

## 論文 木炭微粉末を混合したコンクリートの性状に関する研究

山田 雅裕\*1・今井 洋一\*2・前田谷 安文\*3・萩原 伸彦\*1

**要旨**：構造体コンクリートの長期強度や耐久性確保のためには、水和進行過程において十分な湿潤状態での養生や急激な乾燥の防止が重要である。そこで調湿材やホルムアルデヒド等の化学物質の吸着能力、植物生育の土壌改良材などとして利用されている多孔質の木炭を微粉末状に加工しコンクリートに混合することで初期養生時の急激な乾燥が防止できると考えた。その木炭をセメントの一部に混合したコンクリートの性状を把握する目的で基礎研究を行い、木炭微粒子の保水作用により初期の急激な乾燥を防止できること、さらにブリーディングの低減や長期材齢での圧縮強度の増進にも有効であることが確認された。

**キーワード**：木炭，ブリーディング，圧縮強度，空気量

### 1. はじめに

近年、資源循環性に関連したリサイクル技術の研究が活発に行われている。その中で建築廃材に占める木材（木くず）の割合は非常に少ないが、リサイクル用途は様々である。木くずは工作物の新改築・除去に伴って生じる建設発生木くずと木材工場から発生する木くずが主体である。木くずに分類される端材等のリサイクルの現状を見てみると、炭化して植物生育等の土壌改良材として利用されているケースがある。木材の炭化は、ホルムアルデヒド等の化学物質の吸着能力、水質浄化、床下調湿材、植物生育等の土壌改良材、堆肥材、融雪材、建材など多用途での利用と研究がされている<sup>1)</sup>。また木炭はマイナス帯電するために、空気中や周辺環境のプラス電子と結びついて、マイナスイオン効果も期待できるとされている<sup>2)</sup>。このように、使用用途は広く、様々な効果を有すること、またそれ自体が多孔質で通気性・保水性に優れることから、乾燥に伴う質量変化の低減やブリーディングの低減に効果があると考え、著者らは微粉末状に加工した木炭をセメントの一部として混合したコンクリートの性状把握を目的に実験を行った。本稿は、微粉末状にした木炭（以

下、木炭微粉末と呼ぶ）を混合したコンクリートの基礎的研究について述べる。

### 2. 実験概要

#### 2.1 木炭の概要

木炭は製造法や原木によって黒炭と白炭に分けられる。黒炭は主にスギ、マツ、クヌギやコナラといった柔らかい原木を使い、400℃～600℃程度で炭化後に窯を密閉してゆっくり冷却して作られる。黒炭の炭質は、白炭に比べ柔らかく、着火温度が低いことや燃焼時間が短いのが特徴とされている。代表的なものには、生産地の名にちなんで命名された「池田炭」（大阪府）、「岩手木炭」（岩手県）などがあり、原木には池田炭にクヌギが、岩手木炭にミズナラが使用されている。一方、白炭にはカシやナラなどの堅い原木が使われ、約1000℃の炭化温度で均一に炭化された灼熱の木炭を窯の外に取り出して消し粉をかけて消化・冷却され作られる。この消し粉が表面に付着して炭が白くなるために白炭と呼ばれている。白炭の炭質は非常に硬く、燃焼時間も長く均一なエネルギーが持続されるといわれている。また、高温で焼かれることによって遠赤外線を多量に含み、導電性も高くミ

\*1 東亜建設工業(株) 技術研究所 建築構造研究室 主任研究員 (正会員)

\*2 日本シーカ(株) 第一事業本部 マーケティングサービスグループ

\*3 東亜コンクリート工業(株) 技術課 部長

ネラル分も“孔”と呼ばれる穴の中に多量に含まれるとされている<sup>3)</sup>。

実験では中国産のナラを 950~1050℃の炭化温度で製造した備長炭（白炭）を粉末状にしたものを使用した。真密度は 1.65g/cm<sup>3</sup>、かさ密度は 0.565g/cm<sup>3</sup>である。使用した木炭微粉末を写真-1に示す。

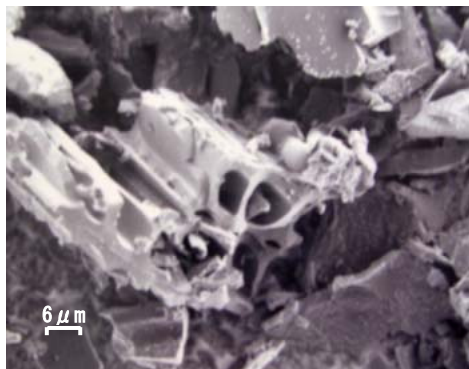


写真-1 使用した木炭微粉末

## 2.2 コンクリートの調合

実験に用いた材料を表-1に示す。木炭微粉末を混合したコンクリートの基礎的性状を把握するために、表-2に示す調合を計画した。セメントは普通ポルトランドセメント、骨材は2種類の細骨材、1種類の粗骨材を使用した。使用した木炭微粉末の粒度分布測定結果を図-1に示す。測定はJIS B 9921「光散乱式自動粒子計数器」による結果である。木炭微粉末の平均粒径は 16.7μm であり、普通ポルトランドセメントと同程度である。調合は W/C（水セメント比）60%，スランプ 18cm，空気量 4.5%の比較用の基本コンクリートと W/P（水粉体比）が一定となるように、単位セメント容積の内割で 0~10%の範囲内で木炭微粉末を混合したコンクリートとした。粗骨材かさ容積は、練上がりコンクリートの状態をスランプフロー値等で判断しながら適正値を設定し、S1 シリーズでは 0.605m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>（単位水量 179kg/m<sup>3</sup>），S2 シリーズでは 0.600m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>（単位水量 180kg/m<sup>3</sup>）とした。木炭微粉末量は単位セメント容積の粉体量に対して、S1 シリーズで 0%，1%，5%及び 10%を置換し、主に木炭微粉末を混合した場合のワーカ

ビリティへ与える影響やブリーディング低減の可能性、また強度に及ぼす影響等について確認した。S2 シリーズでは 0%，0.5%及び 1%と混合率を細かく設定し、AE 剤の必要使用量や練上がり 30 分までのフレッシュコンクリートの性状変化を観測した。

表-1 使用材料

材料	種類・物性等
セメント	C：普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S1：山砂（佐原産） 表乾密度 2.59g/cm <sup>3</sup> ，吸水率 1.94%
	S2：砕砂（葛生産） 表乾密度 2.64g/cm <sup>3</sup> ，吸水率 1.13%
粗骨材	G：石灰岩質砕石（横瀬産） 表乾密度 2.70g/cm <sup>3</sup> ，吸水率 0.25% 実積率 60.2%
混和材	木炭微粉末（中国産備長炭）
練混ぜ水	上水道水
混和剤	AE 減水剤（リグニンスルホン酸系） AE 剤（ポリオキシエチレンアルキル硫酸アミン塩）

表-2 調合

記号	W/P (%)	W/C (%)	s/a (%)	木炭混合率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
					W	C	S <sup>1)</sup>	G
S1-C0	60	60.0	46.6	0	179	298	832	983
S1-C1		60.7	46.5	1	179	295	829	983
S1-C5		63.2	46.2	5	179	283	819	983
S1-C10		66.7	45.8	10	179	269	806	983
S2-C0		60.0	46.9	0	180	300	835	975
S2-C0.5		60.3	46.9	0.5	180	299	834	975
S2-C1		60.6	46.8	1	180	297	833	975

1)S=S1：S2=40：60（質量比）

目標スランプ：18cm，目標空気量：4.5%

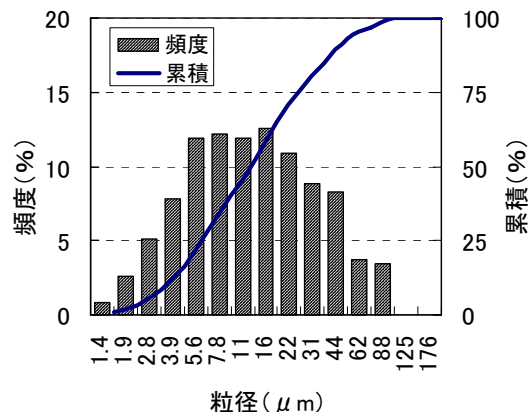


図-1 木炭微粉末の粒度分布

## 2.3 試験項目及び方法

試験項目及び方法を表-3に示す。基本コンクリートと木炭微粉末を混合したコンクリートについて、練上がり状態の観察、質量変化、表面含水率の変化、ブリーディング量及び圧縮強度の特性比較を行った。

表-3 試験項目及び方法

試験項目	試験方法	シリーズ
スランプ	JIS A 1101	S1,S2
空気量	JIS A 1128	S1,S2
ブリーディング	JIS A 1123	S1
質量変化	10×10×40cm 角柱供試体を用いて気乾状態で実施。	S1
表面含水率		
圧縮強度	JIS A 1108	S1,S2

### (1) スランプ試験, 空気量試験

スランプ試験及び空気量試験は、それぞれ JIS A 1101 及び JIS A 1128 に準拠した。S2 シリーズでは、木炭微粉末の混合率と AE 剤使用量の関係を把握するとともに、基本コンクリートと木炭微粉末を混合したコンクリートのスランプ及び空気量等の性状比較を行った。また、練上がり直後及び練上がり 30 分後(水分が逸散しないようにビニールで練り舟を覆って静置) でフレッシュコンクリートの試験を行い、経時変化も確認した。

### (2) ブリーディング試験

ブリーディング試験は、JIS A 1123 に準拠して行い、基本コンクリートと木炭微粉末を 5% 混合したコンクリートでブリーディング量及びブリーディング率を比較するとともに、経過時間と累積ブリーディング水量及びブリーディング終了時間を比較した。

### (3) 質量変化の測定

質量変化の測定は、基本コンクリート及び木炭微粉末を 1%、5% 及び 10% 混合したコンクリートの練上がり試料を用いて、10×10×40cm 角柱供試体を作製し実施した。供試体は作製 24 時間経過後に脱型し、20℃室内の気乾状態で保

存した。保存方法は、供試体の下面にも空気が循環するように空間を設けて横向きとした。測定は、材齢 1~7 日目までは毎日 1 回、7 日以降は 7 日間隔とし材齢 28 日まで行っている。

### (4) 表面含水率の測定

表面含水率の測定は、高周波容量水分計を用いて、質量変化の測定と同時に行った。測定箇所は 10×10×40cm 角柱供試体の上面、側面の 3 面とし、供試体端部から 10cm、供試体の中心で 1 面につき 3 点 (合計 9 点) とした。

### (5) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、JIS A 1108 に準じて  $\phi 10 \times 20$ cm の円柱供試体を用いて行った。S1 シリーズでは、材齢 1 日、3 日、7 日及び 28 日で強度確認を行った。供試体は作製 24 時間後に脱型し、材齢 1 日の供試体については、速やかにキャッピングして強度試験に供した。その他の材齢のものは、所定の材齢まで水中養生 (20±1℃) を行い端面研磨後に強度試験に供した。S2 シリーズでは気乾状態で保存した供試体についても強度試験を実施した。

## 2.4 練混ぜ

練混ぜには、容量 55L の強制練りパン型ミキサを使用し、各調合で 35L/バッチを練混ぜた。材料はそれぞれ別々に計量・投入し、木炭微粉末については均一に混ざるようにセメントの上に散布した。練混ぜ時間は、基本コンクリート及び木炭微粉末を混合したコンクリートともに材料投入後 90 秒とした。コンクリート用化学混和剤には、AE 減水剤及び AE 剤を使用し、AE 減水剤の使用量は全ての調合で一定量とした。AE 剤は木炭微粉末の混合率に応じて目標空気量になるように使用量を調整した。

## 3. 実験結果

### 3.1 フレッシュコンクリートの性状

#### (1) スランプ及び空気量

フレッシュコンクリートの試験結果を表-4、S1 シリーズにおけるスランプの比較を写真-2、基本コンクリートと木炭微粉末 (0.5% 及び

1%)を混合したコンクリートにおける空気量と AE 剤使用量の関係を図-2 に示す。AE 剤使用量は、セメント質量に対し 0.001%を 1A として示している。

木炭微粉末の混合率を増すとスランプフロー値が小さくなる傾向を示したが、木炭微粉末の混合率が 1%を超えても極端にスランプの低下は認められなかった。木炭微粉末の混合によりコンクリートの粘性が若干増加することから、木炭微粉末は水セメント比の大きい調合において材料分離抵抗性に寄与するものと考えられる。

また、目標空気量を 4.5%にした場合の AE 剤使用量は、木炭微粉末の混合率増加に伴い、増大する傾向にあることがわかった。これは、多孔質な木炭微粉末が AE 剤を吸着していることが原因として考え、フライアッシュを多量に用いた場合に類似しているものであった<sup>4)</sup>。木炭微粉末の混合率にもよるが、連行空気量と AE 剤使用量には概ね比例関係があることから、木炭微粉末の混合率に応じて AE 剤使用量を調整すれば必要とされる空気量の確保は十分可能であると考えられる。しかし、木炭微粉末を 5% 及び 10%混合したコンクリートの空気量と AE 剤使用量の結果から、所要の空気を連行するためには AE 剤を多量に必要であることから、木炭微粉末の混合率を高くする場合には事前に連行空気量と AE 剤使用量の関係を把握しておく必要がある。

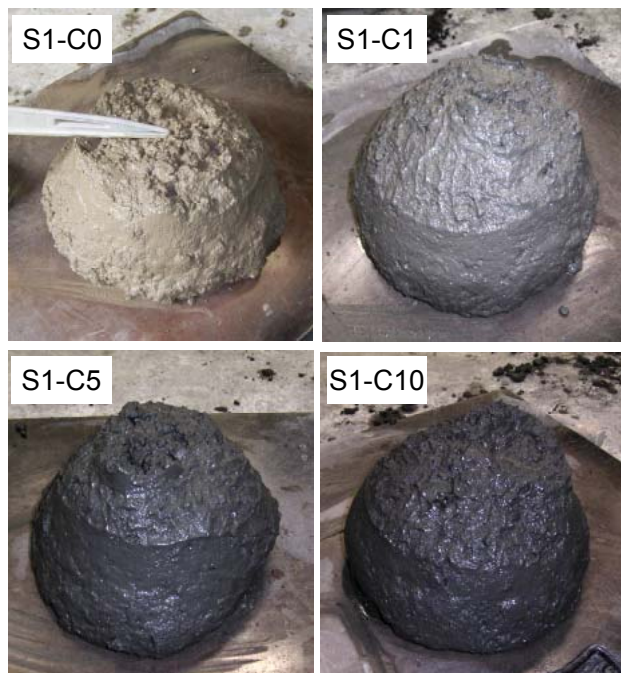


写真-2 スランプの比較

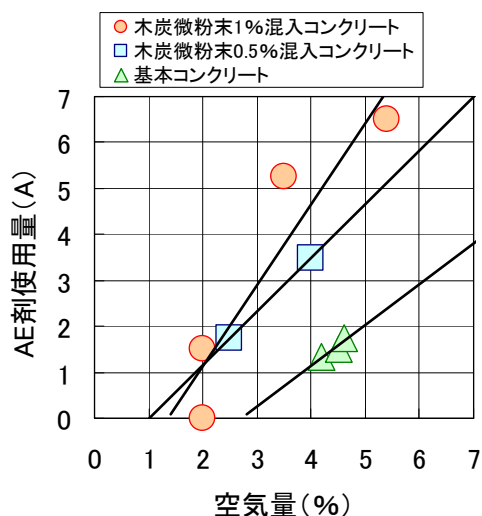


図-2 空気量と AE 剤使用量

表-4 フレッシュコンクリートの試験結果

記号	AE 剤 使用量(A)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> )
S1-C0	1.35	18.5/29.0	4.5	2300
S1-C1	0	16.5/27.0	2.0	2377
S1-C5	5.0	15.5/26.0	1.0	2356
S1-C10	30.0	16.0/26.0	1.2	2361
S2-C0	1.75	19.5/29.5	4.6	2300
	1.50	20.0/30.0	4.5	2308
S2-C0.5	1.75	18.0/28.5	2.5	2320
	3.5	19.5/30.0	4.0	2314
S2-C1	5.25	20.5/31.5	3.5	2330
	6.5	19.0/28.5	5.4	2287
	0	17.5/27.0	2.0	2334

(2) フレッシュコンクリートの経時変化

コンクリートの練上がり直後及び 30 分経過後のスランプ、空気量及び単位容積質量の経時変化を図-3 に示す。基本コンクリート (S2-C0) と木炭微粉末を 1% 混合したコンクリート (S2-C1) の練上がり直後と 30 分経過後で比較すると、スランプの低下率 (練上がり直後に対する 30 分経過後) は S2-C0 で約 15%, S2-C1 で約 45%, 空気量の低下率は S2-C0 で約 18%,

S2-C1 で約 38%であり、S2-C1 の 30 分経過後のスランプ及び空気量の低下が比較的大きい結果となった。しかし、木炭微粉末の混合率に応じて粗骨材かさ容積や単位水量などの修正によってスランプ及び空気量の経時変化を小さくできるものと考えられる。さらに AE 減水剤の成分が木炭微粉末に吸着されていることも考えられ、木炭微粉末の混合率に応じて使用量を調整することで対応可能であると思われる。

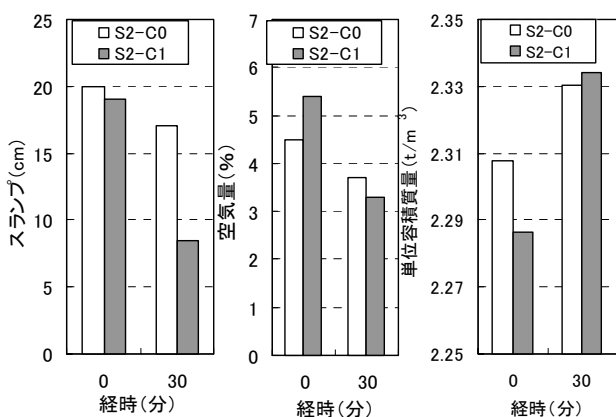


図-3 練上がり直後及び 30 分経過後のスランプ、空気量及び単位容積質量の経時変化

### (3) ブリーディング

基本コンクリート (S1-C0) と木炭微粉末を 5%混合したコンクリート (S1-C5) の経過時間とブリーディング量の比較を図-4、ブリーディング終了時の上面状態を写真-3に示す。S1-C0 及び S1-C5 の AE 剤使用量は同じであるが、練上がり直後の空気量はそれぞれ 4.5%、1.0%と差がある。試験結果より S1-C0 及び S1-C5 のブリーディング量は練上がり 4 時間程度までは S1-C0 と同程度で推移しているが、その後急激に減少し、最終的には S1-C0 に比べ 1 時間早くブリーディングが終了した。最終的に S1-C5 のブリーディング量は S1-C0 より約 20% 減少していた。このことは、多孔質な木炭微粉末がブリーディング水を抱え込み全体のブリーディング量を減少させたと考えられる。また S1-C5 のブリーディング終了後のコンクリート表面には水膜のようなものを形成していた。

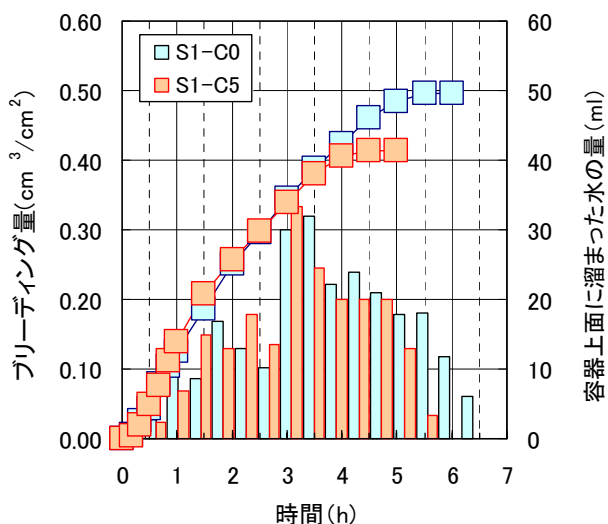


図-4 ブリーディング量の比較



写真-3 ブリーディング終了時の上面状態

## 3.2 硬化コンクリートの性状

### (1) 質量変化、含水率変化

基本コンクリートと木炭微粉末 (1%, 5% 及び 10%) を混合したコンクリートの質量変化及び表面含水率の変化をそれぞれ、図-5 及び図-6 に示す。材齢初期における木炭微粉末を混合したコンクリートの質量変化及び含水率変化は、基本コンクリートに比べて小さく、木炭微粉末の混合率の高いほど小さいことが確認された。そのため、木炭微粉末を混合することで材齢初期における急激な乾燥を抑えることが可能になり混合率を変化させれば乾燥速度の調整も可能になる可能性もある。最終的には材齢の進行に伴って両者の質量変化及び含水率変化は概ね同等になることが確認された。

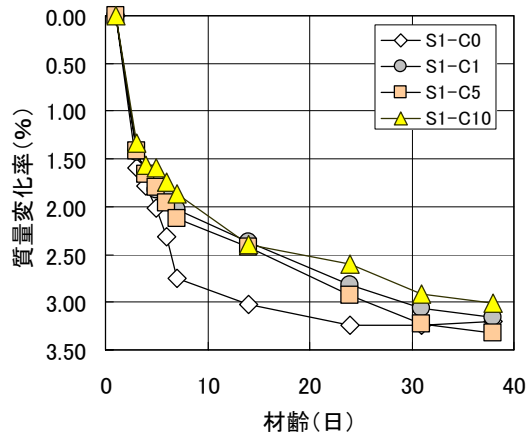


図-5 質量変化

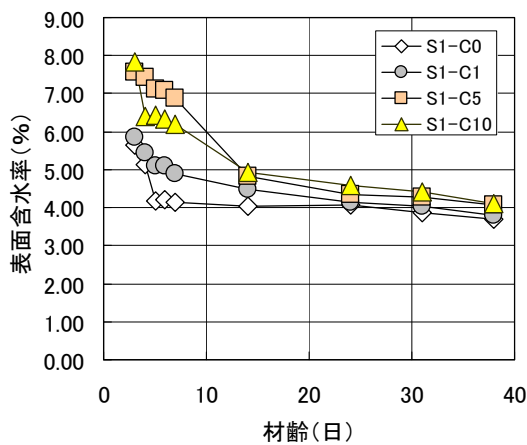
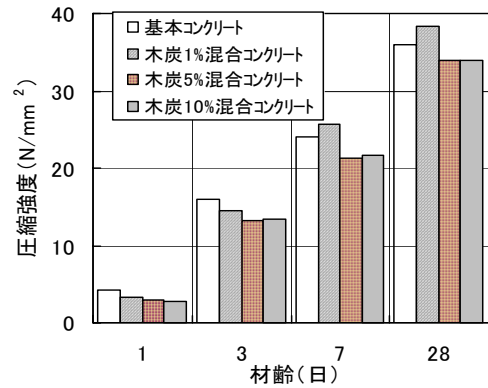


図-6 表面含水率の変化

## (2) 圧縮強度

木炭微粉末の混合率と圧縮強度の関係を図-7に示す。基本コンクリートと木炭微粉末を混合したコンクリートの空気量が若干異なるため、圧縮強度を比較する上で木炭微粉末を混合したコンクリートの圧縮強度は、基本コンクリートの空気量に対して、空気量が1%少ない場合には5%の強度を減少させ補正した値で示している。木炭微粉末を混合したコンクリートの圧縮強度は基本コンクリートに比べて材齢初期では低いですが、材齢の進行に伴い高くなる傾向が認められた。W/Pを一定として木炭微粉末の混合率を高くした場合、W/Cは大きくなるが基本コンクリートと木炭微粉末を混合したコンクリートの強度差はほとんど認められず、木炭微粉末を1%混合したコンクリートは基本コンクリートより材齢28日強度が高い結果となった。



※圧縮強度は、基本コンクリートの空気量に対して、空気量1%減少につき強度を5%低減して表示。

図-7 木炭微粉末の混合率と圧縮強度の関係

## 4. まとめ

- (1) 基本コンクリートに比べ AE 剤の使用量が増加するが、木炭微粉末の混合率に応じて空気量の調整が可能である。
- (2) ブリーディング量の低減が期待できる。
- (3) 材齢初期の質量及び含水率の変化は、基本コンクリートに比べて小さい。木炭微粉末の混合率の高いほど小さくなる。
- (4) 木炭微粉末の混合率10%程度の範囲内において、圧縮強度の低下は認められない。

## 謝辞

実験にあたり、信幸建設の吉田拓史氏ならびに上陽レミコン朝霞工場の伊藤明人氏に多大な協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 小林孝一, 山羽基: 木炭粉を混入したセメント系材料の性状に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.1337-1342, 2003
- 2) 森昭憲他: 木炭の孔隙特性が硝酸イオンの保持機能に及ぼす影響, 日本土壤肥料学雑誌, 第72巻, 第5号, pp.642-648, 2001
- 3) 岸本定吉: 木炭の博物誌, 総合科学出版, 1984
- 4) フライアッシュコンクリートの空気連行性及びブリーディングに影響を及ぼす各種要因, コンクリート工学年次論文集, Vol.20, No.2, pp.97-102, 1998