

## 資源循環型社会に則したインフラ施設における有機・無機的要因の現象解明と改善

大木 宜章 (土木工学科) 保坂 成司 (土木工学科)  
石田 哲朗 (東洋大学) 朱 偉 (河海大学)  
高橋 岩仁 (土木工学科)

### はじめに

本グループは主題に則してグループ独自の研究と他グループとの境界領域を含む研究に分類される。

○先ず、本グループ資源循環社会でのインフラ施設における有機・無機の現象解明の独自研究として、

#### 1. コンクリート腐食現象の解明 (腐食に関与する要因下 ( $\text{CO}_2$ , $\text{H}_2\text{S}$ , 人工下水) における現象解明)

副題に示したように、これまで  $\text{H}_2\text{S}$  雰囲気下における硫酸化細菌が生成する  $\text{H}_2\text{SO}_4$  と下水中で精製される有機酸、これら酸による腐食現象を解明してきた。

本年度は、さらに下水道管内の状態に近い、人工下水、 $\text{CO}_2$  を加えた現象の解明を行なっている。

#### 2. 廃棄物を用いた緑化基盤材の地盤工学からの検討

本研究は資源循環を目的として産業廃棄物の下水汚泥、上水汚泥、建設発生木材、菌庄オガ粉を用いた斜面の緑化基盤材として再利用する環境緑化技術工法でのり面における基盤材の性能について評価をした。

#### 3. 下水汚泥安定化処理技術の応用

中国では急速な下水道普及による膨大な発生汚泥の処理が問題となっている。このため、通常、最終処分方法、例えば焼却等では汚泥性状などにより適応できず、技術の開発が急がれている。このような状況下で固化/安定化技術を開発した。

○境界領域での研究は以下の通りである。

#### 4. 廃棄物利用による屋上緑化基盤材への応用

上・下水汚泥に、建設廃材などを有効利用した屋上緑化の施工技術の確立を目的としている。このため第3グループとの協同によって行なわれている。

#### 5. バイオマスエネルギー生成としての酸生成過程における有用菌株

バイオマスエネルギーとしてのメタンを発生させるためには酸生成とメタン生成の2段階に分けられる。しかし、この1段階目の有機酸の生成が、このシステムのかぎとなる。このため、第1グループの協力の基に、DNA解析等の協同によって行われている。

#### 6. 視知覚特性を用いた緑化景観評価

景観評価について、従来は緑視率とアンケート結果により行なわれているが、色彩的見地から緑が多ければ良い。さらに、アンケートでは個人の感覚により左右されるなどの欠点がある。

本研究は、この評価をさらに明確にするため緑視率に視知覚特性を用いることとし、結果から視知覚特性を取り入れた景観評価の有効性を結論付けた。なお、第三グループとの景観に対する協力によって行なわれた。

以上の本グループの研究概要を記載する。

1. コンクリート腐食現象の解明《腐食に関与する要因下 (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, 人工下水) における現象解明》

1.1 高精度変位解析によるコンクリート腐食現象の解明

下水道管について耐用年数に満たない時期における腐食・劣化や、それに伴う管路の崩壊による道路の陥没事故など、早期老朽化による問題が発生している。

早期老朽化の原因として挙げられるのが、下水中に存在する CO<sub>2</sub>(二酸化炭素)による中性化、し尿などから発生する H<sub>2</sub>S(硫化水素)による腐食である。また、下水道内に生息する硫黄酸化細菌が、H<sub>2</sub>S(硫化水素)を酸化することによって生成される H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(硫酸)による腐食も主な原因の一つ

であり、これらの要因が複合的に、コンクリート下水道管の早期老朽化を進行させている。この中でも、硫黄酸化細菌が生成する H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>による腐食この最大の原因とされているといわれる。

1) 硫黄酸化細菌が生成する H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>による腐食現象実験方法

コンクリート供試体を、pH2.0に調整した硫酸水溶液中に浸漬し、パラフィルムにて密閉したものを 25℃に設定した恒温槽内に静置し、二日毎に水溶液から取り出し、乾燥させた後、重量、硫酸水溶液の pH、顕微鏡による視的観察、高精度レーザー変位計を用いたコンクリート供試体の形状の画像化や、体積減少の定量化を行った。また、対照検体として耐酸性コンクリートで

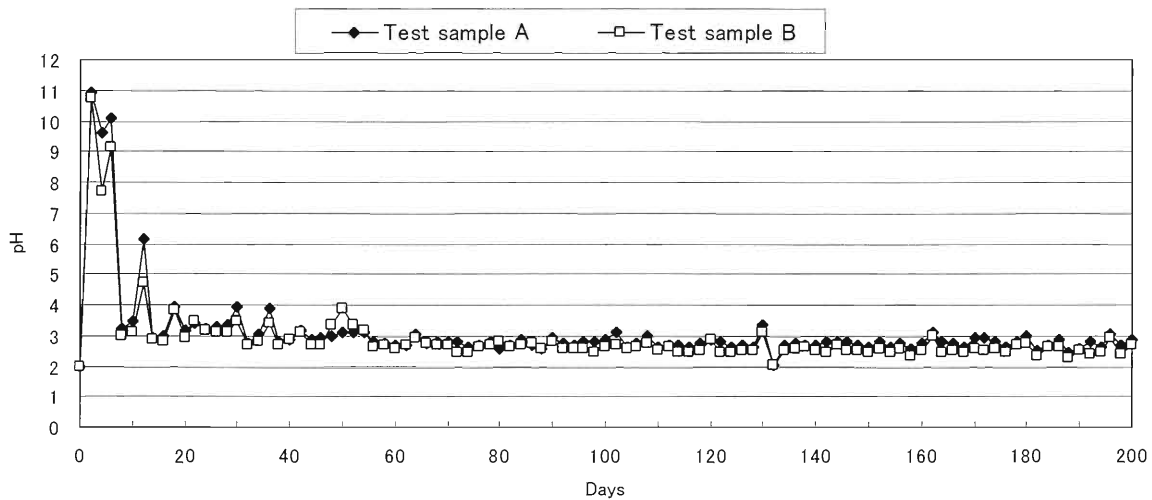


図-1 pH

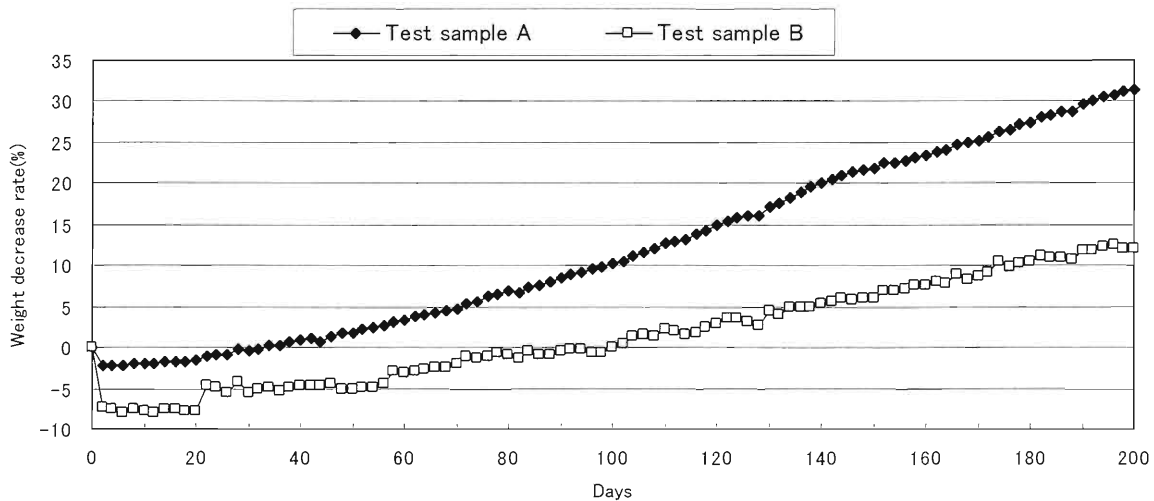


図-2 重量減少率

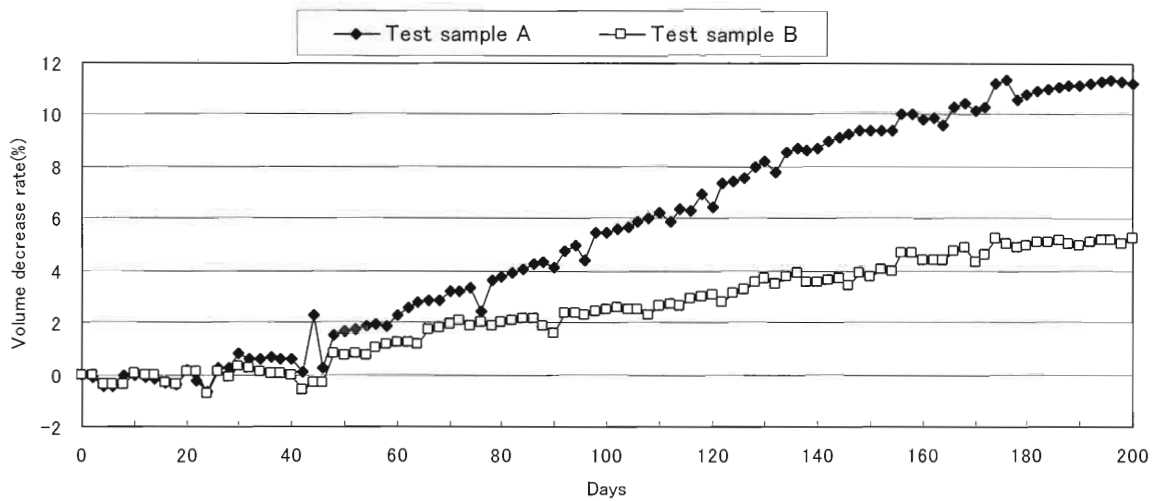


図-3 体積減少率

あるシャモット(瓦を砕いて粉状あるいは粒状にしたもの)を使用したコンクリートも、同じ条件下で  $H_2SO_4$  による腐食実験を行った。標準砂を用いた普通コンクリートの供試体を供試体 A(Test sample A)、シャモットを用いたシャモットコンクリートの供試体を供試体 B(Test sample B)とする。なお、硫酸水溶液の pH は、腐食されたコンクリート下水道管の pH が 1.0~3.0 であることと、硫黄酸化細菌が生成する硫酸の pH が 2.0 であることを考慮して、pH2.0 に調整し、測定毎に交換し、pH を一定に保った。

### 2) pH の推移

図-1 に硫酸水溶液の pH の推移を示す。

実験開始 2 日目から、20 日目頃までは、 $H_2SO_4$  の影響による表面からのアルカリ成分の溶出が原因と考えられる pH の上昇がみられるが、20 日目以降から 200 日目までは、どちらも pH3.0 付近を示したため、表面からのアルカリ成分はほとんど溶出したものと考えられる。

### 3) 重量減少率

図-2 に供試体の重量減少率を示す。

供試体 A は、初期段階で重量の微量増加がみられる。これは、コンクリートの主成分である  $Ca(OH)_2$ (水酸化カルシウム)等と  $H_2SO_4$  の反応によって生成された  $CaSO_4 \cdot$

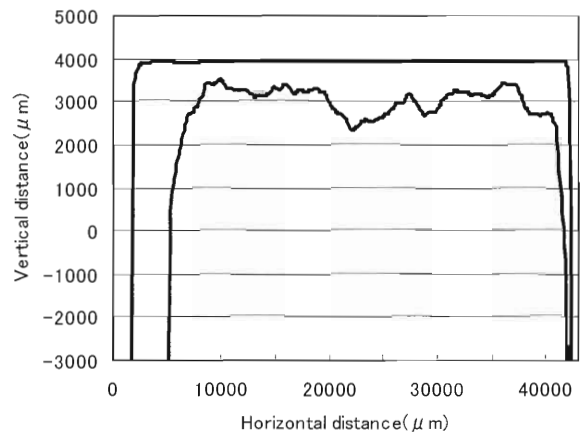


図-4 供試体 A の LK-G による上部断面図

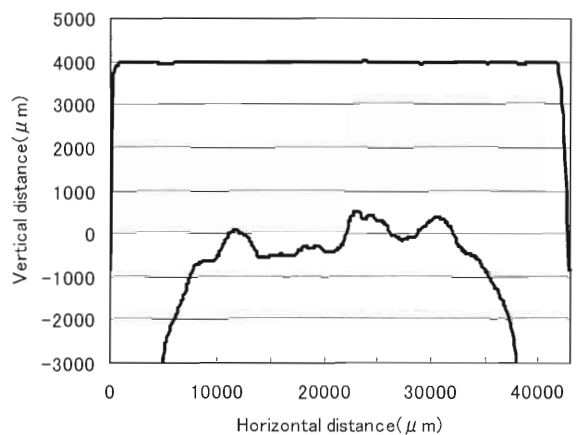


図-5 供試体 B の LK-G による上部断面図

$2H_2O$  (二水石膏) および、 $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$  (エトリンガイト) の影響であるといえる。エトリンガイトは生成の際に結合水を多く取り込み膨張するため、この膨張がコンクリートを内部から崩壊

させている。一方、供試体 B は初期段階で大幅に増加し、その後、供試体 A と同様の減少傾向を示している。これは、上記の結晶物の生成によるものと、保水性の高いシャモット特性によるものと考えられ、シャモット内部に水分が保持されていたものだと考えられる。そのため、完全に乾燥していた 0 日目と比較して、2 日目以降は水溶液から取り出した後、一時間のみの乾燥であったため、内部に水分が残存していたものと推察される。2 日目以降のグラフ形状が供試体 A と同様であることから、そのことが裏づけされる。最終的な減少率は供試体 A が 31.4%、供試体 B が 12.1%であり、供試体 B は、供試体 A の半分以下の減少率であった。これは、シャモットとセメントペーストの界面付着状態が標準砂と比べて安定しているため、硫酸が内部に浸透しにくかったためと考えられる。

#### 4) 体積減少率

図-3 に供試体上部の体積減少率を示す。

初期段階において、グラフは横ばいを示し、両供試体とも 40 日目を境に減少が始まり、どちらも 200 日目まで減少を続けた。供試体 A は減少が始まった 40 日目以降は急激な減少を示しているが、供試体 B は 40 日目以降も急激な減少は見られず、200 日目まで緩やかな減少が続いた。200 日目における最終的な減少率は供試体 A が 11.3%、供試体 B が 5.2%でシャモットコンクリートの減少率は普通コンクリートの半分以下であった。重量減少率と同様に、体積減少率においてもシャモットの防食効果が表れた結果といえる。

図-4 に供試体 A、図-5 に供試体 B の LK-G による上部の断面図を示す。

供試体 A は垂直距離で 4 mm 減少しているが、供試体 B は 1 mm 程しか減少していない。水平距離においては、供試体 A は約 1 mm、供試体 B は 0.5 mm の減少に留まった。

形状は、両供試体とも 200 日目はセメン

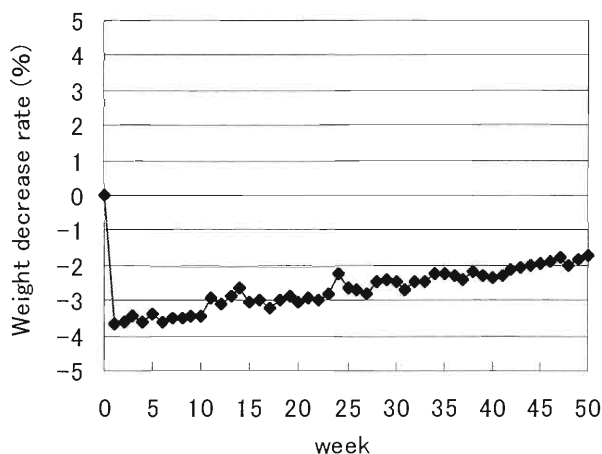


図-6 重量減少率

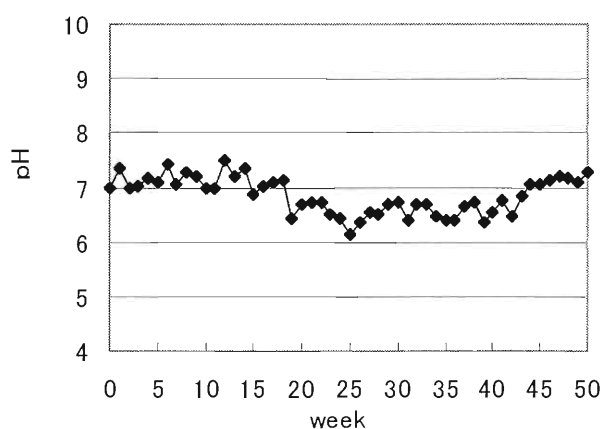


図-7 pH

トペーストが剥離し、細骨材が表面に露出した状態となったため、上部の凹凸が目立つ結果となった。また、200 日目の形状を比較すると、全体的に供試体 A の方が小さくなっていることが確認できる。

#### 1.2 H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, 人工下水による腐食現象

##### 1) 実験方法

実験方法はプラスチックケース内にコンクリート供試体（形状 40×40×160 mm）を縦に置き、供試体の半分まで浸るように人工下水を 500ml 入れた状態で行なった。

気相部には、下水道内部を再現するため、H<sub>2</sub>S と CO<sub>2</sub> を封入したテドラパックを上部に接続し、容器内部にガスを注入した。密閉した状態で室温 25℃ に保ち実験を行った。測定項目として人工下水の pH、コンクリート供試体の重量、レーザー変位計に

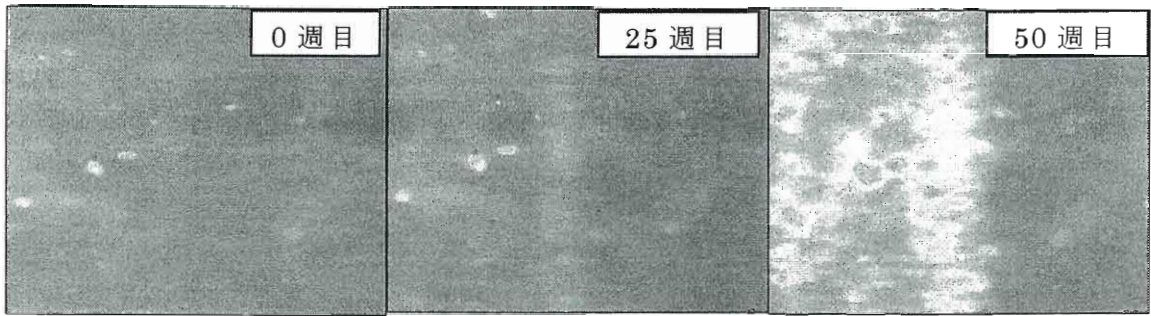


図-8 LK-Gによる解析画像の比較（喫水部）

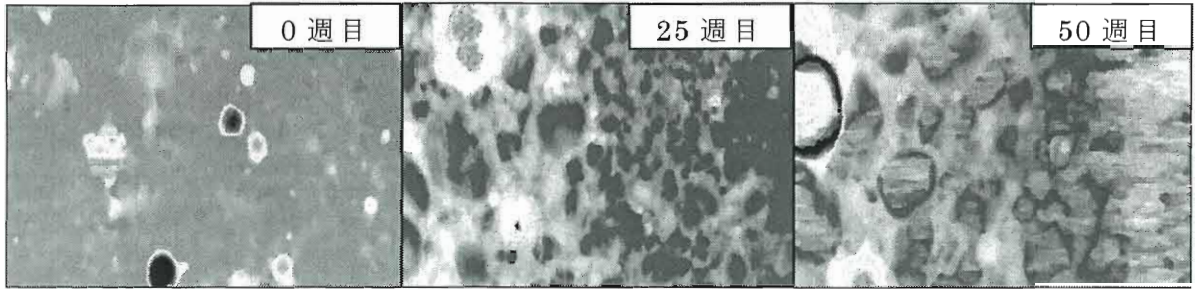


図-9 LTによる解析画像の比較（喫水部）

よる供試体上部の形状変化の測定，光学顕微鏡による視的観察を1週間毎に行った。

### 2) 試料重量減少率

図-6に重量減少率を示す。初期の段階で重量の増加がみられるが，コンクリートの主成分である  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (水酸化カルシウム) 等と  $\text{H}_2\text{SO}_4$  の反応によって生成された， $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (二水石膏) および，エトリンガイト ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ) 等の膨張性物質の影響で結晶ができたためといえる。その後，結晶の生成よりもアルカリ成分の溶出に伴うコンクリート重量の減少量が結晶の生成による増加量よりも上回るため，この初期の増加の後，重量は徐々に減少していくことがわかる。

### 3) 人工下水中の pH の推移

図-7に人工下水水溶液の pH の推移を示す。初期の段階から18週目まで7.0付近で安定した pH を示している。この理由としては，人工下水は硫酸に比べて腐食度合いが低く，アルカリ分の溶出が少ないため，pH の変動が小さいと考えられる。その後，19週目から数値が下がり43週目まで6.0～6.8程度で上下している。この期間は，

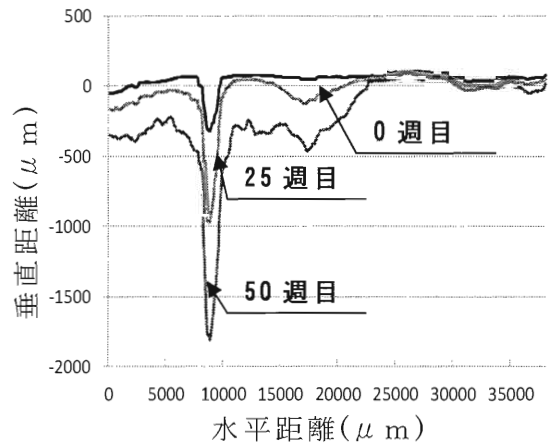


図-10 LK-G形状推移のグラフ

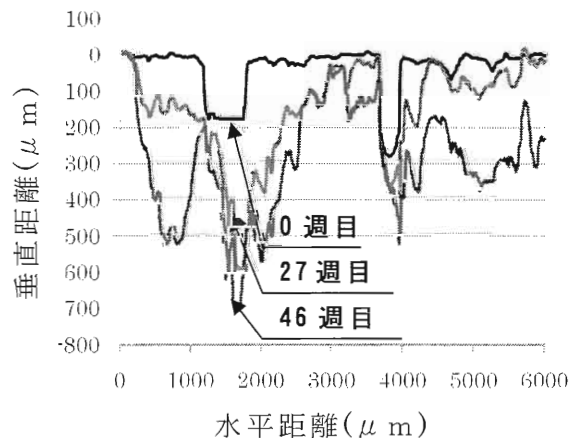


図-11 LT形状推移のグラフ

アルカリ分の溶出よりも有機酸や $H_2S$ に起因する酸の生成量のほうが上回っていると考えられる。44週目からは再びアルカリ分の溶出が起こったため、pHが上昇した。

#### 4) 供試体の形状変化

図-8にLK-Gを用いた供試体上面喫水部の解析画像を示す。0週目、25週目、50週目と経過するにつれて、表面に凹凸が多く現れ、細骨材が表面に露出していることが確認できる。また、輪郭部分においても同様に凹凸が表れている。全体的に供試体の体積が徐々に減少している。

図-9に初期の腐食欠落を起こした50週目までの供試体の変化を、LK-G観測と同じ箇所でのLTによる解析画像で示す。ここで25週目では、腐食欠落の進行が見られるが、表面部分はまだ多く残っており、大幅な腐食欠落はまだ起きていない。50週目の画像では、欠落部分が増加している様子が確認でき、腐食が進行していることがわかる。

図-10に、コンクリート供試体上面に対して垂直方向から測定したLK-Gの断面形状推移を示す。0週目、25週目、50週目と徐々に減少し、最も減少が激しかった部分は、約 $1500(\mu m)$ の減少となった。

この結果から、0週目の供試体表面の凹部分から腐食が進行し、その周囲も合わせて腐食が早く進行し、大きく欠落した。

さらに、図-11にLTによる細部断面形状推移を示す。ここで、0週目、27週目、46週目を比較すると、全体が徐々に減少していることがわかる。特に、27週目から46週目の間で、腐食が大きく進行している。こちらでもLK-Gと同じように、0週目で欠落がある部分から集中的に腐食が進行し、その周囲も大きく減少していると言える。減少は最大で約 $500(\mu m)$ の減少となった。

#### 1.3 まとめ

1)  $H_2SO_4$ 下における普通コンクリートにおいて140日目で体積減少率が低下し、180日目以降は殆ど減少していないこ

れは、細骨材の脱落が40~140日目に比べて少なくなったことが原因と考えられる。また、200日目以降に再び大幅な減少が起こることも考えられるため、より長期の測定を行うことで、この傾向が一定のサイクルで繰り返されるか推測できる。

2)  $H_2S$ 、 $CO_2$ ガスと人工下水を用いた実験については、 $H_2SO_4$ 下と異なり重量が徐々に減少し続けていることから、コンクリート表面のアルカリ分は失われてはおらず、今後もpHの変動や重量の減少が起こっていくと考えられる。

## 2. 廃棄物を用いた緑化基盤材の地盤工学からの検討

産業廃棄物である下水汚泥、上水汚泥、建設発生木材および菌床オガ粉に、蒟蒻の製粉残渣を添加したものを混合して斜面の緑化基盤材に再利用する環境緑化技術工法がある。緑化基盤材の物理特性、力学的特性と、実験用の斜面模型を用いた屋内や屋外実験(植生の有無を含む)による水分特性や化学的成分について実験を行った結果から提案する緑化基盤材の性能について報告する。

### 2.1 緑化基盤材の物理・力学的特性

緑化基盤材として混合した粒子の密度は $1.93g/cm^3$ で、強熱減量で有機物量を測定したところ56.97%と多い(斜面の用いた関東ロームは14.86%)。物理的性質を示す $wL=178.0\%$ 、 $wP=137.0\%$ から $IP=41.0\%$ で圧縮性、乾燥強さと強靱性に優れていることが数値から推察される。

浸水崩壊試験では、緑化基盤材のみの供試体は、1日の空中養生から粘着効果を発揮し、14日間の空気養生後の浸水試験まで半壊にも至らなかった。また、のり面の地山との粘着効果を調べるために緑化基盤材と関東ロームを結合させた供試体では、浸水崩壊に対する関東ロームの弱さから、



その部分の崩壊は見られたが緑化基盤材の部分は崩壊しなかった。

## 2.2 緑化基盤材の水分特性

容器に試料を所定の密度に詰め、ADR やテンシオメータを設置し、ついでに質量の変化量も量りながらビームライトによって乾燥させたときの挙動から水分特性曲線を求める簡単な計測方法である。

図-12 には緑化基盤材の水分特性曲線の計測結果を示した。その形状からも分かるように限界毛管水帯の高さは低いが、水分特性曲線の勾配  $n(=\Delta$ 体積含水率 $/\Delta$ 圧力水頭)の値は小さく表れている。図-12 中の水分特性曲線のパラメータと飽和透水係数  $k_s$  を表-1 にまとめてある。

## 2.3 緑化基盤材の一軸圧縮強度

緑化基盤材単体、緑化基盤材とのり面の地山との重なる層を想定したもの(結合体)、ならびに緑化基盤材と地山の材料として選定した関東ロームとを混合した供試体(混合体)の一軸圧縮強度試験を行った。

図-13 には養生期間ごとの強度の変化を棒グラフで示す。養生日数は供試体を作成し、空気養生した日数を意味する。結果から養生を重ねる毎に強度が増し 10 日養生では 200 kN/m<sup>2</sup> に達する。しかし、12 日間養生した試料以降は徐々に強度は低下する。これは結合力を弱めるほどの乾燥状態に至ったためで、20 日間養生した試料の含水比は 20% であった。図中の実線は結合体や混合体の供試体の値で、緑化基盤材よりも強度は上回る。結合体の場合は写真-1 に示すように緑化基盤材の部分が破壊して強度が決定される。

## 2.4 斜面模型実験の結果と考察

斜面模型の寸法は法面長 910mm、高さ 900mm とした。緑化基盤材の下の地山は関東ロームを締固めた。斜面角度は施工目標としている 50° とした。緑化基盤材の吹付け厚さは 50mm とし、その締固めはモルタ

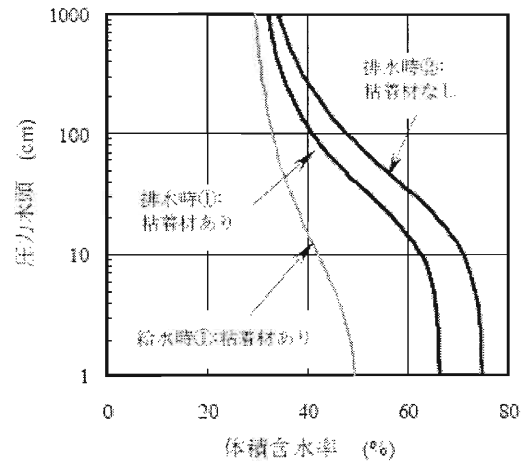


図-12 緑化基盤材の水分特性曲線

表-1 水分特性曲線のパラメータ

条件	$\alpha$	$n$	$\theta_s$	$\theta_r$
排水時①	0.035	1.719	0.665	0.300
排水時②	0.044	1.586	0.749	0.290
給水時①	0.201	1.486	0.499	0.278

\* 緑化基盤材の作成直後の  $k_s=6.7 \times 10^{-7}$  cm/s

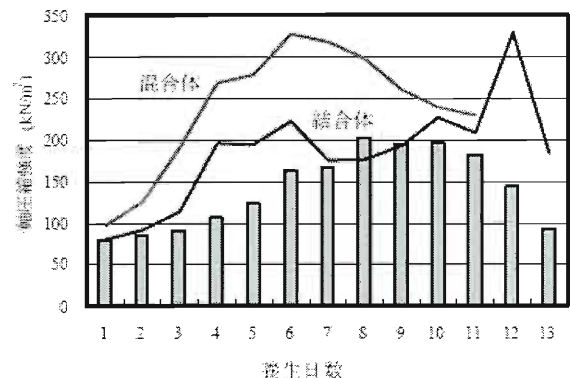


図-13 一軸圧縮強度空気養生期間の関係



写真-1 結合体の破壊状況

ル吹付機を利用したときと同様に、山中式硬度計を使用して土壌硬度で 15mm~22mm を目安として調整した。この値は植物の生育基盤に適したものである。また、降雨試験の降雨強度は 30 mm/h を採用した。斜面には ADR, テンシオメータおよび土壌水分計を設置し、斜面の土壌体積含水率や圧力水頭の計測を実施した。

斜面モデルは 4 組作成し、2 組ずつ屋内と屋外に設置した種子を含んだ緑化ネットは共に設置したが、太陽光を得られない屋内のものは僅かに葉がでるだけで、主に降雨試験時の水分移動や排水量内の養分排水量の確認のための実験を繰り返した。一方、屋外のものには自然の条件を十分に受けて設置後 8 週目には葉が斜面を覆うほど植生が活発であった。この十分に時間が経過した段階で、屋内・屋外で人工降雨を与えて斜面内の水分の時間的変化を計測した。図-14, 図-15 に降雨時(吸水時)の圧力水頭と体積含水率の変化を示した。計測位置は、斜面の上, 中, 下部で表面から約 25 cm 下の値である。屋内の斜面モデルの圧力水頭のグラフを見ると負圧から正圧に変化し始める時間が早く、斜面表面付近の含水比も高い。これは、緑化ネット敷設により降雨の浸透を抑制しているが、植物が少ないため土中に水分が早く浸透してしまうためと考える。他方、屋外のモデルは、負圧から正圧に変化する時間が遅い。これは植物が降雨の多くを跳ね返し、直接土中へ浸透するのを時間的に遅らせていると思われる。上部, 中部の体積含水率は植生の有無による大きな差異はないが、降雨は表面水として下部へ流れ出るためか屋外の下部の体積含水率の値は屋内のモデルより 20% も高くなった。図-16, 図-17 に示した排水過程は環境に違いはあるが屋内のモデルの方が速く、植物の影響で吸水・排水過程は異なることが分かった。

最後に、降雨試験により斜面モデル底部か

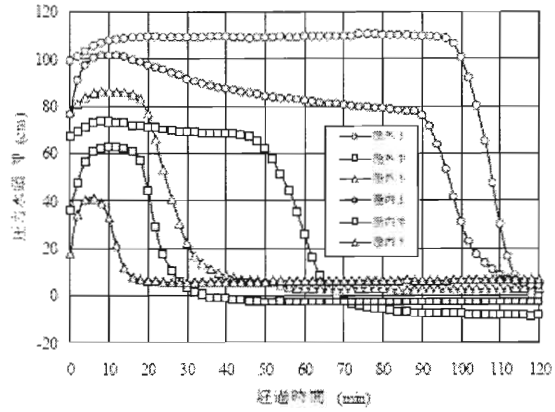


図-14 降雨時の圧力水頭の変化

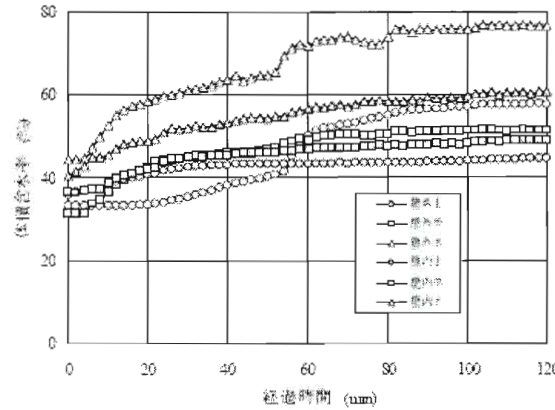


図-15 降雨時の体積含水率の変化

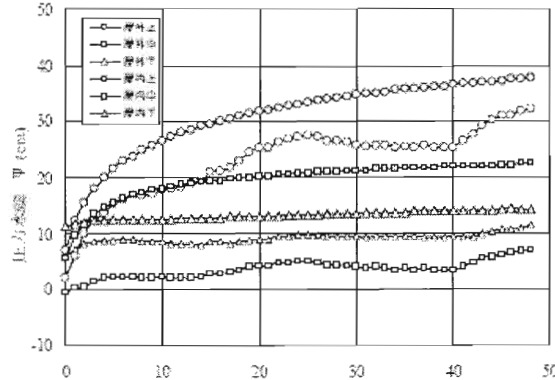


図-16 降雨後の圧力水頭の変化

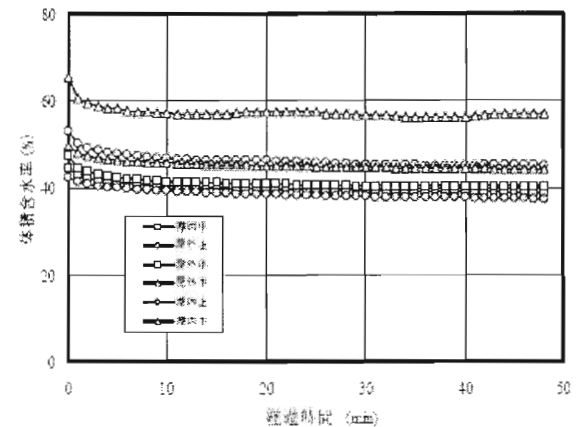


図-17 降雨後の体積含水率の変化



ら流出した浸出液を採取して計測した結果を図-18 に示す。電気伝導率試験は浸出液の電解質濃度を測るための試験で、屋内模型よりも屋外の方が1.5~2.0mS/cmほど高く光合成により植生が活発に行われていることを示している。また、養分濃度は屋内よりも屋外の方がリン酸、全窒素共に低く、植物が養分を吸収したものと推察される。屋外・屋内ともにpHは6.8~8.2の中性から弱アルカリ性の範囲で植生に問題はなかった。

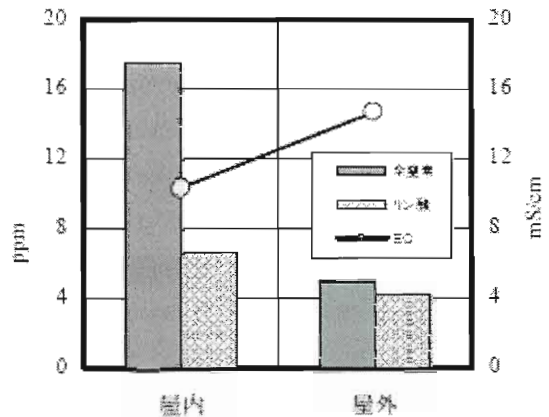


図-18 浸出液の成分比較

### 3. 下水汚泥安定化処理技術の応用

下水汚泥の固定/安定化技術が深圳市の下水汚泥処理に採用された。ここでは、この応用事例について報告する。

#### 3.1 深圳における下水汚泥処理の現状

深圳には全部 30 余りの下水処理場があって、下水汚泥の産出量が 1800t/d 程度である、下水汚泥の性質を表-2 に示す。今までは、一部がごみ処分場に埋め立てられ、ほかの部分が随意に処理している。ごみ処分場では含水率の高い下水汚泥が入ったため、地すべりする兆しが見え、浸透液を収集するパイプも目つまりが起き、これ以上が受けられない状況である。そのため、応急対策として固化/安定化処理することが決まった。

#### 3.2 固化/安定化処理技術

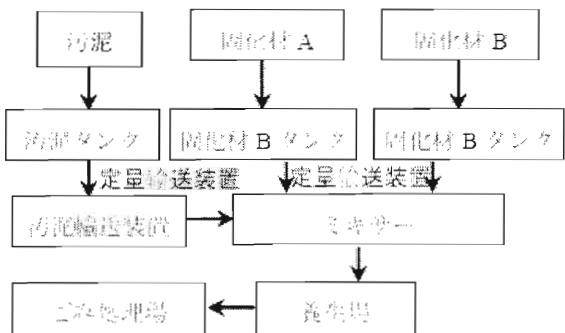
含水率の高い汚泥では流動性がよく、強度がほとんどない。ごみ処分場の中では汚泥のプールのようなものになった。安い処理費で、汚泥の強度を向上し、含水率を下がり、同時に中に含まれた重金属の安定性(溶出特性)を良くする方法が固化/安定化処理である。今までは実験室においてローコストで、設備投資少ない、管理作業がしやすい技術として固化/安定化処理技術を開発してきた。深圳市では初めて実務レベルでこの技術の使用を乗り出した。

#### 3.3 処理施設の設計

表-2 深圳における汚泥の性質

下水場	布吉	羅芳	深河	南山
含水率 (%)	74.0	74.0	82.0	73.0
有機物含有率 (%)	41.17	33.29	66.99	48.61

表-3 汚泥処理フローシート



実験室で研究された技術を如何に実務レベルで適用するか、大規模で処理できる施設を作るために、3つのステップ-30t/d、100t/d、900t/d において処理施設および方法を試した。小規模では汚泥の輸送、固化材の定量、均一混合、養生などのパラメータをテストし、処理フローシート(表-3)と設備の構成を決めた。

汚泥を処理し、50kPa の一軸圧縮強度に達して、転圧できるようにするため、3日の養生が必要とわかった。また、汚泥と固化材均一にするために、過剰に攪拌、混合することが逆に汚泥に含まれている水分

を出し、効果を低下させることになる。一般的に1分間以内の攪拌時間で均一になれば効果が良い。

固化/安定化処理した後の汚泥をごみ処分場で生活ごみと一緒に埋め立てる方法と、処理後の汚泥を単独に埋め立てる方法がある。混合処理する場合に、ごみ処分場の浸透防止システムを利用できますが、単独処理の場合、浸透水の発生を考えなければならぬ。

### 3.4 処理効果

処理効果について現場でサンプリングして埋め立てる場合に必要な指標を計測した。最も関心を集めるのは一軸圧縮強度である、その計測結果は図-19に示す。3日強度として20%程度の固化材を添加すれば転圧に必要な値に足した、ただし、内部ではやややわらかいこともわかった。図-20からわかるように養生時間長ければ、強度が上がるのが確実である、このときに表層、内部とともに上昇していく。現場での作業でも3日になれば転圧が上部できるようになった。

処理後汚泥の含水率が徐々に下がっていく(図-21)。含水率の低い固化材を入れることによって含水率が初期から低下し、固化材が水分と反応してさらに減少していく。中国の基準では汚泥の含水率が50%以下になればごみ処分場に入れることができる。この意味では含水率という角度で見れば、処理後の埋め立てができる。単独埋め立ての場合は、雨水が浸透し、浸透液は地下水を汚染する恐れがある。雨水の浸入をできるだけ抑制するために、処理後の透水係数を小さくする必要がある。処理後の透水係数を測定した結果を図-22に示す。処理した後、汚泥の透水係数が $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下になった。また、固化材添加量の増加に従って透水係数がさらに小さくなる、このことより雨水が大量に浸透できないといえる。

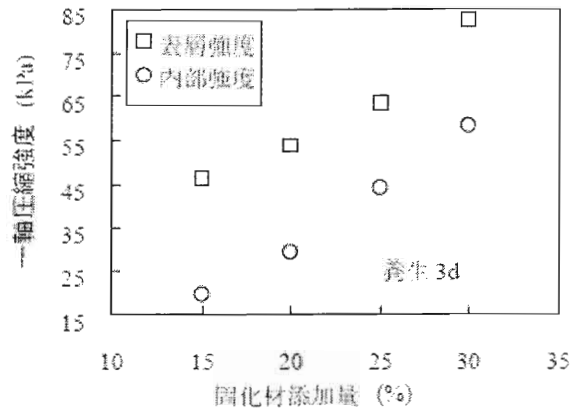


図-19 汚泥処理後の強度と添加量

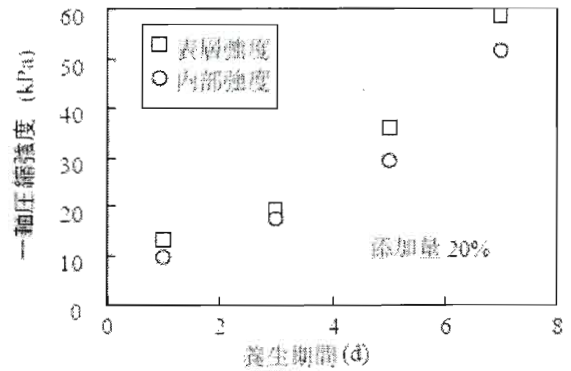


図-20 養生時間と強度

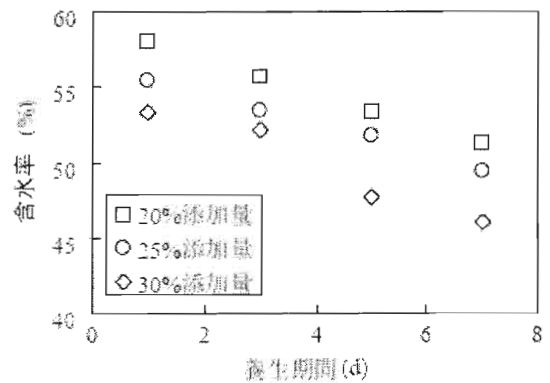


図-21 処理後含水率の変化

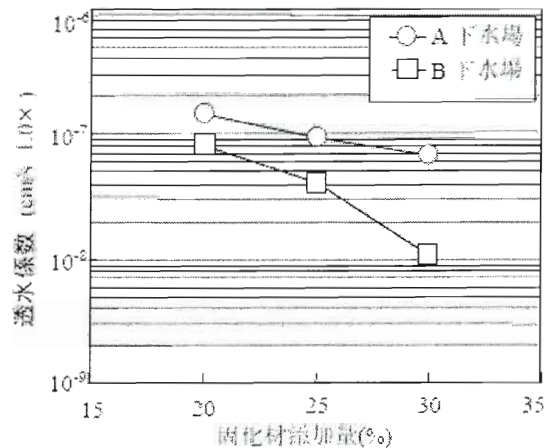


図-22 処理後の透水係数

#### 4. 廃棄物利用による屋上緑化基盤材への応用

本研究は、上・下水汚泥、建設廃材などの廃棄物を有効利用した屋上緑化の施工技術の確立を目的とし、これらの廃棄物の配合比などを変化させ、従来行ってきた熱環境測定などから、屋上緑化基盤材としての有用性を評価した。

##### 4.1 使用材料

写真-2 に実験に使用した使用材料を示す。緑化基盤材は、コンポスト化した下水汚泥（以後、コンポスト）、上水汚泥（以後、上水）、炭を混合して用いた。

コンポストとは、衛生面、安全面、肥効性などを満足させるため、下水汚泥を好気性発酵処理したものであり、栄養価が非常に高く肥料として最適である。上水汚泥は、上水処理過程で発生する発生土であり、泥状のものを乾燥し、粒状化して利用した。コンポスト汚泥よりも養分が少ないが、長期的に見るとコンポスト汚泥の活性を促し、基盤材料の安定材となる。炭は、間伐材を原料とし、形状は施工しやすいチップ状のものを使用した。構造的な特徴から植生に適した疎水性、保水性に富み、土壌含水率を維持できるといえる。

##### 4.2 施工方法

施工方法は、厚さ 9mm の木材で作成した木枠に基板材料を混合させて 100mm 厚となるように入れ、その上にコウライシバ (*Zoysia tenuifolia*) を芝付けし、モデルボックス屋上面に設置した。また、木枠底部には水はけ用の孔 ( $\phi 10\text{mm}$ ) を 72 個/m<sup>2</sup> 開けた。表-4 に基板材料の配合比を示す。配合比は、CASE1 では既存の法面緑化で最適であったコンポスト、上水、炭を 4:4:2 とし、CASE2 では比重の大きい上水を減らした、4:2:4 を、CASE3 では予備実験の結果から生育が良好であった 5:0:5 とし、軽量化を図るべく 50mm 厚に抑えたものである。なお、CASE3 ではモデル

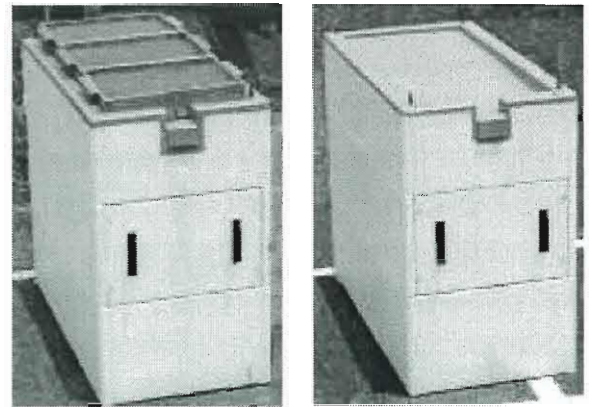


コンポスト汚泥 上水汚泥 炭

写真-2 使用材料

表-4 材料の配合比

	コンポスト	上水	炭
CASE1 (100mm厚)	4	4	2
CASE2 (100mm厚)	4	2	4
CASE3 (50mm厚)	5	0	5



緑化有り

緑化無し

写真-3 モデルボックス

ボックス自体からの伝導熱を抑制すべく、底部にキャスターを付けて底上げをした。

##### 4.3 実験方法および測定項目

写真-3 に実験で使用したモデルボックスを示す。

このモデルボックスの寸法は、外寸で横幅 900mm、高さ 1500mm、奥行き 1800mm であり、屋上部分はコンクリート（熱伝導率： $1.6\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 、比熱： $840\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 、最大厚：140mm）を主体とし、壁面は断熱効果に優れた ALC パネル（熱伝導率： $0.17\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 、比熱： $1047\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 、厚：50mm）を用いた。なお、骨組みには鋼材を使用し、屋上表面は 1.5mm の FRP 塗布防水加工を施した。



実験は校内にモデルボックスを 2 体設置し、緑化の有無による熱環境への影響を 1 時間置きに 24 時間連続で測定した。測定項目は、外気温・風速・風向・モデルボックス室内温度・長波および短波放射量の 6 項目とした。ここでは、夏期および冬期の測定で得られたモデルボックス内温度、長波および短波放射収支量を中心に検討を行った。なお、放射量の測定は  $0.3\sim 3\mu\text{m}$  域の短波放射量（可視光）と  $5\sim 50\mu\text{m}$  域の長波放射量（赤外放射）を下向きおよび上向き放射として測定することが可能な長短波放射計（英弘精機製）を用いた。

#### 4.4 実験結果

写真-4 に夏期測定時（施工 2 カ月後）における芝の状況を、表-5 に測定日の外気温を示す。

写真より、CASE1 が最も緑色が強く、また草丈も高いことが分かる。なお、測定は当日の気象条件を考慮し晴天日に行い、それぞれの日照時間は 10.5 から 11 時間であった。また、平均風速は  $1\text{m/s}$  を下回ったため考慮しないものとした。なお、各基盤材の含水率は CASE1 で 37%、CASE2 は 21%、CASE3 では 36%であった。

図-23 に各 CASE における緑化有無の室内温度差（=無 - 有）を示す。

これより、CASE1, 2 は同様の傾向を示し、午前中は緑化有の室温が高く、午後の気温が上昇する時間帯は、緑化無が高くなった。これは、基盤材が断熱材となり、室内への伝熱を抑制したものと見える。なお、これら 2 つの CASE に生まれた差は測定日の気象条件、さらに初期含水率の相違によるものと考えられる。一方、CASE3 は大きな変化は見られず、常に緑化有りの温度が高い結果となった。これは、緑化基盤とモデルボックスが接地していないため、熱が内部へ移動した結果と考えられる。

図-24 に各 CASE における緑化有無の長波放射収支量差（=無 - 有）を示す。なお、

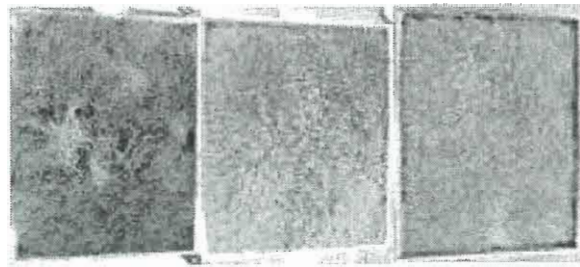


写真-4 測定時の芝の状況（夏期）

表-5 測定日の外気温（夏期）

	Ave. (°C)	Max (°C)	Min (°C)
CASE1	26.6	36.7	20.7
CASE2	31.9	39.5	27.8
CASE3	31.2	37.3	27.7

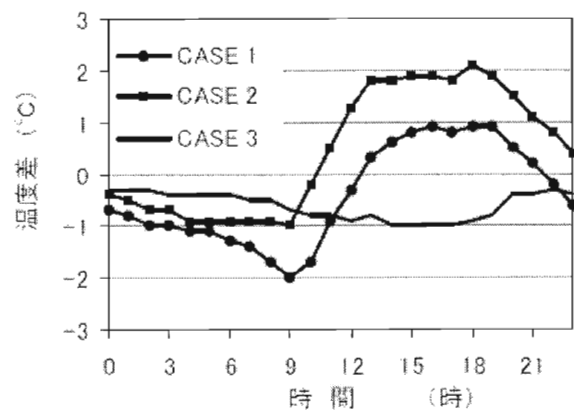


図-23 室内温度差（夏期）

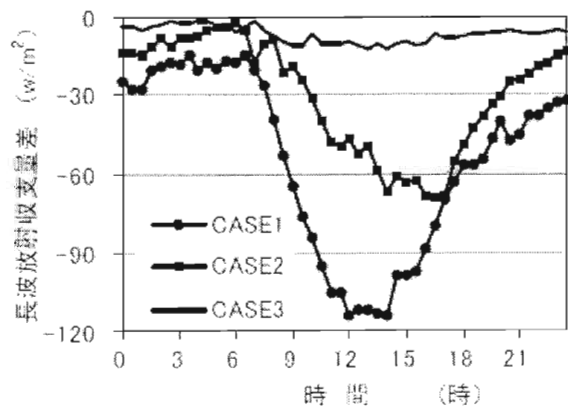


図-24 長波放射収支量差（夏期）

長波放射収支量は下向きを正、上向きを負としているため、低ければ低いほど大気へ赤外線を放射していることを示している。また、このグラフは緑化無から緑化有の値を引いているため、値が低いほど緑化有の

放射量が抑制されており，屋上緑化の観点からは良好であるといえる。

これより，CASE1, 2 とともに日中に差が見られ，大気への熱放射の抑制が確認された。特に，CASE1 の差が顕著であり，最大で  $110\text{W}/\text{m}^2$  の差が生じた。これに対してCASE3 はほとんど差が見られなかった。この各 CASE の差は，測定日気象条件および初期含水率によるものと考えられる。したがって，夏期の熱環境緩和効果へ与える効果としてはCASE1 が最適であるといえる。

写真-5 に測定時（施工 6 カ月後）における芝の状況を，表-6 に測定日の外気温を示す。

写真より，全体的に冬枯れを起こし，変色していることが分かる。草丈を見ると，CASE1 が最も高く，また植生密度が高いといえる。また，CASE3 は冬枯れが著しく，屋上緑化に適さないといえる。なお，測定は，夏期同様に当日の気象条件を考慮し晴天日に行い，それぞれの日照時間は約 9 時間であった。また，各基盤材の含水率はCASE1 で 57%，CASE2 で 57%，CASE3 で 60% となり，ほとんど相違は見られなかった。

図-25 に緑化有無の室内温度差 (=無 - 有) を示す。

これより，全体的に深夜から正午過ぎの気温が低い時間帯は，緑化有が高い結果となり，屋上緑化の保温効果が確認された。この中でも特に，CASE2 の差が大きく，9 時で最大  $2^\circ\text{C}$  以上の差を生じた。これは，含水率も他の CASE とほとんど差がないことから，測定日の気象条件の差によるものと考えられる。

図-26 に各 CASE の緑化有無における長波放射収支量差 (=無 - 有) を示す。

これより，全 CASE において，深夜から朝までの差は小さく，また緑化有の放射量が緑化無より高い時間帯もあった。これは，気温低下により，緑化無のコンクリート表面が著しく低下したためといえる。しかし，9 時過ぎから緑化無の放射量が高くなり，

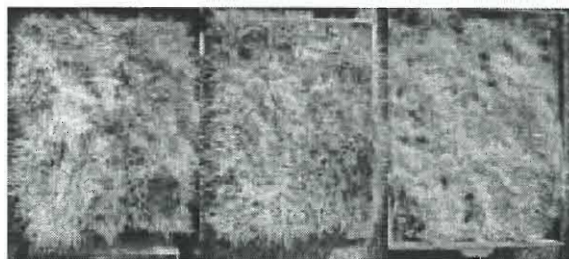


写真-5 測定時の芝の状況（冬期）

表-6 測定日の外気温（冬期）

	Ave. ( $^\circ\text{C}$ )	Max ( $^\circ\text{C}$ )	Min ( $^\circ\text{C}$ )
CASE1	12.2	20.6	4.0
CASE2	6.2	13.7	1.3
CASE3	5.2	11.0	2.1

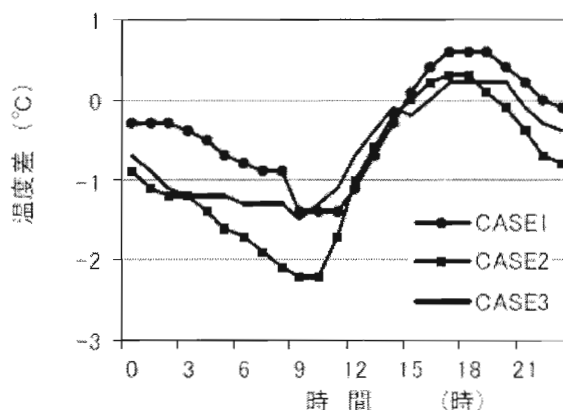


図-25 室内温度差（冬期）

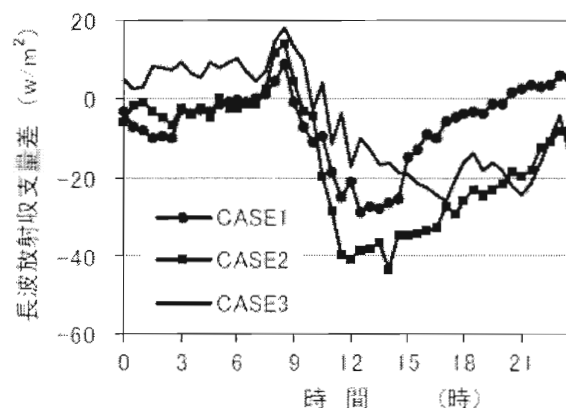


図-26 長波放射収支量差（冬期）

冬期においても夏期同様に日中の緑化による大気への熱放射が抑制された。この中で特に，CASE2 の差が大きく表れた理由としては，測定日気象条件の差と考えられる。

#### 4.5 まとめ

本研究では、複数の廃棄物を屋上緑化基盤材として有効利用することを目的とし、その有用性を植生状態および熱環境の観点から評価し、以下の知見を得た。

- 1) 夏期および冬期とも、視的観測による植生は CASE1 が最も良く、草丈、植生密度は高かった。また、CASE3 は草丈が低く、冬枯れも著しかったことから、この基盤材料では基盤厚 50mm は屋上緑化に適さないといえる。
- 2) 緑化有は、夏期に日中の室内温度の上昇を抑え、冬期に室内温度が高くなる結果となった。これより、屋上緑化の気温が高い時期の断熱効果、低い時期の保温効果が確認された。
- 3) 夏期のアルベドは、全屋上面ともほぼ同様な値であったが、冬期では、緑化表面が白黄色化するため、緑化有の方が高い値を示した。
- 4) 夏期の長波放射収支量は、常に緑化無からの長波放射が高く、屋上緑化による大気への熱放射を抑制できたといえる。特に、初期含水率の高い CASE1 の値が顕著であった。これは、植生の蒸散作用により熱が使われたことに起因している。
- 5) 冬期の長波放射収支量においても、ほぼ緑化無からの放射であったが、夏期と異なり緑化有の放射量が高い時間帯も見られた。これは、気温低下により、緑化無のコンクリート表面が著しく温度低下したためであるといえる。

以上の結果より、屋上緑化による夏期の室内温度緩和効果、冬期の室内保温効果が確認され、さらに、大気への熱放射の抑制も図れた。なお、今回の測定では、芝の草丈が高く、夏期における上向き長波放射の差が大きいことから、コンポスト、上水、

炭が 4:4:2 の配合による CASE1 の結果が良好と考えられる。

#### 5. バイオマスエネルギー生成としての酸生成過程における有用菌株

メタン発酵は、有機性廃棄物（下水汚泥や生ごみ等）を嫌気性細菌の活動により分解しメタン（ $\text{CH}_4$ ）を生産する生物化学変換技術の一つである。

本研究は、2段階メタン発酵の1段階目である酸生成槽から菌株を分離培養し、塩基配列の解読結果から分離菌株の同定および保存を行った。また、同定精度が 600bp 以上（相同性 99%以上）と高かった分離菌株は純培養した後、バッチ実験による増殖能力および代謝能力の結果から、酸生成過程における有用菌株の特定を行った。

##### 5.1 実験概略

実験手順を図-27 に示す。本実験では 2段階メタン発酵の第1槽である酸生成槽の汚泥を用いた。これをサンプルとして LB, GYP, BHI（和光）および GAM プイヨン（ニッスイ）の寒天プレート培地に塗布し 36℃ の恒温槽で 3, 4 日嫌気培養した。培地の組成を表-7 に示す。次に、コロニーの形態的特徴から菌株を選別し分離培養を行った。この作業を 3~4 回繰り返し行い菌株の分離を行った。

分離した菌株は DNA Isolation Kit を用いて DNA を抽出し、これをサンプルとしてプログラムテンプコントロールシステムにより DNA の増幅を行った。PCR に用いたプライマーは全細菌に共通の 16S rRNA ユニバーサルプライマー 27f および 800r を用いた。なお、このプライマーの組み合わせは 16S 領域の中で 600 bp 以上の増幅を目的とするものである。プライマーの塩基配列を表-8 に示す。PCR の条件は 94℃ 5min + (94℃ 30sec - 50℃ 30sec - 72℃ 60sec) × 35 サイクル + 72℃ 6min とした。これにより得られた PCR 産物は、1.5 %アガロー



スゲルを用いて電気泳動を行い、単一の DNA バンドを確認した後、遺伝子解析システムによりシークエンシング作業を行った。その後、解読した塩基配列は相同性検索プログラム DBJ:BLAST により、相同性の高い既知種を検索し同定した。なお、本研究では既知種との相同性が 99%以上の菌株を微生物分類上の同種とした。

次に、分離培養により種までの同定が行えた菌株は比較実験を行うための菌量を確認するため、15ml GAM ブイヨン液体培地にて前培養を行った。その後、200ml 液体培地を用いて菌株を本培養し、培養液の吸光度（測定波長：600nm）を分光光度計により測定し増殖曲線を作成した。増殖度合いを確かめた後、各菌株は求められた最適期間で植え継ぎし、大量培養した。

図-28 にバッチ実験装置図を示す。実験は大量培養によって増殖した菌株をメデイウム瓶に入れた 200ml GAM ブイヨン液体培地に添加し、気相部はアルゴンガス置換により嫌気状態に保持した状態で行なった。本試料は 12 時間おきに培養液のサンプリングとガス発生量の測定を行った。なお、サンプリングした培養液は高速液体クロマトグラフィーを用いて、有機酸生成量の測定を行った。

## 5.2 実験結果

### 1) 酸生成槽からの菌株の分離および分離菌株の同定結果

酸生成槽をサンプルとして培養を行ったところ、3 日目には培地上に複数種のコロニー形成が確認された。コロニーの形態的特徴として、色は白色もしくは淡黄色を示し、その形状は外形が点状、円状および不規則なもの、または辺縁が円形、波状および葉状のものが確認された。従って、これらのコロニーを形態的特徴から選別し、分離培養することにより、計 27 株（分離 No.1~No.27）の分離菌株を得た。分離した 27 株においてシークエンシング作業を

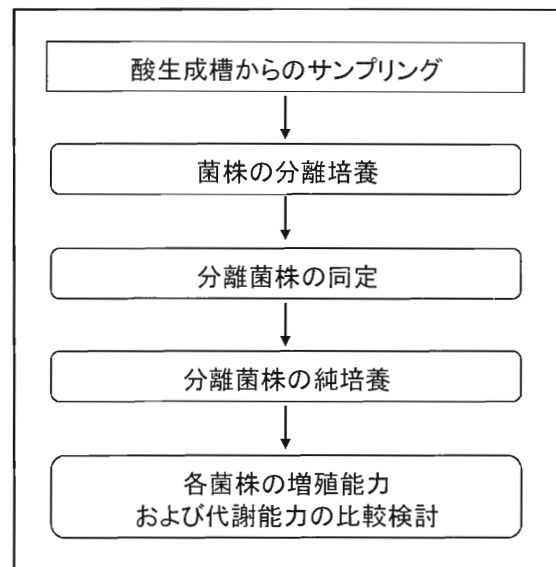


図-27 実験手順

表-7 培地組成

LB (g/L)		GYP (g/L)	
Trypton	10	Glucose	10
Yeast extract	5	Yeast extract	10
NaCl	10	Bacto Pepton	10
pH	7.0	Sodium acetate	10
		MgSO <sub>4</sub>	0.01
		MnSO <sub>4</sub> ·nH <sub>2</sub> O	0.01
		FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.01
		NaCl	0.01
		pH	7.2

表-8 PCR に用いたプライマー

Primer	Sequence (5'-3')
27f	AGAGTTTGATCCTGGCTCAG
800r	TACCAGGGTATCTAATCC

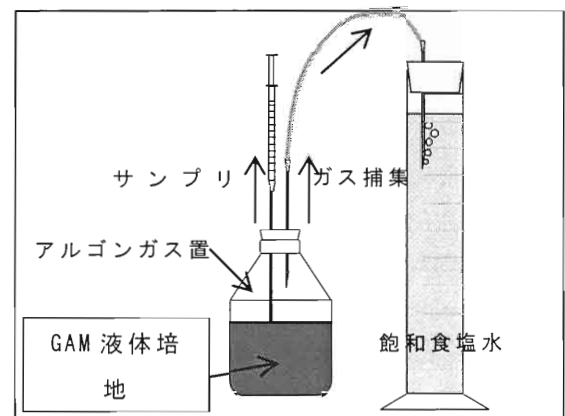


図-28 バッチ実験装置図

行った結果、塩基配列解読が 600 bp 以上の菌株は 18 であり、さらに、既知種との相同性が 99%以上となったのは 12 株であった。この 12 株の近縁種は表-9 に示すように *Clostridium bifermentans* , *Clostridium butyricum* , *Clostridium sartagoformum*, *Clostridium cadaveris* および *Staphylococcus epidermidis* の計 5 種類の名前が挙げられた。本実験はこれら 5 株を試験菌株としてバッチ実験に用いた。なお、分離した 12 株で最も多かった *Clostridium butyricum* (分離 No. 3, 5, 7, 10, 12, 14) においてコロニー形成の違いがみられた。これは、培地および植え継ぎ時期や植え継ぎ時における菌株の塗布量に起因するといえる。次に、600 bp 以上の塩基解読数で、近縁種に対し相同性が 99 %未満の 6 株 (分離 No. 1, 6, 11, 15, 16, 18) は、*Clostridium* 属の未知種である可能性が示唆される。また、分離 No. 2 は塩基解読数が 229 bp と低いものの *Clostridium glycolicum* (相同性は 100 %) であると特定できた。しかし、他の菌株においては、塩基配列数が 600 bp 未満であると、種までの特定は困難であった。

## 2) 増殖代謝特性の比較

図-29 に増殖曲線を示す。結果より、*Clostridium bifermentans* は他に比し増殖が早く植菌直後から増殖し、6 時間経過時には定常期になった。*Clostridium butyricum* および *Clostridium cadaveris* は 15 時間目をピークに、*Staphylococcus epidermidis* は増殖期の時間が最も長く、27 時間後にピークに達し、その後定常期となった。また、*Clostridium sartagoformum* は誘導期が最も長く 15 時間費やしたが、増殖期は 6 時間で、他の菌株に比し最も短かった。この結果から、各菌は 24 時間後に増殖を終え定常期に入ったといえる。

図-30 に各分離菌培養液の有機酸濃度の

表-9 増殖能力および代謝能力の比較に使用した分離菌株

分離 No.	近縁種	解読した塩基数と近縁種の相同性
No. 5	<i>Clostridium butyricum</i>	709/712 (99 %)
No. 19	<i>Clostridium sartagoformum</i>	626/631 (99 %)
No. 20	<i>Clostridium cadaveris</i>	711/721 (99 %)
No. 22	<i>Clostridium bifermentans</i>	709/718 (99 %)
No. 25	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	747/748 (100 %)

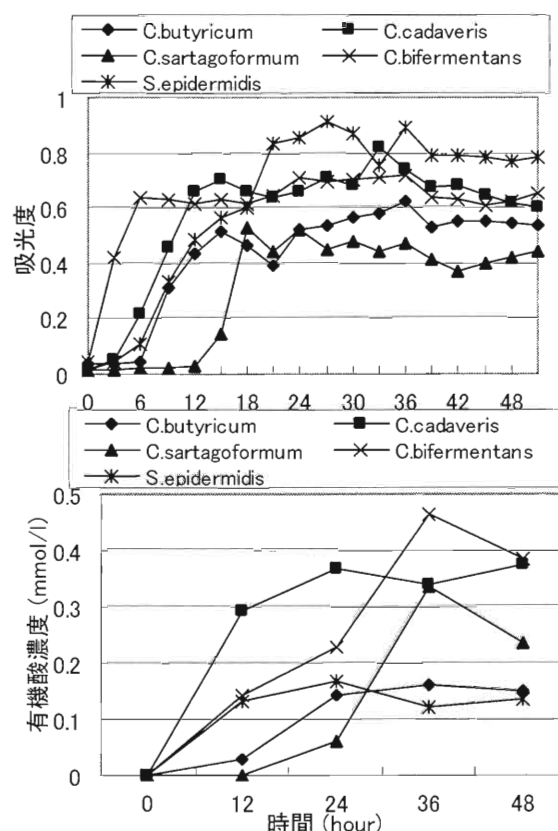


図-30 有機酸濃度の経時変化

経時変化を示す。結果より、初期段階より有機酸生成が見られたのは *Clostridium cadaveris* , *Clostridium bifermentans* および *Staphylococcus epidermidis* であった。それに対し *Clostridium butyricum* は 12 時間後から、*Clostridium sartagoformum* は 24 時間後から増加がみられた。有機酸の総生成量は *Clostridium bifermentans* が他の菌株に比し 0.445mol/l と最も多く、*Clostridium*

*sartagoformum* が 0.122mol/l と最も少なかった。また、有機酸の生成割合は菌株によって違いがみられた。*Clostridium bifermentans* および *Staphylococcus epidermidis* は主に酢酸、プロピオン酸を生成し、その他にギ酸、酪酸、リンゴ酸を生成した。*Clostridium sartagoformum* は主にギ酸、酪酸、酢酸を生成した。また、*Clostridium butyricum* および *Clostridium cadaveris* はギ酸、酢酸、プロピオン酸、酪酸以外にクエン酸、リンゴ酸等の計 7 種類を生成した。

### 5.3 まとめ

1) 酸生成過程において分離培養を行った結果、培地の組成および形態的特徴から異なる 27 株の分離菌が得られた。この 27 株について塩基配列を解読したところ、600 bp(相同性 99 %)以上で同定が行えた菌種は *Clostridium bifermentans* , *Clostridium sartagoformum*, *Clostridium cadaveris* *Clostridium butyricum*, および *Staphylococcus epidermidis* の 5 種類であった。

2) バッチ実験による比較結果より、各菌株には増殖能力および代謝能力に差異がみられた。その中で *Clostridium bifermentans* は他の菌株に比し増殖能力および代謝による有機酸生成量において優れていることから酸生成過程における効率的有用菌株とし得ることが分かった。

## 6. 視知覚特性を用いた緑化景観評価

従来は単に緑視率とアンケート結果より景観評価を行っている。しかし、アンケートは個人的意見によるもので結果が左右される。さらに緑視率は色彩学的な見地から、緑が多ければ景観は良いという発想から用いられている。本研究は、緑視率に視野知覚特性を用いて値を表すことにより、実際に人が見ている景観評価方法と提案し、これを従来法と比べ、実際的な評価

に用いるべく、検討を行った。研究のフローを表-10 に示す。

## 2. 景観評価に用いた手法と検討

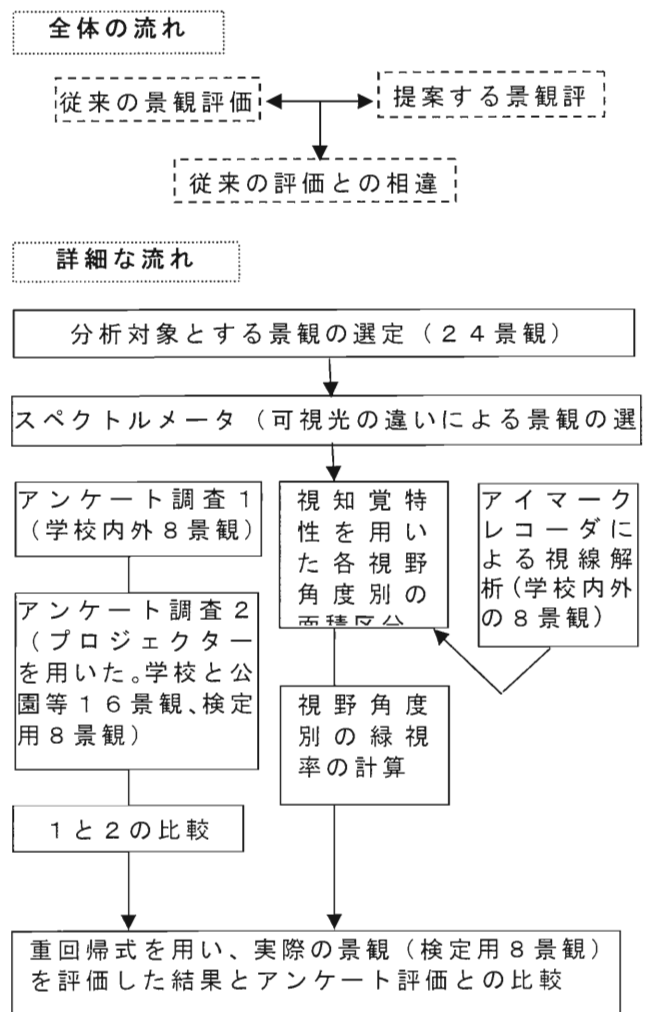
### 2.1 緑視率

人の景観における全面の中の緑の評価には、「緑視率」が多く用いられている。しかし、本研究では、後述する視知覚特性を用いた各視野角度の緑視率を求めると共に、面積を升目計算法で求めた。なお、画像の大きさは、写真による緑視率の計算、アイマークレコーダによる視線追従試験等を考慮して長方形(アスペクト比 2:1)とした。

### 2.2 視知覚特性

人の静視野範囲は、一般的に水平方向、垂直方向ともにギブソン視野範囲の 60°

表-10 研究のフロー



とされている（篠原,1982）。本研究では、特に、人が景観を見る場合、景観のどこを見て評価しているかに着目し、アイマークレコーダによる視線追従試験を行った。結果、画面中央を中心として横に広がっていた。この結果と前述したギブソンの視野範囲等を考慮して、画像の大きさは長方形（アスペクト比 2:1）とした。視野範囲の設定に伴って、視線追従試験から視点が、画面中央を中心として横に広がっており、垂直方向に狭く分布していることから、水平方向の視野角度については、視野範囲は、前記したギブソン視野範囲の水平、垂直方向の両眼による視野範囲から考慮して楕円形とした。また、視力は、視野の中心視軸から少しずれると急激に低下し、見ている景観の情報に影響を与える。したがって、今回求めた視知覚特性を考慮した視野角度を  $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 、 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 、 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 、 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 、 $30^{\circ} \sim$  の 5 つに区分した（図-31）

### 2.3 視線追従試験

動きながら眺める視野の変化特性を測定するために、アイマークレコーダを用いた。ここでは、アンケート調査 1 と 2 の比較をするために、学内外の 8 景観を用いた。実際に見ている状態に近づけるように、被験者のスクリーンの観察距離はギブソンの視野範囲  $60^{\circ}$  を考慮して決めた。ここで、アンケートの被験者にアイマークレコーダを装着してもらい、1 画面の観察時間を、実際の景観における被験者の観察時間の平均的な時間である 30 秒間として観察させた。また、注視点の位置は、1/10 秒前後に停留した点を認識した点とした。注視点の解析は、2 次元移動計測ソフトを用いた。

### 2.4 アンケート調査による心理評価

アンケート調査 1 は先述した選定理由より、景観 8 地点を選定し、回答者 50 人に見て回ってもらい、事前に用意したアンケート用紙に印象などの評価をアンケートに記

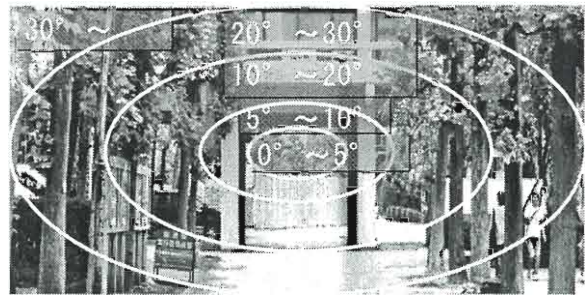


図-31 緑視率の視野角度範囲

表-11 質問項目および評価項目

質問項目	A 環境にとって良いかどうか（人や動物、自然）
	B 景観にとって良いかどうか（景観的な）
	C 緑の量はどうか
	D オープンさの度合いは、十分かどうか
評価	5 非常によい
	4 良い
	3 普通
	2 あまりそうは思わない
	1 そうは思わない

入してもらった。アンケート調査票は、評定法を用いた。表-11 に質問項目および評価項目を示す。ここでは、この実景観を評価したアンケートをアンケート調査 1 とする。次に、スクリーンに学校内外の 8 景観と公園や一般道などの 8 景観、検定用の 8 景観をスクリーンに映したものを、先述した回答者 50 人にアンケート調査 1 と同様に表-9 を用いて、アンケート調査を行った。このプロジェクターで投影した景観を評価したアンケートをアンケート調査 2 とする。

## 3. 結果および検討

### 3.1 視野角度別緑視率

視野角度別緑視率は、画面を図-32 のように景観を視野角度の範囲に分け、各角度面積範囲における緑を升目計算法によって求めた。表-12 に学校内外景観 8 地点の

視野角度別の緑視率とその平均を示す。この表-12 から地点景観の種類により視野角度別の緑視率が異なることが分かる。また、視野角度別の緑視率の平均から、視野角度10°以上の緑視率が少し大きくなっている。このことから、景観の形状が、どのような場合も視野角度10°以上の範囲に緑があると言える。

### 3.2 視野角度別の注視点

被験者にアイマークレコーダを装着し、学校内外の8景観写真を各30秒間みてもらい、動視野の特性について調べた。各視野角度別にした結果、画像の注視点が水平方向、垂直方向ともに画面中央付近に分布した。特に、視野角度が小さいほど頻度が大きくなった。これは、被験者の注目が景観の画面中央付近に集中していると考えられる。

### 3.3 各アンケート調査結果

各アンケートによる学校内外8景観の評価は、各評価項目とも評点の平均値を中心に頻度が高く、正規性が認められる分布である。この結果から、全緑視率の値の高い地点6では、「環境」、「景観」、「緑の量」の評価の順位は高いが、「オープンさ」では、普通であった。地点3では評価項目全てにおいて順位は、「普通」か「若干悪い」となった。すなわち、緑視率が多くても、必ずしも評価が良くはない結果を示した。一方、全緑視率の低い地点7では、評価項目全てにおいて低い。地点5は、「環境」、「景観」、「緑の量」は低いものの、「オープンさ」は比較的良い評価の順位であった。これらのことから、全緑視率だけでは、アンケート評価に対する説明ができない。次に、アンケート調査2の結果は、アンケート調査1と比べて若干、平均値は低くなったが、ほとんど同様の順位結果となった。このことより、学校内外の8景観において実際に見た景観とプロジェクターで映した景観の評価の違いは、プロジェクターで

表-12 景観8地点の視野角度別の緑視率とその平均

各地点	緑視率 %					全緑視率
	0° ~ 5°	5° ~ 10°	10° ~ 20°	20° ~ 30°	30° ~	
地点1	1.8	1.6	14.9	17.6	12.2	48.0
地点2	0	0	0.7	8.5	9.2	18.4
地点3	4.1	5.7	20.8	16.9	17.8	65.2
地点4	2.4	4.1	21.3	20.1	9.4	57.2
地点5	0.3	0.9	1.5	1.4	1.1	5.2
地点6	3.6	16.4	18.1	17	12.8	67.9
地点7	0.1	0.2	0.2	0	0	0.5
地点8	0.3	1.9	10.1	8	8.1	28.4
平均値	1.6	3.9	11	11.2	8.8	36.4

よる評価では、評価の平均は低い。この傾向の差異はほとんど無いと考えられる。よって、各アンケート結果から、本研究では、各視野角度別に検討した。

## 4. 評価方法の検討

### 4.1 緑視率とアンケートの相関性

・視野角度別の緑視率と注視点数の相関性  
 静視野での視野角度0°~5°で相関係数が0.85、5°~10°では0.59となり、視野角度10°以上では負の相関もしくは無相関という結果を示した。すなわち、10°以上では緑に対する認識の悪い傾向がある。

### ・全緑視率とアンケート調査

アンケート調査1では、「環境」、「緑の量」は相関係数が0.67だが、「景観」は0.57、「オープンさ」は0.16だった。これより、「環境」、「緑の量」では緑視率がアンケート調査1に強く影響しているが、「景観」ではあまり影響はなく、「オープンさ」では緑視率が影響しないといえる。これは、アンケート調査2でもほぼ同様の結果となった。

### ・各視野角別緑視率とアンケート調査

アンケート調査1との相関係数は、「環境」、「緑の量」ともにどの視野角度も0.6~0.7あったが、「景観」では20°~30°以外は

相関係数が 0.6 以下であり、「オープンさ」は無相関だった。なお、アンケート調査 2 では「環境」、「緑の量」については、同様の結果となったが、「景観」、「オープンさ」については、アンケート調査 1 より相関性が無かった。

#### 4.2 重回帰分析によるアンケート予測との整合性

前記した相関性の結果をふまえ、次に各アンケート調査の評価と各視野角別緑視率との重回帰分析結果を以下に示す。視野角度  $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$  と  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$  以外は緑視率に多重共線性が認められたので、変数選択を行い、視野角  $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$  と  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$  の変数をまとめた

結果、重相関係数が有意水準 5% をほぼ上回ったので、重回帰式の設定は妥当であるといえる。よって、この重回帰係数から景観評価の予測値を出すことが可能であるといえる。また、アンケート調査 1 と 2 は、ほぼ同様の結果となった。そこで、アンケート調査 2 の重回帰結果から、検定用に出した 8 景観の各視野角別緑視率を代入した結果、重回帰式で算出した評価とアンケート調査 2 の評価との相関性が非常に高かったため、この重回帰式は実際と整合性がとれたと考えられる。

#### 5. まとめ

これらの結果から、以下のことが言える。

- 1) アイマークレコーダの視線追従試験結果から、被験者の画像の認識は、画面中央の注目度が高いので、中央付近における緑の量は各評価に大きく影響を与える。
- 2) 各アンケート調査と各視野角度別の緑視率との相関分析結果より、「環境」、「緑の量」では、各視野角度とも相関性は、ほぼあるが、「景観」では相関性は若干ある程度であり、また、「オープンさ」については、ほとんどない。
- 3) スペクトルメータの相関係数を求めた結果から、色彩的に 12 号館と広場と 14 号

館において、同様の傾向が示されたことが分かった。このことから、色彩的に多重共生性ができる組み合わせの景観を選んだ可能性があることが分かった。

4) 各視野角度別の緑視率とアンケート調査 2 との重回帰分析より、変数選択を行った事より有意水準に問題はない。この重回帰係数から重回帰式を用いて、検定用に出した 8 景観の各視野角別緑視率を代入した結果、高い相関性だった為、この重回帰式は実際と整合性がとれたといえる。

以上の結果から、 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$  および  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$  の視野角度による緑視率から評価を求めれば、難しいとされる人間の感覚にある一定の数値化を図れることができるといえ、本研究の視知覚特性を取り入れた緑化景観方法は有効であるといえる。