

鉄道における粘性土路盤の静的移動荷重載荷試験

（財）鉄道総合技術研究所 正会員 村本勝己 大塚勝 関根悦夫

1. はじめに

鉄道営業線の軌道の沈下対策として、バラスト層をアスファルトやコンクリート等のてん充填材で固結させたり(図1)、バラストを使わずまくらぎや軌道スラブを直接路盤上に敷設する省力化軌道が開発、敷設され始めている。

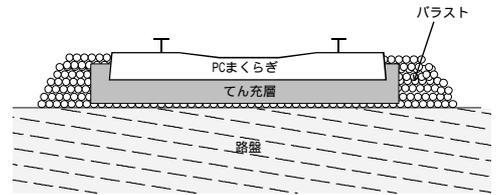


図1 一般的な省力化軌道

しかし、地盤が粘性土の場合、バラスト軌道時代に路盤に十分な応力履歴を受けて沈下が収束している箇所においても、省力化軌道化に伴って軌道の排水性能が低下した結果、路盤噴泥や路盤陥没を生じた事例がある。

このような現象の原因を解明するため、これまでの繰返し載荷試験¹⁾に比べて、より現実の条件に近い模型試験を行い、省力化軌道下の粘性土路盤の挙動の把握を試みた。

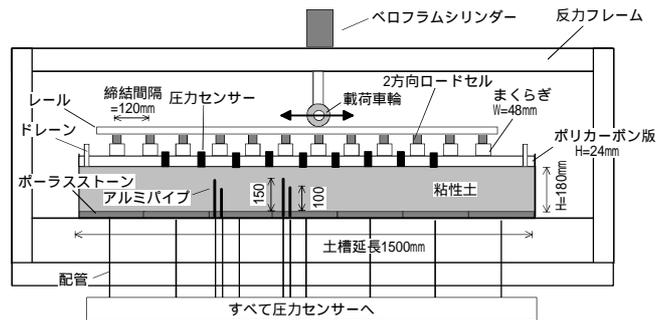


図2 粘性土路盤移動荷重試験装置の概略

2. 装置および軌道模型の概略

鉄道における繰返し荷重の影響を正確に把握するためには、実際の列車の移動と同様に、静的荷重が軌道上を移動する移動荷重載荷でなければならないことが明らかになっている²⁾。飽和粘性土の路盤の場合、これに加えて路盤内の水圧等の強制的な移動によって生じる有効応力変動も考慮する必要があると考えられる。そこで、今回は図2に示すような装置を作製した。

本軌道模型は1/5スケールの平面ひずみ模型であるが、基本的には図1に示されるような一般的な営業線省力化軌道を模擬したものである。レールやてん充填層に相当するポリカーボン版等は実際と剛性を合わせており、車輪荷重が軌道構造によって路盤に分散される比率は実物に近いものとなっている。

表1 荒木田粘土の物理特性

土粒子密度	2.712g/cm ³
液性限界	49.4%
塑性限界	27.7%
塑性指数	21.7
試験時の初期間隙比	0.95
試験時の初期透水係数	4.0 × 10 ⁻⁷ cm/sec

3. 供試体および試験条件

本試験において使用した粘土は荒木田粘土であり、用いた試料の物理特性等は表1に示すとおりである。供試体は図3に示されるように試験土槽に液性限界の2倍程度の含水比のスラリーを投入し、予圧密した後に下部土槽上面でカットして作製した。予圧密荷重は基本的には100kN/m²である。ただし、工程の都合から、予圧密が十分に終了しないうちに圧密を打ち切った。その後、試料を切り出して標準圧密試験を行なった結果、Pcはおおむね20kN/m²と推定されたが、正確な値ではない。

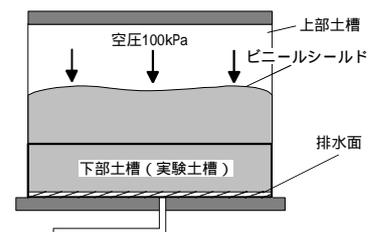


図3 供試体の予圧密の概要

載荷条件は表2に示すとおりであり、予備載荷1から移動載荷試験2まで連続して試験を行なった。なお、路盤面圧力(全応力)は測定していないが、移動載荷試験2においては最大100kN/m²程度と推定される。また、同一の載荷荷重で模型端部まで車輪を移動させると、実質的に荷重を支持するまくらぎの本数が減り、中心付近に比べて路盤圧力が増大してしまう。そこで、荷重の影響範囲を考慮して、図4に示すように車輪移動に伴って端部付近では載荷荷重を減少させる処理を行なっている。また、車輪が端部に移動した際、路盤面に水圧が極端に集中しないよう、端部路盤面のみ排水状態としてドレインを敷設し大気圧に開放しているが、模型中心付近の排水条件はほぼ非排水条件と考えてよいと思われる。

4. 試験結果

図5は車輪の移動に伴う各まくらぎの荷重の変化を示したものである。車輪の移動に伴って各まくらぎで測定される荷重波形は、ほぼ同一の正弦波とみなすことができ、それぞれ位相がまくらぎ間隔分だけシフトしている。ただし、車輪が任意のまくらぎ直上に位置した時点でそのまくらぎが支持する最大荷重は、

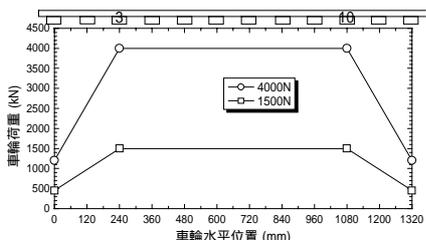


図4 車輪位置と載荷車輪荷重

載荷車輪荷重の25%程度であり、通常のバラスト軌道の40~50%に比べるとかなり小さいことがわかる。これは、省力化軌道構造の曲げ剛性が高く、通常のバラスト軌道よりも荷重分散効果が高いことと、路盤のパネ値が小さく、荷重分散効果がより発揮されやすいことが理由と考えられる。

図6は車輪の移動に伴う中心付近の間隙水圧分布の変化を示したものである。路盤内部の水圧は、路盤内部に予圧密時より埋設されているアルミパイプを通じて測定されたものであるが、パイプの位置は土槽中央部よりもまくらぎ間隔の1/2程度だけ左にシフトした位置にあるため、波形のピークも若干左にシフトする傾向がある。最大水圧はいずれの水圧も車輪が測定位置の直上にある場合であるが、車輪が端部に移動し測定位置における全応力がゼロに近づいても路盤内部の水圧は維持されているのに対し、路盤面および地盤底面の水圧はゼロ~負圧になる。これは、非排水状態でも境界層では水が局所的に移動しやすく、排水状態に近い境界条件となることが原因と推測される。

図7は車輪が中央位置にある際の間隙水圧分布の載荷回数による推移を示したものであるが、路盤下80mmの水圧は載荷回数が増えるに従って蓄積されていることがわかる。

また、載荷終了時には、模型端部の角部のシールが甘い部分から軟弱化した路盤土が噴出しており(図8)、本模型試験によって少なくとも定性的には路盤噴泥現象を再現することが可能であることがわかった。

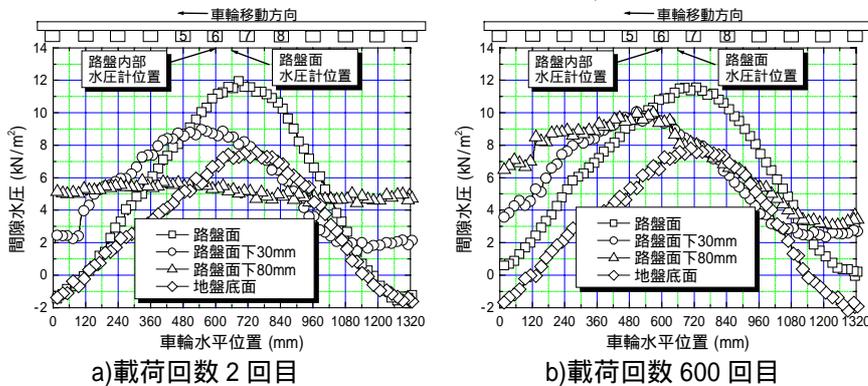


図6 車輪位置と間隙水圧の関係 (移動載荷試験2, 車輪荷重4kN)

5. おわりに

今後は、路盤の応力履歴や排水条件を明確にし、路盤土の軟弱化のメカニズムを詳細に検討する予定である。

参考文献: 1)「飽和粘性土路盤の列車荷重に対する沈下特性」, 村本, 大塚, 関根, 第37回地盤工学研究発表会講演概要集 (投稿中), 2002, 地盤工学会

2)「軌道模型の繰返し載荷試験における載荷方法の影響」, 村本, 関根, 桃谷, 第56回年次学術講演会概要集 3-A, pp.434-435, 2001, 土木学会.

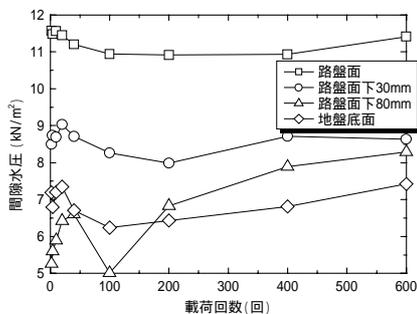


図7 載荷回数と間隙水圧の推移 (車輪中央位置時)



図8 模型端部より発生した路盤噴泥

表2 載荷条件

予備載荷1	片道0.1kNずつ荷重を上昇させて0 1.5kNまで荷重を上昇させる。
移動載荷試験1 (一定荷重, 等速度の往復移動荷重)	移動速度約670mm/min 載荷荷重1.5kN 載荷回数600回(300往復)
予備載荷2	片道0.1kNずつ荷重を上昇させて1.5 400kNまで荷重を上昇させる。
移動載荷試験2 (一定荷重, 等速度の往復移動荷重)	移動速度約670mm/min 載荷荷重4kN 載荷回数600回(300往復)

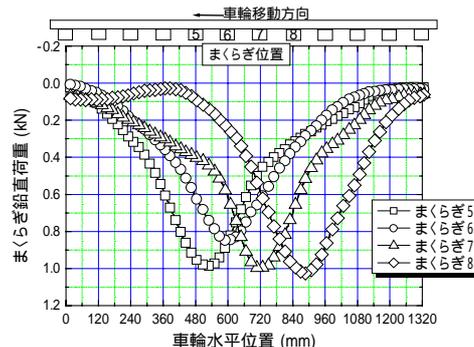


図5 車輪位置と中心付近のまくらぎ荷重の関係 (移動載荷試験2, 車輪荷重4kNの場合)