度はほぼ正の相関があり、屋上緑化材料の減熱効果はNDVI値により評価が可能であることが明らかとなった。また、芝生の活性度は発泡廃ガラス材の混入により向上することが分かった。

一方、実験 B からは、緑化土壤に、発泡廃ガラス材を30%配合した供試体は、表面温度、土壤内部温度ともに低く、また芝生の活性も高いことから、屋上緑化材料に有効であることが明らかとなった。また、屋上緑化材料を入れる容器として用いた発泡スチロール

は、有効利用が望まれる材料であることから、屋上緑化材料に使用することで、発泡スチロールの特性を活かした有効利用が可能であると考えられる。

今後は、さらに観測を継続してデータを蓄積し、発泡廃ガラス材の屋上緑化基盤材料としての適用性について、さらに検討を進めていく所存である。

参考文献

- 1) 山下脩二：都市化と気候環境, 地理, Vol.28, No.13, pp.13-25, 1983.
- 2) 入江彰昭, 平野侃三：緑地周辺に対する気温低減効果と効果的な緑地の分布形態に関する研究, 第36回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.277-282, 2001.
- 3) 鬼塚克忠, 横尾磨美, 原 裕, 吉武茂樹：発泡廃ガラス材の工学的特性と有効利用の一例, 土と基礎, 地盤工学会, Vol.47, No.4, pp.19-22, 1999.4.
- 4) 桃崎節子, 原 裕, 佐藤磨美, 原真由美：発泡廃ガラス材を用いた屋上緑化工法, 平成13年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.B532-B533, 2002.3.
- 5) 山中 稔, 松本健一郎, 高木 謹, 後藤恵之輔：発泡廃ガラス材の屋上緑化材料への適用に向けた芝草の生育調査, 平成13年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, B-528-B-529, 2002.3.
- 6) 高木 謹, 山中 稔, 松本健一郎, 後藤恵之輔：発泡スチロール箱および廃棄物を用いた屋上緑化材料の適用性に関する基礎的研究, 同上, pp.B530-B531, 2002.3