

金沢工業大学 正員 ○ 山田 幹雄  
 金沢工業大学 正員 小野 一良

まえがき 軟弱な粘土層の上に敷設された鉄道線路においては、列車通過による繰り返し荷重を受けて噴泥を生じている。著者らは、これまでに噴泥の発生機構を解明する手段として、実験室内において種々の条件のもとでの繰り返し載荷試験を行ない、その成果を文献(1)に報告した。これに続いて今回は、道床砂利が粘土層に圧入されるときの初期の抵抗を知る目的で、種々の含水比の粘土層に各種の碎石粒およびこれを模倣した木製模型を貫入させるときの抵抗を測定した。これより、碎石砂利の先端形状および粘土層の含水比と貫入抵抗との関係について検討を行なった。

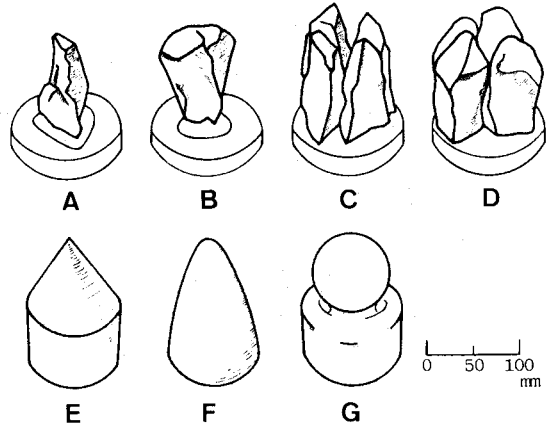


図-1 碎石粒および碎石模型

測定方法および試料 図-1は、実験に使用した碎石粒および模型を示す。碎石は約100mmの長さを有し、かつ端部が50°~80°の角度で尖っているもの(A,C)および直径40~50mmの球状を呈しているもの(B,D)を用いた。これらを単一で貫入させる場合(A,B)と4個の碎石をもって一つの群とし、これを貫入させる場合(C,D)に区別した。また、模型の先端形状は、先端角60°の円錐体(E)、先端の曲率半径が8.33mmの回転放物体(F)および半径40mmの球体(G)とした。さらに、碎石表面の凹凸が抵抗の大きさにおよぼす影響を調べるために、模型の表面に高さ5mm、直径2mm程度の突起を1cm間隔につけたものを貫入させた。これをE'、F'およびG'の記号であらわした。実験にあたっては、これらの碎石粒および模型をオートグラフの圧盤に取り付け、各種の速度で粘土層に貫入させた。

粘土試料としては、石川県辰口地区より採取したものを使用した。その物理的性質を表-1に示した。実験に際しては、直径50cm、高さ20cmの円筒容器の中に、所定の含水比となるように練り混ぜた粘土を突き棒を用いて12cmの高さに詰めた。このときの乾燥密度は1176~1185kg/m<sup>3</sup>となり、間げき比は1.26~1.24となった。

測定結果 図-2は、種々の含水比の粘土層に各種の碎石粒を20mm/minの速度で貫入させたときの荷重の増加を示す。図より、碎石粒の貫入にともなう抵抗の大きさは、先端の形状によって多少の変化はあるが、貫入量のほぼ1乗または2乗に比例して増加することが認められる。また、同一の含水比で貫入量80mmにおける抵抗の大きさを比較した場合、先端の形状が角形であるものと丸形であるものとの比は1:1.3~1.5となり、また単体と群体との比は1:3.2~3.7となる。このうち、後者は

Specific gravity	2.66
Uniformity coefficient	18.7
Liquid limit	52%
Plastic limit	35%
Coefficient of permeability	$4.76 \times 10^{-7}$ cm/s
Unified soil classification	MH

表-1 試料の物理的性質

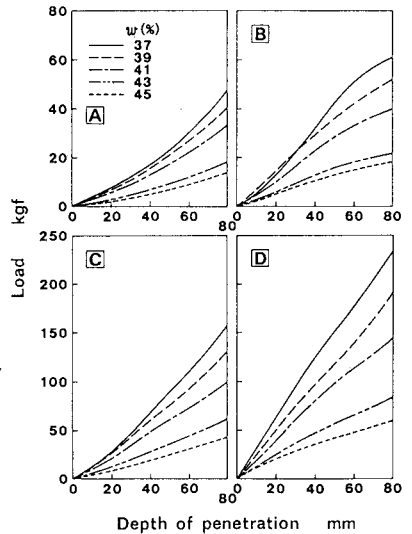


図-2 各種の碎石粒における貫入量と荷重との関係(貫入速度 20mm/min)

碎石の個数の比とほぼ一致する。これは、碎石砂利の圧入に対する初期の抵抗力は、碎石間の空げきの大小にはほとんど関連をもたないことを示している。しかしながら、実際の線路のように、碎石が何段にも積み重ねられているときには、碎石間の空げきの大きさ、延長および形状も抵抗力に影響を与えていると考えられる。

図-3は、種々の含水比の粘土層に各種の碎石粒を5, 10, 20および50 mm/minの速度で80mmの深さまで貫入させたときの抵抗の大きさの比較を示す。いずれの碎石粒においても抵抗の大きさと貫入速度との関係は認められないが、含水比の影響は明らかであり、とくに、含水比が41%から43%に増加すると抵抗の大きさは急に減少している。この境界に相当する飽和度90%および液性限界0.4は、繰り返し載荷試験において得られた道床砂利の圧入を生じやすい含水比での飽和度と液性指数にほぼ一致するものである<sup>1)</sup>。

図-4は、含水比41%の粘土層に各種の模型を20 mm/minの速度で貫入させたときの測定結果を示す。図において、円錐体における貫入抵抗は、貫入量の2乗に比例して増加し、回転放物体においては、貫入の初期では貫入量の1乗に比例して増加するが、貫入が進むにつれてだいに上向きの曲線となる。また、球体においては、貫入量のほぼ1乗に比例して増加することが認められる。さらに、表面に突起のない場合(E, F, G)とある場合(E', F', G')の抵抗の増加割合には、ほとんど差のないことが示されている。

**考察および結論** 一般に、碎石が粘土を割って圧入するときの抵抗力Pは、碎石と粘土が接触する部分の面積Aと碎石が押しつける粘土の体積増加率  $dV/dh$  の双方に関連をもつと考えられる。円錐体において中心軸と母線とのなす角を $\theta$ 、回転放物体において先端の曲率半径を $\rho$ 、また球体において球の半径を $r$ としたとき、これらがそれぞれ $h$ の深さまで貫入するときの抵抗力は次式によってあらわされる。

(i) 円錐体

$$P_c = \pi \beta_1 h^2 \frac{\tan \theta}{\cos \theta} + \pi \beta_2 h^2 \tan^2 \theta \quad \text{.....(1)}$$

(ii) 回転放物体

$$P_p = \frac{2}{3} \pi \beta_1 \rho^2 \left\{ \frac{3}{\rho} h + \frac{3}{8} \left( \frac{2}{\rho} h \right)^2 + \dots \right\} + 2 \pi \beta_2 \rho h \quad \text{.....(2)}$$

(iii) 球体

$$P_s = 2 \pi \beta_1 r h + \pi \beta_2 h (2r - h) \quad \text{.....(3)}$$

上式において、 $\beta_1$ は粘土と碎石表面との間に作用する摩擦力に関連する係数を示し、 $\beta_2$ は粘土を押しつけるときに生じる抵抗力に関連する係数を示す。現在のところ $\beta_1$ と $\beta_2$ の大きさの割合は明らかでないが、図-4に示した測定結果より、粘土と碎石との間に生じる表面摩擦が抵抗の大きさに与える影響は少なく、したがって、 $\beta_1$ は $\beta_2$ に比べてきわめて小さな値であるとみることができる。

以上の試験の結果、道床砂利が路盤土に圧入されるときの初期の抵抗力は、その大部分が単位圧入量当たりの体積増加率に比例する抵抗であることが明らかとなった。なお、噴泥の進行過程をより詳細に検討するには、道床砂利の空げきを粘土が上昇するときの抵抗力もあわせて調べる必要があり、この点については今後の課題としたい。

参考文献 1) 山田・小野：鉄道線路における噴泥発生機構の基礎的研究，土木学会論文報告集，第325号，1982。

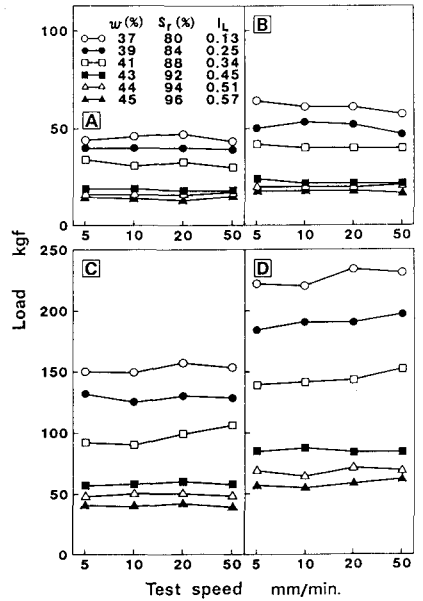


図-3 各種の碎石粒における貫入量80mmでの貫入速度と荷重との関係

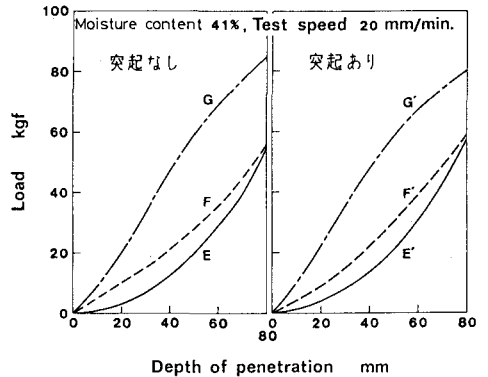


図-4 各種の模型における貫入量と荷重との関係