

IV-113 噴泥の機構に関する研究

金沢大学工学部 正会員 小野 一 良

〃 〃 〇伊藤 義 男

鉄道線の噴泥現象に関してはこれまでにその防止方法を対象として多数の研究がなされて来た。その結果現在においては路盤入換えを行うか、または噴泥を起す路盤と道床との間に不透水性の膜を挿入することによってほぼ噴泥防止の目的を達成している。今回の研究においては噴泥防止を直接の目的とせず、噴泥を生ずる過程の研究に重点をおいた。

噴泥とは列車通過に伴い軟弱な路盤に道床砂利が圧入され、そのかわりに泥水が道床中を上昇し、遂には道床表面特に枕木の周辺より噴出する現象である。路盤が主としてシルトまたは粘土よりなる場合に噴泥が多く生ずると云われている。よって道床砂利が粘土層に圧入される速度はいかなる条件に支配されるかについて研究を行った。関連があると予想される項目としては路盤土の鉱物学的成分およびその粒度分布、路盤土の間隙比および含水比、道床砂利の形状、粒度分布、道床砂利に加わる圧力の大きさおよび継続時間、圧力の繰返し回数および速度、圧力の増加過程、すでに路盤中に侵入した砂利層の厚さ等が考えられる。これらすべての項目に関して研究を行うことは長日時を要するので特に大きな関連を持つと予想される数項目についてのみ研究を行った。

路盤土としては北陸線くりから駅近くの竹橋川の河岸より採集し、土質試験の結果は図-1および表-1のごとくであった。

液性限界 49.6%, 塑性限界 36.4%,

塑性指数 13.2, 土の比重 2.64

突固め試験による最適含水比 26.5%

図-1に示すごとく粒径0.074 mm以下すなわちシルトおよび粘土が65%を占めている。以後この路盤土を粘土と呼ぶことにする。

間隙比および飽和度については表-1に示す2種類の含水比の場合について行なった。国鉄においては噴泥現象を生じた多数の箇所の路盤土を採集して各種の試験をなし、噴泥を生じないために必要とする条件を示しているが、上記の試験結果はこの条件に合格せず、噴泥を生ずる可能性が大きいことを示している。

実験方法としては上記の粘土試料を一旦乾燥した後細く碎き、予定した含水比になるように適当な水を入れ、アイリッヒ型ミキサーを使ってよく混合した。この試料を直径40 cmの鋼製の円筒容器に厚さ約20 cmになるように3層に分けて填充し、一層ごとにランマーを用いてつき固めた。

この粘土層の中に押し込む碎石としては表-2に示す3種類を使った。図-2に示すごとく粘土層の上にこれらの碎石を150 mmの厚さにつめた。その上にビニールの布を敷き砂を約50 mmの厚さ

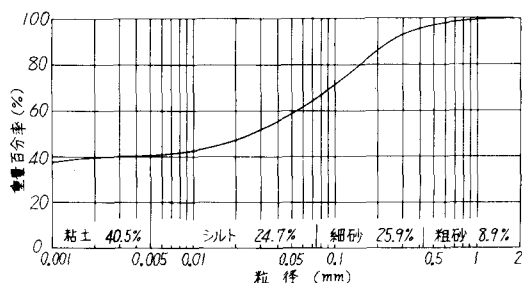


図-1 粒径加積曲線

表-1 間隙比および飽和度

含水比 (%)	41.8	46.1
間隙比	1.16	1.33
飽和度 (%)	93.8	91.9

に敷いたが、これは上から加える荷重を碎石の面に一様に分布するためである。最後に鋼製の載荷板をのせて圧力を加えた。

圧力の大きさとしてはすべて4tとしたのであるが、これは単位面積当り 8.0 t/m^2 となる。

軸重15t、軸距1.5mの機関車が50kgレールを敷設した軌道上にあるときに路盤表面が受ける最大圧力は計算上 9.0 t/m^2 となるので実験に用いた圧力はほぼ実際に近いと考えられる。

上記の試験容器に荷重をかける方法としてつぎのA、B、Cの3種とこれらの組合せとした。

A試験：試験容器の上にジャッキを重ねて図-2に示す枠内に入水、ジャッキで4tの荷重をかけ約30分間圧力を保持した。碎石層の沈下に伴い圧力は低下するが、その都度補充した。ダイヤルゲージを用いて載荷板の沈下量を1分ごとに測定した。

B試験：ジャッキで4tの荷重を加えた後その状態に30秒間保持し、荷重を0に戻してまた30秒保持し、再び4tの荷重を加えた。この操作を200～300回繰返した。毎回の荷重を加えたときおよび抜いたときに沈下量を測定した。

C試験：図-3に示すごとくジャッキと試験容器との間に振動発生機を挟み、ジャッキによって4tの荷重を加えたまま振動発生機によって振動荷重をかけた。この状態を1分間継続した後振動発生機をとめ続いてジャッキによる圧力を抜いた。荷重0の状態を1分間保ちその後再びジャッキで圧力を加え、上記の方法を30回繰返した。振動発生機の回転数を1700 r.p.m.とし、このとき起振力は570kgとなった。実験中に振動発生機が傾くのを防ぐために振動発生機より長さ135cmの腕を出し、この腕の先を中心として振動発生機が回転できるようにした。また碎石層の沈下量を測定するにはインダクタンス型変位計を用いた。

以上に述べた3種類の試験は道床砂利が粘土層に圧入されるにはいかなる荷重条件がもっとも関連が深いかを比較するためである。しかし試験の含水比を同一にし、同一の方法で容器に填充しても碎石と粘土との接触状態を全く同一とすることは不可能であり、適確な比較は困難である。よってつぎのようにA、B、C試験を混合して行った場合もある。

AB試験：ジャッキで4tの荷重を継続して30分間加え、その後4tの荷重を繰返し30回加えた。ただしこの場合加圧時間1分間、休止時間1分間とした。

ABC試験：ジャッキで4tの荷重を継続して30分間加え、その後4tの荷重を繰返し15回加え、さらにこれに続いて振動を伴った4tの荷重を繰返し15回加えた。この場合においても加圧時間および休止時間を各1分とした。

表-2 碎石の粒径範囲

砂利の種別	小砂利	中砂利	大砂利
粒径 (mm)	10～20	20～40	40～80
空隙率 (%)	28.5	25.5	28.6
比重	2.62	2.61	2.68

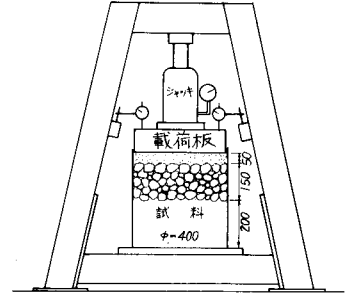


図-2 A、B試験載荷装置

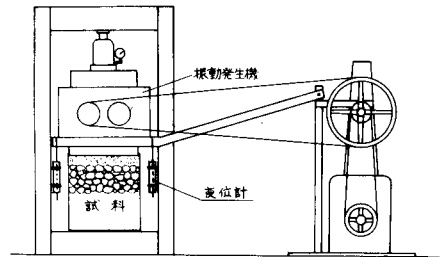


図-3 C試験載荷装置

以上述べた各種の方法について種々の含水比および各種粒度の碎石を用いて実験を行うことは実験回数が膨大となるため含水比の影響を知るためには主としてBおよびC試験によることとし、道床には大砂利を用いた。

B試験において碎石層の沈下を測定した結果の1例を図-4（黒丸で示した点）に示した。横軸は繰返し回数であり、対数目盛となっている。上下2段に点があるが、上段は4tの荷重をかけたときであり、下段は圧力を0に戻したときである。4tの荷重を最初にかけたときに22mmの沈下を生じたが、この中には碎石が粘土層内に圧入された寸法だけでなく、粘土層、碎石層およびその上の砂層の圧縮もいくらか含まれていると考えられる。しかしその後の沈下量はすべて碎石が粘土層内に圧入された寸法と見做される。この図に示すごとく毎回の沈下の進行量は次第に小さくなるが、片対数方眼紙に書くときにはその傾斜角は次第に急になる。いま n 回目の沈下量を y とし、 $x = \log_{10} n$ としてこのグラフから dy/dx を求めた。これを沈下量の対数増加率と呼び、 $n=3, 10, 30, 100$ について含水比と対数増加率との関係を画くと図-5のごとくなる。図に示すごとく含水比の増加とともに対数増加率は増すが、含水比が44%を越すと急に増加率が増すことが認められる。特に繰返し回数が30回以上においてその差が著るしい。

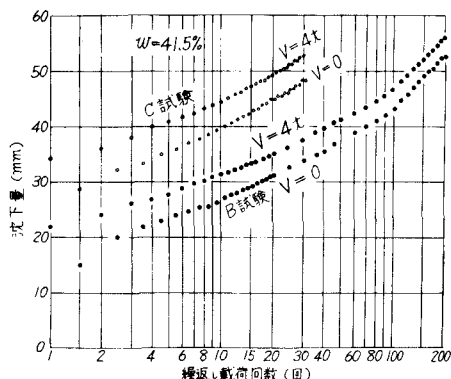


図-4 BおよびC試験における沈下量

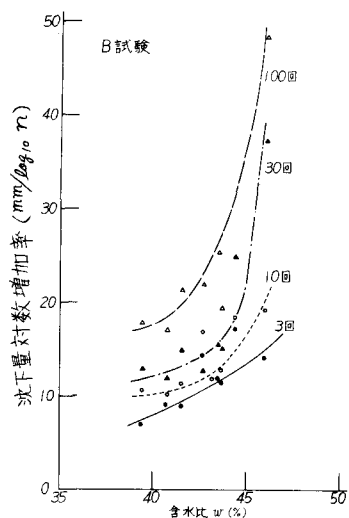


図-5 B試験における対数増加率

大砂利を用いたC試験において碎石層の沈下を測定した結果の1例を図-4（白丸で示した点）に示した。B試験と同様に繰返し回数の増加とともに対数増加率が次第に増すことが認められる。この場合についても $n=3, 10, 20, 30$ に対する対数増加率を求めれば図-6に示すごとくなった。含水比38%より46%に至る間において対数増加率が急に増加することが認められる。この結果をB試験に較べると振動の効果が著るしくあらわれている。特に含水比44%以下においてその差がはなはだしい。図-6には中砂利について含水比43.4%として行った実験より得られた対数増加率の値も示したが、大砂利に較べて対数増加率は $1/2$ 程度であることが認められる。また小砂利についても同様な実験を行ったが、ほとんど沈下は認められなかった。

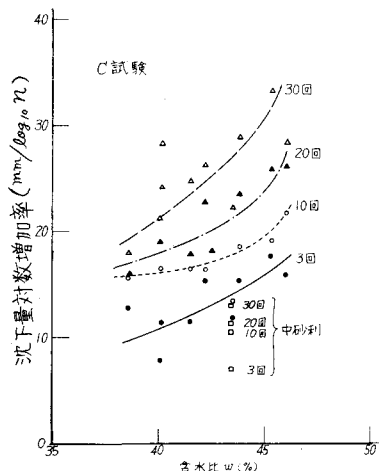


図-6 C試験における対数増加率

AB試験の1例を図-7に示し、ABC試験の1例を図-8に示した。これらの図で見られるごとく、4tの荷重を継続して30分間加えていてもほとんど沈下が進行しないときに荷重を一旦0に戻してそれから繰返し荷重をかけると沈下はるかに早く進行し、続いて振動発生機をかけるとさらに沈下の進行が増すことが認められる。この事實は道床砂利が路盤に圧入されるのは荷重の大きさだけでなく、荷重の変化に着るしく影響を受けることを示している。

さきに述べたごとく繰返し荷重をかけたときに1回ごとの沈下量は次第に減少するが、この原因としては砂利が路盤中に圧入されるに従ってその抵抗が増加するためと考えられる。この抵抗は砂利の全進入量に比例し、また1回毎の進入量は抵抗に反比例すると仮定する。n回の載荷時における累計の進入量を y_n とし、比例の定数を k とすれば次式が導かれる。

$$y_{n+1} - y_n = \frac{2k}{y_{n+1} + y_n} \quad (1)$$

$$\therefore y_{n+1}^2 - y_n^2 = 2k \quad (2)$$

上式における n を1, 2, ..., n と置いた式を作り、これらの式を加え合わせれば

$$y_{n+1}^2 - y_1^2 = 2kn \quad (3)$$

$$\text{これより} \quad y_{n+1} = (2kn + y_1^2)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

y_n の中には砂利層および砂層の圧縮量も含まれていることを考慮して上式を一般化すれば次式が導かれる。ただしこの式は $n > C$ の場合に限って成立する。

$$y_n = a + b\sqrt{n-C} \quad (5)$$

図-4 (B試験) に示した測定結果を用いて最小自乗法により上式の a , b , C を求め、上式による y_n と $\sqrt{n-C}$ との関係を描き、かつこの上に測定値を入れれば図-9が得られる。ここに示すごとく上記の仮定によって導いた式は $n > 10$ において測定値にほぼ一致することが認められる。

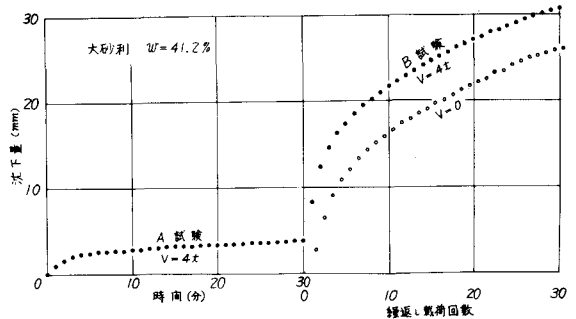


図-7 AB試験における沈下進行図

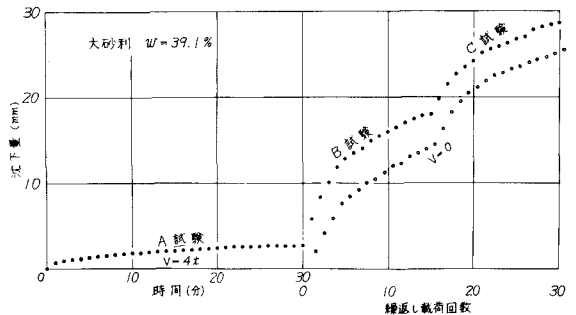


図-8 ABC試験における沈下進行図

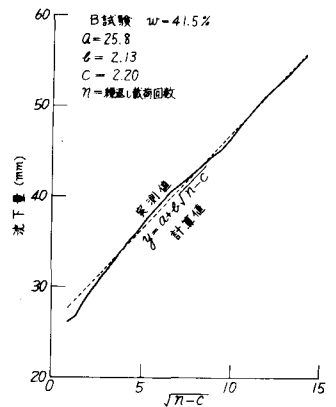


図-9 実測値と計算値の関係