

III-132 石炭灰を用いた鉄道路盤の動的性状に関する一考察

金沢工業大学 正会員○山田幹雄, 西日本旅客鉄道(株) 正会員 山崎和彦
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 鉄道線路に生じる噴泥は、列車速度の向上や保守周期の延長を図る際の大きな障害となっている。著者らは在来線噴泥対策の一環として、また、石炭灰の有効利用の一策として、図-1に示すような「砂層-石炭灰-消石灰混合層-砂層」からなる互層路盤を噴泥箇所にて試験的に築造したときの線路性状について検討を行った^{1),2)}。

材料の性質 表-1は、今回の試験施工に用いた石炭灰(フライアッシュ)の物理的性質および成分組成を示す。表-2は石炭灰と消石灰との配合割合を乾燥重量比で10:0, 8:2および5:5としたときの締固め特性を示し、表-3はそれぞれの最適含水比、最大乾燥密度を目標にして作製した円柱供試体(直径約50mm, 高さ約100mm)の一軸圧縮強さを示す。養生にあたっては供試体をビニール袋に入れて密封し、これを温度20℃の恒温室内に置いた。この表において、石炭灰のみ(10:0)とした場合には180日間養生しても大きな強度増加は認められないが、配合割合を8:2とした場合には当初の約10倍、5:5とした場合には約30倍の強度となることがわかる。一般に、噴泥を発生せず、かつ、列車の高速運転に支障をきたさないためには3kgf/cm²以上の路盤強度が必要とされているが、表-3によれば配合割合8:2では養生3日、5:5では供試体作製当日の時点で取り敢えずこれを満足することになる。表-4は、石炭灰・消石灰混合層の上下に置いた川砂の物理的性質を示す。

試験施工の概要 試験施工は、路盤噴泥を生じていたJR七尾線(単線)津幡起点5K468M, 492M, 516Mのレール継目部で1991年9月上旬に実施した。地盤の土質は礫混じり粘土であり、地盤反力係数K₃₀は3kgf/cm²、不攪乱試料の一軸圧縮強さは0.4kgf/cm²である。なお、鉄道の土路盤が確保すべきK₃₀は11kgf/cm²とされている。3つの施工箇所のうち、5K492Mには配合割合を8:2とした互層路盤、5K516Mには5:5とした互層路盤、5K468Mには互層路盤と比較する目的で既存の対策工の1つである砂置換路盤を築造することにした。施工範囲はいずれもレール継目を中心とする長さ約2.4m(敷設まくらぎ5本分相当)、幅約4m、掘削深さは施工基面下約0.3mとし、工事は夜間の列車間合(0~5時)に行った。実際に作業に要した時間は互層路盤においては約3時間30分、砂置換路盤では約3時間であった。ただし、石炭灰と消石灰との混合作業は施工の前日および当日に別の場所で行い、袋詰めにしたものを現地へ搬送した。転圧作業には遠心力約1tfのコンパクターを使用し、転圧回数はいずれも3往復とした。表-5は転圧終了時における各層の状態を示すが、互層路盤における石炭灰・消石灰混合層は最適条件(前出表-2)に近い状態で仕上がった。

追跡調査 当該箇所にて調査した項目は①施工基面の振動、②路盤圧力、③高低狂い(マヤチャートの読み取り)、④レール頭頂面および施工基面の高低変化(水準測量、5m間隔)、⑤降水量および気温、⑥地下水位である。①において、振動計のピックアップ

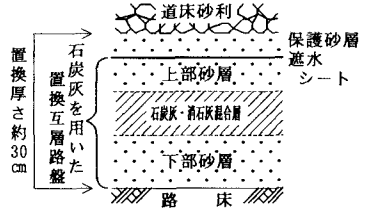


図-1 石炭灰を用いた置換互層路盤の構造

表-1 石炭灰(フライアッシュ)の物理的性質および成分組成

物理的性質		
比重	2.23	
シルト分(%)	7.8	
粘土分(%)	90.6	
均等係数	1.6	
曲率係数	1.50	
成分組成	1.22	
シリカ(%)	48.8	
アルミナ(%)	25.6	
酸化第二鉄(%)	7.7	
酸化カルシウム(%)	2.2	
酸化マグネシウム(%)	1.3	
酸化カリウム(%)	1.6	
酸化ナトリウム(%)	0.5	
強熱減量(%)	9.2	

表-2 石炭灰・消石灰混合材料の締固め特性

配合割合 (乾燥重量比) F*:L**	比重	最適含水比 (%)	最大乾燥密度 (g/cm ³)
10:0	2.23	29.4	1.19
8:2	2.25	30.4	1.18
5:5	2.28	33.4	1.15

*石炭灰(フライアッシュ)

**工業用消石灰(比重2.24, 酸化カルシウム分を約74%含有)

表-3 締固めた石炭灰・消石灰混合材料の一軸圧縮強さ

[単位: kgf/cm²]

空気中養生日数	配合割合 F:L (乾燥重量比)	10:0	8:2	5:5
0*	0.82	1.94	3.17	
1日	0.83	2.40	4.91	
3日	0.87	3.57	6.47	
7日	0.97	4.27	7.69	
14日	1.11	5.30	10.32	
28日	1.22	6.47	16.80	
56日	1.31	6.97	28.00	
90日	1.40	8.56	50.18	
180日	1.59	22.62	87.86	

*供試体作製当日

表-4 川砂の物理的性質

比重	2.67
シルト分(%)	11.8
砂分(%)	85.1
粘土分(%)	1.3
均等係数	1.8
曲率係数	4.90
均等係数	0.97

ップは3個1組(鉛直1, 水平2成分)とし, これを予め軌道中心から 1.4m離れた施工基面に石膏で固定しておいた台座に取り付けた。②において, 土圧計は左レール継目部直下の路床面に設置した。また, ④～⑥は施工約2ヶ月前の6月下旬に測定を開始した。ここでは, 主として①の結果について記述する。

図-2は, 列車通過時に施工基面に生じた上下方向の振動の推移を示す。上の図は, データレコーダに入力した変位信号を電磁オシログラフに出力したときの振動波形の最大値と平均値とを表す。なお, 変位は加速度信号を増幅器に内蔵されている積分回路に一旦通して求めたものである。最大変位, 平均変位とともに砂置換路盤に比べて互層路盤の方が, そして, 同じ互層路盤でも消石灰を多く混合した方が小さくなっていることがわかる。しかし, 経過日数との関係については明らかでない。下の図は, 加速度信号のフーリエスペクトルを平滑化したときの卓越振動数とフーリエ振幅とを表す。変位と同様に加速度のフーリエ振幅も砂置換路盤, 配合割合8:2の互層路盤, 5:5の互層路盤の順に小さくなっている。卓越振動数は40~70Hzに存在するが, これは車両のばね下重量を主体とした輪重変動の影響がこの範囲に現れているものと考えられる。

表-6は, 左右方向(線路直角方向)に生じた加速度の解析結果をまとめたものである。フーリエ振幅をみると砂置換路盤と8:2の互層路盤とはほぼ同じ, 5:5の互層路盤はそれよりも10~20gal・sec程度小さくなっている。しかし, 5:5の互層路盤のみ上下方向(図-2, 下)に比べて左右方向の方が大きなフーリエ振幅となっている点に注目される。

あとがき 以上のことより, 石炭灰を用いた置換互層路盤はとくに縦方向の振動を低減する効果が高いと判断される。なお, 上記③および④の調査結果において, 施工後約半年の時点までに当該箇所には大きな変状は認められていない。今後は, 材料の混合や施工の手順などについてさらに検討を加えていきたい。

謝辞 本研究を実施するにあたりご協力をいただいた西日本旅客鉄道(株)金沢支社, 大鉄工業(株)北陸支店, (株)ホクコク地水および北陸電力(株)の関係各位に深甚なる謝意を表する。

参考文献 1) 山田幹雄・山崎和彦・佐野博昭・伊能忠敏: 石炭灰を用いた軟弱路盤補修策の開発, 日本鉄道施設協会誌, 第29巻, 第11号, pp. 51~55, 1991.11. 2) 山田幹雄・佐野博昭・徳岡研三・伊能忠敏: 在来線噴泥対策としての石炭灰を用いた置換互層路盤の適用性に関する実験的研究, 土木学会論文集, 第444号/VI-16, pp.31~40, 1992.3.

表-5 転圧終了時における各層の状態

対策工の種類	層	まき出し厚さ(cm)	転圧厚さ(cm)	含水比(%)	乾燥密度*(g/cm ³)
砂置換路盤	砂層	15	14	9.4	1.85
	上下	13	12		
	下部砂層	9	8	8.2	1.66
F:L=8:2	上部砂層	12	7	31.0	1.16
	混合層	9	8	8.1	1.67
	下部砂層	10	9	7.4	1.68
F:L=5:5	上部砂層	13	9	30.0	0.95
	混合層	8	7	7.4	1.68
	下部砂層				

*「現場における土の単位体積重量試験(砂置換法)」に準拠して測定

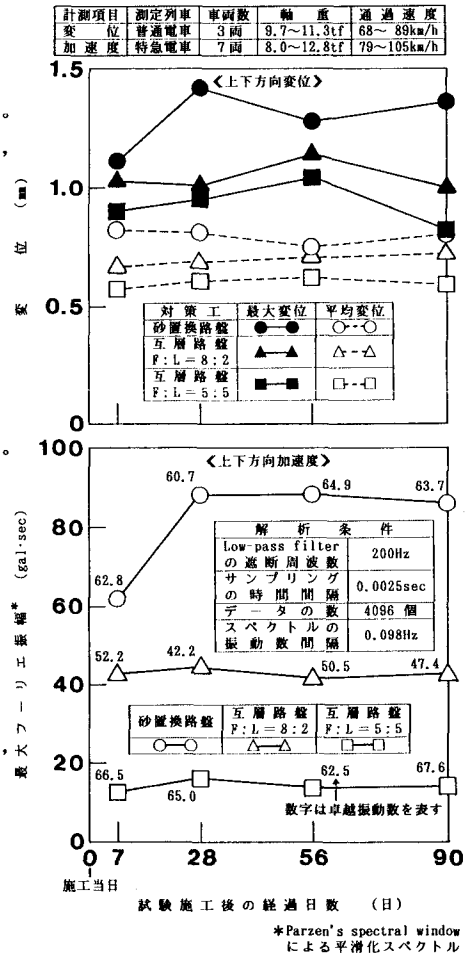


図-2 施工基面に生じた上下方向の振動の推移

表-6 左右方向に生じた振動加速度のスペクトル解析結果

対策工の種類	平滑化スペクトル	試験施工後の経過日数(日)			
		7	28	56	90
砂置換路盤	卓越振動数(Hz)	74.8	72.3	77.3	75.7
	フーリエ振幅(gal・sec)	29.5	35.8	32.3	34.2
F:L=8:2	卓越振動数(Hz)	52.2	62.9	50.5	47.3
	フーリエ振幅(gal・sec)	33.4	35.7	40.8	37.6
F:L=5:5	卓越振動数(Hz)	52.9	90.3	87.1	94.0
	フーリエ振幅(gal・sec)	21.3	21.7	22.3	19.1