

論文 タイヤチップ^①, 石炭燃焼灰混入コンクリートの基礎物性岡崎 一寛*¹・森 二三人*²・長崎 洋*³・森本 博昭*⁴

要旨：タイヤチップ，石炭燃焼ボイラーから排出される灰を用いたコンクリートについてその使用量及び品質を変化させ，基本的な試験を実施した。その結果，灰には未燃カーボンが50%程度含まれる為，フレッシュ時に所定の空気量を得るにはかなりのAE剤を要し，添加量によっては遅延やブリーディングの注意が必要であるが，セメント質量の1.5%を添加した場合には普通コンクリートとほぼ同等な性状を示した。

キーワード：産業廃棄物，リサイクル，タイヤチップ，未燃カーボン，着色剤

1. はじめに

近年，下水汚泥焼却灰や都市ゴミ・焼却灰といった公共性の高い施設から排出される副産物のみならず，企業のISO14000シリーズ取得に伴い，企業の生産活動等から排出される副産物についてもコンクリートに適用しようとする動きが活発である。本論で対象とするのはタイヤメーカーから排出されるタイヤチップ，石炭燃焼灰（以下廃タイヤカーボンと記す）であり，未燃カーボンが50%程度含まれる為，コンクリートに使用した場合，脱型してしばらくは黒色系の着色剤を入れたように黒みを呈するのが特徴である。しかし廃タイヤカーボンを使用したコンクリートに関する事例は一部で報告¹⁾があるが，まだ一般的でなく基礎的な物性に関するデータも乏しい為，本論では廃タイヤカーボンを使用したコンクリートの基礎的な物性を確認するため各種試験を実施し，通常のコンクリートとの比較を行った。

2. 廃タイヤカーボン

2.1 廃タイヤの発生量及びリサイクル状況

（社）日本自動車タイヤ協会によると'98年

の廃タイヤの発生量は97万5,000トであり，リサイクル率は87%である。このうち原形または加工利用分は36%，熱利用分は51%である。本論で対象とする廃タイヤカーボンは熱利用分の4%（3万9千ト）を占めるタイヤメーカー工場の発電用ボイラーから排出されるものである。従来廃タイヤカーボンは最終処分場へ廃棄されていたが，最近ではセメントメーカーがセメント焼成窯での原燃料として引き取っている状況にある。しかし，昨今の景気後退を背景としたセメント業界の生産縮小も懸念され，安定した利用先を探すことは重要な課題である。

2.2 タイヤチップ，石炭燃焼ボイラー

あるタイヤメーカーでは廃タイヤを石炭の代替燃料として使用する火力発電設備を利用しており，結果として電気集塵機で集められた廃タイヤカーボンが燃料として使用した質量の8%程度発生している。燃料の混合比率は質量比でタイヤチップと石炭で1:6である。

2.3 廃タイヤカーボンの物理，化学的性質

廃タイヤカーボンの成分には有害量の重金属類は含まれておらず，コンクリートとした後にも重金属類の溶出は認められなかった。

*1 昭和コンクリート工業(株)技術開発部開発課（正会員）

*2 昭和コンクリート工業(株)技術開発部開発課課長

*3 岐阜大学工学部土木工学科

*4 岐阜大学教授 工学部土木工学科 工博（正会員）

廃タイヤカーボンの走査型電子顕微鏡による写真を写真-1に示す。廃タイヤカーボンの粒子の形状は不定形であり、表面には無数の細孔のようなものが確認できる。廃タイヤカーボンの化学成分を表-1に示す。なお Na_2O 、 K_2O についてはそれぞれ0.2%、0.1%が検出されたが微量であった為、表中からは省略した。また試験に使用した3種類の廃タイヤカーボンの未燃カーボン分、平均粒子径、比表面積、比重を表-2に示す。

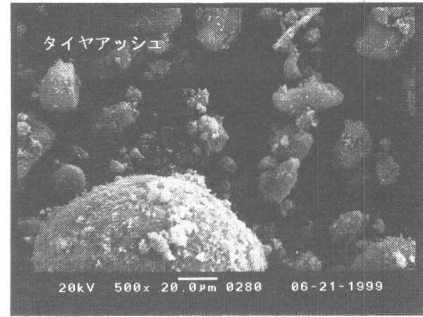


写真-1 廃タイヤカーボン

表-1 廃タイヤカーボンの化学成分

C (%)	SiO ₂ (%)	ZnO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)
43~52	20~23	5~6	4~6	2~5	2

表-2 廃タイヤカーボン分析結果

サンプリング日	H11/9/1	9/8	9/20
未燃カーボン分(%)	49.1	42.0	45.5
平均粒子径(µm)	4.4	5.9	9.5
比表面積(m ² /g)	98	93	78
比重	2.100	2.102	2.084

3. 試験の概要

3.1 使用材料

- (1)セメント 普通ポルトランドセメント
3社等量混合 比重 3.16
- (2)細骨材 大井川水系産川砂 比重 2.58
粗粒率 2.74
- (3)粗骨材 岡崎産碎石(5~20mm) 比重 2.68
- (4)混和材 廃タイヤカーボン
- (5)混和剤 AE減水剤標準形 I EX20
AE剤 I種 FA10(1), AE200

3.2 コンクリートの配合

試験に使用するコンクリートの配合条件は目標スランプ $12 \pm 2.5\text{cm}$ 、目標空気量 $5.5 \pm 1.0\%$ 、廃タイヤカーボンはセメント質量に対して添加し、細骨材の容積で置換することとした。廃タイヤカーボンは絶乾状態で使用し、フライアッシュ用 AE 剤を使用した。また粒子表面の細孔の存在や未燃カーボンが多く含まれる為、フレッシュコンクリートにおいてはスランプが減少し、また空気量が添加されにくいと推測された

為、所要スランプならびに空気量を得るために以下の手法にて調整を行うこととした。

(1)AE 減水剤は一定値(C×0.2%)とした上でスランプの低下に対しては単位水量を増加することで調整する。

(2)空気量は AE 剤にて調整する。

配合種類として水セメント比50%の1ケース、廃タイヤカーボンをセメント質量の0、1.5、3%を使用する3ケース、サンプリング日の異なる廃タイヤカーボン3種類について、すべての組合せを実施した。表-3に配合種別を示す。

表-3 配合種別

配合種別	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	混和材添加率 (C×%)	単位質量(kg/m ³)						
				水 W	セメント C	廃タイヤカーボン F	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤	
									AD	AE
N50	50	43.3	0.0	158	316	0	779	1059	0.632	0.009
Cb50-1.5(9/1)	50	41.4	1.5	167	332	4.98	727	1068	0.663	0.481
Cb50-1.5(9/8)										0.501
Cb50-1.5(9/20)										0.332
Cb50-3.0(9/1)	50	39.0	3.0	178	351	10.53	664	1080	0.702	1.053
Cb50-3.0(9/8)	50	39.2	3.0	176	347	10.42	672	1081	0.695	1.042
Cb50-3.0(9/20)	50	39.1	3.0	177	349	10.48	667	1081	0.699	0.699

3.3 コンクリートの練り混ぜ

コンクリートの練り混ぜには容積 55 リットルの強制攪拌ミキサーを用いた。材料は砂利・砂・セメント（廃タイヤカーボン）・砂・砂利の順に投入して 30 秒間の空練りを行い、水・混和剤を投入した後、90 秒間練り混ぜた。

3.4 試験項目及び方法

(1) スランプ試験

コンクリートのスランプ試験方法 (JIS A 1101-1998) に準じて試験を実施した。試験時期は記録した最初の時刻から 90 分間 30 分ごとに行い、試料は練り置きの状態とした。

(2) 空気量試験

フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力方法）(JIS A 1128-1999) に準じて試験を実施した。試験時期及び試料はスランプ試験と同一とした。

(3) プリーディング量試験

コンクリートのプリーディング試験方法 (JIS A 1123-1997) に準じて試験を実施した。

(4) 凝結時間試験

コンクリートの凝結時間試験方法 (JIS A 6204-1995 コンクリート用化学混和剤、付属書 1) に準じて試験を実施した。

(5) 圧縮強度試験

コンクリートの圧縮強度試験方法 (JIS A 1108-1999) に準じて試験を実施した。試験を実施する材齢は 1, 4, 13 週とした。

4. 試験結果

4.1 配合設計

廃タイヤカーボンを添加した配合では極端なワーカビリティの低下が確認された。単位廃タイヤカーボン量と単位水量の関係を図-1 に示す。コンクリートの性状はペーストの流動性が著しく阻害され、単位水量の増加に見あうだけの流動性が得られなかった為、単位粗骨材量を増加することにより単位水量が最小となるよう調整を行った。単位廃タイヤカーボン量と単位粗骨材かさ容積の関係を図-2 に示す。

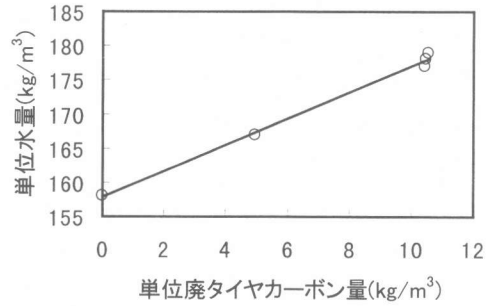


図-1 単位廃タイヤカーボン量と単位水量の関係

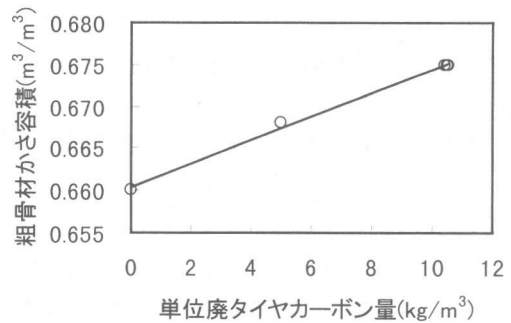


図-2 単位廃タイヤカーボン量と粗骨材かさ容積の関係

4.2 各配合の AE 剤使用量

単位廃タイヤカーボン量と単位 AE 剤量の関係を図-3 に示す。サンプリング日が 9/20 の廃タイヤカーボンを使用した配合は 2 サンプルに比べ AE 剤使用量は減少した。これは 9/20 の廃タイヤカーボンは他に比べ比表面積が少なく、AE 剤の吸着によるロスが少量で済んだ為であると考えられる。

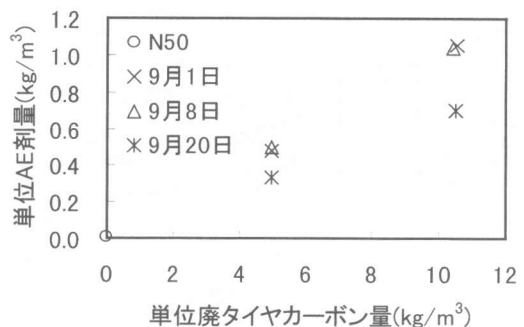


図-3 サンプリング日と単位 AE 剤量の関係

4.3 フレッシュ性状

(1) スランプ、空気量の経時変化

練り混ぜ終了時からの経過時間とスランプの関係を図-4に、経過時間と空気量の関係を図-5に示す。スランプ、空気量ともにN50とCb50シリーズはほぼ同等な低下が認められた。

(2) ブリーディング試験

ブリーディング発生時間とブリーディング量の関係を図-6に示す。Cb50-1.5シリーズではN50と比較して発生時間で1.2~1.6倍、ブリーディング量で1.0~1.3倍増加しており、Cb50-3.0シリーズでは発生時間で1.6~2.4倍、ブリーディング量で1.3~2.3倍増加する結果となった。

また単位水量とブリーディング終了時間、ブリーディング量との関係を図-7、図-8にそれぞれ示す。単位水量の増加に対してそれぞれ増加する傾向となっているが、サンプリング日が9/1のシリーズについては増加量が少ない結果となった。

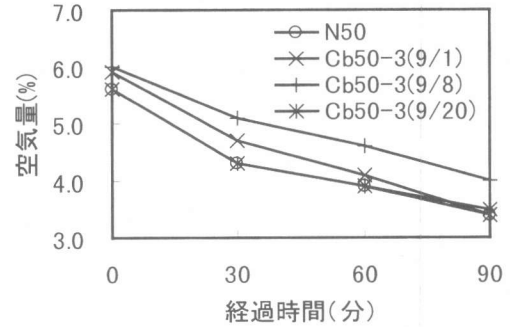
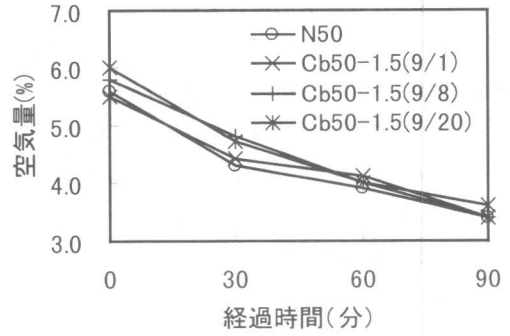


図-5 空気量の経時変化

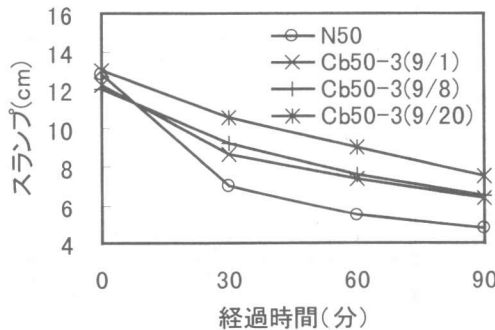
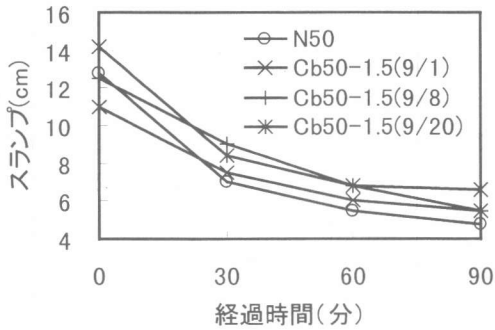


図-4 スランプの経時変化

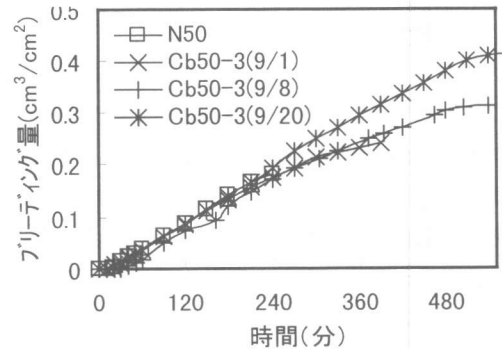
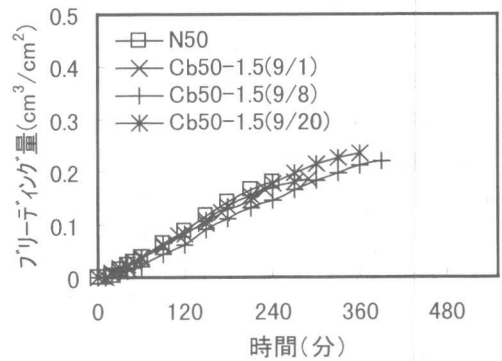


図-6 ブリーディング試験結果

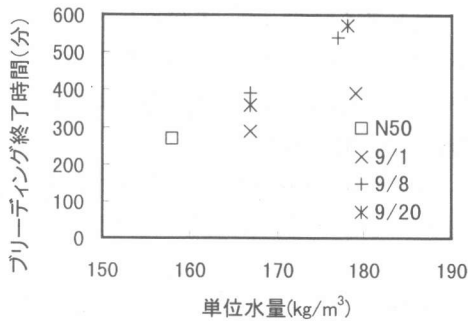


図-7 単位水量とブリーディング終了時間との関係

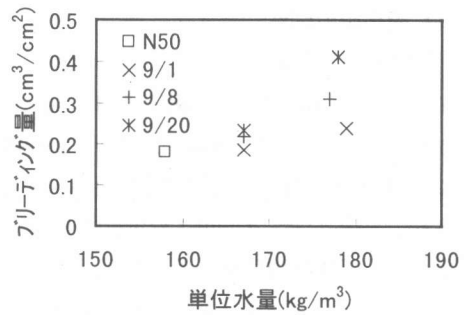


図-8 単位水量とブリーディング量との関係

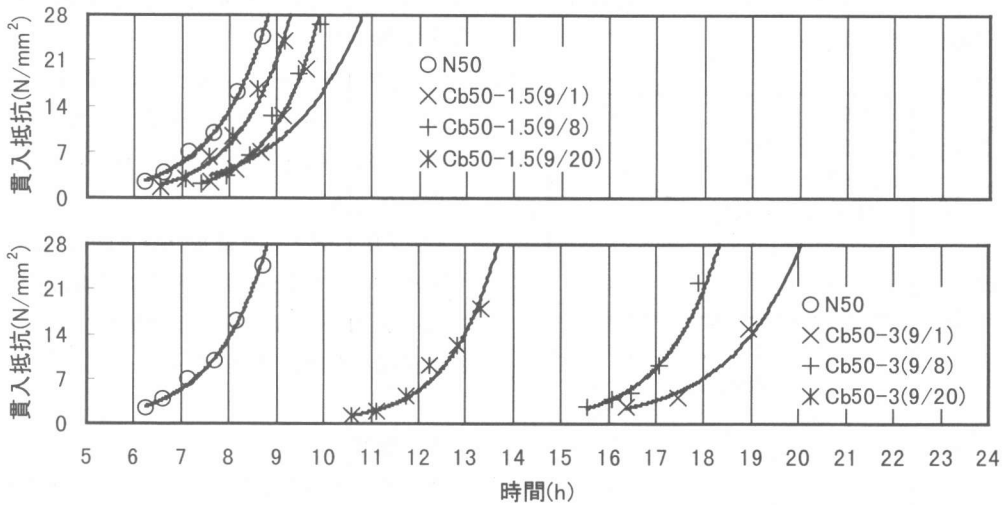


図-9 凝結時間試験結果

(3) 凝結時間試験

試験結果を図-9に示す。Cb50-1.5 シリーズにおいては始発で最大 1.4 時間、終結で 0.83 ~ 1.9 時間の遅延が認められ、Cb50-3.0 シリーズにおいては始発で 4.8 ~ 10.7 時間、終結で 5.3 ~ 11.3 時間の遅延が認められた。AE 剤の添加率と凝結時間の関係を図-10に示す。また図中に AE 剤自体の製品特性を実線で示した。本試験結果は AE 剤の製品特性とほぼ整合性を示した。また廃タイヤカーボンに含まれる ZnO は中原らによると遅延作用があり、Ca(OH)₂ と反応して 2ZnO·CaO·nH₂O の複塩となる過程において Ca(OH)₂ としてのアルカリ分量や複塩の生成速度が起因する²⁾とある。本試験では特

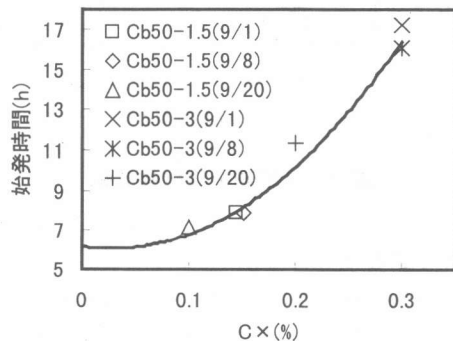


図-10 AE 剤添加率と凝結時間の関係

にその影響は認められないが、廃タイヤカーボンに含まれる ZnO の量には注意が必要である。

4.4 硬化後の試験

(1) 圧縮強度試験

圧縮強度試験の結果を図-11に示す。Cb50-1.5 シリーズでは N50 に比較して 0.98~1.12, Cb50-3 シリーズでは 0.97~1.08 のばらつきが認められた。Cb50-1.5(9/1)においては他と比較して圧縮強度が若干高いが、それは他に比べ空気量が 0.8%少ないことによるものであると推定される。(他の3種類の空気量 5.6%に対して 4.8%) 特に結果からは廃タイヤカーボンの物性値との相対関係については明確なものとは確認できなかった。

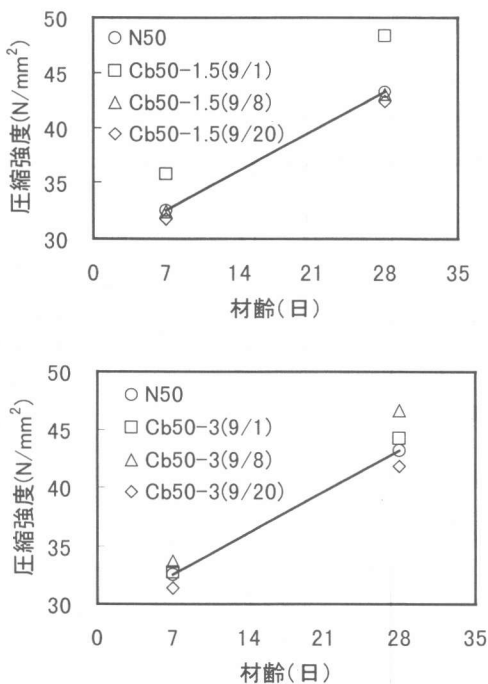


図-11 圧縮強度試験結果

5. まとめ

本試験の範囲内において以上の結果をまとめると次のようになる。

(1) 廃タイヤカーボンを使用したコンクリートは普通コンクリートに対し、単位水量を増加させることでスランプの低下に対して調整が可能であり、圧縮強度に関してもほぼ同等でそのばらつきは 0.97~1.12 であった。

(2) 廃タイヤカーボンを使用したコンクリートにおいてフライアッシュ用 AE 剤を使用した場合には普通コンクリートとほぼ同等の空気保持能力が認められた。

(3) スランプの経時変化は普通コンクリートと廃タイヤカーボンを使用したコンクリートにおいてもほぼ同等であった。

(4) AE 剤は未燃カーボンに吸着される為、廃タイヤカーボンをセメント質量の 3%使用する場合、大量の AE 剤を使用しないと所定の空気量が入らなかった。その量は遅延が問題となるほどであった。

(5) 廃タイヤカーボンをセメント質量の 1.5%使用する場合においては AE 剤の添加量が少量であり、遅延は普通コンクリートと比較して数時間程度であった。

(6) プリーディング量及び発生時間は廃タイヤをセメント質量の 1.5%使用した場合には普通コンクリートとほぼ同等であったが 3.0%使用した場合にはそれぞれ倍程度であった。

6. 謝辞

本試験の実施にあたり多大な貢献を頂いた竹本技研サービス(株)、竹本油脂(株)の皆様方、ならびに廃タイヤカーボンに関する試験を御協力いただいたアイ・ディー・コーポレーション(株)、東洋ゴム工業(株)の皆様に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 伊藤誠吉, 池田元孝, 田中秀志: 廃タイヤ・カーボンを添加したコンクリートの性状, 第10回生コン技術大会研究発表論文集, pp45-48, 1999
- 2) 中原万次郎, 笠井順一, 宮川継男, 青木繁樹, 国友義和, 門倉利夫: ポルトランドセメントおよび焼セッコウの凝結におよぼす銅, 亜鉛, 鉛などの化合物および砂糖の影響, Gypsum & Lime, No.41, pp25-32, 1959