

緑化及び断熱材がコンクリートスラブの温度上昇・蓄熱に及ぼす影響

日大生産工
日大生産工

○湯浅 昇
北野幸樹

日大生産工
日大生産工 (PD)

川岸梅和
杉本弘文

1. はじめに

近年、都市のヒートアイランド現象や、地球温暖化といった環境問題に対する取り組みが本格化している中で、建設業界の果たす役割は大きく、特にコンクリートをはじめとする建築材料の分野において、それは真摯に取り組むべき課題といえる。例えばコンクリートは、不透水で保水・蒸発性能がなく、また同時に熱容量が大きいため、無対策のRC造の場合、夏季、日中に受けた日射熱が蓄熱され、夜間、外気および室内に放熱されることで熱帯夜の要因になること、また空調負荷の増大に繋がることが知られている。本研究は、建物や地表面の被覆、つまりは都市・建築の外皮（表面材、外装材）に着目し、植物や土壌がもともと持っている熱環境調整機能の利用の観点から、ヒートアイランド現象緩和や室内の空調負荷低減、さらには建物の高耐久化に寄与する建築材料のあり方を追及することを目的としている。

本稿では、緑化及び断熱材のヒートアイランド抑制効果をコンクリートの温度上昇や蓄熱・放熱の観点から、緑化として芝、セダム、土、コケ、断熱として外断熱、内断熱を施したコンクリート屋根スラブ試験体を比較することにより検討する。

2. 実験の概要

2-1. 実験の方法

緑化の断熱性能と、既存の断熱工法の温度変化特性を確認するため、2009年8月12日～31日のデータを今回の検討対象期間とし、本稿では検討対象期間で最も高い温度を記録した8月16日の8試験体のコンクリートスラブ表面温度と中央温度の推移、及び断面の温度分布の日変化を考察する。本実験では、試験体の断面（図2）に示すように、熱電対により、表面温度、コンクリート上面・中央・下面（底面）温度、コンクリートスラブ下の空間の空気温度を測定すると共に、外界気象条件として、気温、相対湿度、日射量、風向、風速、雨量を測定した。以上は1分間隔の自動計測である。表面温度については適宜手動計測による赤外線カメラでも確認した。測定場所は周辺の建物の陰にならないように考慮して、日本大学構内（千葉県習志野市）の4階建て建物屋上とした。

2-2. 試験体の概要

緑化の種類としては、屋上緑化で用いられることの多い姫高麗芝、セダムとして耐暑性に優れたメキシコマンネングサ、コケ植物としては乾燥に強く、緑化材として生産性のあるスナゴケ、その他に土のみのもの、断熱材は市場に出回っているもので高性能のものを選択し、外断熱工法及び内断熱工法を想定した試験体を作製する。さらに比較対象として、コンクリートに防水シート・反射防水シートを貼っただけの試験体を作製し、計8試験体とする。（図2）

コンクリートスラブは、蓄熱の影響をみるために厚さ150mm、中央で温度を測定することを考慮して480×380mmの大きさとし、側面は高性能断熱材で覆う。また、セダム、芝、苔、土のみの試験体には必要に応じて、それぞれ1日1回・10の散水を行った。

3. 結果及び考察

3-1. コンクリート表面温度及び中央温度からみた比較（図4・図5）

先ず、図3にてコンクリート表面温度の変化をみると、無対策（防水シート）試験体と比較して、日中に

表1 試験体に用いたコンクリートの調合表

| 28日強度 (N/mm ²) | 呼び強度 (N/mm ²) | スラブ厚 (cm) | 空気量 (%) | 水セメント比 (%) | 最大寸法 (mm) | 粗骨材率 (%) | 細骨材率 (%) | 単位水量 (kg/m ³) | 絶対容積 (l/m ³) | | | 重量 (kg/m ³) | | | 化学混和剤 (kg/m ³) |
|-------------------------------|------------------------------|--------------|------------|---------------|--------------|-------------|-------------|------------------------------|-----------------------------|-----|-----|----------------------------|-----|-----|-------------------------------|
| | | | | | | | | | セメント | 粗骨材 | 細骨材 | セメント | 粗骨材 | 細骨材 | |
| 21.2 | 24 | 18 | 4.5 | 58 | 20 | 46 | 180 | 99 | 313 | 363 | 313 | 820 | 973 | 3.1 | |

表2 使用材料の概要

| | 学名 | 日射反射率 | 備考 |
|------------|-----------------------|-------|----------------------------|
| 姫高麗芝 | Zoysia matrella | - | |
| メキシコマンネングサ | Sedum mexicanum | - | 8月中旬の葉丈(鉛直高さ)は45mm程度 |
| スナゴケ | Racomitrium canescens | - | 降雨がないと乾燥するが、降雨後は保水し色鮮やかになる |
| 断熱材 | - | - | 熱伝導率は(熱伝導率0.020 W/m・k) |
| 防水シート | - | 41.3% | 厚さ5mm 塩化ビニル樹脂系 |
| 反射防水シート | - | 67.0% | 厚さ5mm 塩化ビニル樹脂系 |

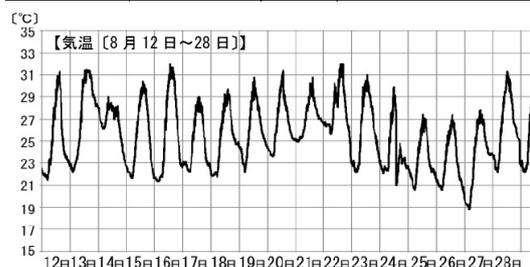


図1 検討対象期間の気温の推移

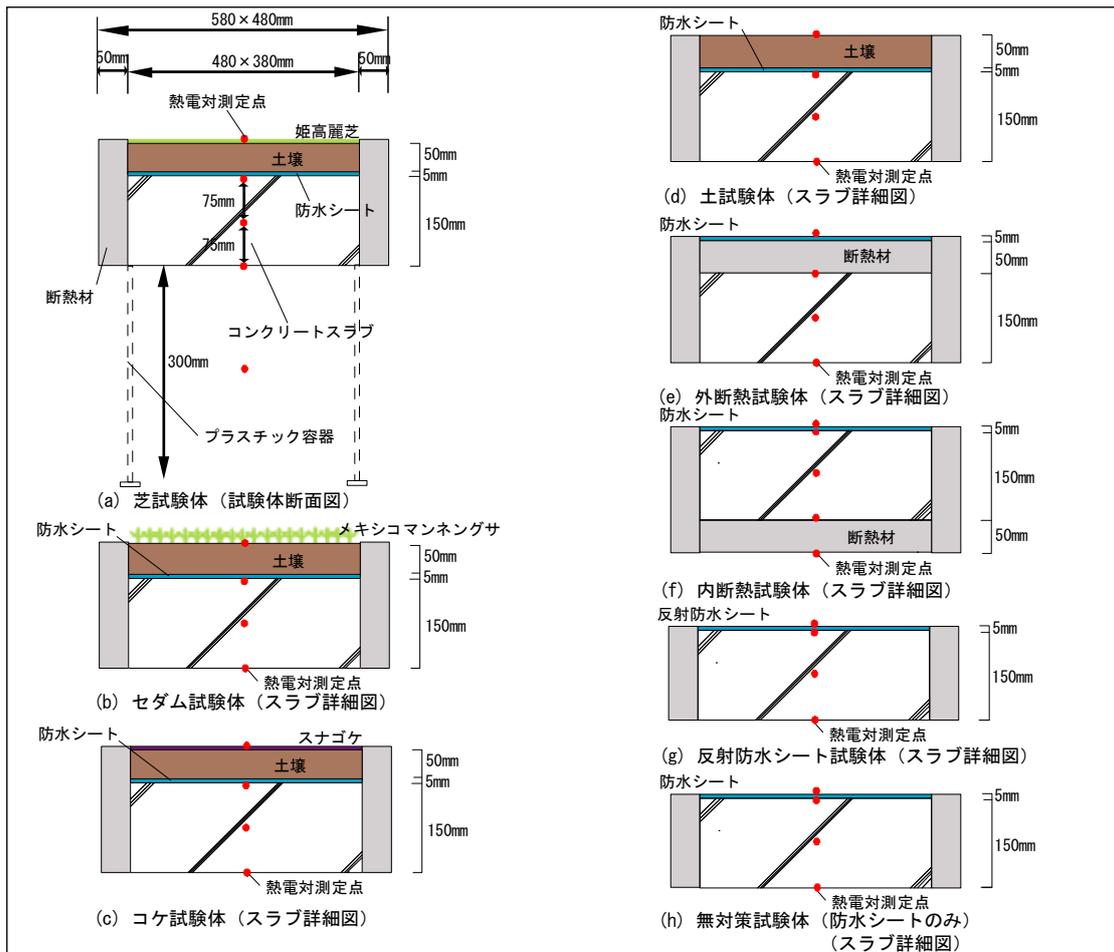


図2 試験体の概要

においては、外断熱及び内断熱試験体は温度が高い傾向がみられる。特に外断熱試験体は日中高温化（50～55℃程度）し、夜間の温度低下は著しく（25℃程度）、温度の日変化が大きいことが確認できる。一方、内断熱試験体は、夜間の温度低下幅は小さい。土のみの試験体及び緑化試験体（芝・セダム・コケ）は、無対策試験体と比較して表面温度は低い傾向がある。

また、緑化試験体（芝・セダム・コケ）に着目すると、セダム試験体は、日中の温度が 31～33℃程度となり、全 8 試験体中最も温度が低い試験体であると共に、夜間の温度変化幅は他の試験体に比べて緩やかである。芝及びコケ試験体は、セダム試験体に比べ日中高温化し、夜間の温度が低くなる傾向がみられる。芝試験体とコケ試験体では、温度低下が著しい時間帯に差異がみられる。（芝：15～19 時頃、コケ：17～19 時頃）

次に、図 4 にてコンクリートの中央温度の変化をみると、無対策（防水シート）、反射防水シート、内断熱試験体の 3 試験体は、日中に 38～41℃程度まで高温化し、夜間及び朝方に温度が低下することがわかる。特に内断熱試験体は、日中に温度が上昇す

るものの夜間の温度変化幅が小さく、コンクリート内への蓄熱が大きい試験体であると言える。

一方、緑化試験体（芝、セダム、コケ）と土のみの試験体、外断熱試験体の 5 試験体はコンクリート温度の日変化幅が比較的小さく、日中においても比較的コンクリートの温度上昇が抑えられていることがわかる。また、これらの 5 試験体は、温度ピークが無対策（防水シート）、反射防水シート、内断熱試験体と比べて 1～2 時間程度遅く、日変化幅も日中と夜間の温度差も小さい（4～7℃程度）ことから、断熱効果が確認できる。

緑化試験体（芝・セダム・コケ）においては、緑化層部分が保水・蒸発性能を有しており、蒸発冷却効果が期待できるが、土のみの試験体と緑化試験体で比較すると、緑化試験体では日中の表面温度及び中央温度が低く保たれ、コンクリートの蓄熱量（中央温度の上昇）も小さい。これは、緑化層の蒸発性能及び植栽と土の保水容量の違い、緑化層による日射遮蔽の影響によるものと考えられ、緑化層がコンクリート内部への蓄熱を防ぐ断熱効果を有していると言える。

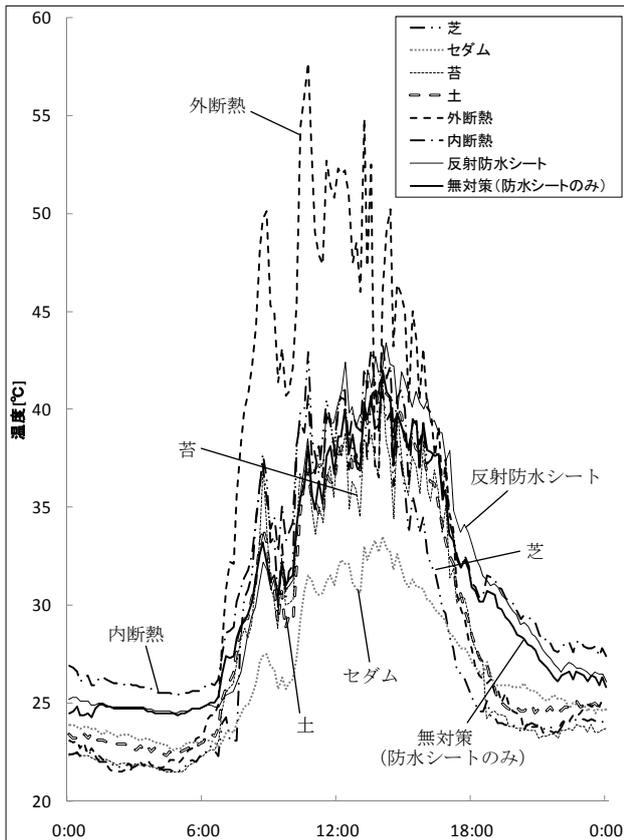


図3 コンクリートスラブの表面温度の推移 (8月16日)

3-2. 断面温度分布から見た比較 (図5)

図5より、全7試験体の2時間おきの断面温度分布の経時変化を考察する。

まず、緑化した3試験体(芝、セダム、コケ)に着目すると、土のみの試験体と比較して、コンクリート中央温度はいずれの試験体も低く抑えられており、日変化幅も小さい。このことから、緑化層は蒸発冷却効果等により、コンクリートへの蓄熱を抑える効果を有していることが窺える。また、セダム試験体においては、他の試験体に比べ、表面温度が低く、各時間帯において表面温度と中央温度の差が小さく、コンクリート部位の温度の日変化幅が小さい。

次に、断熱した2試験体(外断熱、内断熱)に着目すると、外断熱試験体においては、表面温度の日変化幅が大きい、断熱材より下層の中央温度及び下面温度の変化幅は小さく、温度も低いことが確認できる。一方で内断熱試験体は、コンクリート及び断熱材部分で温度の日変化が大きい(コンクリート中央温度で25~38°C程度)。また、無対策(防水シート)及び反射防水シート試験体においても内断熱試験体と同様の傾向が見られる。下面温度についても無対策(防水シート)、反射防水シート、内断熱の3試験体は、他の試験体に比べて日中に高温化している傾向がある。

各時間帯における温度変化をみてみると、緑化試験

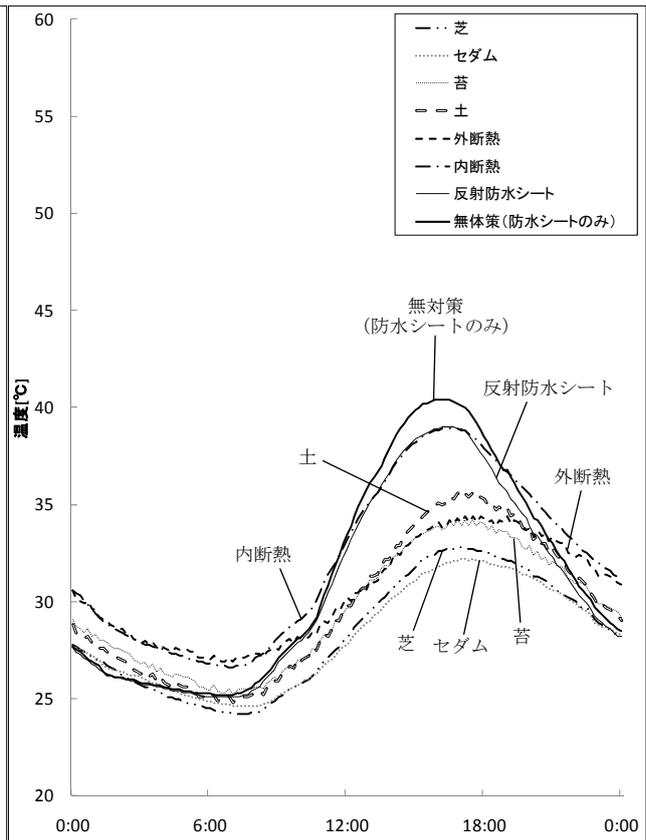


図4 コンクリートスラブの中央温度の推移 (8月16日)

体(芝、セダム、コケ)、土のみの試験体、外断熱試験体においては、コンクリート中央温度のピークが18時頃、無対策(防水シート)、反射防水シート、内断熱の3試験体においては、コンクリート中央温度のピークが16時頃となっており、中央温度ピークの時間帯に差異がみられる。これは、外気温にコンクリートの温度が追随する傾向があるほど、コンクリートの温度ピークが日中に近くなり、温度の日変化幅も大きくなることを表していると言えよう。

4. まとめ

本研究では、コンクリート屋根スラブを想定し、緑化(芝・セダム・コケ)試験体及び断熱を施した(内断熱・外断熱)試験体を用いて、夏季屋外実験を行い、緑化の種類や断熱工法の違いがコンクリートの温度上昇・蓄熱に及ぼす影響について検討した。得られた結果及び知見を以下にまとめる。

1) 夏季晴天日において、緑化(芝・セダム・コケ)試験体及び外断熱試験体は、コンクリートの中央温度の日変化幅は小さく抑えられることが確認された。また、1日のうち、中央温度が最も高くなった時点の温度をみてみると、緑化(芝・セダム・コケ)試験体は32~33°C程度、外断熱試験体は34°C程度となっており、緑化試験体の方がコンクリートの中央温度は1~2°C程度低く抑えられていることが確認された。

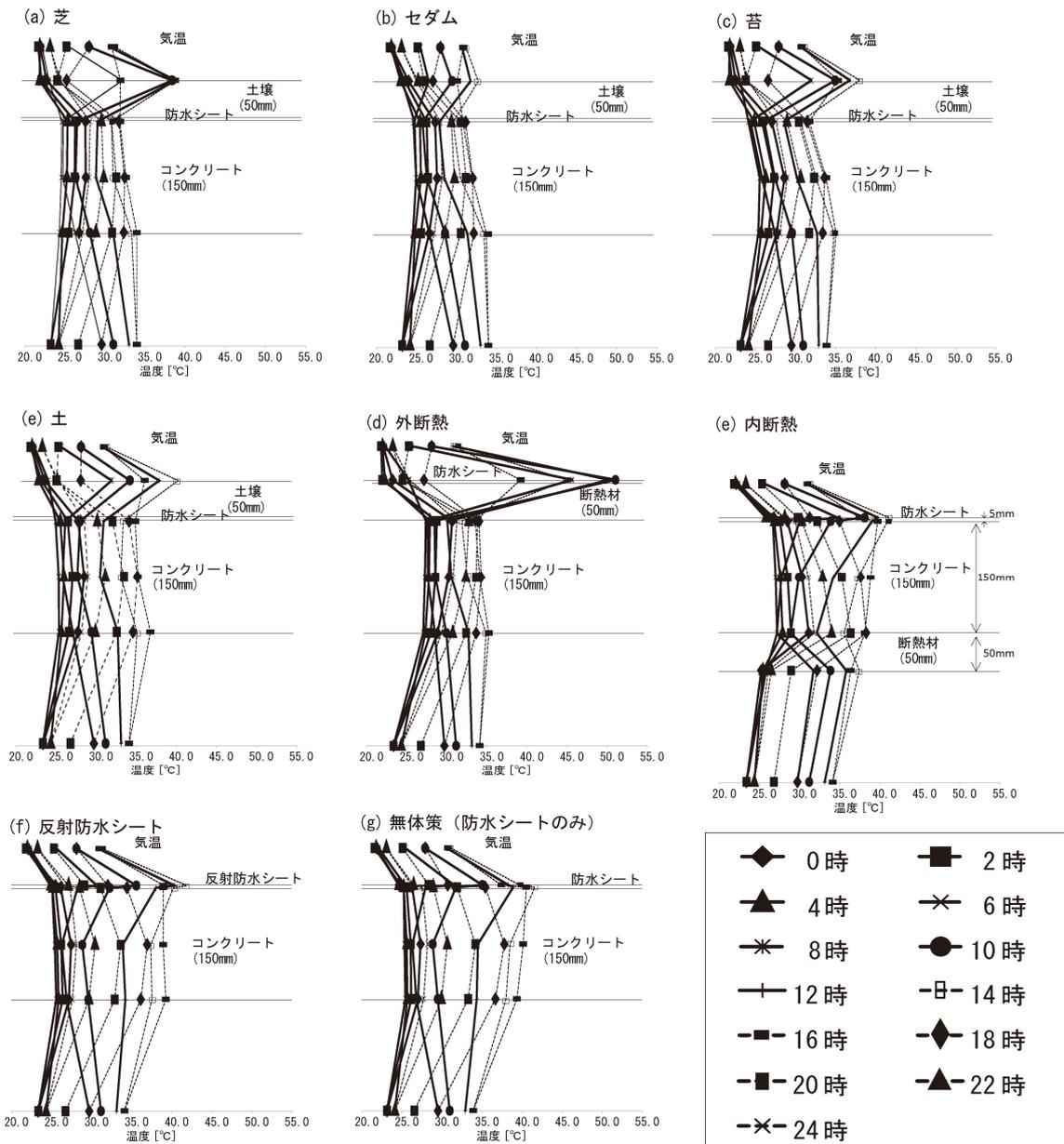


図5 断面温度分布の日変化 (8月16日)

加えて、緑化試験体は、表面温度を低く抑えられていることも確認された。

2) 緑化 (芝・セダム・コケ) 試験体と土のみの試験体を比較すると、表面温度及びコンクリート温度は緑化試験体のほうが低く抑えられており、緑化層の蒸発冷却効果や低熱伝導率性が確認できた。また、土のみの試験体を無対策 (防水シートのみ) 試験体と比較すると、表面温度・コンクリート温度共に低く抑えられており、土壌にも少なからず、コンクリート高温化抑制効果があることが認められた。

今回の検討対象期間 (2009年8月) においては、冷夏であり、真夏日を記録する日が殆どなく、高温が連続した期間もみられなかったことから、コンクリートへの蓄熱も例年に比べ少なかったと考えられ、

蓄熱・放熱の観点からの検討及び緑化層の蒸発冷却効果からの検討を今後も継続して観察を行う必要がある。同時に、施工性やメンテナンス、コストパフォーマンスの観点から、緑化試験体と機能性塗膜 (断熱・遮熱塗料、高反射塗料) を施工した試験体との比較検討と共に、植栽の生育条件や散水効果等についても検討を進める必要がある。

参考文献

- 1) 湯浅昇・円井基史・梅干野晃：緑化及び断熱材がコンクリートスラブの温度上昇・蓄熱に及ぼす影響，第34回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集，pp.35～40，2007年11月
- 2) 梅干野晃・何江・堀口剛・王革：芝生葉群層の熱収支特性に関する実験研究 屋上芝生植栽の熱環境調整効果 第1報，日本建築学会計画系論文集，第462号，pp.31～39，1994年8月
- 3) 垣鏑直・溝口忠・雨海清一郎・石橋龍吉：薄層屋上緑化ユニットの熱的性能に関する実験的研究，日本建築学会計画系論文集，第578号，pp.79～84，2004年4月
- 4) 須崎裕一・涌井史郎・飯島健太郎：スナゴケ植栽による断熱及び気温緩和について，日緑誌，30 (1)，pp.56～61，2004年