

## III-211

## 石炭灰・スラッジ・消石灰混合材料の道路路盤材への有効利用に関する基礎的研究

金沢工業大学 正会員○山田幹雄, 石川工業高等専門学校 正会員 佐野博昭  
三井建設(株)技術研究所 正会員 黒島一郎, 金沢工業大学 正会員 太田 実

まえがき 本研究においては, 石炭火力発電所のボイラの排煙中から電気集塵した石炭灰(フライアッシュ)と排煙脱硫設備の吸収塔から取り出したスラッジとを混合した材料の強度特性, 支持力特性および沈下性状を一軸圧縮試験, 修正CBR試験, コーン貫入試験, 動的載荷試験によって調べ, この材料の道路上層路盤材としての適用性について検討を加えた。

表-1 試験に用いた石炭灰およびスラッジの性質

**混合材料の基本的性質** 表-1は, 今回の研究に用いた石炭灰(フライアッシュ)と排煙脱硫スラッジの物理的, 化学的性質を示す。石炭灰とスラッジとの配合割合は乾燥重量比で3:1とし, ポゾラン活性を高めるために両者の合計乾燥重量の2%あるいは6%に相当する量の消石灰を添加した。表-1には, このような配合条件のもとで行なった締固め試験(JIS A 1210, 1.1.a)の結果も併せて掲げてある。供試体は, これらの最適含水比と最大乾燥密度を目標にして作製した。図-1は,

| 石炭灰(フライアッシュ)               |      |
|----------------------------|------|
| 比重                         | 2.30 |
| 砂分(%)                      | 11.8 |
| シルト分(%)                    | 85.5 |
| 粘土分(%)                     | 2.9  |
| 均等係数                       | 2.0  |
| 最適含水比(%)                   | 20.8 |
| 最大乾燥密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 1.36 |
| シリカ(%)                     | 52.2 |
| アルミナ(%)                    | 21.8 |
| 酸化第二鉄(%)                   | 7.87 |
| 酸化カルシウム(%)                 | 9.12 |
| 酸化マグネシウム(%)                | 1.28 |
| 酸化カリウム(%)                  | 1.38 |
| 酸化ナトリウム(%)                 | 1.93 |
| 燃焼減量(%)                    | 1.08 |

| 排煙脱硫スラッジ    |      |
|-------------|------|
| 比重          | 2.63 |
| 砂分(%)       | 3.1  |
| シルト分(%)     | 84.0 |
| 粘土分(%)      | 12.9 |
| 均等係数        | 4.8  |
| 硫酸カルシウム(%)  | 16.6 |
| 亜硫酸カルシウム(%) | 63.1 |
| 燃焼減量(%)     | 9.23 |

| フライアッシュとスラッジとの配合割合 3:1(乾燥重量比) |      |      |
|-------------------------------|------|------|
| 消石灰添加率                        | 2%   | 6%   |
| 比重                            | 2.36 | 2.32 |
| 最適含水比(%)                      | 25.0 | 25.5 |
| 最大乾燥密度(g/cm <sup>3</sup> )    | 1.30 | 1.30 |

※消石灰(試薬): 比重2.24, 酸化カルシウム分を約95%含有。

消石灰を2%または6%添加した一軸圧縮試験用供試体の空气中養生時における強さ $q_u$ の増加過程を示す。石灰安定処理を施した上層路盤材の品質規格として $q_u=10\text{kgf/cm}^2$ (材齢10日)が示されているが, この図よりその基準値は満足されているといえる。図-2は, 路盤材料としての強さを評価する修正CBR試験(JIS A 1210, 2.5.b, JIS A 1211)の結果を示す。本研究では, ポゾラン反応の進行による凝結硬化作用が水浸中の膨張量や水浸後のCBRの大きさに与える影響を明らかにする目的で, 試験法にしたがって供試体作製後直ちに水中に静置する場合(0日)と作製した供試体をモールドごと温度20℃の恒温室内で3, 7, 10, 14日間養生した後に水浸する場合の計10条件(消石灰添加率2%と6%)についてCBRを求めることにした。なお, 水浸期間は3日間とした。膨張比は, 突固め回数を92回としたとき消石灰添加率2%の供試体で

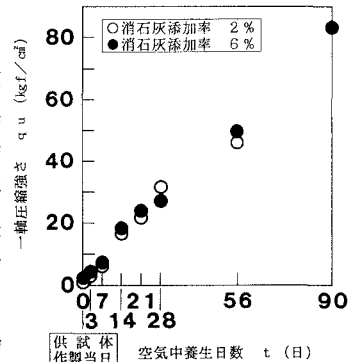
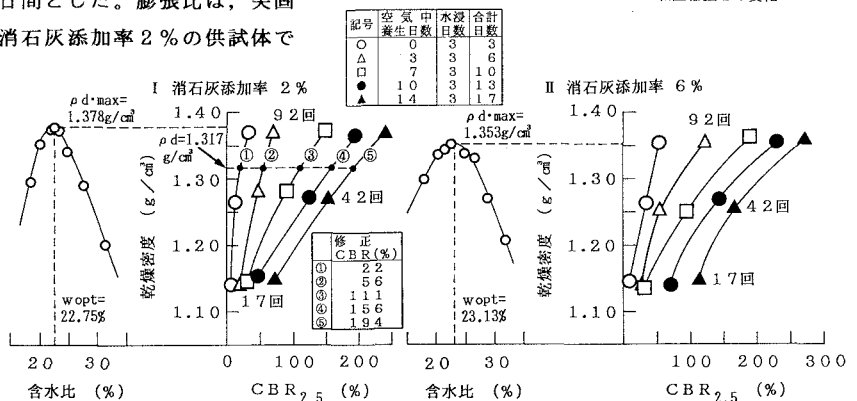


図-1 空气中養生時における一軸圧縮強さの変化

は0.04~1.22%, 添加率6%では0.01~1.25%となり, いずれも空气中養生日数の短い場合に大きな値となった。

**載荷試験方法および**

**結果** 載荷試験では, 内径348mm, 高さ150mmの硬質塩化ビニル製の底板無し円筒の中に混合試料を詰めたもの

図-2 含水比-乾燥密度曲線およびCBR<sub>2.5</sub>-乾燥密度曲線 (JIS A 1210, 2.5.bおよびJIS A 1211準拠)

（充填試料）を3個作製し、これらを土圧計を取り付けた高さ40mmの円筒の上に重ね、その上から振動疲労試験機を用いて静荷重と動荷重とを加えた。なお、4つの円筒は締結金具で固定し、円筒が横方向にずれるのを防いだ。また、荷重が下方向に確実に伝達するように充填試料と充填試料との間には直径340mm、厚さ3mmの鉄板を置いた。荷重方法としては、まず、充填試料と鉄板とを密着させるため

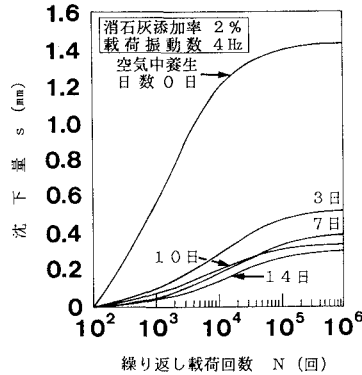


図-3 繰返し荷重による沈下の進行

に1.8tfの静荷重を1時間加え、引き続いて0.2tfから1.8tfの間で変動する荷重を2Hzまたは4Hzの振動数で100万回繰返して加えた。動荷重の作用時間は2Hzの場合約6日間、4Hzの場合には約3日間である。先に述べた修正CBR試験の手法に合わせて、充填試料の空气中養生日数は0, 3, 7, 10および14日間とした。荷重試験終了後、1) 上部円筒の充填試料からコア採取機によって抜き出した3本の供試体の一軸圧縮強さを調べ、2) 中間円筒の充填試料の中央に先端角30°、底面積6.35cm<sup>2</sup>のコーンを5mm/minの速度で貫入させたときの抵抗力を測定し、さらに3) 下部円筒の充填試料の中央でCBR試験（非水浸状態）を実施した。図-3は、動荷重を加えている間に生じた圧縮沈下の一例を示す。沈下量は、3つの充填試料全体の量である。空气中養生を行なわなかった場合は他に比べて大きな沈下を生じたが、それでも充填試料1つあたりの沈下は0.5mm程度に過ぎない。また、この図より、繰返し荷重回数が50万回を超えるとほとんど沈下しなくなることがわかる。図-4は、コーン貫入試験の結果の一例を示す。コーン支持力が急に減少しているのはコーン貫入中に充填試料にひび割れが発生したためであり、結果の整理にあたってはひび割れを生じる直前の値、すなわちコーン支持力の最大値を採用することにした。図-5は、消石灰添加率2%の充填試料に関する1)~3)の試験結果をまとめたものである。この中で、4Hzで動的荷重試験を行ったシリーズ（●印）の荷重試験終了時における平均乾燥密度は1.32 g/cm<sup>3</sup>であり、これと図-2、IのCBR-乾燥密度曲線との交点から修正CBRを求めたものが図中の①~⑤の数値である。さらに、①~⑤の修正CBRと図-5に示した非水浸状態でのCBR（4Hzシリーズ、●印）との比をCBR換算比 $\xi$ として、この $\xi$ と経過日数Tとの関係を求めたものが図-6であり、これによって今回の試験で得られた2種類のCBRを関連付けることができた。

**あとがき** 試験結果より、この材料の道路路盤材としての利用価値は高いと判断されるが、水浸状態の挙動をより明確にする必要がある。

| 記号 | 空气中養生日数 t (日) | コーン貫入時 Wc (%) | Src (%) |
|----|---------------|---------------|---------|
| ○  | 初期値           | 25.4          | 73.7    |
| ○  | 0日            | 26.8          | 81.8    |
| △  | 3日            | 24.9          | 78.1    |
| □  | 7日            | 25.3          | 74.2    |
| ●  | 10日           | 22.4          | 65.1    |
| ▲  | 14日           | 23.8          | 73.6    |

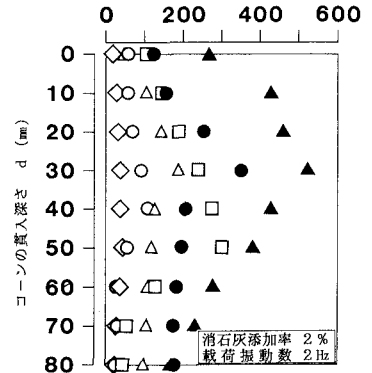
コーン支持力 qc (kgf/cm<sup>2</sup>)

図-4 荷重試験後のコーン支持力の変化

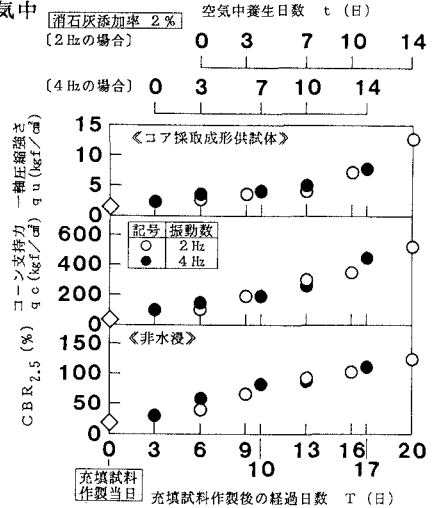


図-5 経過日数と一軸圧縮強さ、コーン支持力、路床土支持力比との関係

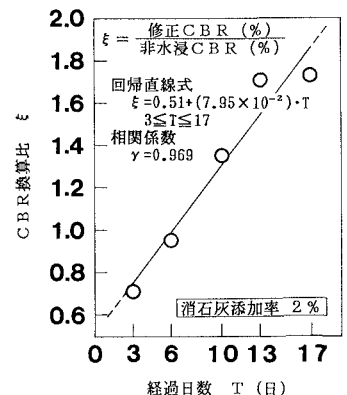


図-6 経過日数とCBR換算比との関係