

緑化ポーラスコンクリートに関する研究

岡林 悦子*・田中 光徳*・徳山 ミヨージン*・難波 礼治*・岡林 巧**

*第一工業大学 社会環境工学科 (〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1-10-2)

**国立鹿児島工業高等専門学校 都市環境デザイン工学科 (〒899-5193 鹿児島県霧島市隼人町真孝1460-1)

Research on Greening Porous Concrete

Etsuko OKABAYASHI* Mitsunori TANAKA* Myo KHIN TOKUYAMA*
Reiji NANBA* Takumi OKABAYASHI**

Abstract

Global warming becomes a big problem for the terrestrial environment, and greening is expected very much as one of the various global warming countermeasures. Many kinds of porous concrete (PoC) specimens were made by using Shrasu, pumice and various aggregates peculiar to Southern Kyushu in this research. This porous concrete (PoC) is the one that the relaxation of the load of the amelioration of people's living environments and the ecosystem was made a purpose. In addition, an automatic thermometry by the automatic thermometry provision (Datarroga: Tokyo instrument) was done about these specimens. Because the consequence that accumulated these data of about two years was examined and considered, it reports to here.

Key words : *Global warming, Porous concrete (PoC), Shirasu, Pumice, Temperature study*

1. はじめに

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル) 第4次報告書(2007)は、平均気温や海面水位の上昇、積雪面積の減少などからみると、温暖化が起こることは疑う余地のないこととしている。また、地表の平均気温は、1906～2005年の100年間で0.74℃も上昇していることが報告されている¹⁾。この100年間の上昇を見ると、前半50年の上昇と後半の50年の上昇では、1956～2006年の50年の上昇率が前半の2倍となり、1981～2006年の25年間の上昇率はさらに高くなっている。また、1995～2005年の約10年はさらに上昇している。これらのことから温暖化が近年、加速していることがわかる。気温上昇は地

球全体で均等に生ずるのではなく、高緯度地域のほうが大きく、また温室効果ガスの排出の大きい北半球が高いと予測されている。

気温が上昇すると大気中の水蒸気も増加することになる。この水蒸気は二酸化炭素より大きな温室効果を持つとされる。このような気温上昇は海水の膨張や、氷河・極氷の融解による海面上昇をもたらし、気温や降水量の変化は生態系にも大きな影響をおよぼすと考えられる。植物の植生を決める気候帯が、北半球では北または高所へ移動する。植物にはそれぞれ固有の移動速度があり、それが気候の変化に追いつけなかった場合に、その種は絶滅に追い込まれる。

鹿児島県でも、過去25年の7月の経日最高気温

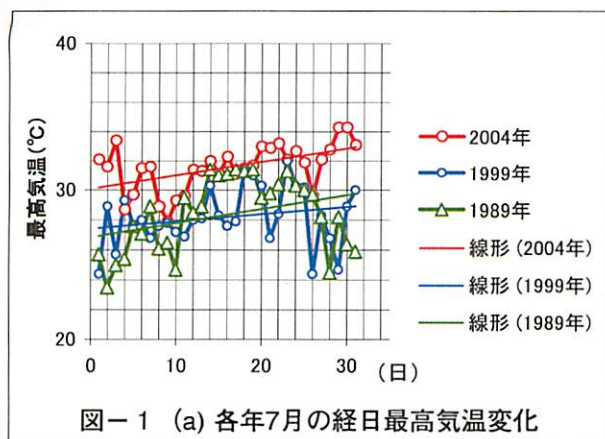


図-1 (a) 各年7月の経日最高気温変化

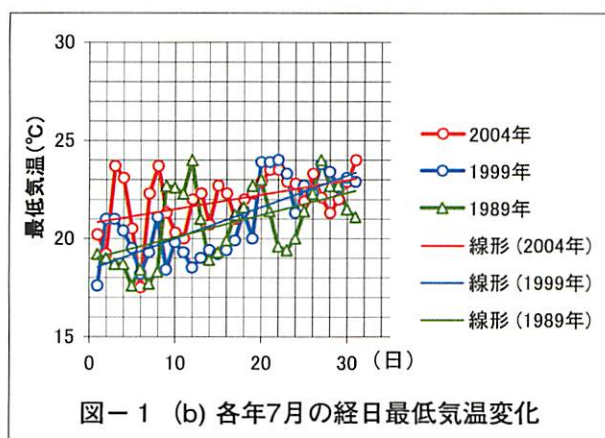


図-1 (b) 各年7月の経日最低気温変化

変化(図-1a)と、経日最低気温変逆転し化図-1b)の比較で明らかのように、2004年がともに高くなっている。鹿児島県はカワゴケソウ科のカワゴケソウ(危惧1A:環境省)など全国で最も絶滅危惧される種が多く、開発地などでの植物群が単純化していることも憂慮される。昆虫類では、台湾など南方系の蛾の一種であるキオビエダシャクが鹿児島県内外で異常増殖し、ラカンマキ、イヌマキなどマキ類に甚大な被害を与えている。このように私たちの目にみえるところで、温暖化の影響は確実に現れ始めている。

このような背景にあって屋上緑化、壁面緑化、路上緑化、護岸緑化、法面緑化など非緑化部の緑化が大きくクローズアップされるようになってきた。そこで本研究では南九州特有のしらす・軽石や様々な骨材を用いたポーラスコンクリート(PoC)緑化基盤を、人の生活環境の改善と生態系の負荷の緩和を目的にした多様な供試体を作成した。さらに、これらの供試体について、自動温度計測装置(データロガー:東京測器)による自動温度計測を行った。これら約2年間のデータを集積し、その結果について検討、考察を行ったので、ここに報告する。

2. しらす・軽石について

火山の噴火では、さまざまな火山碎屑物(テフラ)が噴出する。この火山碎屑物は、降下火山碎屑物(降下テフラ)と火砕流堆積物に分類される。この中で降下火山碎屑物は桜島噴火堆積物として、桜島周辺に分布し降下軽石、降下スコリア、降下火山灰がこれにあたる。火砕流堆積物には火山灰流堆積物、軽石流堆積物、熱雲堆積物がある。しらすは、火砕流堆積物由来のもので、火山ガラス、軽石、スコリア、安山岩を主体とする岩片、斜長石・石英・紫蘇輝石等を含む結晶鉱物により組成されている。特に、軽石はしらすと鉱物組成が同じで珪酸 SiO_2 分が多いものをさし、マグマの上昇とともにガスが抜け発泡した結果多孔質を呈する。一方、スコリアは軽石と鉱物組成は同じで珪酸 SiO_2 分の少ないものである。

南九州におけるしらすは、総面積約4,700 km^2 にもおよび、この内約72%が鹿児島県、27%が宮崎県、1%が熊本県に分布している。これらのしらすは、いくつかの誘因によって災害が頻発することから地盤工学の分野では特殊土に分類されている。特に問題となるしらす災害は、豪雨および地震時による斜面崩壊と、沖積地盤、埋立地盤に生じる地盤災害に分類される。近年ウオーターフロントを始めとする海洋開発が南九州においても盛んに行われるようになり、しらすは埋立用材として利用されている。また、しらすや軽石は、一般の砂と比較して比重が小さくポーラスであることなどの特性を持ち、建設用材として多方面で活用されている。当学科の一連の研究でもしらす・軽石は、保水性、透水性、保湿性などの特性をもつことが報告されている。

3. 供試体の作成と温度センサーの設置

ポーラスコンクリート供試体は設計条件が充填率45%~40%、水セメント比25%、混和材はMIGHTY150(密度:1.00)、フロー値210~240mmとなるよう設定し、比較用に普通コンクリートの供試体も作成した。形状は70cm×30cm×10cmの平板と53cm×15cm×15cmの角柱とした。混和骨材は普通コンクリートには海砂(南大隈・根占産)を使用し厚みを9cmの薄いものと11cmの厚いもの、ポーラスコンクリートはしらす・軽石(鹿屋古江産)を用いたものと、安山岩(高山産:横山砕石)を用いたもの、再生骨材を用いたもの、麦飯石を用いたものを用意し、それぞれについて配合設計を行った。すべての供試体の中心に温度センサーとして熱伝対を雨水が入り込まないように設置した。基準となる気

温、水温の他に、地表面温度（木陰）、地下 50cm と地下 100cm の 5 箇所にも温度センサーを設置した。それぞれの設置番号は次の 20 通りである。

①気温、②地下 100cm、③地下 50cm、④地表面温度（木陰）⑤チーク材を表面に撒いた普通コンクリート⑥ポーラスコンクリート：PoC（軽石 P-3）⑦普通コンクリート（角柱）⑧ PoC（5 号砕石 D-5）（角柱）⑨ PoC（軽石 P-20）⑩ PoC（6 号砕石 D-6）⑪普通コンクリート（薄）⑫普通コンクリート（厚）⑬普通コンクリート + PoC（海砂）⑭普通コンクリート + PoC（軽石 P-20）⑮ PoC（軽石 P-5）⑯植生 PoC（軽石 P-2）⑰植生 PoC（6 号砕石 D-6）⑱水温⑲植生 PoC（軽石 P-5）⑳植生 PoC（再生骨材）㉑植生 PoC（麦飯石）

なお、代表的な供試体は図-2、3 のようになる。図-2 はポーラスコンクリートの PoC（軽石 P-20）、図-3 は植生ポーラスコンクリートの植生 PoC（軽石 P-5）である。

⑤～㉑の供試体それぞれの中心に温度センサーを埋め込み、2007～2009 年まで自動温度計測装置（データロガー：東京測器）による自動温度計測を行った。①気温、②地下 100cm、③地下 50cm、④地表面温度（木陰）⑰水温は比較するために温度センサーを設置した。供試体の日照条件はすべて同じで

設置条件は

- 1) 2007 年 7 月～2008 年 1 月：供試体を実験棟前のコンクリート基盤の上に直接置いた状態で、30 分ごとの連続計測、
- 2) 2008 年 8 月～2009 年 1 月：供試体を実験棟前のコンクリート基盤の 50cm 上に格子状の台を置き、その上に置いた状態で 1 時間ごとの連続計測とした。

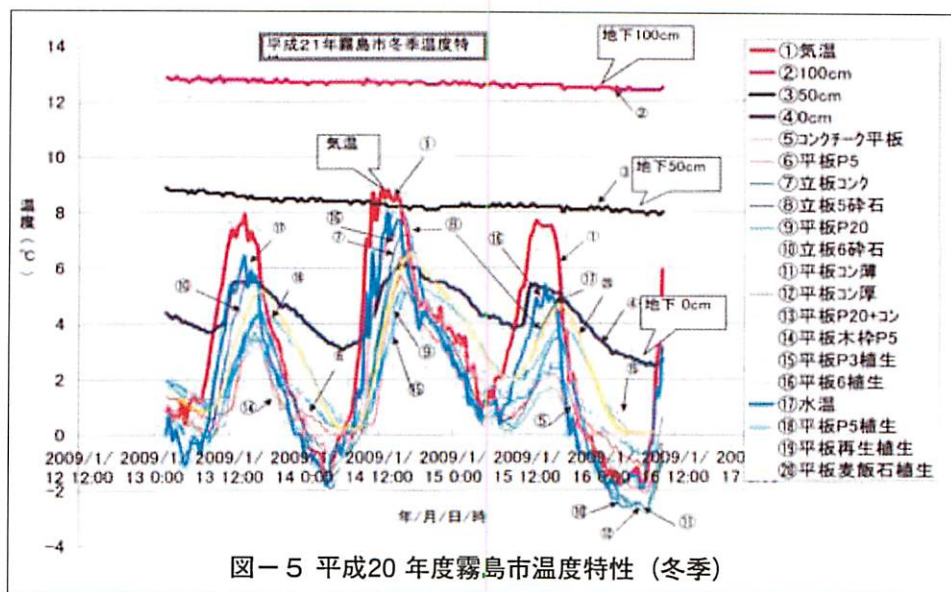
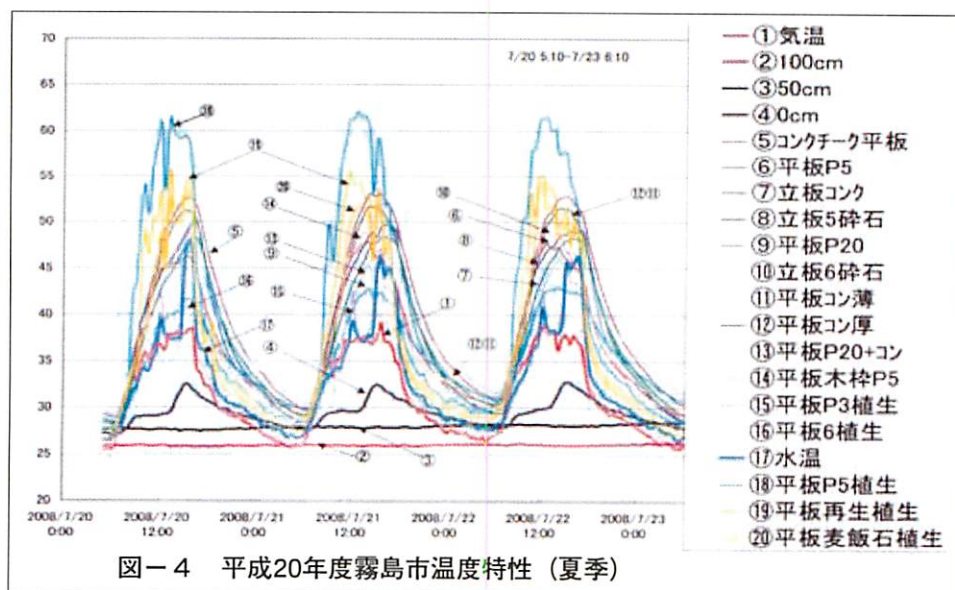
4. 緑化による効果

緑地は日中表面から盛んに水蒸気を蒸発させている。これによって様々な効果をもたらすが、その他にも実に多様な効果をもたらしている。その効果を分類すると 1) 物理的效果、2) 生態的效果、3) 生理・心理効果、4) その他の効果に分類される。1) 物理的效果には①空気浄化効果②ヒートアイランド軽減効果③緑陰の熱遮蔽効果④防風効果⑤雨水貯留効果⑥加湿効果⑦騒音低減効果⑧防火防熱効果⑨断熱効果⑩建築物の保護効果が、2) 生態的效果では①鳥類の誘致・保護効果②昆虫類の誘致・繁殖効果、3) 生理・心理効果では①リラックス効果②リフレッシュ効果③景観向上効果④植物揮発成分による効果、4) その他の効果では①環境教育効果などがあげられている。

5. 計測結果および考察

自動温度計測は 2006 年から実施した。連続的な計測は 2008 年 7 月～2010 年 1 月まで行った。図-4 は 2008 年 7 月 20 日、21 日、22 日（夏季晴天日）における気温、地表面、地下 50cm、地下 100cm、水温と各供試体の内部の温度測定結果である。夏季はすべての供試体の内部温度が気温を上回っていることが分かる。各供試体をコンクリート基盤の上に直接載せたため、植生芝は周囲コンクリート基盤の熱を直接吸収するようになり、枯れやすく、その影響をうけて、高い温度特性を示した。図-5 は 2009 年 1 月 13 日、14 日、15 日（冬季晴天日）の気温、地表面、地下 50cm、地下 100cm、水温と各供試体の内部の温度測定結果のグラフである。冬季は逆にすべての供試体の内部温度が気温を下回る結果となった。さらに各供試体の最高温度となるピークが遅れて出ていることも分かる。この図-4、図-5、2 つグラフから、地表面、地下 50cm、地下 100cm の温度は高い順に夏季は地表面＞地下 50cm＞地下 100cm、冬季は地下 100cm＞地下 50cm＞地表面と全く逆



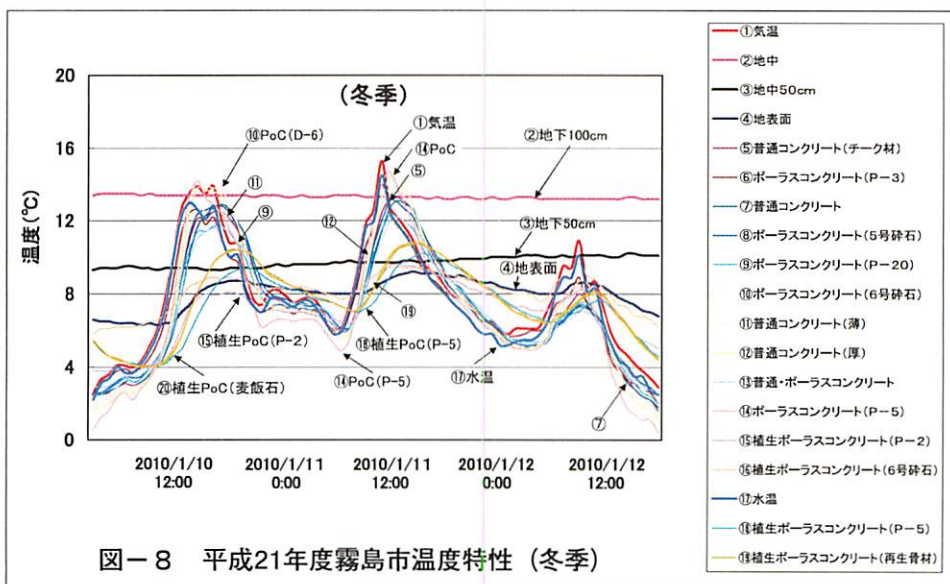
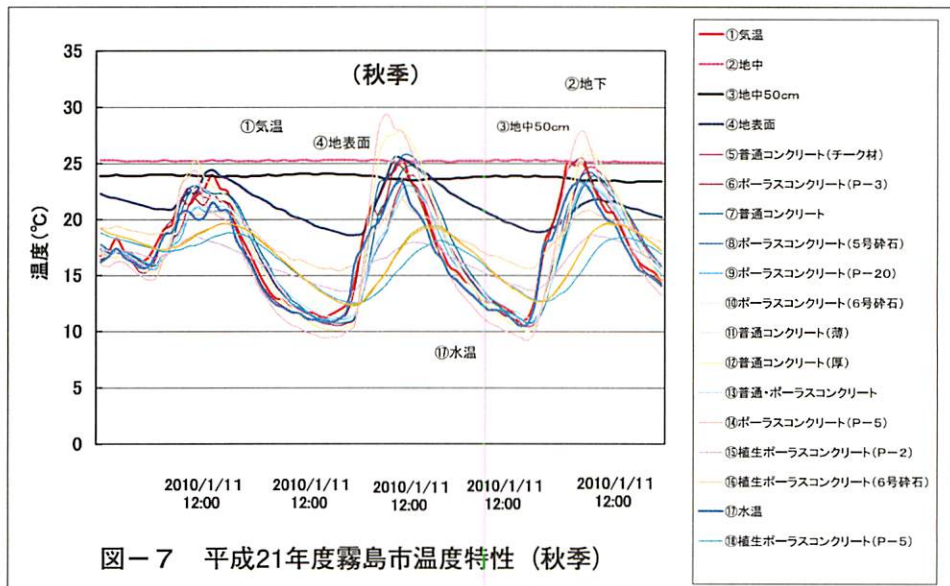
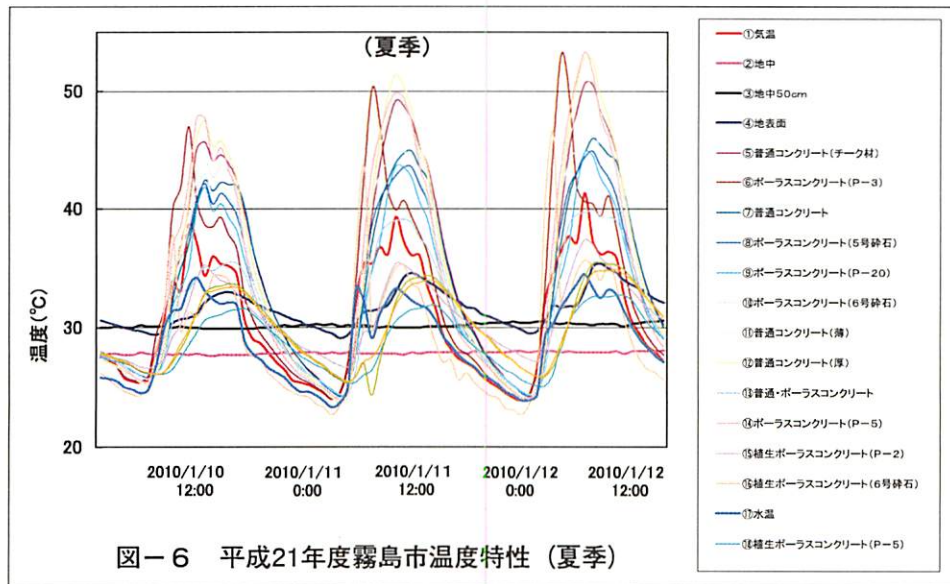


転していることが分かる。特に、地下50cm、地下100cmの温度は夏季、冬季ともに、日中の温度変化がほとんどなく一定であることがわかる。

図-6～図-12のグラフは2009年8月以降2010年1月までの温度計測結果を元に作成したものである。図-6は2009年8月における気温、地表面、地下50cm、地下100cm、水温と各供試体の内部の温度測定結果である。図-6は8月のデータの中から晴天の代表的な曲線を描く8月20日、21日、22日の連続3日間の温度変化を示している。気温を基準値として比較すると、植生PoC系はすべてそれより低い値を示している。その中でも植生PoC(P-5)の軽石を用いた供試体の最高温度が最も低く、1日の最高と最低の温度差が最も小さい。同じ植生PoC

系の中で植生PoC(D-6)の碎石を用いたものは、1日の最低気温が最も低く温度差もこの中では大きい。植生PoC系以外のPoC系や普通コンクリート系はすべて気温より高い温度を示している。地表面、地下50cm、地下100cmの温度は高い順に地表面>地下50cm>地下100cm、で、気温よりかなり低く、地下50cmで約30℃、地下100cmで約28℃となり、1日の温度変化は殆どない。

図-7は2009年10月(秋季)における気温、地表面、地下50cm、地下100cm、水温と各供試体の内部の温度測定結果である。連続した代表的晴天の10月20日、21日、22日の計測温度結果を示している。気温を基準値として比較すると、植生PoC系はすべてそれより低い値を示している。その中でも植生



PoC (P-5) つまり軽石を用いたものの日中最高気温が最も低く、さらに、1日の最高・最低の温度差が最も小さい。同じ植生 PoC 系の中で植生 PoC (D-6) の砕石を用いたものは、1日の最高気温が最も高い。植生 PoC 系以外の PoC 系や普通コンクリート系は、PoC (P-5) を除き気温とはほぼ同様な温度を示している。地表面、地下 50cm、地下 100cm の温度は高い順に 100cm > 地下 50cm > 地表面となり、夏季の順位と逆転している。また、地下 50cm は約 24℃、地下 100cm は約 25℃と、気温より低い温度で、ともに1日の温度変化は殆どない。

図-8 は 2010 年 1 月 (冬季) における気温、地表面、地下 50cm、地下 100cm、水温と各供試体の内部の温度測定結果である。連続した代表的晴天の 1 月 10 日、11 日、の計測温度結果を示している。気温を基準値として比較すると、非植生 (普通コンクリート、PoC 系)、植生 PoC 系ともに気温より低い値を示している。その中でも植生 PoC 系は 1 日の最高気温が低く、1日の最高・最低の温度差も小さい。1 月 11 日に 14℃を超えたものは PoC 系で、角柱タイプの PoC (D-6) と PoC (P-5)、普通コンクリートである。地表面、地下 50cm、地下 100cm の温度は高い順に 100cm > 地下 50cm > 地表面となり、秋季の順位と同じである。また、地下 50cm は約 10℃、地下 100cm は約 13℃と、気温より低い温度で、ともに1日の温度変化は殆どない。

図-9 は 2009 ~ 2010 年 (夏季、秋季、冬季) における気温、地表面、地下 50cm、地下 100cm、水温

と各供試体の内部の温度変化を同一温度軸で比較したグラフである。

気温は赤、地表面は青、地下 50cm は黒、地下 100cm はピンク、植生 PoC 系、非植生 PoC 系はそれぞれの色となっている。気温、地表面、地下 50cm、地下 100cm、水温、植生 PoC 系と PoC 系の季節による変化がよくわかる。

図-10 はこれらのデータの中から平板タイプの各供試体について、代表的な夏季 (8/21)、秋季 (10/21)、冬季 (1/11) の温度比較を行ったものである。最高温度比較は (a)、最低温度比較は (b)、最高温度から最低温度を引いた各温度差は (c) のグラフとなっている。グラフ (a)、(b)、(c) ともに赤は夏季 (8/21)、黄色は秋季 (10/21)、青は冬季 (1/11) を示している。赤線はそれぞれ夏季 (8/21) の最高・最低気温とその温度差を、青線は冬季 (1/11) の最高・最低気温とその温度差を基準値として表わしている。各円はそれぞれ非植生 (普通コンクリート、PoC 系) と植生 PoC 系を囲ってある。

図-10 最高温度比較 (a) では、a-1: 非植生 (普通コンクリートと PoC 系) が基準 (最高気温) より高く、a-2: 植生 PoC 系は低くなっている事が分かる。a-1: 非植生 PoC を比較すると軽石の径の大きい P-20 が最も低く、a-2: 植生 PoC でも軽石を用いた P-5 が最も低くなる。冬季 (1/11) は当日の最高気温を超える供試体はなく、a-3: 非植生 (普通コンクリート、PoC 系) が、a-4: 植生 PoC 系より少し高くなる程度である。

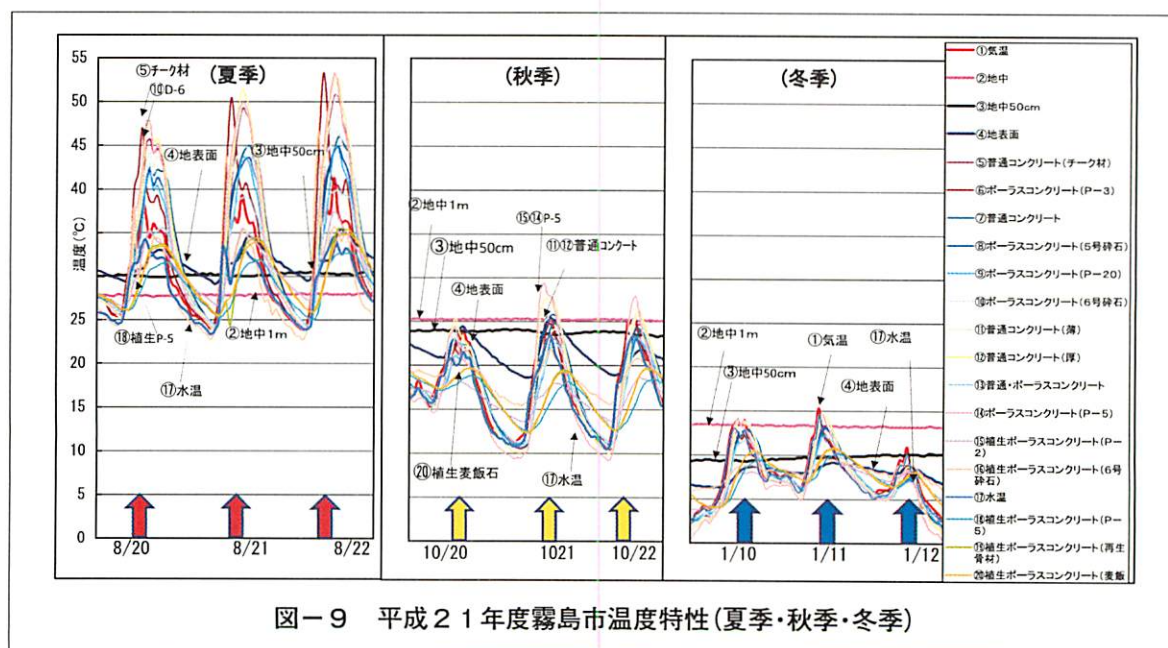


図-9 平成21年度霧島市温度特性(夏季・秋季・冬季)

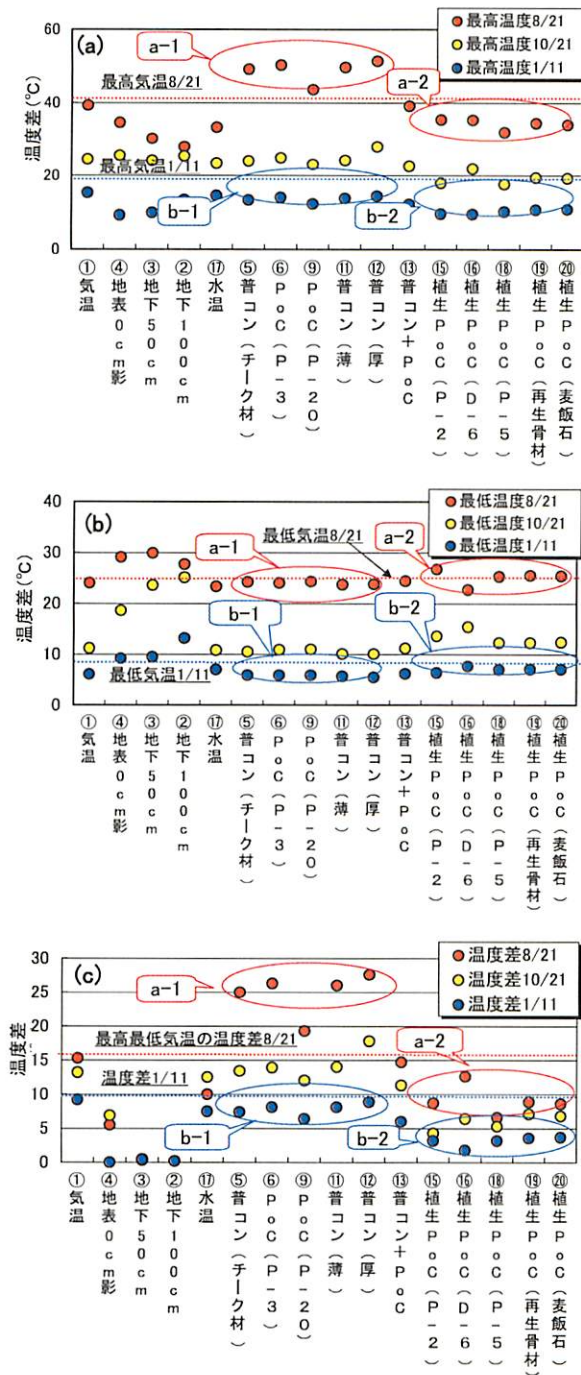


図-10 最高温度, 最低温度, 温度差比較グラフ(a,b,c)

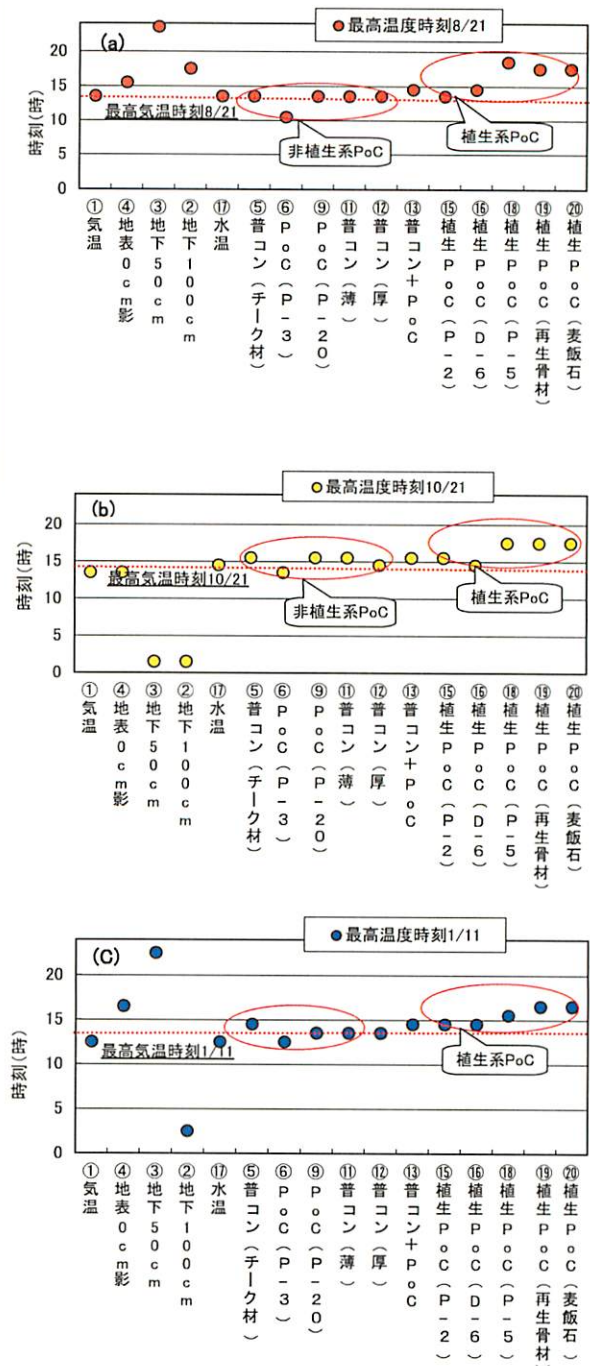


図-11 最高温度時刻比較グラフ(a,b,c)

図-10 最低温度比較 (b) では b-1: 非植生 (普通コンクリートと PoC 系) が最低気温とほぼ同じで、b-2: 植生 PoC 系が少し高くなる。b-1: 非植生 (PoC と普通コンクリート) で供試体の種類による差は見られない。b-2: 植生 PoC では碎石を用いた D-6 が他の植生 PoC より高くなる。冬季 (1/11) には当日の最低気温を超えるものがなく、b-3: 非植生 (普通コンクリート、PoC 系) が、b-4: 植生 PoC 系よ

り少し高くなる程度である。

図-10 温度差比較 (c) は夏季、秋季、冬季の最高気温と最低気温の温度差を示している。温度差が小さい程、外気温による影響は軽減される。温度差は c-1: 非植生 (普通コンクリート、PoC 系) で夏季、秋季、冬季ともに大きく、c-2: 植生 PoC 系で小さくなる。このことから、植生 PoC 系は外気温から内部への熱伝達を緩和させる効果があることが分か

る。地下 50cm、地下 100cm では夏季、秋季、冬季ともに 1 日の温度差はほとんどない。

図-11 (a)、(b)、(c) はグラフ (a) が夏季 (8/21)、グラフ (b) が秋季 (10/21)、グラフ (c) が冬季 (1/11) の各最高温度に達した時刻を表したものである。非植生 (普通コンクリート、PoC 系) では夏季、秋季、冬季ともに気温が最高になる時刻に約 1 時間遅れるが、植生 PoC 系では 2～3 時間程遅くなる。しかし、碎石を用いた植生 PoC (D-6) はいずれも 1 時間遅れとなる。碎石を使った PoC は温度面でも気温の影響を受けて、他の供試体より高く、また低くなりやすい。地下 50cm、地下 100cm の最高温度は気温の最高時刻から 11～12 時間 (約半日) 遅れ、特に、地下 100cm の温度変化は夏季で 0.1℃、秋季で 0.2℃、冬季で 0.2℃ とほとんど変化しない。以上の結果から

- 1) 非植生系では、普通コンクリートで厚みの大きいものが最も外気の影響を受け易い。
- 2) 植生 PoC は碎石 > 再生骨材 > 麦飯石 > 軽石の順に外気温の影響を受け易く、骨材としては軽石の大きいほうが影響を受けにくい。
- 3) 夏季の最高気温は 40℃ となり、普通コンクリートは 50℃ を超えたが、植生 PoC (軽石 : P-20) は 32℃ と低く、気温の最高、最低温度差 28℃ が植生 PoC (軽石 : P-20) では 6.6℃ となり、75% ほど温度差は小さくなった。
- 4) 最高温度が高い供試体は最高温度到達時刻が早くなった。
- 5) 地下 50cm の温度は気温変化に 11～12 時間 (約半日) 遅れて変わり、地下 100cm では 1 日中温度変化はない。夏季には温度の高い順に地下 100cm > 地下 50cm > 地表面となったが秋季には地表面 > 地下 50cm > 地下 100cm 逆転し冬期も同様であった。

謝辞

本研究では PoC 作成にあたり、社会環境工学科の原口立見非常勤講師に多大な御尽力と御協力を頂いた。ここに記して深く謝意を表する。

参考文献

- 1) 地球温暖化 IPCC 第 4 次報告書試料集 2009 2-1 上昇する世界の気温 3-16 日本列島の植生への影響
- 2) 町田 洋 荒井房夫 : 火山アトラス「日本列島とその周辺」 東京大学出版会 pp.60-62 .1994
- 3) 地盤工学会 : 土質試験の方法と解説 pp.779-780 1993
- 4) 「A STUDY ON ECOLOGICAL CONCRETE WITH CONTINUOUS OF VOIDS」
M.TAMAI・M.TANAKA :
Concrete for Environment Enhancement and protection.
Edited by R K Dhir and T D Dyer, Published in 1996 by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN.UK.ISBN 0 419 21450X.
- 5) 「シラス軽石を用いた多孔質コンクリートの空隙と吸湿性」田中光徳・玉井元治・関口 修 : セメント・コンクリート論文集, (社) セメント協会 No51 (152) ,PP888-893 (1997,5)
- 6) GT「多孔性コンクリートを用いた河川浄化に関する研究」田中光徳・玉井元治・岡林悦子 : セメント・コンクリート論文集, (社) セメント協会 No52, PP772-777 (1998,5)
- 7) 「緑化ポーラスコンクリートの適用に関する研究」田中光徳・岡林悦子・徳山ミヨーキン : 第一工業大学研究報告 第16号 PP78-88 (2003,10)
- 8) 「早期樹林化に関する基礎的研究」その 2 (南九州の火山性土壌の保水・保肥特性) 岡林悦子・田中光徳・徳山ミヨーキン・岡林 巧 : 第一工業大学研究報告 第16号 PP63-68 (2003,10)
- 9) 「地域資源シラスのエコマテリアル化に関する研究」その 1 田中光徳・徳山ミヨーキン・岡林悦子 : 第一工業大学研究報告 第17号 PP39-47 (2005,3)
- 10) 「Porous Concrete Blocks as Natural Cleansing System in Coastal Environment」
M.TAMAKA・MYO KHIN・
E.OKABAYASHI・T. OKABAYASHI :
Recent Advance in Marine Science and Technology, PP81-90, PACON, University of Hawaii, USA 2007 June