

石炭灰を利用した路盤材の 長期耐久性に関する実証検討

三浦雅彦¹ 奥田康三² 浅野耕司³ 加藤正巳⁴

¹正会員 中部電力(株) 電力技術研究所 構築G 研究主査 (〒459 名古屋市緑区大高町字北関山 20-1)

²正会員 中部電力(株) 電力技術研究所 構築G (〒459 名古屋市緑区大高町字北関山 20-1)

³大有建設(株) 中央研究所 (〒454 名古屋市中川区十番町 6-12)

⁴(株)コムリス 技術開発部 副部長 (〒460 名古屋市中区丸の内 1-2-30)

石炭灰の有効利用は重要な課題となっており、利用しやすい形態として石炭灰固化物を破碎して道路路盤材とする開発研究を行ってきた。路盤材の評価は特に耐久性が重要視されるが、昭和 63 年に試験施工を行った試験道路が 8 年 6ヶ月を経過し、石炭灰固化物の路盤材としての長期耐久性についての検証する機会を得た。その結果、石炭灰路盤材は路面性状や路盤支持力の両面から供用性、耐久性が従来材と同等の評価が得られ、路盤材への適用が可能と判断される。

Key Word : Coal ash, base course material, test pavement, long-term durability, conversion coefficient

1. はじめに

我が国のエネルギー需要は増加傾向にあり、電力各社は安定した電力を供給するために、エネルギーの多様化を進める必要性から、石炭火力発電を積極的に推進しているが、これに伴い発生する石炭灰も年々増加し、2000 年には 1000 万 t を越すものと予想されている。石炭灰はセメント原料やコンクリート混和材等に有効利用されているが、凡そ 40% の石炭灰は埋立処分されているが、近年、沿岸環境保全のための埋立用地の確保が難しくなってきたおり、有効利用の拡大が重要な課題となっている¹⁾。

各方面でこの有効利用技術に関する研究が積極的に行われ、土木分野ではこれまで石炭灰をセメント等で安定処理する方法で道路材や盛土材などに利用することが試みられているが、粉体混合のため施工性等の問題から普及するまでには至っていない。

一方、社会資本整備の充実のため、土木・建築材料として使用される土砂や碎石は、大量採取による自然環境変化等が問題となり、新たな開発も制限され、碎石資源の温存すなわち碎石代替材の開発が望まれている。

これらの背景から、筆者らは石炭灰の有効利用と

合わせて国土の環境保全に寄与するべく、石炭灰に少量のセメントを添加して固化させたものを再生資源として活用する研究を行い、この石炭灰固化物を破碎物として道路路盤材とする方法を開発した(以下、「石炭灰路盤材」)。

基礎的性状試験と工場構内道路による試験施工を行って、施工性および 4 年間の供用性を確認し、道路路盤材への適応の可能性を見出した。さらに試験プラントによる製造試験および実道試験施工を実施して、石炭灰固化物の製造性、施工性および供用性等の実用性評価を現在も実施している^{2)~4)}。

路盤材は特に耐久性が重要視され、その性状確認には長期間を要すが、このたび昭和 63 年に施工試験を行った試験道路が供用 8 年 6ヶ月を経過し、石炭灰固化物の路盤材としての供用性を検証する機会を得て、長期耐久性についての検討を行った。本報告ではこれまでの研究経緯を述べると共に、長期耐久性に関する検討結果について報告する。

2. 石炭灰路盤材の製造方法と性状

(1) 製造方法

石炭灰等の副産物を再利用するに当たっては、①

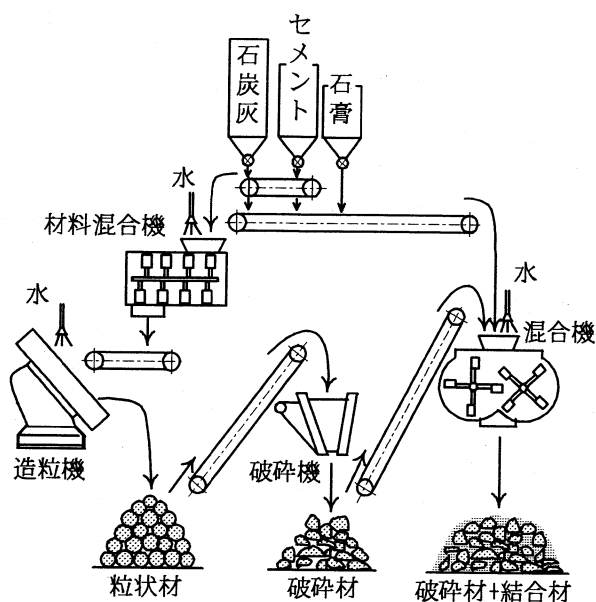


図-1 石炭灰路盤材の製造方法

使い易いこと、②従来材と同等以上の供用性があること、③環境に対して安全であること、④安価であること、が実用化の条件と考えられる。石炭灰固化物の路盤材化についてもこれらを満足させるべく、図-1 に示すように石炭灰 90~95%、セメント 5~10%程度に適量の水を混合し、回転パン型造粒機で直径 60mm 程度の球体(以下、「粒状材」)を造粒し、約 4 週間養生後砕石状に破砕したもの(以下、「破砕材」)を基材とした(写真-1, 2 参照)。その利用方法には、破砕材をそのまま使用する方法と、破砕材に石炭灰、セメントと石膏からなる結合材を 10%程度混合して安定処理したもの(以下、「破砕材+結合材」)として使用する方法の 2 種類がある。

「破砕材」は主に下層路盤として用い、機能的には碎石路盤に近似した性能も有し、更に石炭灰特有のポゾラン反応により長期的に路盤強度が増進し、長期耐久性に優れた材料を目指した。「破砕材+結合材」は、上層路盤としても使用できるように「破砕材」の硬化特性を大きくした高強度な路盤を目指した。石膏の添加は強度増進を早期に高めるため、また石炭灰の添加は、固化材の分散と破砕材との親和を良くする効果を狙って配合している。

(2) 石炭灰の性状

路盤材として使用する石炭灰は、火力発電所の微粉炭ボイラーから集塵器で捕集されるフライアッシュとシンダーアッシュが混じり合った状態の原粉と称するもので、使用している石炭灰の性状を表-1



写真-1 石炭灰固化物「粒状材」

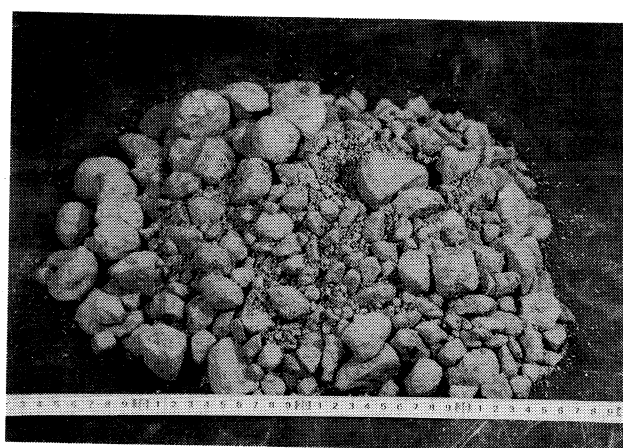


写真-2 石炭灰路盤材「破砕材」

表-1 試験プラントで使用した石炭灰の性状 (n=29)

項目	平均	最大値	最小値
SiO ₂ (%)	56.9	67.2	48.9
Al ₂ O ₃ (%)	26.3	31.3	19.2
Fe ₂ O ₃ (%)	5.0	9.3	2.3
CaO (%)	4.8	12.3	0.3
MgO (%)	1.1	2.1	0.4
SO ₃ (%)	0.4	1.0	0.1
Na ₂ O (%)	0.6	1.5	0.1
K ₂ O (%)	0.8	1.7	0.1
未燃炭素量 (%)	1.84	4.15	0.57
強熱減量 (%)	2.40	4.83	0.96
粒子密度 (g/cm ³)	2.257	2.433	2.050
比表面積 (cm ² /g)	3,111	4,264	1,971
平均粒径 (μm)	22.4	37.0	12.7
最適含水比 (%) 注)	23.3	18.9	30.7
最大乾燥密度 (g/cm ³) 注)	1.370	1.510	1.227
1 週圧縮強さ (kgf/cm ²) 注)	10.8	20.4	5.9
4 週圧縮強さ (kgf/cm ²) 注)	16.6	31.9	8.9
13 週圧縮強さ (kgf/cm ²) 注)	24.6	44.8	14.9

注) 石炭灰:セメント=95:5, A法による突固め

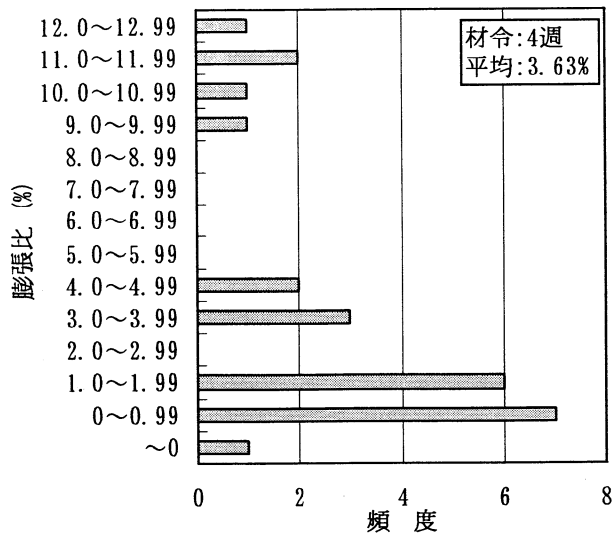


図-2 石炭灰固化物の膨張比の頻度

に示す。化学組成は SiO_2 が 50~67%, Al_2O_3 が 20~30%, CaO は 0.2~12%, 粒子密度 2.05~2.43g/cm³, 比表面積は 1,870~4,260cm²/g, 未燃カーボン量は 0.6~4.2% となっている。火力発電所で燃料としている石炭は海外の多数の産炭地から輸入されており、産炭地や燃焼状態によってこれらの性状が異なってくる。単一灰ではその性状が広範囲なものになるが、発電所では混炭燃焼を実施しており、比較的均一な性状の石炭灰を使用している。

石炭灰に内比 5% のセメントを添加した混合物を JIS A 1201 の A 法によって突固めて求めた最適含水比は、19~30%、最大乾燥密度は 1.23~1.51g/cm³、また一軸圧縮強さは養生 4 週で 8~32kgf/cm² と範囲は広いが、多くは平均値付近に集中している。

石炭灰は初期硬化の際に膨張反応を起こすことがあり、図-2 にその膨張比の頻度を示す。多くは 5% 以下の膨張であるが、9% 以上の膨張を起こすものが 2 割程度ある。この膨張反応は密度低下と強度低下の原因ともなり、石炭灰を直接安定処理を施して使用するには適していない。したがって、石炭灰固化物を破碎物の形態にして使用方法は、施工性の改善と供に安定した路盤材として提供できる手法と考える。

膨張反応は、石炭灰の化学組成中 CaO の量との関係が高く、主に生石灰成分が起因となって膨張するものと考えられる。また、強度性状と化学性状との関係も認められ、現在製造管理に反映できるように検討中である。

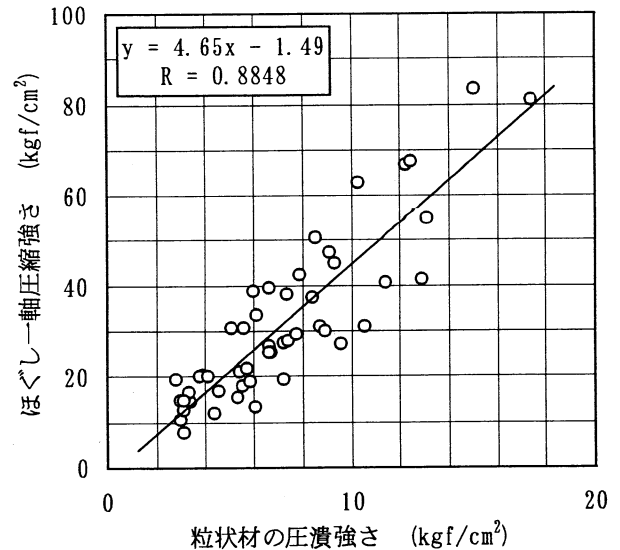


図-3 圧潰強さとほぐし一軸圧縮強さの関係

(3) 「粒状材」の性状

「粒状材」は適切な含水比で造粒すると、粒径 60mm 程度の単一粒度に近い球体が見られ、この含水比と突固め試験で求めた最適含水比とはよく一致し³⁾、セメント添加量 5% で製造した「粒状材」の強度試験として圧潰強さ試験を実施している。この試験は毎分直径の 1% のひずみ速度で割裂载荷したときの最大荷重を破断面積で除した値(圧潰強さ)である。灰種の影響等で試験値にバラツキがあるが、造粒直後の「粒状材」をほぐして再度突固めて成型した固化物の一軸圧縮強さ(ほぐし一軸圧縮強さ)との関係を求めると、図-3 に示すように両強度間には高い相関があり、圧潰強さは一軸圧縮強さの約 1/4 に相当する。したがって、「粒状材」の強度は圧潰強さによる管理が可能であると判断している。

さらに 20℃ 28 日養生の圧潰強さは 60℃ 1 日養生に相当し、60℃ 促進養生を行えば 1 日で強度測定ができ、迅速な品質管理を行うことも可能である³⁾。

(4) 「破碎材」の性状

「破碎材」は、「粒状材」を粒径 40mm 以下に破碎したもので、その材料性状を表-2 に示す。比重、最大乾燥密度、単位容積重量は碎石路盤材の 6 割程度と軽く、また吸水率が多い材料である。粒度は細粒分が多いギャップ的粒度分布であるが、逆に細粒分が少ないと締まりが悪く、また転圧破碎が多くなる傾向が見られ、2.36mm 通過量が 20% 以上が良いと考える。

修正 CBR は碎石路盤材と同等以上の値が得られ

表-2 「破碎材」の性状値

項 目	平均	最大値	最小値	舗装要綱 C-40 規格値
セメント量 (%)	5			-
比 重	表乾比重	1.775	1.854	1.658 (2.653)
	かさ比重	1.434	1.588	1.304 (2.618)
	見掛け比重	2.094	2.188	1.914 (2.712)
吸水量 (%)	22.1	27.2	16.8	(1.33)
P I	N.P			9以下
すりへり減量 (%)	66.2	74.8	60.1	(22.6)
最適含水比 (%)	24.4	29.7	24.4	(5.1)
最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.369	1.475	1.252	(2.233)
修正 CBR (%)	105.2	130.3	61.7	20以上
水浸膨張量 (%)	0.01	0.04	0.00	(0.00)
単位容積重量 (g/cm ³)	1.038	1.149	0.952	(1.81)
粒 度 分 布 (%)	53mm	100	100	100
	37.5	94.5	100	39.2 95~100
	19	62	77.1	51 50~80
	4.75	31.4	43.8	18.4 15~40
	2.36	23.3	31.4	13.9 5~25

注) ()内は一般値

ている。「破碎材」の修正CBRは図-4に示すとおり「粒状材」の圧潰強さが大きいほど破碎材の修正CBRは高くなる関係にあり、粒状材の強さによって破碎材の強さが決定される。これまでの試験施工の結果、「破碎材」の修正CBRは80%以上を有すれば路盤初期支持力が従来路盤材と同等以上となり、これを目標値として設定した場合、図-4より「粒状材」の圧潰強さが3~4 kgf/cm²となるように強度管理をする必要がある。

「破碎材」の硬化特性を、突固め後の養生日数とCBRとの関係を図-5に示す。養生が進むにつれてCBRは上昇し、4日水浸のCBRに比べて4週で凡そ1.4倍、13週では1.7倍に達し、「破碎材」が経時につれて硬化が進むことが確認された。これは石炭灰固化物(「粒状材」)の硬化反応が長期に亘って進行するため、「破碎材」の形態にした時点でも未水和物質が多く残存しているためと考える。

したがって「破碎材」自体は一般の碎石路盤材と比較した場合、軟らかい材料と云えるが、石炭灰固化物の状態で見られた膨張も、「破碎材」を突固めた場合には殆ど見られなくなり、また水硬性を有するため、安定処理路盤的に機能していく路盤材と考えられる。

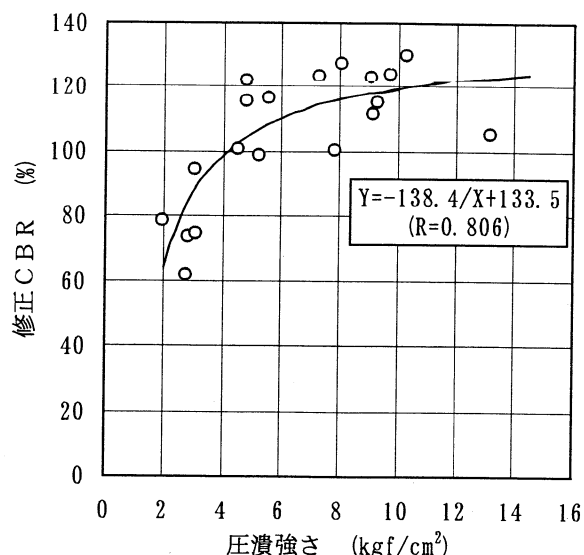


図-4 粒状材の圧潰強さと破碎材修正CBRの関係

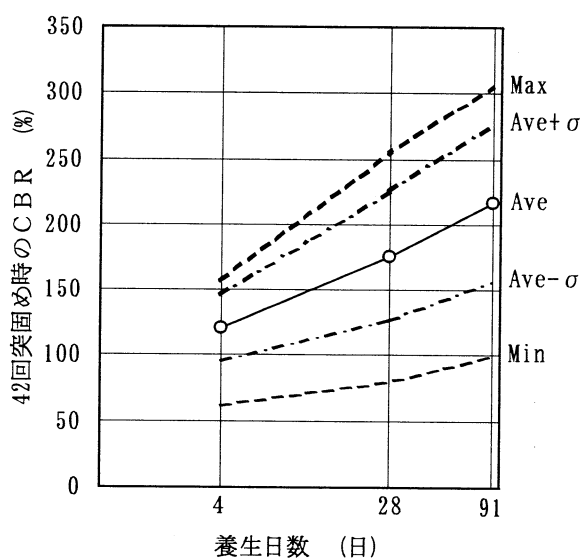


図-5 「破碎材」の養生日数とCBRの関係

(5) 「破碎材+結合材」の性状

「破碎材+結合材」は、「破碎材」の硬化特性を大きくした高強度な路盤を目指したもので、安定処理材の一般的手法を用いた目標強さは、結合材中のセメントと石膏の配合量で調整が可能である。「結合材」中のセメントと石膏の添加量を一定にして、「破碎材」の修正CBRと「破碎材+結合材」の一軸圧縮強さとの関係を見ると、図-6に示すように一軸圧縮強さは、「破碎材」の強さ(CBR)に大きく依存している。これはすなわち基材となる「粒状材」の強さも影響しており、「粒状材」の強度管理が重要になる。

「破碎材」は水硬性を有する材料であるため、放置期間が長くなるとその効果が弱くなる傾向になる

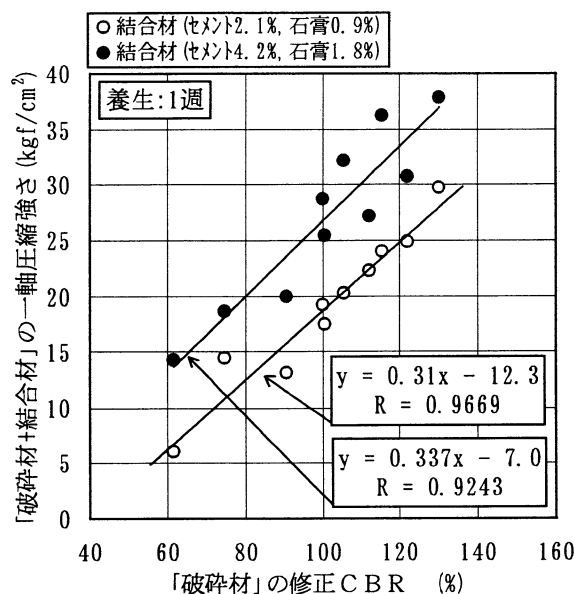


図-6 破砕材のCBRと破砕材+結合材の一軸圧縮強さの関係

が、「破砕材+結合材」は「破砕材」自身の強度が高い程、圧縮強さが大きくなる傾向が見られ、長期間置いて十分に強度が高くなった「破砕材」を使用しても十分な強度が得られ、「破砕材」の使い分けも可能となる。

(6) 石炭灰路盤材の安全性

使用石炭灰および石炭灰路盤材の安全性については、使用石炭灰からの有害物質の溶出は、埋立処分に係る判定基準（「廃棄物処理法」に基づく昭和48年総理府令第5号、改正：平成6年総令61号まで）を満足しており、石炭灰路盤材からの溶出は、土壌汚染に係わる環境基準（環境基本法に基づく平成3年環境庁告示第46号、改正：平成6年環境庁告示25号まで）を満足している。また石炭灰路盤材からの浸透水は水質汚濁防止法に基づく環境基準（昭和46年環境庁告示第59号、改正：平成5年環境庁告示65号まで）を満足する安全な路盤材である。

3. 試験道路による長期耐久性の検証

これまでに石炭灰路盤材を用いた道路施工は表-3に示すとおり、構内道路における試験施工を始め、愛知県下の国道や県道において実施し、その供用性状について、一部の路線で現在も定期的に調査を継続している⁴⁾。

表-3 主な施工例

施工 年月	施工場所	施工概要			調査 期間
		施工面積 (m ²)	路盤厚 (mm)	設計 交通量	
S62. 2	中部電力川越発電所	720	300, 400	L交通	約2年
S62. 9	大有建設猿投工場	456	上層 100 下層 150	B交通	約8年
H 3. 2	一般国道23号知立BP 和泉地区側道	264	下層200	L交通	約3年
H 4. 8	中部電力碧南火力 発電所試験道路	1, 280	300, 400	L交通	"
H 4. 9 ~11	中部電力碧南火力 構内道路	5, 560	上層 100 下層 100	L交通	—
H 4. 12	一般県道名和大府線 東海市名和町地区	775	200	B交通	約3年
H 5. 2	一般国道23号豊橋BP 大崎地区	906	上層 200 下層 400	C交通	継続中
H 5. 7	一般国道247号碧南 市錦町地内	1, 184	下層 200	D交通	計画中
H 5. 10	一般県道道場山安城 線碧南市北町地区	1, 426	下層 350	B交通	"
H 6. 4	一般国道247号 碧南市錦町地内	1, 167	下層 200	D交通	—
H 7. 1 ~3	中部電力知多火力 構内道路	414	上層 200 下層 200	A交通	—

このうち、開発当初に工場構内搬出路で行った試験道路²⁾が供用8年6月を経過し、路面調査や開削調査を実施して、路盤評価として重要な耐久性について検証を行った。

(1) 試験道路の概要

試験道路はアスコン、生コンや碎石等の工場からの資材や製品の搬出に利用される構内搬出路（大型車交通量は1日1方向200台程度の交通量）の一部で行った。試験道路に用いた路盤材は表-4に示す石炭灰路盤材と比較材料として切込碎石、粒調碎石および通常のセメント安定処理路盤を用いた。C工区上層路盤として用いた「クリンカー」は、石炭火力ボイラー炉底部で捕集される1~10mm程度のポーラスな残滓で、「破砕材」と同様に石炭灰、セメントと石膏からなる「結合材」で安定処理を行った。舗装断面および工区割りは図-7に示すとおり、上層および下層路盤として石炭灰路盤材を4工区、比較のため従来路盤材を2工区の計6工区を設定した。

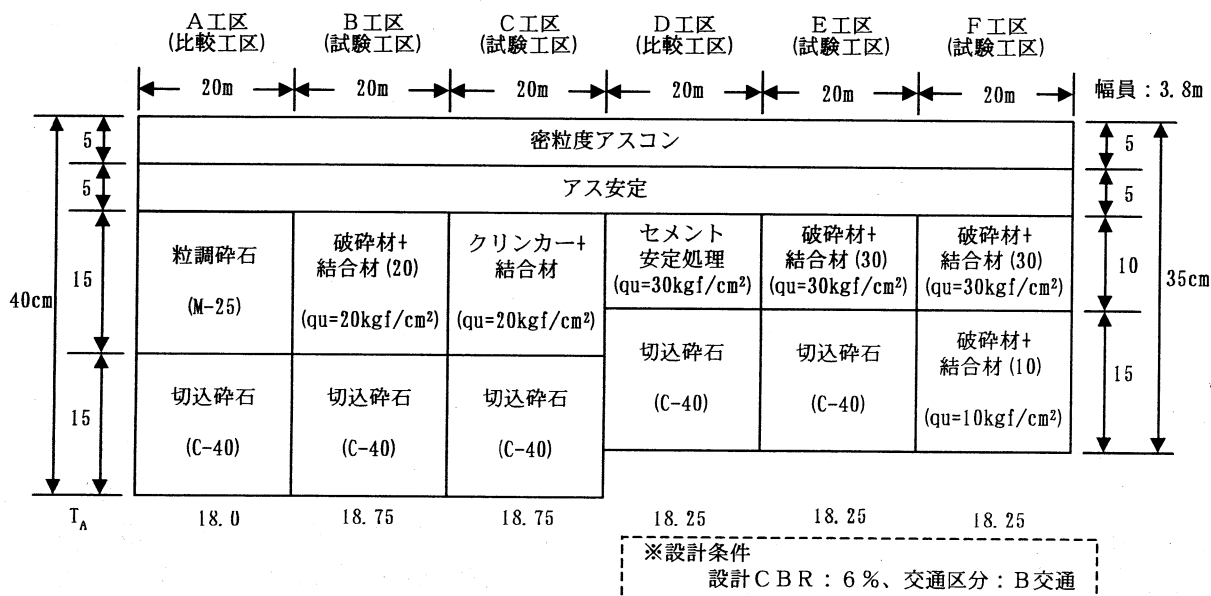
(2) 施工時の試験、調査結果

石炭灰路盤材の製造および比較用セメント安定処理路盤材の混合は、工場敷地内に仮設プラントを設置して行い、施工に用いた各路盤材は表-5に示すとおり路盤材としての規格値を満足していた。

表－４ 試験道路に用いた路盤材の種類と配合

路盤材の種類 (略称)		工区 適用	目標 一軸 圧縮強さ	目標 修正 CBR	目標等 値換算 係数	配合 (%)						
						破砕材 注)	結合材			ｸﾘｯｸ-	碎石	山砂
							セメント	石膏	石炭灰			
破砕材+ 結合材 (30)		E, F 上層路盤	30kgf/cm ² 以上	—	0.55	80	4.0	2.0	14	—	—	—
破砕材+ 結合材 (20)		B 上層路盤	20kgf/cm ² 以上	—	0.45	80	2.7	1.3	16	—	—	—
破砕材+ 結合材 (10)		F 下層路盤	10kgf/cm ² 以上	—	0.25	80	1.3	0.7	18	—	—	—
ｸﾘｯｸ+ 結合材 (20)		C 上層路盤	20kgf/cm ² 以上	—	0.45	—	11.1	5.6	33.3	50	—	—
比較 路盤 材	切込碎石 (C-40)	A～E 下層路盤	—	30% 以上	0.25	—	—	—	—	—	100 (C40)	—
	粒調碎石 (M-25)	A 上層路盤	—	80% 以上	0.35	—	—	—	—	—	100 (M25)	—
	セメント安定 処理 (30)	D 上層路盤	30kgf/cm ² 以上	—	0.55	—	3	—	—	—	80 (M25)	20

注) 破砕材は石炭灰：セメント=95：5の配合で製造



図－７ 舗装断面と工区

施工は敷均しにブルドーザー，一次転圧にマカダムローラー，二次転圧にタイヤローラーを使用した。写真－３に施工状況を示す。初期転圧における転圧減が碎石路盤材より若干大きい，軽量なため敷均しや整正は碎石より良好であった。またプラントで製造し十分な含水調整が行えたため粉塵等の発生もなかった。転圧による細粒化はローラーに接する付近で見られたが，内部が破碎していることはなく，締固め度は100%が得られており，粗粒分は骨材として機能していると考えられ，細粒化が路盤強度の低下にならないと判断する。

施工時に各層で行った繰返し平板載荷試験の結果



写真－３ 石炭灰路盤材の転圧状況

表-5 使用路盤材の性状

種 別 項 目		下層路盤			上層路盤					規格値
		破砕材 +結合材 (10)	切込砕石 (C-40)	規格値	破砕材 +結合材 (30)	破砕材 +結合材 (20)	クリカ- +結合材 (20)	セメント 安定処理 (30)	粒調砕石 (M-25)	
		F	A~E		E, F	B	C	D	A	
自然含水比 (%)		30.9	6.2		30.1	29.7	36.5	9.7	7.8	
粒 度 ・ 通 過 重 量 百 分 率 (%)	53 mm	100	-	100	100	100	-			
	37.5	98.7	100	95~100	97.9	97.5	-			
	31.5	97.2	-		94.0	95.0	-	100	100	100
	26.5	92.9	80.5		88.9	89.0	-	98.0	97.9	95~100
	19.0	79.4	69.2	50~80	78.4	80.2	-	97.3	92.6	60~90
	13.2	67.8	59.3		66.3	72.2	-	71.1	68.3	55~85
	4.75	39.0	26.5	15~40	38.0	42.9	-	50.0	45.8	30~65
	2.36	31.5	17.2	5~25	29.8	34.0	-	38.0	26.7	20~50
	0.425	-	8.0		-	-	-	15.3	13.0	10~30
	0.075	-	6.5		-	-	-	5.4	6.5	2~10
塑性指数		N.P	N.P	4以下	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	4以下
最適含水比 (%)		30.9	6.5		31.2	30.8	36.0	10.0	8.0	
最大乾燥密度 (g/cm³)		1.163	2.312		1.188	1.170	1.058	2.100	2.312	
修正CBR (%)		-	87.5	30以上	-	-	-	-	90.0	80以上
一軸圧縮強さ (kgf/cm²)	1週	12.9	-	10以上	35.6	22.3	23.6	31.2	-	30以上
	4週	17.4	-		49.9	27.0	56.5	35.3	-	

から求めた路盤層の変形係数を表-6に示す。石炭灰路盤材は、従来路盤材より大きな変形係数が得られ、施工時における路盤強度は十分に有していた。

(3) 試験道路の追跡調査結果

a) 交通量

試験道路の直前部に軸重計を設置し、交通荷重をヒストグラムレコーダで0~32tonまで1ton単位に自動的に累積し、施工から4年間の5t換算輪数を求めた。試験道路は工場搬出路として機能し、8年6ヶ月後の5t換算輪数は、工場の生産量等に大きな変化がないことから、約136万輪と推定した。

b) ひび割れ率

ひび割れの発生は、供用4年後まで見られなかったが、表-7に示すとおり8年6ヶ月後の調査では各工区とも若干のひび割れを生じてきた。ひび割れは何れの工区もOWPの位置に開き目の小さい縦断方向の線状に発生したもので、通過車輛による繰返し荷重によって発生したものと思われる。

安定処理路盤に発生し易い、収縮による横断ひび割れは何れの工区にも見られなかった。石炭灰路盤材は通常の安定処理路盤に比べてセメント量が比較的多い配合であるが、石炭灰が有する遅硬性と石炭灰固化物を「破砕材」という形に加工して路盤材に

表-6 試験路盤の繰返し平板載荷試験から求めた変形係数

試験路盤材の種類		工 区	変形係数 (kgf/cm²)
下層路盤	破砕材+結合材(10)	F	1,811
	切込砕石 C-40	A~E	1,245
上層路盤	破砕材+結合材(20)	B	4,597
	破砕材+結合材(30)	E, F	4,824
	クリカ-+結合材(20)	C	5,037
	粒調砕石 M-25	A	2,912
	セメント安定処理	D	3,807

表-7 ひび割れ率 (8年6ヶ月後)

工 区	路盤材の種類		ひび割れ率 (%)
	上層	下層	
A	粒調砕石	切込砕石	2.4
B	破砕材+ 結合材(20)	切込砕石	2.2
C	クリカ-+ 結合材(20)	切込砕石	0.8
D	セメント 安定処理	切込砕石	0.6
E	破砕材+ 結合材(30)	切込砕石	1.0
F	破砕材+ 結合材(30)	破砕材+ 結合材(10)	1.2

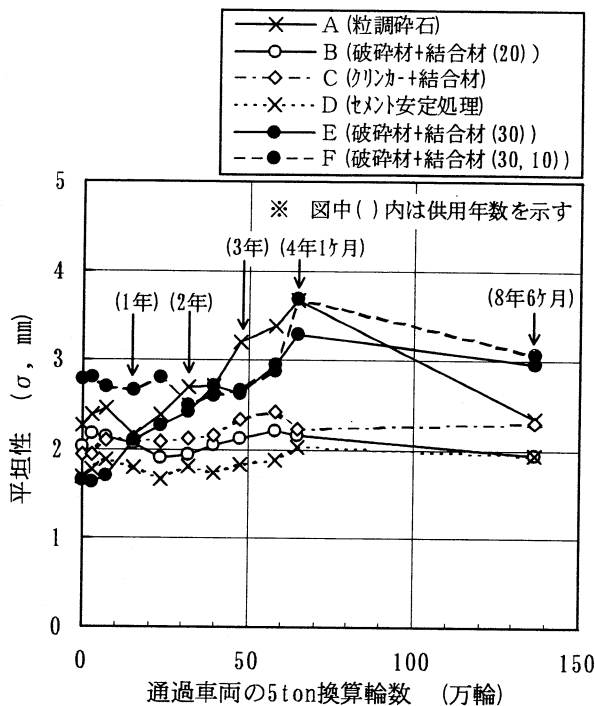


図-8 平坦性の経時変化

した効果と考えられる。

c) 平坦性

平坦性は試験道路の工区長が 20m と短いため、0.5m 間隔に値を測定して行った結果を図-8 に示す。試験工区手前にある横断側溝による車輛のバウンドの影響でD、E、F工区は増加傾向が見られたが、途中で側溝の改修工事を行い、その他の工区との差は1mm 程度と小さくなり、経時変化に伴う平坦性の変化は、全体的に横ばい傾向に見られた。

d) わだち掘れ量

わだち掘れ量の経時変化を図-9 に示す。試験道路の地盤は安定した状態にあり、わだち掘れの進行はアスコン層の摩耗、流動変形によるものと、その他舗装各層の圧縮、変形が原因と考えられる。「クリンカー+結合材」を用いたC工区が比較的大きいが、これはクリンカーが粒径 10mm 以下と細かく、噛み合わせ効果が得られにくく路盤層が変形したものと推察される。その他の工区は何れも徐々に大きくなってきているが、その差は判然とせず、「破砕材」を基材とした石灰路盤材は碎石路盤材と同様に噛み合わせ効果もある路盤材と云える。

e) たわみ量

ベンケルマンビームによるたわみ量測定は、現場側近の安定した舗装部で求めた温度補正によって行った。図-10 に示すとおり施工時から 3ヶ月までは

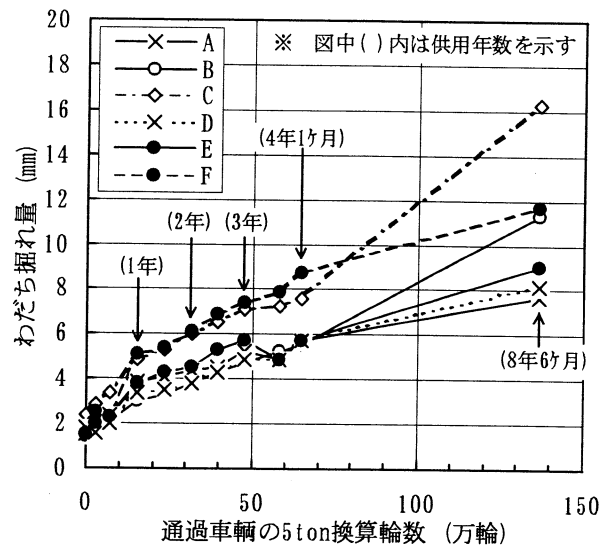


図-9 わだち掘れの経時変化

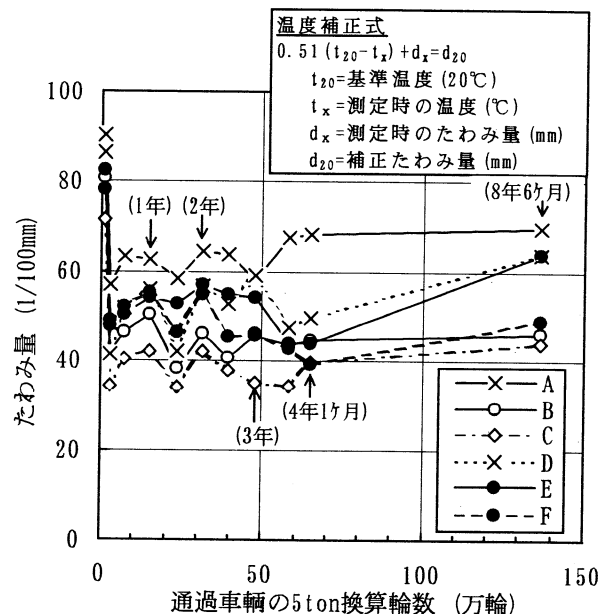


図-10 たわみ量の経時変化

大きく低減し、その後横ばい状態で推移し、舗装体強度としては今だ健全な状態にあると見られるが、A工区(粒調碎石/切込碎石)は他の工区よりたわみ量が大きく、路盤形態の違いが現れていた。D工区(セメント安定処理路盤/切込碎石)とE工区(破砕材+結合材 30/切込碎石)が増加傾向を示したが、舗装構成が同一であることから、路盤材として同等の強さを有すると判断する。

上層路盤としてそれらより弱いB、C工区のとわみ量が小さく、材料の強さより舗装厚の違いがたわみ量に影響しているように見られた。

f) MCI, PSIによる供用性状

試験道路の供用性状として、ひび割れ率、わだち掘れ量と平坦性の3要素から算出したMCI（維持管理指数）とPSI（供用性指数）の結果を表-8に示す。何れの工区もMCIは6.0～6.9, PSIでは3.8～4.1の値が得られている。表面処理等の簡単な修繕を必要とするレベルとして、MCIは4～6, PSIでは2.1～3.0となっており、試験道路では今だ修繕を必要としない状態にある。

g) 開削調査による路盤性状

試験道路の一部を開削して行った調査では、施工時と比較して路盤材や路床材の密度変化や粒状材料の材料性状の変化はなく、また切取り供試体による一軸圧縮強さは、「破砕材+結合材 30」が120kgf/cm²、「破砕材+結合材 20」は84kgf/cm²、「破砕材+結合材 10」は32kgf/cm²、「セメント安定処理」は73kgf/cm²に上昇していた。

各舗装面上で行った繰返し平板載荷試験から求めた路盤層の変形係数を図-11に示す。粒調碎石は殆ど変化がないのに対し、石炭灰路盤材は何れも施工時に比べて著しく上昇していた。

石炭灰路盤材は強固な路盤を形成するが、一様な硬さで、碎石安定処理と比較して、掘削機械が入りやすく、この面での路盤材としての適応性も有していると判断される（写真-4）。

（4）試験路盤材の耐久性評価の検討

石炭灰路盤材の長期耐久性評価として、試験道路の8年6ヶ月後の路面性状と舗装強度性状の両面から石炭灰路盤材の等値換算係数の推定を行った。

路面性状からの評価は、MCI, PSIとT_Aの関係^{5, 6)}を用い、舗装強度面からの評価として、たわみ量とT_A関係⁷⁾と、開削時に求めた路盤層の変形係数から建設省土木研究所の提案式⁸⁾を用い、比較材料の粒調碎石、セメント安定処理路盤と切込碎石を基準路盤として相対比較として算出を行った。

その結果の一覧を表-9に示す。石炭灰路盤材を路面性状から見た評価としては、従来路盤材と同等の性能を有すると見なされ、また舗装強度面からの評価としては従来路盤材より高強度な材料と位置付けられる。総合的には、従来路盤材と同等の長期耐久性を有する路盤材と評価できる。

表-8 MCI, PSIの算出結果（供用8年6ヶ月後）

工 区	路盤材の種類		M C I	P S I
	上層	下層		
A	粒調碎石	切込碎石	6.3	3.8
B	破砕材+結合材	切込碎石	6.0	3.8
C	クリカ+結合材	切込碎石	6.0	4.0
D	セメント安定処理	切込碎石	6.9	4.1
E	破砕材+結合材	切込碎石	6.6	3.9
F	破砕材+結合材	破砕材+結合材	6.2	3.9

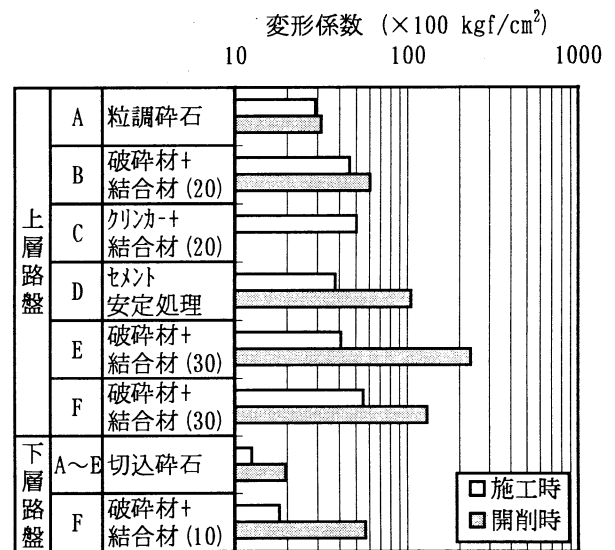


図-11 繰返し平板載荷試験から求めた試験路盤の変形係数

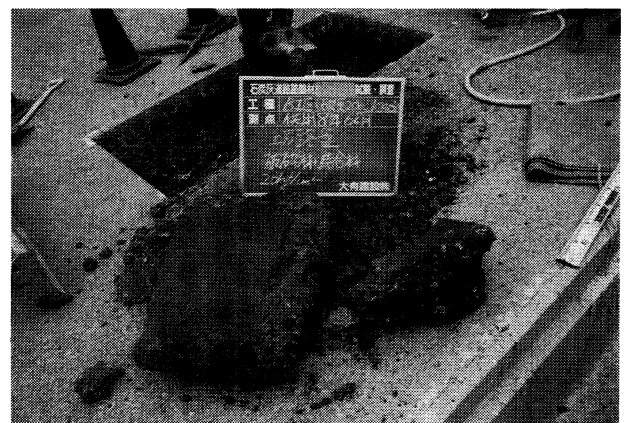


写真-4 石炭灰路盤材の開削状況

4. おわりに

これまでの研究から、石炭灰路盤材は以下のような性状を有していることが明らかになった。

表-9 試験路盤の等値換算係数の推定

路盤の 種類 評価方法	上層路盤				下層路盤	
	破砕材+ 結合材 (30)	破砕材+ 結合材 (20)	粒調碎石	セメント 安定処理	破砕材+ 結合材 (10)	切込碎石
MC I から	0.66	0.49	0.35	0.70	0.26	0.25
PC I から	0.61	0.39	0.35	0.69	0.24	0.25
たわみ量から	0.82	1.09	0.35	0.55	0.60	0.25
変形係数から	0.61	0.58	0.41	0.55	0.35	0.25
総合評価	0.55	0.45	0.35	0.55	0.25	0.25

- (1) 軽量な碎石状の破砕物のため、敷均し等の取扱いが容易で、粉塵等の問題がない。
- (2) 施工直後でも従来材料と同様な支持力を有し、即時開放が可能である。
- (3) セメント等の添加量により強度の調整が可能。
- (4) 碎石路盤とは異なり水硬性材料であるため、施工後の強度が長期的に増進して脆弱化等を抑制し、長期耐久性に優れる。
- (5) 環境面に対しても安全である。
- (6) 路面性状、路盤強度両面からの等値換算係数の推定値は従来材と同等の値が得られた。

現在、実道においても供用性調査を継続中であるが、これまでのところ良好な状態で推移しており、石炭灰路盤材の道路路盤材としての適用は可能と判断される。

製造技術等について更に検討を重ねているが、このような再生利用技術が促進されれば、資源の温存と環境保全に大いに貢献できるものと考ええる。

参考文献

- 1) 環境技術協会, 日本ワイヤッシュ協会: 石炭灰ハンドブック10, 1995.
- 2) 黒田昇, 吉兼 亨, 土井征男: 石炭灰を原料とした路盤材について(第2報), 第18回日本道路会議一般論文集, No495, pp. 522-523, 1989. 10.
- 3) 尾関正典, 加藤正巳, 浅野耕司: 石炭灰を利用した路盤材の実用化研究, 道路建設, No560, pp. 62-71, 1994. 9.
- 4) 中部道路研究会: 平成8年度中部道路研究会報告第5部会報告, pp213-241, 1996, 10.
- 5) 建設省道路局, 建設省土木研究所: 舗装の維持修繕の計画に関する調査研究, 第34回建設省技術研究会報告書, 1980, 11.
- 6) 安崎 裕: 大日・横戸試験舗装追跡調査の結果, 土木技術資料, 19-6, pp. 39-44, 1977, 6.
- 7) 永康 進, 古関堅治: 下層路盤安定処理の効果と等値換算係数の推定, 土木技術資料, 16-2, pp. 34-44, 1974, 2.
- 8) 建設省道路局, 建設省土木研究所: 舗装廃材の再利用に関する研究, 第36回建設省技術研究会報告書, 1982, 11.

()

STUDY ON LONG-TERM DURABILITY OF BASE COURSE MATERIAL USING COAL ASH

Masahiko MIURA, Kozo OKUDA, Koji ASANO and Masami KATO

Recently, it is important for us to expand use of coal ash. So we have been committed to research into the utilization of coal ash (solidified coal ash with a relatively small amount of cement added) as base course material. Performance of base course material is able to judge especially from long-term durability. We have tested base course materials in the construction of a road since 1988. Results of the test road construction show that base course material made of coal ash have a performance similar to conventional base course material both in strength and service performance.