

III-210

石炭灰を用いた鉄道互層路盤のコーン支持力特性に関する実験的研究

金沢工業大学 学生員○酒井英美, 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, 金沢工業大学 正会員 伊能忠敏

まえがき 本研究では、石炭灰(フライアッシュ)と消石灰との混合試料を砂あるいは粘土の間に挟み込んだ供試体に振動発生機を用いて正弦波状の振動荷重を断続的に作用させたときの沈下性状とコーン支持力特性とを調べて、このような互層路盤を在来線の軟弱路盤箇所

表-1 試料の物理的および化学的性質

試料	土質	含水率 (%)	液性指数	塑性指数	有機質 (%)	単位重量 (g/cm ³)	圧縮率 (%)	圧縮係数	圧縮指数	圧縮曲線
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	粘土	25.0	0.5	0.5	0.0	1.80	0.0	0.0	0.0	0.0
土質	砂	15.0	0.0	0.0	0.0	1.50				

試料および試験方法 表-1 および図-1 は、それぞれ今回の実験に用いた試料の性質および載荷装置と互層状供試体の構成を示す。供試体の作成にあたって、八幡砂と俱利伽羅粘土は最適含水比、最大乾燥密度を目標にして詰めた。手取砂については含水比10%、乾燥密度1.63g/cm³を目安にする場合(湿潤状態)と含水比0.6%、乾燥密度1.81g/cm³を目安にする場合(乾燥状態)に分けて詰めた。石炭灰と消石灰との配合割合は乾燥重量比で 5:5 とし、この層の含水比は15%と20%の2種類に設定した。石炭灰・消石灰混合層の密度は体積置換法(水銀法)により求めたが、含水比約15%のときの乾燥密度は1.11~1.12g/cm³、含水比約20%のときには1.13~1.14g/cm³

cm)となった。試験は動的載荷試験（断続加振試験）と、静的載荷試験と放置試験に大別される。加振試験においては供試体に12.5Hzの振動数で荷重を加えることにしたが、この振動数は列車速度95km/hのときに車輪中心間隔2.1mに起因して発生するレールのたわみ運動の周期に倣ったものである。さらに、この試験では、実際の線路における列車の通過頻度を考慮して1日をA～Dの4つの時間帯に分け、制御装置によって運転内容を変えることにした(図-1)。AおよびCブロックは列車本数の比較的少ない時間帯、Bブロックは通過頻度の高い時間帯、Dブロックは列車の通過がほとんどない時間帯を想定したものである。静的載荷試験では振動発生機を作動させずにその自重のみを供試体に加え、また放置試験では供試体に全く荷重を加えない状態で室内に放置した。試験期間は7, 14, 28, 56日間とし、それぞれの日数に達した時点でコーン貫入試験を実施した。コーンの形状は先端角27°、先端部の長さ56mm、底面積5.73cm²である。ロード部には力計を装着し、油圧試験機を用いて供試体の中央に5mm/minの速度で貫入した。

表-1 試料の物理的および化学的性質

試料名		手取砂	八幡砂	粘結力	羅士 フレッシュ
比砂	重(%)	2.68	2.65	2.70	2.22
シルト	分(%)	98.5	79.5	34.2	12.7
粘土	分(%)	1.0	10.5	44.3	88.9
均等性	係数	0.5	10.0	21.5	0.4
液性	界限(%)	3.33	38.00	34.38	1.54
塑性	界限(%)	—	—	71.5	—
最大	含水率(%)	—	—	45.4	—
最適	含水率(%)	10.0	14.4	32.7	18.3
最大乾燥	密度(g/cm³)	1.63	1.83	1.28	1.48
シリカ	率(%)	71.85	77.45	65.60	51.40
アルミナ	率(%)	13.70	11.80	17.10	24.20
酸化第二鉄	率(%)	3.41	2.93	5.47	5.32
酸化カルシウム	率(%)	2.13	0.56	0.53	10.50
酸化マグネシウム	率(%)	1.21	0.49	1.26	1.98
酸化カリウム	率(%)	2.84	2.32	1.98	1.16
酸化ナトリウム	率(%)	3.24	1.64	0.98	1.61
強化熱	流量(%)	1.45	2.46	6.31	0.94

比	重	2. 23
最適含水比 (%)		22. 8
最大乾燥密度 (g/cm ³)		1. 33

*締固め試験において最大乾燥密度が認められなかったので、これらの値を目安に供試体を作成。

※工業用消石灰、比重2.24、酸化カルシウム分を約74%含有。

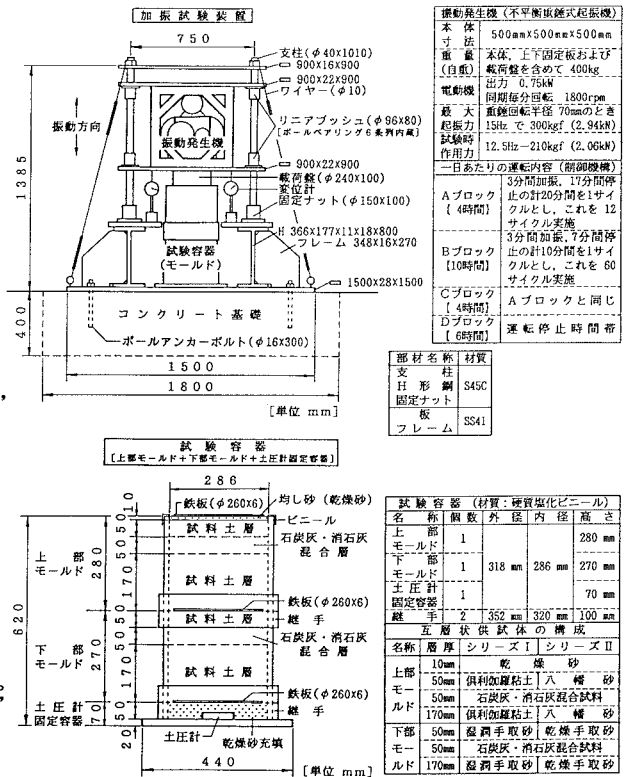


図-1 加振試験装置および互層状供試体の構成

試験結果 図-1に示したように、今回の実験では試料を互層状に詰めた容器(モールド)を2つ重ね、その上から振動荷重あるいは静荷重を加えた。シリーズIおよびシリーズIIにおいて、断続加振56日間に生じた沈下量は、上部供試体と下部供試体とを合わせてそれぞれ3.6mm、3.5mmとなり、また、静荷重載荷56日間に生じた沈下量は、それぞれ1.5mm、1.0mmとなった。図-2は、互層状供試体を作成した時点およびコーン貫入試験終了時における石炭灰・消石灰混合層の含水比を示す。放置試験、静的載荷試験、断続加振試験の区別なく、石炭灰・消石灰混合層を湿潤手取砂層または八幡砂層で挟み込んだ場合には、混合層は上下試料土層の間隙水を急速に吸収する現象を生じ、含水比は7日間で当初の約2倍に達した。これとは逆に、石炭灰・消石灰混合層を乾燥手取砂層で挟み込んだ場合には混合層の含水比は日数の経過にともなって漸次低下し、また俱利伽羅粘土層の場合には間隙水の移動を生じなかった。このような現象には、互層各層の透水性や保水能力(pF)の関与する部分が多いと考えられる。

コーン貫入試験において、コーン支持力 q_c はいずれの供試体においても石炭灰・消石灰混合層で最大となった。結果の整理にあたっては、試験日数7, 14, 28, 56日目における q_{cmax} と供試体作成当日の q_{cmax} との比をコーン支持力増分比 ρ として、これと試験日数Tとの関係を求めることにした。図-3は、この ρ とTとの関係を石炭灰・消石灰混合層を挟み込んだ試料土ごとにまとめたものである。回帰直線式の係数 κ の値を試験別にみると、放置試験では $2.5 \sim 3.5 \times 10^{-2}$ 、静的載荷試験では $3.3 \sim 5.3 \times 10^{-2}$ 、断続加振試験では $5.5 \sim 9.6 \times 10^{-2}$ となっており、今回実施した各種の試験からコーン支持力の増加に与える荷重の効果が明らかにされた。

あとがき 本研究では、石炭灰に消石灰を5割混合した互層状供試体についてそのコーン支持力特性を調べたが、これは別途行なった一軸圧縮試験において、消石灰を多く混合した供試体は水浸条件下でも十分な強度発現を呈し、かつ体積膨張量も極めて少ないという結果が得られたことによる。しかし、一般に鉄道路盤(土路盤)の許容応力としては $2.4 \sim 3.0 \text{ kgf/cm}^2$ を見込めばよいとされているので^{2), 3)}、実際には消石灰の混合量を低減しても路盤置換材として十分な改善効果が得られるものと考えられる。

謝 辞 本研究を実施するにあたっては西日本旅客鉄道(株)の援助、協力を得た。ここに、関与された諸氏に深甚なる謝意を表す。

参考文献 1) 酒井・山田・佐野・伊能：石炭灰使用鉄道互層路盤の強度特性に関する基礎的研究，土木学会第44回年次学術講演会講演概要集，1989，10。 2) 宮本・渡辺：線路-軌道の設計・管理-，山海堂，1980。 3) 伊東・関口・板井：鉄道路盤の支持力，鉄道技術研究所速報，No. A-87-91，1987，3。

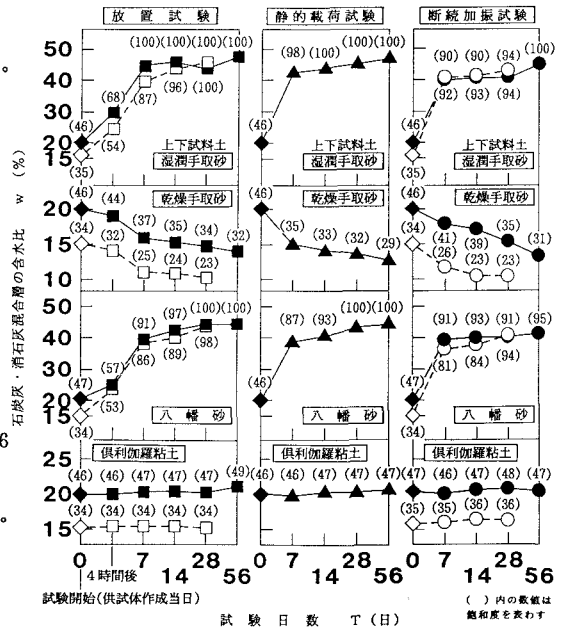


図-2 日数の経過にともなう石炭灰・消石灰混合層の含水比の変化

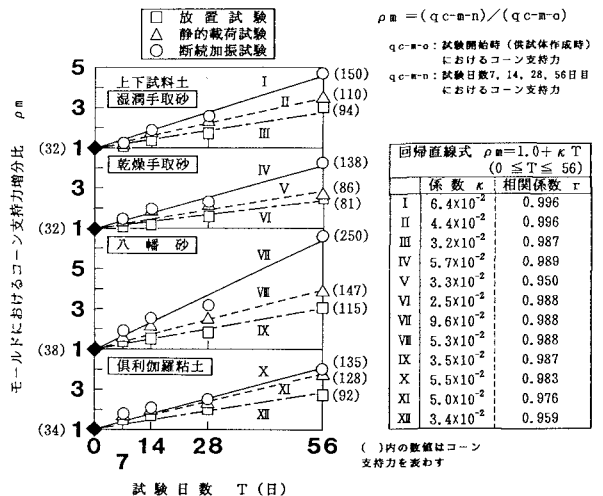


図-3 試験日数とコーン支持力増分比との関係 (互層状供試体)