

V—25 石炭灰を用いたセメント安定処理路盤材料に関する研究

北海道大学工学部 学生員 山 田 晋
同 上 正 員 菅 原 照 雄
同 上 高 橋 将

1. 研究の目的並びに概要

セメント安定処理工法は我が国でも広く採用されてきているが、その多くは余り大きな強度を必要としない下層路盤、上層路盤への利用であり、セメント使用量は比較的小さい。我が国においてもかつてセメント添加量の比較的大きい、ローラ輾圧による貧配合コンクリートの施工例（札幌―千歳間等）がみられた。ここ数年、世界的に舗装の設計寿命の見直しの機運があり、改めて、RCC工法、リーコンクリートなどの利用が検討されようとしており、空港におけるコンクリート舗装等で、路盤の強化をはかる意味で、セメント安定処理路盤への関心が高まっている。

一方現在我が国は、石炭の大量消費時代を迎え、国内炭生産は落ちているが輸入石炭は増加し、政府見通しでは、昭和67ないし70年において、電力 500万トン、一般 200万トン、年間合計 700万トンの石炭灰の発生が予測されている。その処理は我が国のエネルギー政策において大きな課題であり、通産省はプロジェクトの一つとしてこれに取り組んでいる。現在道路関係で、大量消費として成功しているのは、凍上抑制層への利用、盛土材料等のみである。諸外国ではこれらに関してかなり以前から活発な研究が進められている。これらのうち興味あるものに、セメント安定処理工法、RCC（ローラ輾圧貧配合コンクリート）への利用がある。

石炭灰の特性の一つに、ポゾラン反応により、長期的に高い強さが得られることがあげられる。

筆者らは、粒度調整した碎石を用いて、セメント量、8.4、5.8、2.4、1.8 %のセメント安定処理材料の疲労抵抗性に関する研究を行ってきたが、本研究では未利用資源としての石炭灰の利用に注目し、石炭灰を添加したセメント安定処理材料の力学的性状として、静的強度試験および疲労試験等に関する研究を行った。従来この種の材料はほとんどが一軸圧縮強度試験によって評価されており、国の内外を通じ、安定処理材料の疲労試験の例は極めて少ない。

ここで対象としたセメント安定処理材料は、従来下層もしくは上層路盤材料に用いられて来たものに比し、使用セメント量はかなり多く、安定処理材料というよりもむしろ、貧配合コンクリートと呼ぶほうが適切であり、RCC工法による施工を対象とし、かつ石炭灰の置換量を大きくした。この意味では、在来フライアッシュを添加したものとはかなり性格の異なる材料である。

表—1 化学分析結果

項 目	(%)
SiO ₂	59.23
Fe ₂ O ₃	5.32
Al ₂ O ₃	21.20
CaO	7.77
MgO	1.02
SO ₃	0.68
Na ₂ O ₂	0.89
K ₂ O	0.80
強熱減量	0.90
合 計	97.81
不溶残分	81.54

表—2 物 理 性 状

試 験 項 目	コ ー ル バ レ ー
比 重	2.24
ブレン比表面積 (cm ² /g)	3310
粉末度 (88μm残分) (%)	3.5
粉末度 (44μm残分)(注)(%)	15.6

注) 88μm～44μmの範囲とした

2. 研究の方法並びに使用材料

2-1 使用材料

使用した石炭灰は北電苦東厚真発電所2号機で副生された海外炭によるフライアッシュ原粉で、分球していないものである。その化学分析結果、物理性状は表-1および表-2に示す通りである。

本研究では、セメント添加量を変えた2種類について、それぞれ石炭灰の置換量を3通りに変化させ、計6種類の安定処理材料を用いた。それらの配合を表-3に示す。なお、含水量はすべてについて6%に統一した。

配合設計はアスファルト舗装要綱に準拠して行い、試験に供した供試体は最大乾燥密度の100%以上が得られるよう、マーシャルランマで片面21回ずつ締固めて作成した。

一つのシリーズでは成型の翌日脱型、以降20℃において、6、27、55日間水中養生を行い、材齢の影響を求め、もう一つのシリーズでは成型の翌日脱型、

20日間20℃水中養生を行い、さらに6日間45℃で水中養生を行い強度発現の促進をはかった。疲労試験は後者について行った。

表-3 供試体作成時の配合

フルイ目 (mm)	通過重量 百分率 (%)	セメント添加量 (%)	
		5.8	8.4
20	100	石炭灰 置換量 (%)	0
13	74		30
5	48		50
2.5	37		
1.2	30		
0.6	23	密度 (g/cm ³)	
0.074	7		
		2.40~2.48	

2-2 試験の方法並びに解析法

本試験において用いた圧裂法は、幅と曲率をもたせた載荷板を使用して、円筒状供試体（マーシャル供試体）を直径方向に加圧し、鉛直面に生ずる引張り応力を求める方法である。この方法によれば供試体の変形解析も可能である。静的強度用としてインストロン1185スタティック、疲労試験用としてインストロン1350ダイナミック試験機をそれぞれ用いた。疲労試験における縦方向変形量測定には非接触変位計AEC2525型を用いた。また本試験で用いた解析法は表-4に示す通りである。

表-4 本試験で用いた解析式

引張応力 σ (kgf/cm ²)	$0.06146 \frac{P}{t}$
水平変位 X (cm)	$\frac{0.1346 + 0.5 \nu}{1.7346 - 0.0350 \nu} Y$
変形係数 E (kgf/cm ²)	$\frac{P'}{t X'} (0.2692 + 1.0 \nu)$

ここで、 t : 供試体の厚み (cm)

P : 荷重 (kgf)

P'/X' : 荷重—変位曲線における線形部分の荷重と水平方向変位との比 (kgf/cm)

供試体直径 : 10.16cm 載荷板の幅 : 1.40cm

3. 静的強度試験

3-1 材齢の影響

図-1は各配合について材齢と強度との関係を示したものである。材齢56日の範囲で石炭灰で置換したものは、置換量を増すに従って強度は小さくなっている。しかし7日強度を基準にとれば、石炭灰で置換えたものの強度の伸びの割合は大きい。過去の多くの研究結果によれば長期の材齢では石炭灰を添加したものについてはさらに増進すると見られ、さらに長期材齢の強度を求める必要がある。実験は材齢1年までを予定しており、これらについては追って明らかにしたい。

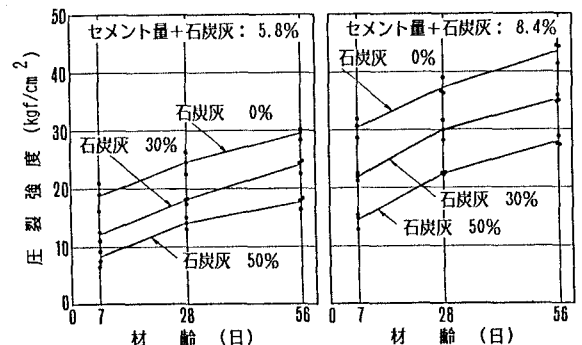


図-1 材齢と圧裂強度との関係

3-2 促進養生供試体の強度

疲労試験を行う関係上、早期の強度発現をはかるべく高温での養生を行った供試体について静的強度試験を行った。その結果を図-2に示す。図はセメント+石炭灰がそれぞれ 8.4%、5.8%のものについて、強度への石炭灰置換量の影響を示したものである。50% 置換のものは双方について約30%の強度低下を示し、30%置換のものは約20%の強度低下を示した。

使用セメント量のみで比較すると、8.4%の50%置換すなわち 4.2%と石炭灰での置換のない 5.8%の強度がほぼ同じという結果が得られた。また通常的水中養生との比較でみると、促進養生供試体の28日強度は、通常の水養生での56日強度を若干上回る。

本研究での引張り強度は、従来の曲げ強度などに比較すると全般的にかなり大きな数値を示している。破壊後の供試体の破断面を見ると、強度の比較的大きく出ているものでは多くの場合骨材の破断がみられる。曲げ試験のような場合は骨材とモルタルの剥離が見られるのに対し、圧裂の場合はその応力状態の差から、大きな数値を示すものと見られる。

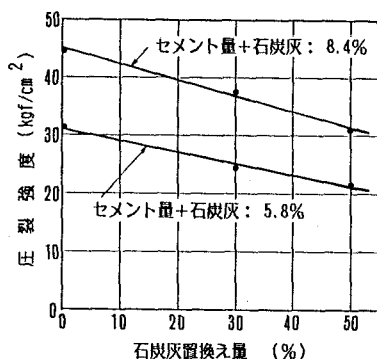


図-2 石炭灰置換量と圧強強度との関係

4. 疲労試験

荷重制御、ハバーサイン波を用い、10回/秒で繰返し载荷を行い、応力レベルを変化させ、疲労破壊回数を求めた。圧裂法の特長から、破壊の回数を、完全に破壊してしまった点と特定出来ないことと、破壊回数と同時に弾性係数がどのように変化して行くかを追跡するため、供試体の変形をも実測した。適当な時間間隔を選定して荷重および垂直変形量をパーソナルコンピュータに取り込み、さらに大型コンピュータでSASを用い、各種のデータ処理を行った。

なおポアソン比を 0.15 と仮定して変形係数を求め、変形係数が90%まで低下

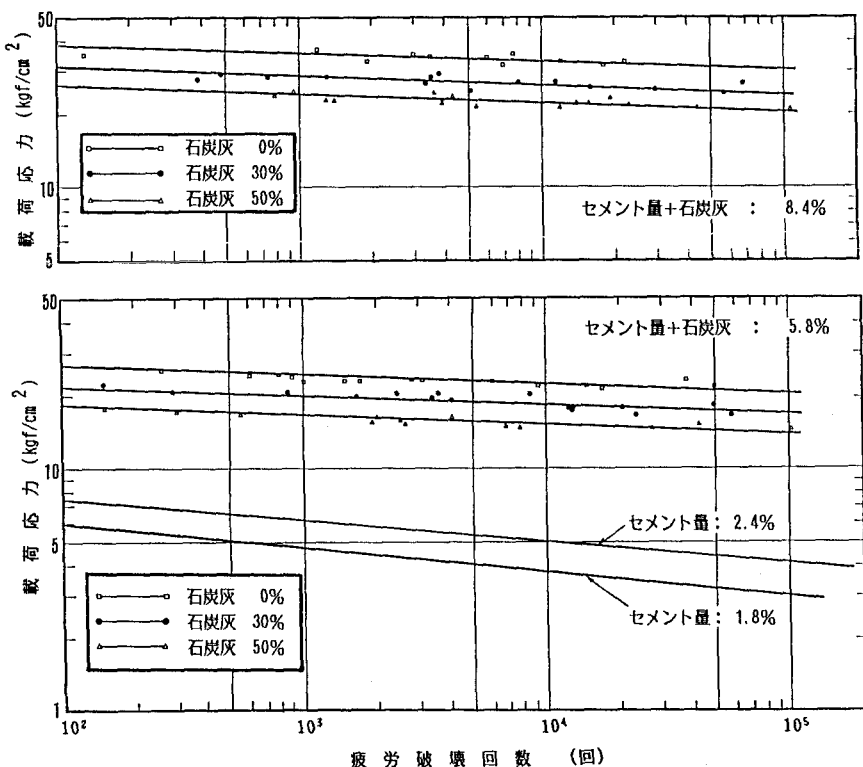


図-3 载荷応力と疲労破壊回数との関係

した回数をもって、破壊点と定義した。各配合の材料に関し、13ないし18ヶの供試体を用いた。

図-3はそれらの結果をS-N曲線として示したものである。いずれの場合にあっても、石炭灰で置換えたものは疲労抵抗性が低下しているが、疲労曲線の勾配はほぼ同じである。

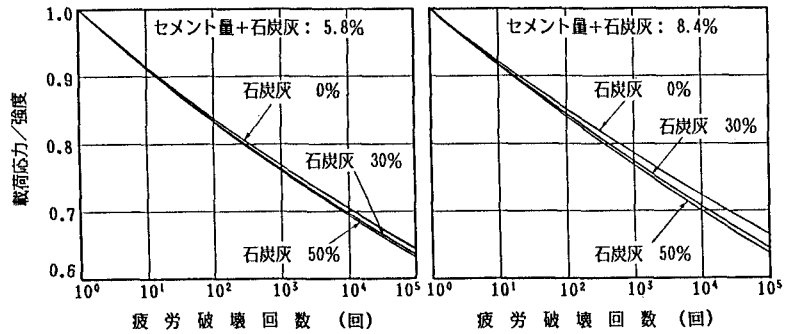


図-4 応力比と破壊回数との関係

さらに、ほぼ同じ静的強度を示した、8.4%の50%置換の疲労曲線と、5.8%のセメントのみのそれとはほぼ同じところに位置している。

これらの結果は、疲労破壊回数が、静的強度に強く支配されていることを示している。図には、先に行った石炭灰を含まない、セメント量2.4、1.8%の材料に関する試験の結果も合せて示しておいた。これを見ると5.8%と2.4%の疲労曲線の勾配にはかなり差がある。

図-4は静的強度と疲労試験における応力レベルとの比すなわち応力比と、疲労破壊回数との関係を示したものである。この結果では6種の材料についてほぼ差のない関係が示されている。これらは石炭灰を添加しても基本的な疲労特性には変化はなく、主として疲労抵抗性が強度に依存していることを示している。

5. 結 論

セメント安定処理路盤材料に関する静的強度並びに疲労破壊試験を行い、次のような結論を得た。

- 静的強度試験の結果、石炭灰による置換は材齢56日までの範囲でかなりの強度の低下を見せているが材齢による強度の伸びの割合においては大きいという結果が示された。これらに関しては少なくとも1年強度までの追跡が必要であろう。
- 疲労試験の結果、6種の配合の材料に関し、両対数紙上で直線をなすS-N曲線が得られた。これらの疲労曲線は配合毎にほぼ平行になり、静的強度の順にならんでいる。このことは、石炭灰置換がとくに材料の基本的な疲労抵抗性に変化を与えるものではなく、強度が疲労抵抗性を支配していると考えられる。従って、長期材齢において強度が増大すれば当然疲労抵抗性も大きくなると推定され、これらの確認する必要がある。
- 従来、強度のあまり大きくないこの種の安定処理材料の疲労試験には適切な方法がなく、困難とされてきたが、圧裂法によれば、電気油圧サーボ機構を持つ試験機さえあれば容易にこれが可能になると思われる。本研究では、疲労破壊回数 10^5 回以下での疲労曲線は2ないし3日で1本を描くことができた。

なお本研究では、試験機の容量の関係から比較的小さな供試体を用いており、骨材の最大粒径も20mmと小さい。従ってこの方法の実用化のためにはもう少し大きな供試体を用いるほうが良いと考えられる。

参考文献

小笠幸男, 菅原照雄, セメント安定処理路盤材の材料評価, 道路建設, NO.464, 昭和61年 9月