

論文の内容の要旨

論文題目 鉄道路盤における道床のめり込みに関する研究

氏名 伊東孝之

鉄道路盤における道床のめり込み沈下は軟弱な粘性土の路盤において、道床の貫入力に対して路盤の抵抗が不足しているために生じる。既設線の路盤はその品質が十分でないものが多く存在していて、道床の路盤土へのめり込みによる軌道狂いの誘発を招くことが多く、多くの保守量を必要としている。また、新設線においても路盤を構築する際、良質土は周辺の自然土では入手困難な場合が多く、経済性的問題がある。そこで、これらの問題を解決し、路盤本来の機能に密接な関係にある道床のめり込み沈下量の算出およびその要因の寄与度を解明することにより、道床のめり込みに抗し得る路盤の支持力、その必要締固めの程度を明らかにする必要がある。。そのため、めり込み沈下の要因およびその沈下式を求めるため、室内試験を行うとともに、現地調査を行い、これらの検証を行った。

先ず、道床の路盤へのめり込み沈下と路盤自身の圧縮沈下を明らかにするため、室内において、小型模型装置を用いた、一次元繰返し鉛直載荷実験を行ない、土質(CL)、(VH₂)、(CH)、(SM)の4種の土について、土のコーン貫入抵抗 q_c を種々に変えて(0.2~3.4MPa)、荷重強度 p (0.1,0.17,0.3MPa)に対する、経時めり込み沈下量、圧縮沈下量を求めた。

小型模型装置は、鋼製モールド(内径47.5cm、高さ45cm)中に試料土を敷き詰め、その表面に模擬道床(鋼球：直径9.5mm)を4層に密に詰めて、その上に有孔載荷板を置いたものであり、繰返し載荷中は、水で滞水させた場合とそうでない場合の両方の状態で、最終繰返し回数50~500万回の範囲で行った。実験の結果、次の事項が分かった。

1) 滞水した土供試体の沈下は、それ自身の圧縮沈下と噴泥を伴うめり込み沈下からなる。圧縮による沈下は、載荷回数30万回までは、継続して生じるが、それ以降は、めり込み沈下が主体であり、繰返し荷重の増加により継続して、一定の沈下速度になる。

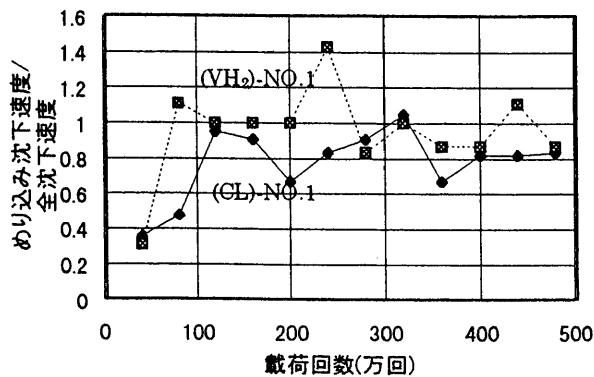


図1 全沈下速度に占めるめり込み沈下速度の割合例

図1は、載荷回数500万回まで繰返し載荷を行った供試体の例である。この例では、載荷回数100万回以降では、めり込み沈下のみとなり、その沈下速度は、ほぼ、一定になることを示している。

2) 鋼球のめり込み沈下速度式を4種の土質に対して、重回帰分析により求めた。すなわち、沈下速度(B)は、次式で示される。

$$B = \beta_0 p^{\beta_1} q_c^{\beta_2}$$

ここに、B：10万回当たり沈下量(mm/10万回)、p、 q_c ：荷重強度(MPa)、コーン貫入抵抗(MPa)、 β_0 、 β_1 、 β_2 ：土質により決まる係数

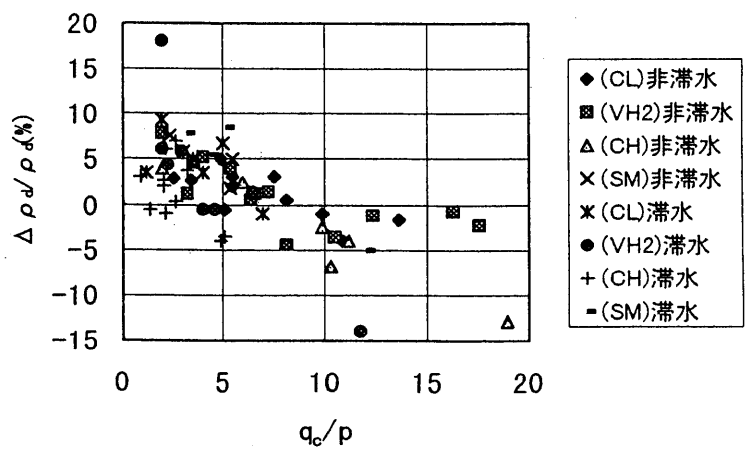


図2 密度変化率と q_c/p の関係

3) 各土質に対して、密度変化率($\Delta \rho_d / \rho_d$)と q_c/p との関係は、図2に示すような結果が得られた。図2から、 $q_c/p = 8$ のとき、密度変化率が0となることが分かった。すなわち、土質、滞水の有無に関わらず、 $q_c = 8p$ であれば、載荷による供試体の密度の変化はないといえる。ここに、 $\Delta \rho_d$ は、載荷後の乾燥密度から載荷前の乾燥密度を差し引いた値であり、 ρ_d は載荷前乾燥密度である。

3) 載荷前のコーン貫入抵抗値は、載荷により増加し、最終的には載荷荷重強度の8倍に近

づく。

4)土質の代表土である(CL)について、模擬道床(鋼球)に代えて、実道床を用いた同様な繰返し載荷実験を行い、沈下速度(B)は、鋼球の場合の3倍になることが分かった。

これは、実道床粒(平均径35mm)の寸法効果によるものであり、載荷1回当たりのめり込み量(ΔS)とその球体直径(Φ)の比($\Delta S/\Phi$)は、 Φ の大きさによらず一定であるためである。すなわち、実道床の粒径は、鋼球($\Phi : 9.5\text{mm}$)のその約3倍であり、前者のめり込み沈下速度(B)は、後者のその約3倍になることが成立する。

この結果、実道床のめり込み沈下速度は、沈下式の係数(β_0)を3倍することにより得られる。

次に、既述道床のめり込み沈下速度式を検証するため、実物大模型の路盤、軌道を構築し、こ

表1 路盤めり込み沈下速度の実測と沈下式の比較(実物大模型)

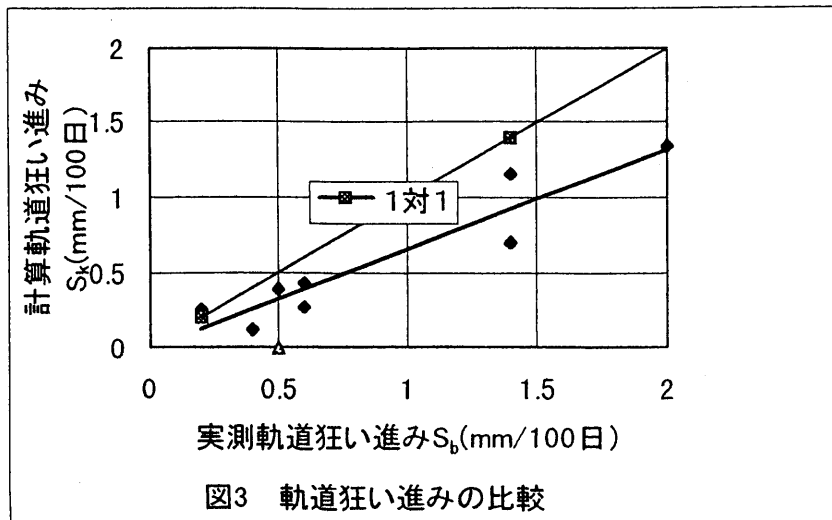
路盤種類	実測(mm/10万回)	沈下式(mm/10万回)
A 路盤(SM)	0.17	0.11
B 路盤(CL)	0.25	0.18
C 路盤(SM)散水	0.46	0.46
D 路盤(CL)散水	0.78	0.71

れに対する定置繰返し載荷実験を行い、レールおよび路盤の経時沈下量などを測定した。構築した路盤は、4種類(A,B,C,D路盤)であり、A,Cは、砂路盤であり、B,Dは、粘性土路盤である。また、C,D路盤は、載荷中常時散水して、表面の滞水状態を保つようにした。繰返し荷重の最大値は、78kN/1レール であり、各路盤の最終繰返し回数は、200万回である。

表1は、4種類の路盤に対する載荷回数130~200万回の間の実測レール沈下速度と上記式を用いて得られるめり込み沈下速度を比較したものである。表1から各路盤とも両者の沈下速度は、ほぼ一致していることがわかる。なお、載荷回数130万回以降は、圧縮沈下の進行や道床自身の沈下

は、僅かであると考えたからである。

次に、更にめり込み沈下予測式の検証のため、5地区、10個所の路盤現地調査を行った。調査箇所は、30年以上の供用に耐え、一時休止線になっている箇所が大部



分であった。調査内容は、道床めり込み量、路盤強度、高低軌道狂い進み等である。

調査の結果次のことが分かった。

1) 高低軌道狂い進み (レール面10m間中央点の高低差の100日当たり進行度)とレール沈下との関係式へ、道床めり込み沈下予測式を適用して求めた計算軌

道狂い進みと実測軌道狂い進みとの関係は、図3となった。図3から、計算値は、実測の7割り程度である。これは、実測の中に道床の緩みによる、道床自身の沈下が含まれるためと推察される。

2) 各路盤の密度変化率と q_c の関係を整理すると図4が得られた。これにより、密度変化率が0の時の q_c の平均は、1.6MPaである。各路盤における列車荷重による路盤圧力(p)を0.2MPa位とすると、 $q_c/p=8$ となり、一次元模型の実験結果と一致する。

3) 沈下が少なく、軌道が安定している路盤について、高低狂い進み、コーン貫入抵抗値(q_c)等を調査した結果、粘性土路盤において、その q_c は、1MPa以上が、砂質土路盤において、換算 q_c が、2.4MPa以上であることが分かった。

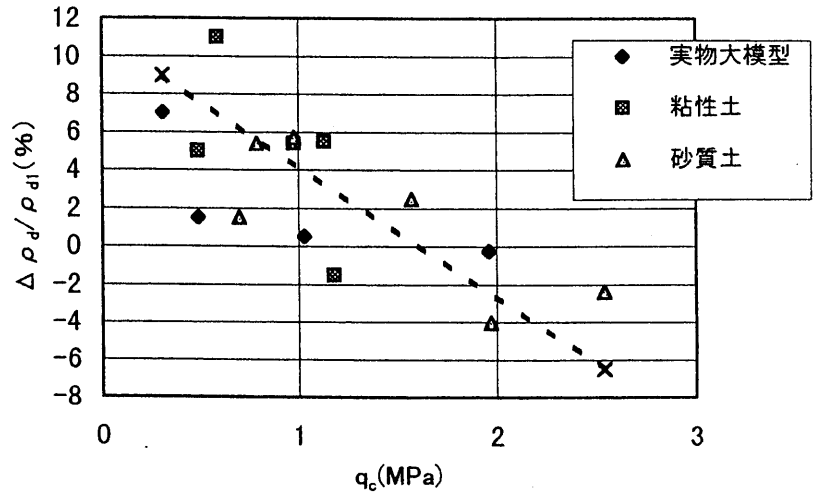


図4 q_c と $\Delta \rho_d / \rho_{d1}$ の関係

表2 めり込み沈下速度(B)の係数値

路盤土質	β_0	β_1	β_2
(CL)	27.8	2.6	-1.8
(CH)	177	3.6	-2.0
(VH ₂)	58.2	2.5	-1.7
(SM)	12.9	2.6	-1.4

$B = \beta_0 \cdot p^{\beta_1} \cdot q_c^{\beta_2}$ ここに、B:沈下速度(mm/万回)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$:土質によって決まる係数、p:路盤圧力(MPa)

q_c :路盤のコーン貫入抵抗(MPa)

以上結論として、鉄道路盤における道床のめり込み沈下は、表2に示す予測式によって求める事が出来る。また、沈下の少ない安定した路盤は、上記3)に示した路盤強度が必要である。