

# 木炭コンクリート

熊本大学工学部建築学科

村上 聖

## 1. はじめに

1991年に熊本県を襲った台風第19号は、熊本県に甚大な被害を与え、大量の風倒木が発生した。当時、熊本県林業振興課から台風被害による風倒木や間伐材を木炭化し、それをコンクリートへ有効利用できないかという話があり、当研究室において木炭コンクリートの研究に着手することになった。

木炭は、一般に黒色、軽量、吸湿・吸水・保水性、断熱・耐熱性、吸音性、導電性、活性炭作用、微生物賦活作用、弱アルカリ性などの様々な特性を有している。そこで、当研究室では、それらの木炭の特性に着目し、木炭を混和材としてコンクリートに分散混入した木炭コンクリートの適用可能性について実験的検討を行ってきた。

1994年3月の日本建築学会九州支部研究発表会で、「木炭混入モルタルコンクリートの特性に関する実験的研究」と題して、木炭の黒色顔料としてのカラーコンクリートへの利用、木炭の吸水・保水性を想定した自己養生コンクリートへの利用等について報告している。それ以降も、木炭の導電性を想定し、通電による自己発熱効果や電波シールド効果について実験的検討を行い、学協会等で講演発表を行った。また、1998年に技術書院発刊の「コンクリート総覧」のP635に木炭コンクリートの分類で、自己養生、導電性、着色性等の多機能コンクリートとして当研究室の研究が引用紹介された。

これまでの実験的研究を通して、木炭を混和材としてコンクリートに分散混入した場合、木炭がセメントペーストに被膜されるために、木炭の特性が明確に効果として現れない場合もあることが実験的に確認されており、現時点までの木炭コンクリートの適用可能性に関する総括的な取りまとめが今後の研究展開には必要と考えられる。そこで、本報告では、現在大分大学准教授の大谷俊浩氏が熊本大学学位請求論文（2005年6月）として研究成果を取りまとめた「木炭混入緑化コンクリート」、当研究室で実施した「木炭混入導電性コンクリート」、「木炭混入自己養生コンクリート」、「木炭混入構造体コンクリート」を取り上げ、その適用可能性について総説する。

## 参考文献

- 1) 村上聖ほか：木炭混入モルタルコンクリートの特性に関する実験的研究、日本建築学会九州支部研究報告、pp.57-60、1994.3
- 2) 大澤貴之ほか：各種混和材料によるコンクリートの電波シールド効果、日本建築学会九州支部研究報告、pp.89-92、1995.3
- 3) 大澤貴之ほか：多機能コンクリートの開発研究、日本建築学会中国・九州支部研究報告、pp.121-124、1996.3
- 4) 大谷俊浩ほか：木炭を利用した多機能コンクリートの開発研究、日本建築学会九州支部研究報告、pp.57-60、1997.3
- 5) 大谷俊浩ほか：木炭の多機能コンクリートへの用途開発、セメント・コンクリート論文集、pp.876-8881、1997
- 6) 三角加奈絵ほか：木炭を利用した多機能コンクリートの開発研究 その1 実験概要、日本建築学会九州支部研究報告、pp.69-72、1998.3
- 7) 大谷俊浩ほか：木炭を利用した多機能コンクリートの開発研究 その2 実験結果及び考察、日本建築学会九州支部研究報告、pp.73-76、1998.3
- 8) 笠井芳夫編著：コンクリート総覧、技術書院、1998
- 9) 大谷俊浩：ポーラスコンクリートの強度特性と応用技術に関する研究、熊本大学学位請求論文、2005

## 2. 木炭の特性

ここでは、木炭の一般的特性について概説する。

### 2.1 木炭の製造（炭化技術）

炭化技術には、伏せ焼き法などの粗放な炭焼きから流動炭化法などの工業的炭化炉に至るまで種々の方法があるが、原料の違いから山林の樹木を伐採し炭窯により炭材とする炭焼き法と、木材加工工場、チップ工場などから排出される各種廃材、住宅解体材、家具廃材などの木質系ごみを原料として炭化する方法に大別される。前者は、少量生産であるが良質の木炭が生産され、後者は都市近くで行われ、その生産規模は大きく、工場生産方式により品質は一定しているものの、粉炭またはその加工品が多い。

炭窯法は、木材をたき火し、その上に薪を重ね、土をかけ、木材を蒸し焼きする伏せ焼き法から発達し、「土窯」、「金井式ハウス窯」、「移動式炭化炉」などがある。

工業的炭化炉には平炉、連続炭化炉などがある。平炉は、コンクリート床に排煙炉をつくり、その上で製材屑を燃焼させ、その上を木粉で覆い、排煙は下部から吸引して炭化を続ける方法で、炭化操作は原理的に伏せ焼き法と同様である。炭化炉上部まで炭化したときには表面を攪拌し、未炭化部分を完全に炭化し、一様に炭化してから表面に散水して消火し、出炭する。平炉は、建設コストやランニングコストが安く、炭化操作もしやすいので、廃材炭化炉としては有用な炭化炉ではあるが、炭材置き場その他に広い敷地を要し、大量の排煙を発生するほかに炭粉飛散などの公害発生のおそれがあるので、都市近郊には建設できない。連続炭化炉には、縦型、横型、流動方式がある。縦型方式は、炭材を上部より送入し、炭化炉内で連続的に炭化し、下端より木炭を連続的に取り出す方法で、排ガスから木タール、木酢液、木ガスを分離し、木ガスは炭化の熱源として使用される。横型方式にはロータリーキルン方式などがあるが、エネルギー消費量が多く、タールが回転部分に付着するなどの問題がある。流動炭化炉は、木粉を一定の粒度と含水状態に調整し、炉内で木粉を熱風で流動しながら、短時間で炭化し、木炭粉を集塵機で捕集するもので、この装置は全自動化され無人運転も可能であり、排ガスは炉内で完全燃焼され、原料の乾燥や流動炉の補助熱源に使用される。

### 2.2 木炭の特性

木炭は、その原料となる樹種や炭化温度などによりその特性は大きく異なる。木炭は、加熱のみでは減量しない固定炭素分、加熱により揮散する揮発分、燃焼後に残留する灰分に大別される。樹木の炭化は典型的なハードカーボン型で、原形を保ったまま炭化が進み、顕微鏡で観察されるハニカム構造は樹木の細胞壁や管壁であり、これらの炭化した壁面にはマイクロポアと呼ばれるさらに微細な孔が存在する。木炭の特性は、物理化学的に極めて安定な炭素骨格と微細孔による大きな比表面積に代表される。

炭化温度と木炭の特性との関係は次のようである。

- 1) 炭化温度が 300℃を境に、炭素含有率は急増し、一方酸素や水素含有率は減少する。酸素、水素含有率の減少は、木炭の細孔内表面を覆う種々の官能基（ $-\text{COOH}$ 、 $-\text{OH}$ 、 $>\text{C}=\text{O}$  等）の分解脱離の進行に起因するものである。これらの表面官能基は、ガス吸着性能や木炭の親水性、疎水性とも関連し、浄化材、微生物賦活材、土壌改良材などの用途において濡れ性、肥料・養分の吸着貯蔵、保水性などの重要な機能を支配している。
- 2) 炭化温度が高いほど木炭の比表面積は大きく、細孔半径も小さくなる。マイクロポアの発達により水蒸気吸着量やその他のガス吸着性能が高められる。
- 3) 炭化温度が高いほど pH が大きくアルカリ性が強くなる。また、導電率が増加する。

なお、住宅解体材や家具廃材などの木質廃棄物による炭化物の特性については、有馬による報告例がある。有馬らは、木質廃棄物の炭化による減容、安定型処理、用途機能付与を目的に、炭化処理と炭化物の特性について報告している。木質炭化物は、高密度化、接着剤の存在により粒子が丸みを帯び、硬い傾向があり、スギに比較すると、吸湿量、吸着性能、保水性等の性能面でやや劣るが、高温炭化によって性能が高まることが示されている。

## 2.3 木炭の用途例

### 1) 土壌改良材、緑化用資材

土壌改良材とは、土壌の物理的・化学的性質の改良や有用な土壌微生物の活性を高めるために施用する資材である。政令指定の土壌改良材の主な効果として、例えばゼオライトは土壌の保肥力の改善、バーミキュライトは透水性の改善、パーライトは保水性の改善、木炭は透水性の改善となっているが、木炭は保水力もかなり大きいとされている。木炭の施用は、土壌の透水性を向上させる（土壌改良材としての主な効果）ほかに、土壌の微生物を調整し、通気性と保肥性を良くし、木炭に含まれる石灰、カリ等の塩基類、鉄、マンガンなどの微量元素を供給し、有用微生物を増殖させ、有害ガス等を吸着し、土壌温度を上昇させるなどにより、根系の発達が良くなり、作物の生育を促進させるといわれている。また、のり面などの急傾斜地、乾燥地、災害などによる崩壊地など、自然には植生の回復が困難な場所に種子、肥料、土などから成る基盤材料を吹き付けて緑化を図るために、植生効果が大きい木炭が緑化用資材として利用されている。

### 2) 浄化材

木炭の物質吸着特性は浄化材としての木炭の利用を考える場合にもっとも基本的な性質であり、木炭の大きな吸着性は、その大きな比表面積にあるとされる。色素吸着性（脱色性）、水蒸気吸着性（吸湿性）、ガス吸着性、脱臭効果などの木炭の物理的浄化作用と、微生物のマイクロハビタットとしての木炭表面に形成される生物膜による生物的浄化作用により、木炭は有用な環境浄化資材として利用されている。

### 3) 床下調湿材

木材のカビや腐朽菌は、木材含水率が20%以上、相対湿度80%以上、温度20～30℃の雰囲気が発生しやすいといわれる。木造住宅の床下環境の改善に、吸放湿特性のすぐれた木炭が利用されている。木炭は、平衡含水率、吸放湿速度および吸放湿量が大きく、床下に木炭を敷設することにより、床下の相対湿度や木材の含水率を低下させることが示されている。

## 参考文献

- 1) 木材炭化成分多用途利用技術研究組合編、木炭と木酢液の新用途開発研究成果集、1990
- 2) 有馬孝礼、木質系廃棄物の処理と再利用（Ⅰ）炭化処理と木炭の吸湿、保水性、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.827-828、1994
- 3) 有馬孝礼、木質系廃棄物の処理と再利用（Ⅱ）各種木質材料の炭化による機能性、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1017-1018、1996
- 4) 葛西英夫ほか、床下環境の改善に関する実験的研究（その4 材料別防湿性能比較実験）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.939-940、1989
- 5) 熊本県林務水産部林業振興課編集パンフレット、新用途木炭の活用 床下調湿材としての活用
- 6) 日本コンクリート工学協会九州支部コンクリートにおける産業廃棄物利用研究委員会報告書：各種産業廃棄物のコンクリート用材料としての適用性、2000.11

### 3. 木炭混入緑化コンクリート

#### 3.1 序

ポーラスコンクリートは、内部に連続空隙を有し、植物の根の伸長が可能であるために、緑化コンクリートとして利用されている。ただ、ポーラスコンクリートのみでは、植物の成長に必要な保水性を十分に確保することができないので、種々の保水用充填材が使用されている。木炭は、透水性や保水性だけでなく根系の発達に寄与する成分を含むなど、有用な緑化用資材として利用されており、本研究では、木炭粒子・粉末をセメントペーストにプレミックスして作製したポーラスコンクリートの植栽試験を行い、緑化コンクリート用混和材としての木炭の適用性について実験的検討を行った。

#### 3.2 実験方法

植栽試験は、3シリーズで実施し、各試験シリーズの使用材料およびポーラスコンクリートの使用割合をそれぞれ表-3.1～表-3.6に示す。なお、保水材混入率は、対セメント質量比である。植栽試験には、直径200～300mm（外径）×高さ100mm、肉厚2mmの亚克力製円筒容器にポーラスコンクリートを打設し、所定の養生（標準養生材齢28日後気中）終了後に、西洋芝種子を一定割合で混合した客土をポーラスコンクリート上面に約1cm程度盛り、播種28日、56日、84日後に芝を刈り取り、その質量を測定した。なお、灌水や肥料は状況を観察しながら適宜与えた。

表-3.1 使用材料（シリーズ1）

セメント	高炉セメント B 種：密度 3.03g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	砕石 5 号：粒径 13~20mm、表乾密度 2.95g/cm <sup>3</sup> 、実積率 55.7%
混和剤	高性能 AE 減水剤
保水材	木炭粒子（スギ・ヒノキ）：粒径 2~4mm パーライト
その他	培養土 液体肥料、混合有機肥料 西洋芝 木酢液

表-3.2 使用調合（シリーズ1）

試験体	W/C (%)	セメントペースト 空隙充填率 (%)	連続空隙率 (測定値) (%)	保水材混入率 (%)		備考
				木炭粒子	パーライト	
A	25	30	30.4	15	—	水中浸漬
B	25	40	30.2	—	—	水中浸漬
C	25	40	25.2	15	—	水中浸漬
D	25	40	25.0	—	15	水中浸漬
E	25	40	28.1	30	—	水中浸漬
F	25	40	16.7	—	30	水中浸漬
G	25	50	20.8	15	—	水中浸漬
H	25	40	/	—	—	木酢液浸漬
I	25	40	/	15	—	木酢液浸漬
J	25	40	/	30	—	木酢液浸漬

表-3.3 使用材料 (シリーズ 2)

セメント	高炉セメント B 種 : 密度 3.03g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	砕石 5 号 : 粒径 13~20mm、表乾密度 2.95g/cm <sup>3</sup> 、実積率 55.7%
混和剤	高性能 AE 減水剤
保水材	木炭粒子 (スギ・ヒノキ) : 粒径 2~4mm 木炭粉末 (スギ・ヒノキ) PEATMOS
その他	培養土 液体肥料、混合有機肥料 西洋芝

表-3.4 使用調合 (シリーズ 2)

試験体	W/C (%)	セメントペースト 空隙充填率 (%)	連続空隙率 (測定値) (%)	保水材混入率 (%)		
				木炭粒子	木炭粉末	PEATMOS
A	25	30	25.8	—	—	—
B	25	30	22.5	10	—	—
C	25	30	18.0	20	—	—
D	25	40	20.2	—	—	—
E	25	40	16.3	10	—	—
F	25	40	9.1	20	—	—
G	25	50	15.9	—	—	—
H	25	50	9.6	10	—	—
I	25	50	2.8	20	—	—
J	25	30	16.7	—	10	—
K	25	30	14.5	—	20	—
L	25	40	11.4	—	10	—
M	25	40	10.8	—	20	—
N	25	50	8.2	—	10	—
O	25	50	4.6	—	20	—
P	25	40	12.8	—	—	10
Q	25	40	9.5	—	—	20

表-3.5 使用材料 (シリーズ 3)

セメント	高炉セメント B 種 : 密度 3.03g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	碎石 5 号 : 粒径 13~20mm、表乾密度 2.95g/cm <sup>3</sup> 、実積率 55.7% 碎石 6 号 : 粒径 5~13mm、表乾密度 2.95g/cm <sup>3</sup> 、実積率 56.3%
混和剤	AE 減水剤
保水材	木炭粉末 (スギ・ヒノキ) : 絶乾密度 0.38g/cm <sup>3</sup> 、吸水率 189%
その他	培養土 液体肥料、混合有機肥料 西洋芝

表-3.6 使用調合 (シリーズ 3)

試験体	W/C (%)	セメントペースト 空隙充填率 (%)	連続空隙率 (測定値) (%)	粗骨材	保水材混入率 (%)
					木炭粉末
A	25	40	26.0	碎石 5 号	—
B	25	30	28.1	碎石 5 号	10
C	25	40	24.5	碎石 5 号	10
D	25	50	22.4	碎石 5 号	10
E	25	40	25.6	碎石 6 号	—
F	25	30	29.5	碎石 6 号	10
G	25	40	27.2	碎石 6 号	10
H	25	50	22.7	碎石 6 号	10

### 3.3 実験結果

#### a. 試験シリーズ 1

植栽試験結果を図-3.1に示す。全試験体の芝成長量に対して分散分析を行った結果、各試験体間で芝成長量に有意水準1%で有意差が認められた。また、図-3.2に各因子が芝成長量に及ぼす影響を示す。その結果として、次のような知見が得られた。

- 1) 木炭粒子の混入により無混入と比べて芝成長量が大きく増加し、木炭混入率が15%のときに最大の成長量を示した。特に、播種後28日までの成長量が顕著であり、木炭混入の効果として保水性だけでなく、初期の成長促進作用もうかがえる。一方、パーライトの混入によっても芝成長量が増加しているが、その成長量は木炭混入の場合よりも小さく、特に播種後28日までの成長量は無混入と比べてもあまり差がない。このことは、パーライト混入の効果が主に保水性によることを示しているものと考えられる。
- 2) 木炭混入率=15%一定とした場合、セメントペースト空隙充填率（あるいは、連続空隙率）が芝成長量に影響し、空隙充填率が40%のときに最大の成長量を示した。空隙充填率が芝成長量に及ぼす影響は、播種後28日までとそれ以降の場合で大きな差異があり、特に播種後28日までの成長量に空隙充填率が大きく影響しているものと推察される。

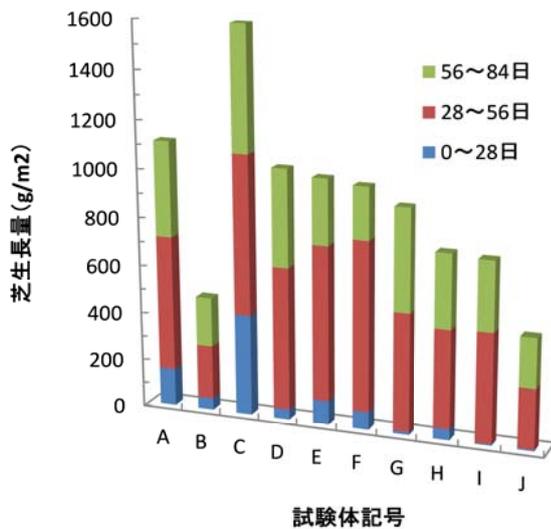


図-3.1 試験シリーズ1の植栽試験結果

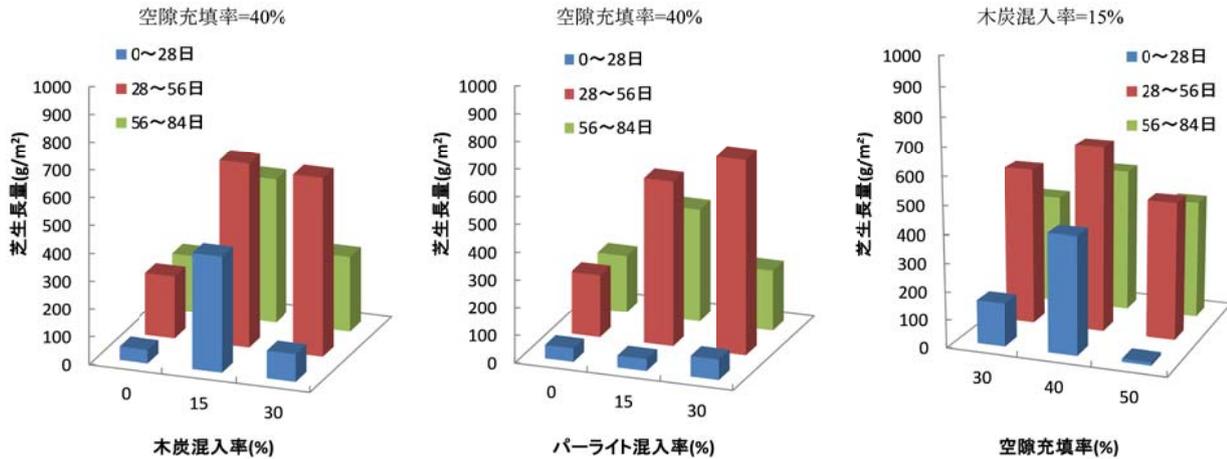


図-3.2 各因子が芝成長量に及ぼす影響

## b. 試験シリーズ 2

写真-3.1 に西洋芝植栽試験状況を示す。植栽試験結果を図-3.3 に示す。全試験体の芝成長量に対して分散分析を行った結果、各試験体間で芝成長量に有意水準 1%で有意差が認められた。また、図-3.4 に各因子が芝成長量に及ぼす影響を示す。その結果として、次のような知見が得られた。

- 1) 培養土のみと比べて、緑化コンクリートでは一様に芝成長量が小さくなっているが、植生のメンテナンスを考慮した場合、特に問題はないものと考えられる。
- 2) 木炭粒子混入の場合、無混入と比べて芝成長量に大きな差はみられないが、セメントペースト空隙充填率が 40%、木炭混入率が 20%で最大の成長量を示した。この傾向は、試験シリーズ 1 とほぼ同様である。
- 3) 木炭粉末混入の場合、木炭粒子混入の場合よりも全体的に芝成長量が大きく、セメントペースト空隙充填率が 40%および 50%において特に成長量が大きくなっている。また、空隙充填率が 40%および 50%の場合について、木炭混入率がそれぞれ 10%および 20%のときに最大の成長量を示した。
- 4) ピートモス混入の場合、セメントペースト空隙充填率が 40%においてピートモス混入率が 20%で最大の芝成長量を示し、木炭混入の場合よりもその効果は大きい。また、ピートモスをプレミックスにより混入する方法は、ポーラスコンクリートの圧縮強度を大きく低下させることに注意が必要である。

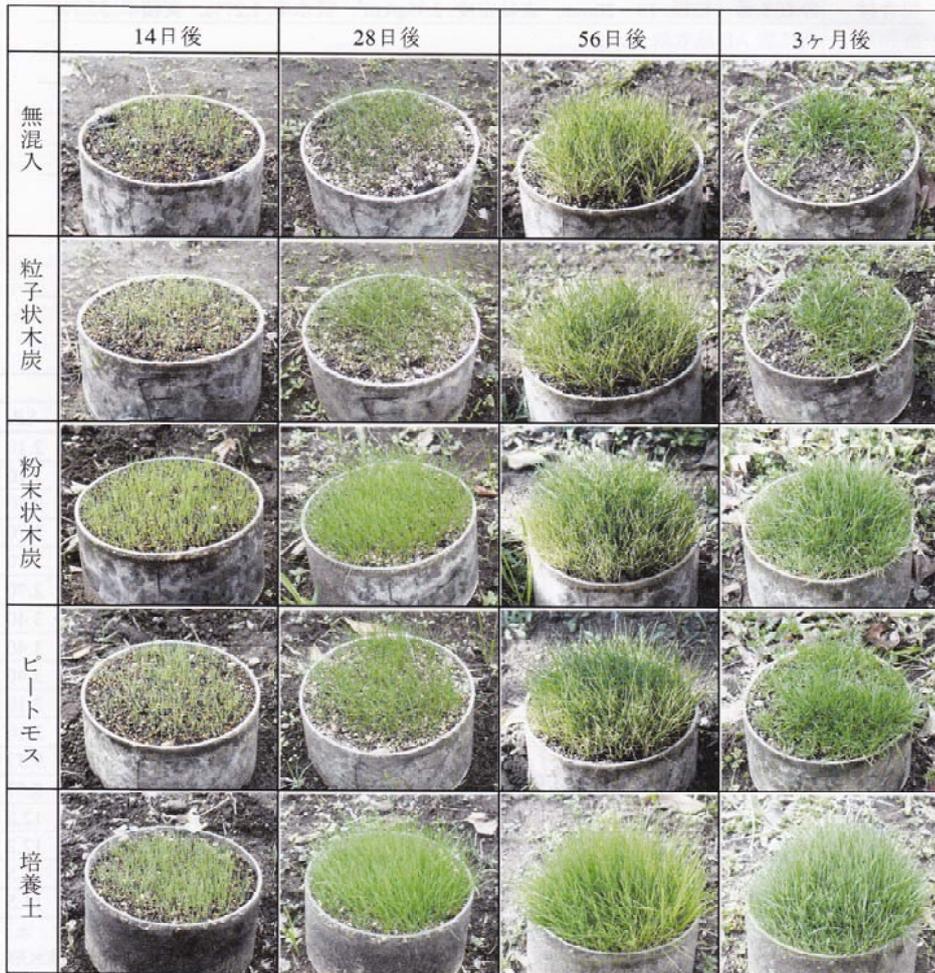


写真-3.1 西洋芝植栽試験状況

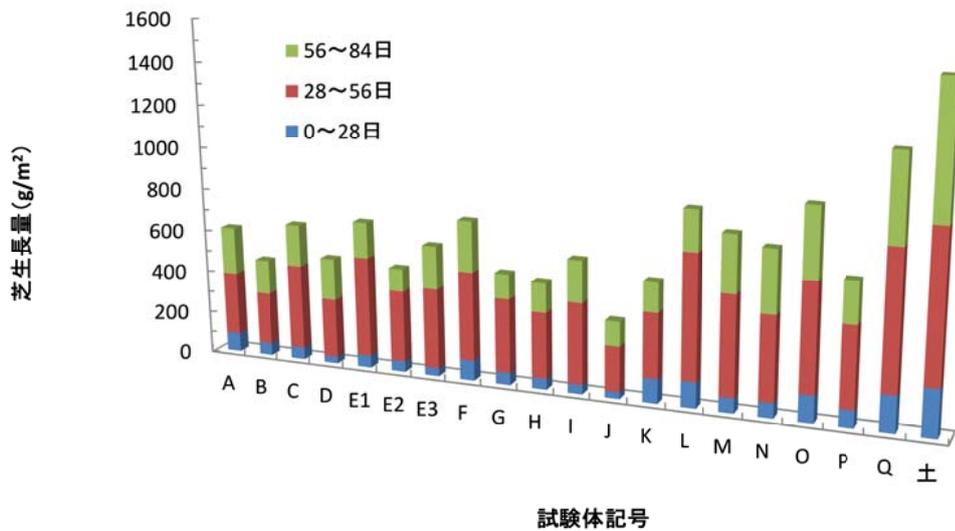


図-3.3 試験シリーズ2の植栽試験結果

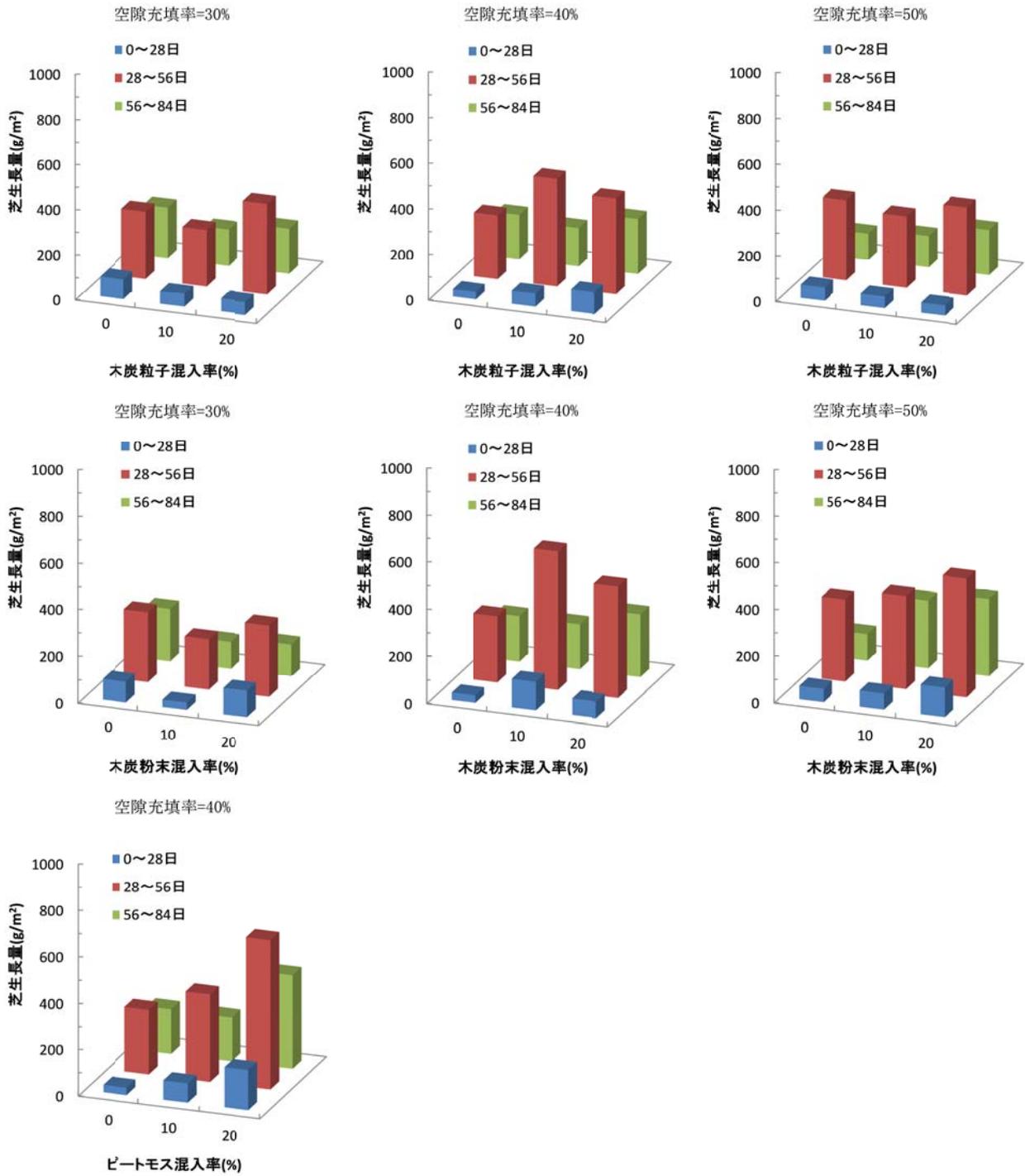


図-3.4 各因子が芝成長量に及ぼす影響

### c. 試験シリーズ 3

植栽試験結果を図-3.5に示す。全試験体の芝成長量に対して分散分析を行った結果、各試験体間で芝成長量に有意水準 1% で有意差が認められた。また、図-3.6 に各因子が芝成長量に及ぼす影響を示す。その結果として、次のような知見が得られた。

- 1) 粒径が大きい砕石 5 号を使用した場合、木炭粉末混入により芝成長量が大きく増加し、木炭混入率が 10% においてセメントペースト空隙充填率が大きくなるほど成長量が大きくなっている。
- 2) 粒径が小さい砕石 6 号を使用した場合、木炭粉末無混入の場合が最大の芝成長量を示し、木炭混入により成長量が低下し、特にセメントペースト空隙充填率が 50% において大きな低下がみられた。
- 3) 以上の結果から、粒径が大きな砕石 5 号を用いた場合、木炭のような保水材の充填により芝成長効果が得られるが、粒径が小さな砕石 6 号を用いた場合には、連続空隙径がより小さくなるためにポーラスコンクリート自体に十分な保水力があり、それ以上の保水材の充填は根の伸長空間を狭め、成長を阻害するものと推察される。

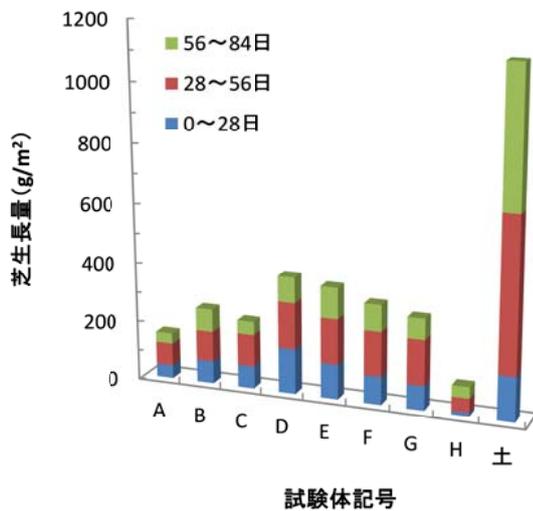


図-3.5 試験シリーズ 3 の植栽試験結果

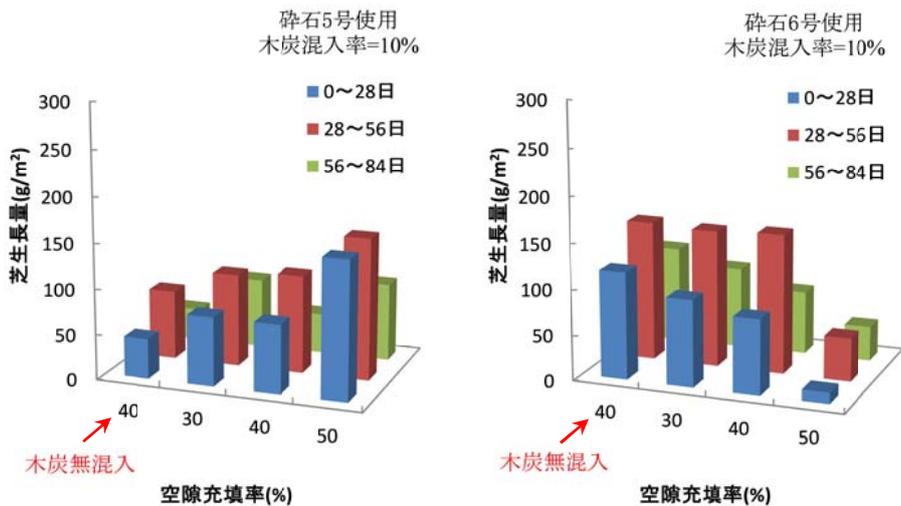


図-3.6 各因子が芝成長量に及ぼす影響

### 3.4 まとめ

本研究では、木炭粒子・粉末をセメントペーストにプレミックスして作製したポーラスコンクリートの植栽試験を行い、緑化コンクリート用混和材としての木炭の適用性について実験的検討を行った。その結果として、緑化コンクリートに対する木炭の保水材としての芝の植生効果が認められ、さらに木炭混入が特に初期の成長促進に有効であることが実験的に確認された。ポーラスコンクリートの場合には、セメントペースト量が絶対的に少なく、木炭表面を被覆するペースト膜厚も約1mm前後と薄いため、木炭の特性を十分に活かせる利用形態ではないかと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 大谷俊浩ほか：木炭の緑化コンクリートへの用途開発、セメント・コンクリート論文集、pp.942-947、1998
- 2) 三角加奈絵ほか：木炭を混入したポーラスコンクリートの基礎物性と緑化コンクリートへの利用（その1 木炭混入ポーラスコンクリートの基礎物性）、日本建築学会九州支部研究報告、pp.17-20、1999.3
- 3) 大谷俊浩ほか：木炭を混入したポーラスコンクリートの基礎物性と緑化コンクリートへの利用（その2 緑化コンクリートへの利用）、日本建築学会九州支部研究報告、pp.21-24、1999.3
- 4) 大谷俊浩ほか：木炭混入ポーラスコンクリートの物性と緑化コンクリートへの利用、セメント・コンクリート論文集、pp.934-940、1999
- 5) 大谷俊浩：ポーラスコンクリートの強度特性と応用技術に関する研究、熊本大学学位請求論文、2005

## 4. 木炭混入導電性コンクリート

### 4.1 序

炭化温度が大きいほど、木炭の導電率は増加する。導電性の大きな木炭を粉粒状にしてコンクリートに分散混入することによりコンクリートに導電性を付与することができる。導電性コンクリートの用途としては、欠陥やひび割れ発生に伴う電気抵抗の変化を検出することによるコンクリート構造物の非破壊診断、電波シールド・静電シールド材料、通電による自己発熱機能を応用した暖房・保温材料などが考えられている。

そこで、本研究では、木炭混入モルタルの電波シールド効果および通電による自己発熱効果について実験的検討を行い、その適用可能性を調べた。

### 4.2 各種混和材を用いたモルタルの電波シールド効果

ここでは、アドバンテストを用いて電波の透過減衰量を測定することにより、各種混和材を混入したモルタルの電波シールド効果について実験的検討を行った。

#### 4.2.1 実験方法

##### 1) 試験体作製

試験体寸法は、後述の試験装置に合わせて、200×200mm、厚さ 4mm の正方形板とした。表-4.1 に使用材料、表-4.2 に使用調合を示す。なお、木炭粉末についてはセメント単味で、その他の混和材については珪砂モルタルとし、混和材混入率はセメントに対する質量比である。試験体は、標準養生 7 日+20℃ 気中養生後にアドバンテストに供した。

表-4.1 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント：密度 3.13g/cm <sup>3</sup>
細骨材	珪砂 8 号：絶乾密度 2.7g/cm <sup>3</sup>
分散剤	メチルセルロース
混和材	木炭粉末（スギ・ヒノキ） 木炭粒子（スギ・ヒノキ）：粒径 2.5mm アンダー ピッチ系炭素繊維：繊維径 18μm、繊維長さ 6,10,18mm マイクロステールファイバー：繊維径 50μm、繊維長さ=5mm アモルファス金属フレーク：長辺 20mm 以下 耐アルカリ性ガラス繊維：繊維径 13.5μm、繊維長さ=25mm

表-4.2 使用調合

混和材	混入率 (対 C) (%)	S/C (%)	Mc/C (%)	フロー値
木炭粉末	50	0	0	—
	100	0	0	—
木炭粒子	5	60	0	205
	10	60	0	191
	15	60	0	203
ピッチ系炭素繊維 (繊維長さ 6mm)	0.25	60	0.25	175
	0.5	60	0.25	159
	0.75	60	0.25	183
	1	60	0.25	157
	2	60	0.25	150
	3	60	0.25	135
ピッチ系炭素繊維 (繊維長さ 10mm)	1	60	0.25	184
	2	60	0.25	191
	3	60	0.25	186
	4	60	0.25	175
ピッチ系炭素繊維 (繊維長さ 18mm)	1	60	0.25	149
	2	60	0.25	147
	3	60	0.25	129
マイクロステールファイバー (繊維長さ 5mm)	2	60	0.25	197
	4	60	0.25	153
	6	60	0.25	161
	8	60	0.25	186
	10	60	0.25	181
	12	60	0.25	182
	14	60	0.25	165
アモルファス金属フレーク	5	60	0.25	—
	10	60	0.25	—
耐アルカリ性ガラス繊維 (繊維長さ 25mm)	1	60	0.25	175
	2	60	0.25	161
	3	60	0.25	166
	4	60	0.25	164
炭素繊維+ マイクロステールファイバー	1+5	60	0.25	144
	1+10	60	0.25	166

\* S/C : 砂セメント比、Mc/C : セメントに対するメチルセルロースの質量比

## 2) 測定方法

使用機器はアドバンテストで、電波暗室箱内部の送信および受信アンテナの間に試験体をセットし、電波の透過減衰量を測定するものであり、本装置では1000MHzまでの周波数に対する透過減衰量が連続的に出力されるが、ここでは、テレビ電波のVHS周波数領域をカバーする50~250MHzの範囲で平均化した数値で電波シールド効果を比較検討することにした。なお、本装置で計測される電波透過減衰量は、反射および吸収による減衰量の総計であり、それらを区別することはできない。

### 4.2.2 実験結果

図-4.1に各種混和材混入率と平均透過減衰量の測定値との関係を示す。なお、比較としてプレーンモルタルおよび金属板（銅、アルミニウム）の測定値も併記している。また、木炭粉末の場合にはほとんど電波シールド効果が得られず、図中には示していない。

ピッチ系炭素繊維およびマイクロステールファイバーは高い導電性を有するために、それらを混入したモルタルの電波シールド効果も混入率の増加とともに大きくなっており、特にピッチ系炭素繊維の場合には、低混入率でも金属板と同等のシールド効果が得られている。

アモルファス金属フレークは、高い透磁率を有する軟磁性材料であり、この場合は導電性でなくその透磁性によるシールド効果と考えられ、混入率の影響はほとんどみられない。

木炭粒子および耐アルカリ性ガラス繊維の場合は、本実験の混入率の範囲では、プレーンモルタルの場合と比べて透過減衰量にほとんど差異はなく、電波シールド効果は得られなかった。ただ、木炭粒子の場合には、混入率の増加とともにほぼ比例的に透過減衰量が大きくなっており、既往の研究において木炭のみで構成したボードで高い電波シールド効果が得られている事例もあり、高い混入率で電波シールド効果が得られる可能性はあるが、それだけの量をモルタルに混入することは困難となる。

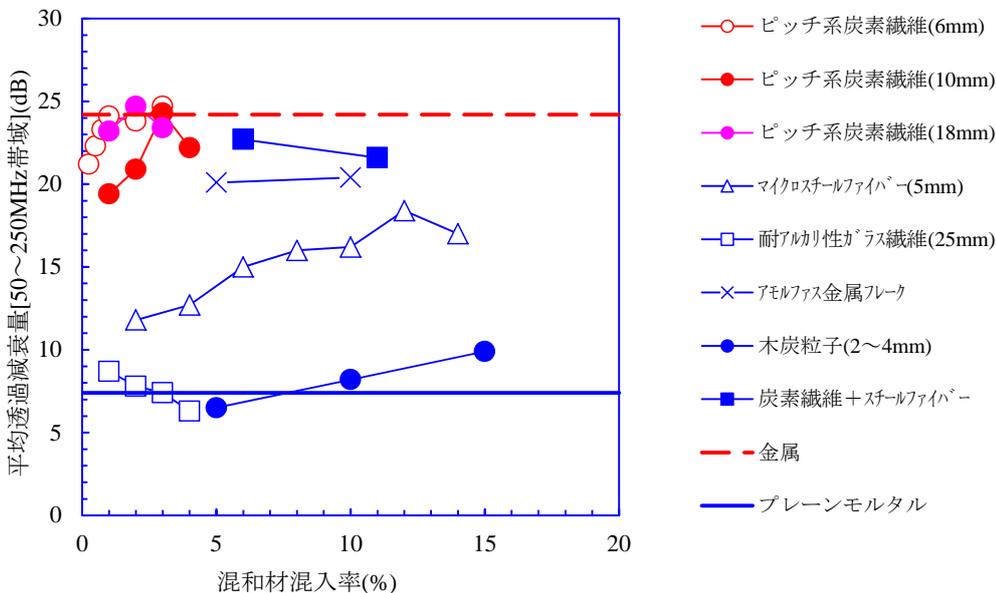


図-4.1 各種混和材混入率と平均透過減衰量との関係

### 4.3 木炭混入モルタルの通電による自己発熱効果

ここでは、導電性を有する木炭およびスチールファイバーを混入したモルタルの通電による自己発熱効果について実験的検討を行った。

#### 4.3.1 実験方法

##### 1) 試験体作製

後述の通電試験用の試験体には 40×40×160mm 角柱供試体を用い、銅板電極および炭素棒電極をそれぞれ間隔 50mm および 100mm で埋設した。表-4.3 に使用材料、表-4.4 に使用調合を示す。

表-4.3 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント：密度 3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	珪砂 8 号：絶乾密度 2.7g/cm <sup>3</sup>
混和剤	高性能減水剤
混和材	木炭粒子（スギ・ヒノキ）：粒径 2.5mm アンダー マイクロスチールファイバー：繊維径 50μm、繊維長さ=5mm

表-4.4 使用調合

混和材	混入率 (対 C) (%)	W/C (%)	S/C (%)	フロー値
木炭粒子	0	60	60	—
	5	60	60	—
マイクロスチールファイバー	10	60	60	—
木炭+マイクロスチールファイバー	5+10	60	60	209

##### 2) 試験方法

供試体は標準養生 14 日+気中養生 3 日後、図-4.2 に示す要領で通電試験を行った。供試体の電極間に一定電圧 (AC100V) を印加し、供試体下面中央に取り付けた熱電対により表面温度の経時変化を測定した。なお、通電時間は最大で 30 分間あるいは供試体表面温度が約 60℃に達するまでとした。

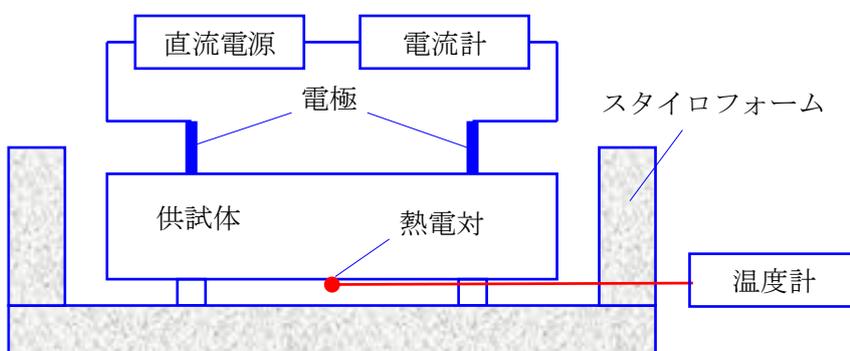


図-4.2 通電試験方法

### 4.3.2 実験結果

図-4.3 に試験結果を示す。銅板電極では、通電時間 30 分で約 20~30℃の温度上昇が得られた。プレーンモルタルにおいても約 10℃の温度上昇がみられるが、木炭粒子およびマイクロステールファイバーを混入したモルタルではさらに大きな温度上昇が認められた。また、電極を炭素棒とした場合には、銅板電極の場合よりもかなり大きな温度上昇が得られ、通電時間 30 分以内で供試体表面温度が約 60℃に達している。なお、2 回目の通電試験では、すべての供試体について通電による温度上昇がみられなかった。この原因として、銅板電極の場合は銅板表面に酸化被膜が形成され、また炭素棒電極の場合には電極表面のモルタルが黄銅色に変色し、電食により不導体被膜が形成されたためと考えられる。

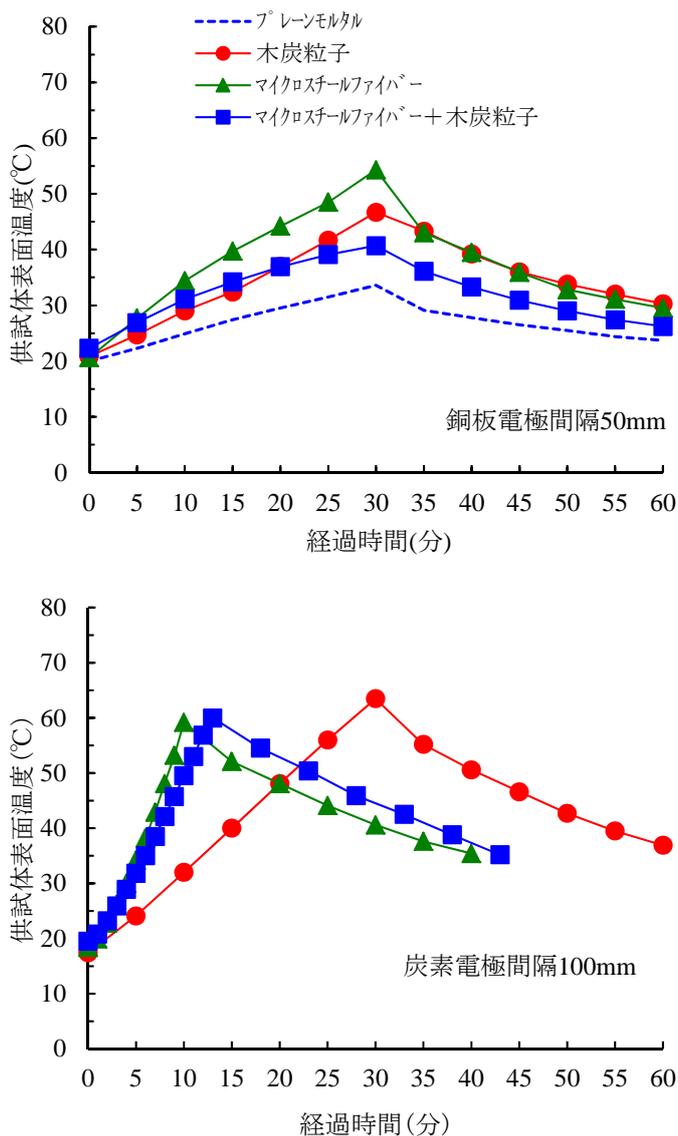


図-4.3 通電試験による自己発熱効果

#### 4.4 まとめ

本研究では、木炭混入モルタルの電波シールド効果および通電による自己発熱効果について実験的検討を行った。その結果として、次のような知見が得られた。

- 1) 導電性材料としてピッチ系炭素繊維およびマイクロステールファイバーをモルタルに混入した場合には、モルタルの導電性に起因して大きな電波シールド効果が得られたが、木炭粒子混入の場合には、混入率が15%以下の範囲では、プレーンモルタルとの比較で電波シールド効果はほとんど認められなかった。ただ、混入率の増加とともに電波透過減衰量の比例的な増加がみられることから、多量混入により電波シールド効果が得られる可能性はあるが、モルタルへの混入は困難となる。
- 2) 木炭粒子およびマイクロステールファイバーを混入したモルタルについて通電試験による自己発熱効果が認められた。なお、実用化のためには、電極等の工夫や繰返し再現性の確認が必要となる。

上記の結果より、木炭混入によりモルタルの導電性が得られることが電波シールド試験および通電試験により実験的に確認されたが、実用化のためには用途に応じた多くの課題が残されている。

#### 参考文献

- 1) 大澤貴之ほか：各種混和材料によるコンクリートの電波シールド効果、日本建築学会九州支部研究報告、pp.89-92、1995.3
- 2) 大澤貴之ほか：多機能コンクリートの開発研究、日本建築学会中国・九州支部研究報告、pp.121-124、1996.3
- 3) 山口 信ほか：炭素繊維補強モルタル（CFRM）の電磁シールド効果および長期暴露によるCFRM内部鉄筋の電食に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集、Vol.77、No.672、pp.161-169、2012

## 5. 木炭混入自己養生コンクリート

### 5.1 序

コンクリートの材齢に伴う強度発現性状は、その間の養生条件（湿潤・乾燥、暑中・寒中など）に大きく左右され、普通ポルトランドセメントの場合には、計画供用期間の級に応じて5~7日以上の湿潤養生期間が要求され、混合セメントの場合にはさらに長期間の湿潤養生が必要になる。自己養生機能とは、湿潤・保温養生機能を有するコンクリート用混和材料を用い、構造体コンクリートの乾燥・低温による強度低下を抑制し、養生作業の省力化を意図したものである。

開放性空隙を有する吸水率の大きな人工軽量骨材のコンクリートに対する自己養生機能に関しては、松藤らによる一連の研究報告がある。吸水率の大きな人工軽量骨材は、周囲の乾燥状態に応じて骨材内部に吸水している水分を放出し、乾燥下でセメントの水和反応を継続させるのに必要な水分を補給する。木炭も大きな吸水・保水性と断熱性を有するために、自己養生機能が期待されている。ただ、木炭は人工軽量骨材と比べて低強度であるため骨材代替として使用することはできず、構造体コンクリートに対する自己養生機能付与を目的とするならば、木炭は混和材と位置づけ、コンクリートの品質を確保できる木炭混入率の範囲でいかに所要の自己養生効果が得られるかが適用上の問題となる。

そこで、本研究では、初期養生における乾燥・低温による強度低下が大きいといわれている高炉スラグ微粉末使用コンクリートに対して、乾燥・低温養生条件下での木炭混入による自己養生効果について実験的検討を行った。

### 5.2 実験方法

表-5.1に使用材料、表-5.2に使用調合を示す。木炭には粉末状のものを使用し、対結合材質量比で5%の1水準とした。なお、木炭粉末は、ミキサーによる攪拌時の吸水を考慮し、吸水率の2/3の水量をプレウェッチングした。

養生条件は、①標準養生（20℃水中）材齢28日、②10℃、相対湿度60%気中養生材齢28日、③10℃封緘養生材齢28日の3水準とし、圧縮強度試験にはφ100×200mmの円柱供試体を各3個ずつ作製し、養生終了後ただちに圧縮強度試験を行った。

表-5.1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント：密度 3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	川砂：表乾密度 2.59g/cm <sup>3</sup> 、吸水率 2.68%、最大寸法 2.5mm、粗粒率 2.54
粗骨材	碎石：表乾密度 2.95g/cm <sup>3</sup> 、吸水率 1.27%、最大寸法 20mm、実積率 57.2%
混和材	高炉スラグ微粉末：密度 2.89g/cm <sup>3</sup> 、比表面積 6140cm <sup>2</sup> /g
混和剤	高性能 AE 減水剤
木炭	粉末：表乾密度 1.10g/cm <sup>3</sup> 、絶乾密度 0.38g/cm <sup>3</sup> 、吸水率 189%

表-5.2 使用調合

木炭 混入率 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							スランプ値 (cm)
			C	Sg	W	S	G	Sp	Ch	
0	40	40.5	230	230	184	649	1086	2.30	0	22.0
	50	44.3	176	176	176	760	1088	1.76	0	22.2
	60	46.6	141	141	169	836	1091	1.41	0	22.9
5	40	40.5	230	230	184	649	1086	2.30	23.0	19.1
	50	44.3	176	176	176	760	1088	1.76	17.6	18.5
	60	46.6	141	141	169	836	1091	1.41	14.1	15.0

- \* C : セメント、Sg : 高炉スラグ、B : 結合材、W : 水、S : 細骨材、G : 粗骨材、Sp : 高性能 AE 減水剤、Ch : 木炭、W/B : 水結合材比、s/a : 細骨材率
- \* ベースコンクリートの目標スランプ値は 18cm
- \* 木炭粉末はプレウェッチング (吸水率の 2/3)

### 5.3 実験結果

表-5.3 に圧縮強度試験結果を示す。また、図-5.1 には、養生条件が圧縮強度に及ぼす影響を示す。その結果として、高炉スラグ微粉末使用コンクリートは、既往の研究と同様に、乾燥・低温による圧縮強度の低下が大きく、その程度は水結合材比が増加するほど大きくなっている。また、本実験の範囲では、木炭混入による自己養生効果はほとんど認められなかった。

表-5.3 圧縮強度試験結果

木炭 混入率 (%)	W/B (%)	No.	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )			ヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )		
			20°C	10°C	10°C	20°C	10°C	10°C
			水中	気中	封緘	水中	気中	封緘
0	40	1	44.6	30.2	35.3	31.8	28.8	30.4
		2	47.9	33.0	36.4	33.8	26.2	29.0
		3	47.2	31.4	35.6	34.4	26.8	29.3
		平均	46.6	31.5	35.8	33.3	27.3	30.0
	50	1	41.6	24.8	33.1	29.1	26.9	26.0
		2	42.0	23.1	28.3	30.8	26.8	26.1
		3	43.8	27.8	26.6	31.4	23.0	24.4
		平均	42.5	25.2	29.3	30.4	25.6	25.5
	60	1	33.3	16.7	21.0	30.3	24.0	24.7
		2	33.7	16.0	18.9	30.2	20.8	23.4
		3	34.3	16.2	21.2	28.9	19.8	25.0
		平均	33.8	16.3	20.4	29.8	21.5	24.4
5	40	1	46.0	27.3	30.2	27.7	23.3	26.3
		2	43.5	24.3	30.8	29.3	22.6	22.9
		3	44.2	26.3	31.6	29.2	21.3	22.9
		平均	44.6	26.0	30.9	28.7	22.4	24.0
	50	1	36.8	20.9	19.5	28.4	19.7	21.7
		2	37.4	19.6	23.8	31.3	20.1	24.0
		3	37.1	20.9	22.9	30.1	18.7	23.1
		平均	37.1	20.5	22.1	29.9	19.5	22.9
	60	1	31.4	15.9	19.4	27.4	18.3	24.0
		2	31.0	15.4	15.4	27.8	19.5	—
		3	31.8	15.2	13.7	28.9	18.9	20.2
		平均	31.4	15.5	16.2	28.0	18.9	22.1

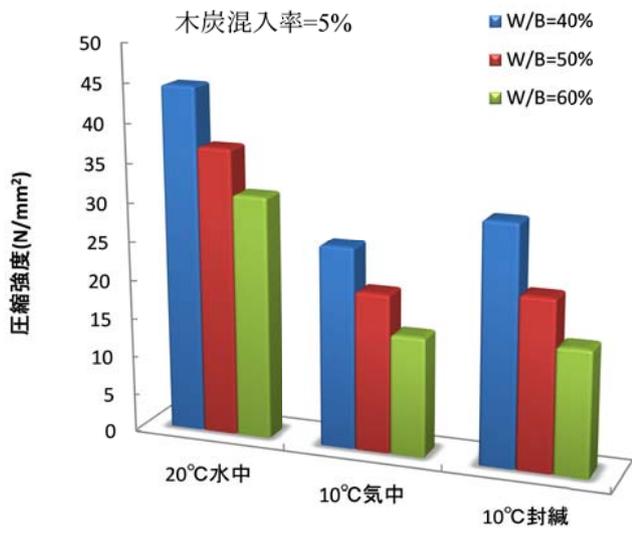
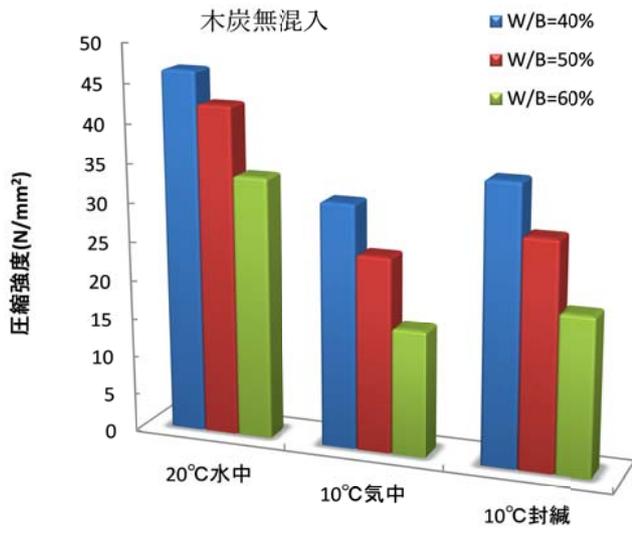


図-5.1 養生条件が圧縮強度に及ぼす影響

## 5.4 まとめ

本研究では、初期養生における乾燥・低温による強度低下が大きいといわれている高炉スラグ微粉末使用コンクリートに対して、乾燥・低温養生条件下での木炭混入による自己養生効果について実験的検討を行った。その結果として、高炉スラグ微粉末使用コンクリートは、既往の研究と同様に乾燥・低温による強度低下がかなり大きく、初期の湿潤養生および保温養生の重要性が実験的に確認された。また、吸水性・保水性を有する木炭を対結合材質量比=5%で混入した高炉スラグ微粉末使用コンクリートについても乾燥・低温による強度低下が大きく、木炭無混入と比べてほとんど差異がなく、今回の実験では木炭混入による自己養生効果は認められなかった。その原因としては、コンクリートのスランプや圧縮強度を確保するための木炭混入率に限界があり、その混入率では木炭の自己養生機能を十分に発揮させることができないことが考えられる。また、今回の実験では木炭粉末を使用したのが、木炭粒子を使用した場合についてもさらに実験的検討を要するものの、混和材として適用する限り混入率が同様の問題になるものと思われる。

### 参考文献

- 1) 佐治泰次ほか：開放性空隙を有する多孔質骨材を用いたコンクリートの暑中適用性について（その1）、日本建築学会九州支部研究報告、pp.13-16、1986.3
- 2) 松藤泰典ほか：開放性空隙を有する多孔質骨材を用いたコンクリートの暑中適用性について（その2）、日本建築学会中国・九州支部研究報告、pp.29-32、1987.3
- 3) 松藤泰典ほか：自己養生機能がコンクリートの強度性状に及ぼす影響について、日本建築学会中国・九州支部研究報告、pp.33-36、1987.3
- 4) 松藤泰典ほか：自己養生機能がコンクリートの収縮性状に及ぼす影響、日本建築学会中国・九州支部研究報告、pp.37-40、1987.3
- 5) 松藤泰典ほか：粉粒体の状態で製造・打設されるコンクリートの開発、日本建築学会九州支部研究報告、pp.137-140、1988.3
- 6) 松藤泰典ほか：開放性空隙を有する人工軽量骨材の自己養生機能を利用した粉粒体コンクリートの諸性状、日本建築学会九州支部研究報告、pp.37-40、1989.3

## 6. 木炭混入構造体コンクリート

### 6.1 序

木炭混入コンクリートの構造体コンクリートへの適用においては、木炭混入のためのレディーミクストコンクリートの調合選定、各種強度のほかに木炭混入による機能的特性の評価が必要となる。そこで、本研究では、木炭コンクリートの調合選定、各種強度および機能性について実験的検討を行った。

### 6.2 実験方法

#### 1) 木炭コンクリートの調合選定

木炭コンクリートのベース調合として、表-6.1 に示す4種類のレディーミクストコンクリートの仕様から選定するものとした。ここで、生コン工場で JIS 規格品外の木炭を混入することが困難であるため、レディーミクストコンクリートを現場に搬入後、現場で木炭を混入する方法により木炭コンクリートを製造した。なお、木炭には粒径約 1mm 以下(微粉状のものを含む)のものを使用し、木炭混入量は、 $10\text{kg/m}^3$  (単位セメント量に対する質量比で約 3%) 一定とした。

試し練り試験の結果から、30-21-20-N をベースとし、高性能 AE 減水剤を使用した場合、木炭混入後のスランプダウンが 8~9cm と大きくなり、打設には不適と判断された。また、AE 減水剤を使用した場合、木炭混入後のスランプダウンは 3cm 程度であったが、単位水量が  $185\text{kg/m}^3$  を超えるため、耐久性上採用が困難であると判断された。一方、30-18-20-N をベースとして、AE 減水剤を使用した場合には、木炭混入後のスランプダウンは 2cm 程度と小さく、単位水量も  $185\text{kg/m}^3$  以下に抑えられたので、打設可能であると判断された。従って、ベース調合として、30-18-20-N で混和剤に AE 減水剤を使用したものを選定した。また、その際に、スランプロスを抑制するために、流動化剤を後添加し、所要のスランプを確保した。

表-6.1 ベース調合選定に使用したレディーミクストコンクリートの仕様

仕様	単位量 ( $\text{kg/m}^3$ )				
	セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
30-21-20-N	345	175	923	828	2.74
	水セメント比=48%、細骨材率=53.5%				高性能 AE 減水剤
	セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
30-21-20-N	392	188	837	860	3.92
	水セメント比=48%、細骨材率=50.1%				AE 減水剤
	セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
30-18-20-N	346	166	902	892	2.595
	水セメント比=48%、細骨材率=51.0%				高性能 AE 減水剤
	セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
30-18-20-N	369	177	822	925	3.69
	水セメント比=48%、細骨材率=47.8%				AE 減水剤

## 2) 木炭コンクリートの物性試験

表-6.2 に木炭コンクリートの物性試験概要を示す。

圧縮強度試験には  $\phi 100 \times 200\text{mm}$  円柱供試体を用い、圧縮応力-ひずみ曲線を測定し、圧縮強度およびヤング係数を求めた。引張強度試験には  $\phi 100 \times 200\text{mm}$  円柱供試体を用い、最大荷重を測定し、割裂引張強度を求めた。コンクリートと鉄筋との付着強度試験は ASTM C 234 に準拠し、付着強度を求めた。なお、写真-6.1 に試験状況を示す。長さ変化試験およびクリープ試験は、それぞれ JIS A 1129 および ASTM C 512 に準拠し、長さ変化率（乾燥収縮ひずみ）およびクリープひずみを求めた。

表面色試験では、携帯用色差計を用い、 $L^*a^*b^*$ 表示色を測定した。なお、写真-6.2 に試験状況を示す。断熱性能試験では、赤外線ランプ照射試験により、ランプ照射 5 時間、消灯後 5 時間におけるコンクリート表裏面および断熱箱内部の温度変化を熱電対により測定した。なお、写真-6.3 に試験状況を示す。脱臭性能試験では、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$  円柱供試体を厚さ約 20mm で輪切りした試験片を用い、デシケータ法により経過時間に伴うアンモニアガス濃度減衰量を求めた。試験では、 $1\text{mol/l}=1\text{N}$  のアンモニア水をマイクロシリンジで一定量デシケータ内に注入し揮発させたアンモニアガスの経時濃度を北川式ガス検知管により測定した。なお、写真-6.4 に試験状況を示す。

なお、木炭コンクリートは、現場水中養生材齢 28 日後試験時まで封緘養生を行った。また、比較用の普通コンクリートは、木炭混入前のベース調合のもので、養生材齢は木炭コンクリートと同一である。

表-6.2 木炭コンクリートの物性試験概要

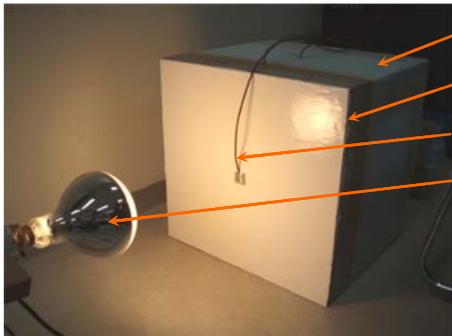
試験項目	試験方法	供試体
圧縮強度試験	JIS A 1108	$\phi 100 \times 200\text{mm}$ 円柱供試体各 3 個
引張強度試験	JIS A 1113	$\phi 100 \times 200\text{mm}$ 円柱供試体各 3 個
鉄筋の付着強度試験	ASTM C 234	鉄筋 $\phi 19$ +スパイラル $\phi 6$ を埋め込んだコンクリート供試体 $\square$ -150mm 各 1 個
長さ変化試験（乾燥収縮）	JIS A 1129	$100 \times 100 \times 400\text{mm}$ 角柱供試体各 3 個
クリープ試験	ASTM C 512	$\phi 100 \times 200\text{mm}$ 円柱供試体各 1 個
表面色試験	JIS Z 9829 $L^*a^*b^*$ 表示色	$\square$ -400mm、厚 50mm 各 1 個 *携帯用色差計使用
断熱性能試験	赤外線ランプ照射試験	$\square$ -400mm、厚 50mm 各 1 個
脱臭性能試験	デシケータ法	$\phi 100\text{mm}$ 、厚約 20mm 試験片各 1 個



写真-6.1 鉄筋の付着強度試験



写真-6.2 表面色試験



断熱箱 (スタイロフォーム厚 50mm)  
試験体  
熱電対  
赤外線ランプ (5 時間後オフ)

写真-6.3 赤外線ランプ照射試験



写真-6.4 脱臭性能試験 (デシケータ法)

### 6.3 実験結果

#### 1) 各種力学的特性

表-6.3に木炭コンクリートの圧縮強度および引張強度試験結果を示す。その結果より、ベースコンクリートよりも木炭コンクリートの方が若干強度は小さくなっているが、呼び強度 30 を十分に満足している。

図-6.1に鉄筋の付着強度試験結果を示す。その結果より、上端筋および下端筋ともに付着強度は、木炭コンクリートの方がベースコンクリートよりも約 17~22%増加している。これは、木炭混入によりコンクリートのブリーディング量が減少し、その効果により付着強度が大きくなったものと考えられる。

図-6.2に木炭コンクリートの長さ変化試験結果を示す。乾燥収縮ひずみは、木炭コンクリートの方がベースコンクリートよりも若干大きい、ほとんど差異はない。

図-6.3に木炭コンクリートのクリープ試験結果を示す。クリープひずみおよびクリープ係数は、木炭コンクリートの方がベースコンクリートよりも若干小さいが、ほとんど差異はない。

上記の結果より、強度、乾燥収縮およびクリープ性状については、木炭コンクリートとベースコンクリートでほとんど差異はないが、木炭混入によるブリーディング量の減少に伴って鉄筋の付着強度は、木炭コンクリートの方がベースコンクリートよりも約 2 割程度増大することが実験的に認められた。なお、乾燥収縮およびクリープ性状については、さらに長期間の検討が必要である。

表-6.3 木炭コンクリートの圧縮強度および引張強度試験結果

種 類	No.	単容量 (t/m <sup>3</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	強度時ひずみ ( $\mu$ )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
木炭コンクリート	1	2.31	45.5	36.0	1725	2.67
	2	2.33	48.5	36.0	2250	3.05
	3	2.32	45.7	36.3	1905	
	平均	2.32	46.6	36.1	1960	2.86
ベースコンクリート	1	2.31	47.8	39.1	1950	3.02
	2	2.33	46.8	40.4	1470	3.33
	3	2.33	46.6	36.5	1950	
	平均	2.32	47.1	38.7	1790	3.18

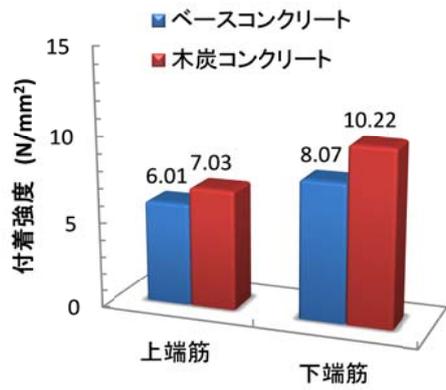


図-6.1 鉄筋の付着強度試験結果

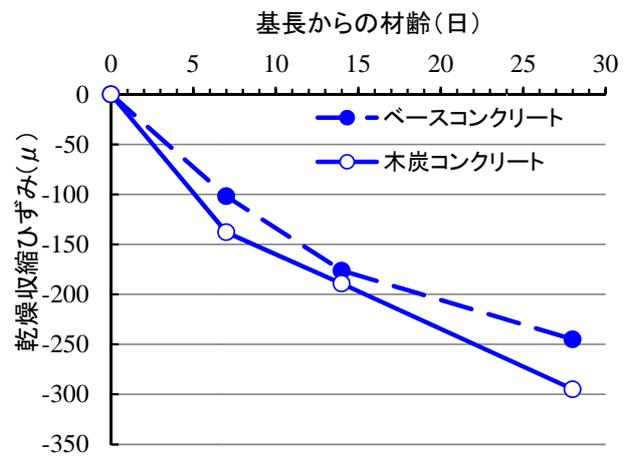
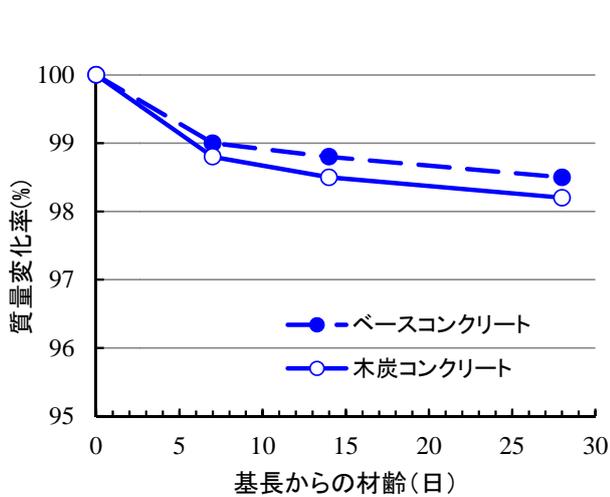


図-6.2 木炭コンクリートの長さ変化試験結果

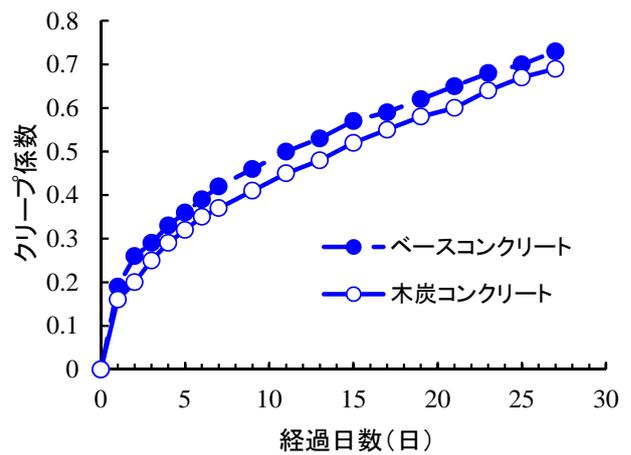
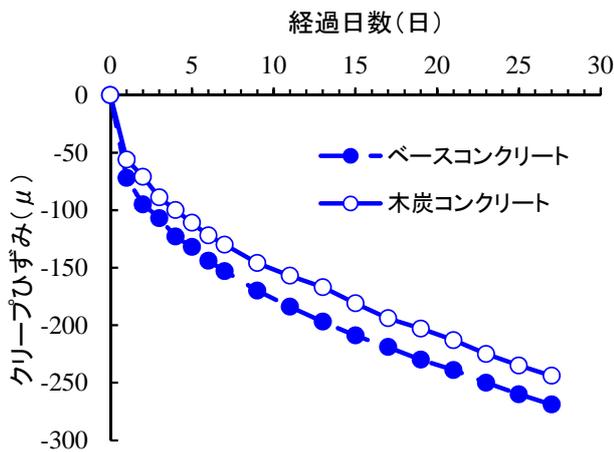


図-6.3 木炭コンクリートのクリープ試験結果

## 2) 各種機能的特性

表-6.4 に木炭コンクリートの表面色試験結果を示す。なお、図-6.4 には、L\*a\*b\*表色系の空間立体イメージを参考までに示す（「日本建築学会編：建築材料実験用教材」から抜粋）。その結果より、木炭コンクリートで a\*の数値が-で大きいのは、緑がかった黒色を示し、ベースコンクリートで b\*の数値が+で大きいのは黄みがかったことを示している。また、明度 L\*が木炭コンクリートの方がベースコンクリートよりもやや大きくなっているが、これは、木炭コンクリートの測定値を型枠面で行ったため表面のつやが影響したものと考えられる。ここで、カラーコンクリートにおいて黒色無機顔料としてよく利用されているカーボンブラックの場合には、a\*の数値が+で大きく、赤みがかった黒色を示し、木炭と色合いが異なることを付記する。

図-6.5 に木炭コンクリートの赤外線ランプ照射試験結果を示す。また、図-6.6 にコンクリート表面および断熱箱内部の最高温度を示す。その結果より、木炭コンクリート表面がやや黒色であるためにコンクリート表面温度の最高温度はベースコンクリートよりもやや大きくなっているが、断熱箱内部の最高温度にほとんど差はなく、断熱性能についてはほぼ同等である。

図-6.7 に木炭コンクリートの脱臭性能試験結果を示す。脱臭性能試験は、木炭コンクリートおよびベースコンクリートについて各 2 回ずつ行ったが、コンクリートのアンモニアガスの物理的吸着により初期に大きなガス濃度減衰量を示すが、両者の間でほとんど差異はない。

表-6.4 木炭コンクリートの表面色試験結果

木炭コンクリート				
No.	L*	a*	b*	マンセル表示色
1	64.92	-2.74	1.86	N6.3
2	68.85	-2.45	1.62	N6.7
3	65.92	-2.36	2.75	N6.4
4	64.75	-2.53	2.36	9.0GY6.3/0.5
5	66.14	-2.59	1.96	N6.4
平均	66.12	-2.53	2.11	
ベースコンクリート				
No.	L*	a*	b*	マンセル表示色
1	58.21	0.17	8.34	2.7Y5.7/1.2
2	56.77	0.61	10.79	2.5Y5.5/1.5
3	59.18	0.41	10.73	2.4Y5.8/1.5
4	61.12	-0.24	8.75	3.4Y6.0/1.2
5	55.64	0.79	9.63	2.0Y5.4/1.4
平均	58.18	0.35	9.65	

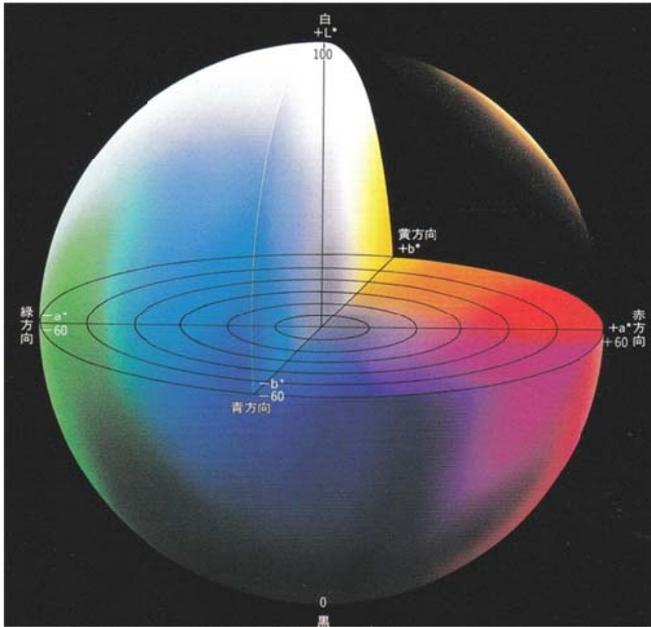


図-6.4 L\*a\*b\*表色系の空間立体イメージ

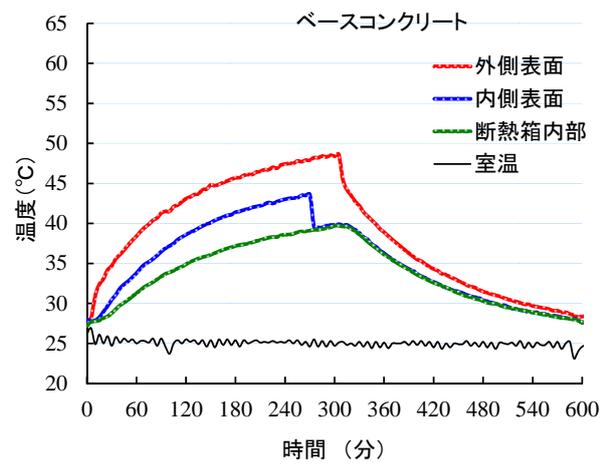
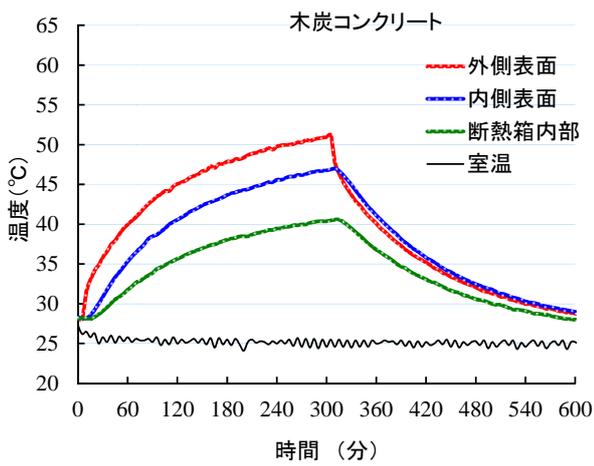


図-6.5 木炭コンクリートの赤外線ランプ照射試験結果

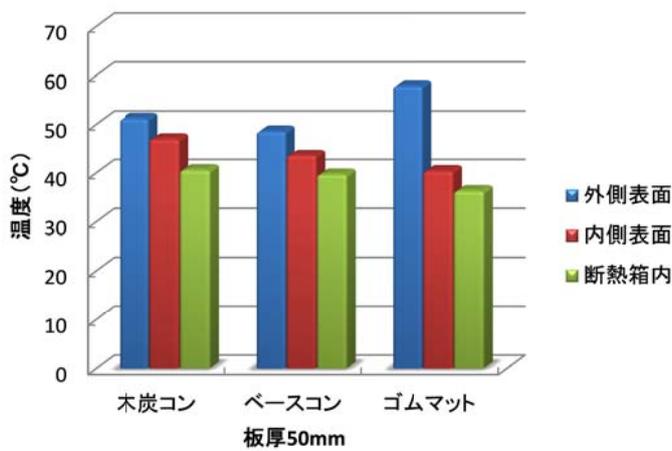


図-6.6 コンクリート表裏面および断熱箱内部の最高温度

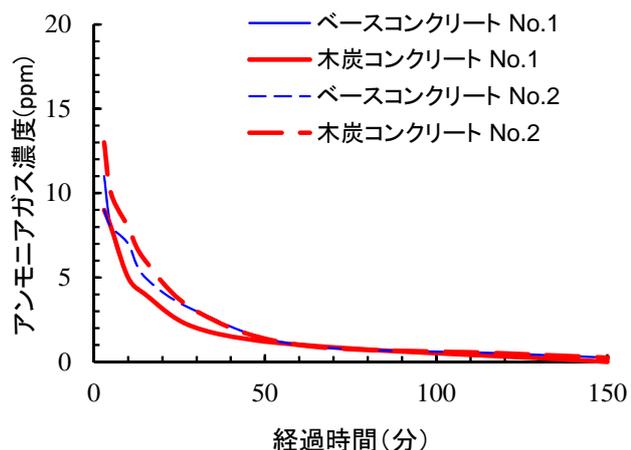


図-6.7 木炭コンクリートの脱臭性能試験結果

#### 6.4 まとめ

本研究では、レディーミクストコンクリートに木炭を混入した木炭コンクリートの構造体コンクリートへの適用を目的に、木炭コンクリートの各種力学的および機能的特性について実験的検討を行った。その結果として、ベースコンクリートと比べて、木炭コンクリートは、表面色とブリーディング量の減少による鉄筋の付着強度の増加に優位性が認められたが、その他の物性については、ベースコンクリートとほぼ同等であり、ほとんど差異はなかった。これは、実際の適用においては構造体コンクリートの施工性および強度の確保が優先事項であるため木炭混入量に制限を受けることや、木炭がセメントペーストに被覆され、その効果を十分に発揮できないことなどが考えられる。

#### 参考文献

- 1) 片山雅喜ほか：木炭コンクリートの各種力学的および機能的特性の評価、日本建築学会九州支部研究報告、pp.109-112、2012.3

## 7. 総括

本報告では、「木炭混入緑化コンクリート」、「木炭混入導電性コンクリート」、「木炭混入自己養生コンクリート」、「木炭混入構造体コンクリート」を取り上げ、その適用可能性について総説した。

木炭のコンクリートへの適用上の問題点としては、いくつか上げられる。木質系廃棄物の炭化物は別として、良質な木炭は有価物であるために、そのコストに見合った機能性付与が要求される。また、その効果の客観的再現性を保証するためには、今以上の検証データの蓄積が必要になる。

木炭のコンクリートへの混入では、木炭がセメントペーストで被覆されることやコンクリートの構造体強度を確保するために木炭混入率が限定されることを十分に考慮しなければならない。木炭の緑化コンクリートへの利用では、木炭がセメントペーストの被膜で覆われるものの、水密性の大きなコンクリート内部に混入する場合よりも開放性空隙を有する木炭の特性が発揮されやすい形態であると考えられる。一方、木炭の軽量骨材、黒色顔料、自己養生混和材、導電性材料への利用は、上記とは別の木炭の特性を活用するものであり、どのような機能性付与を目的として、それに対してどのような木炭の特性が要求されるかに応じて木炭の利用形態を適切に選定することが、適用上の重要な課題になるであろう。