

IV-193

有道床軌道の弾塑性変位量の

算定に関する一考察

鉄道総合技術研究所 正員 石川達也

鉄道総合技術研究所 正員 内田雅夫

鉄道総合技術研究所 小倉英章

1. はじめに

近年、輸送力増強や列車の高速化に対するニーズが強まり、これまで以上に軌道構造に対する負荷は増大しつつある。その一方では、社会状況を反映したいわゆる3K対策も急務であり、保守の省力化が望まれている。このため、有道床軌道の直結軌道化や軌道強化による破壊・劣化抑制策に関する技術開発の推進とともに、基礎研究としての破壊・劣化機構の解明に対する要請も強い。したがって本報告では、有道床軌道の破壊現象の実態把握を主体として、実物大試験軌道に対する静的載荷試験及び繰返し載荷試験を行い、上下・左右方向の道床部の変形挙動特性を土質力学的観点から考察し理論的な方向づけを行うとともに、軌道破壊理論の適正化・深度化を目的として、試験結果を解析的観点から捉えた場合のモデル化の方法論に関して検討する。

2. 試験方法

移動式軌道動的載荷試験装置を用いて実物大試験軌道（図1）に対する輪重・横圧の静的載荷試験及び繰返し載荷試験を行い、道床部の準静的な変形特性について検討した。試験軌道は、道床部以外の軌道部材の影響を可能な限り受けないように配慮するとともに、まくらぎ1本に対する荷重と変位の関係が明確になる

ようにまくらぎ2本分の長さとした。さらに今回の試験では、保守作業実施後の軌道状態からの変形挙動をトレースするため、各試験開始前には軌道整備を実施し前回の影響が残らないように配慮した。また、静的載荷試験では変形特性にひずみ速度の影響が現れないように荷重載荷速度を調整して負荷・除荷を行い、繰返し載荷試験では系としての動的応答特性が現れない程度まで荷重周波数を落とし（具体的には2 Hz）、正弦波で20,000回まで繰返し載荷した。

3. 結果及び考察

(1) 最大変位量と残留変位量の関係

一般的に道床部のような粒状集合体の変形では、変位量が大きくなれば粒子間に滑りが発生し塑性変位を生じる。この傾向を把握するために、輪重の静的載荷試験を行い軌道整備後の最大変位量（負荷時の弾塑性変位量）と残留変位量（除荷時の塑性変位量）について図2のような関係を得た。図から、まくらぎ底部での塑性沈下傾向は輪重の最大値によらずほぼ一定であり、最大変位量と比例的な関係にあることがわかる。この関係は輪重載荷時の横圧載荷試験の際にも確認された（図3）。このような傾向は、道床部の変形が弾塑性的であることを示すものであると考えられる。

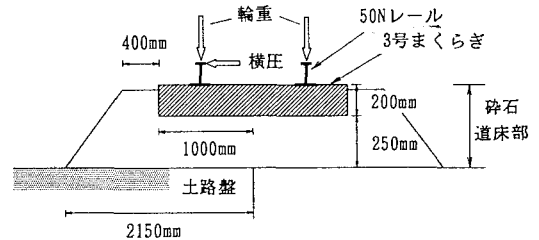


図1 試験軌道横断面図

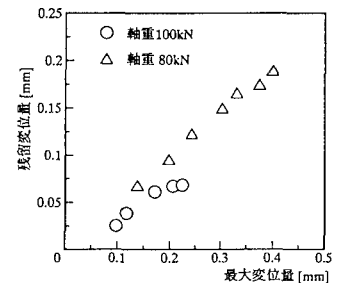


図2 上下方向の残留変位特性

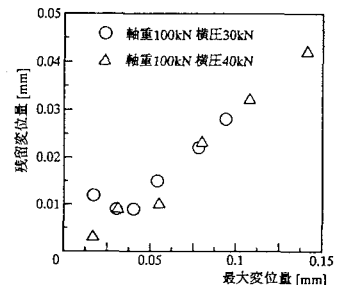


図3 左右方向の残留変位特性

(2) 繰り返し荷重によるばね係数への影響

従来から、乾燥砂に荷重を繰り返し荷重した場合、繰り返し数に伴い砂のせん断定数は変化するとされている。このため、砂と同様な特徴を有する砕石も繰り返し荷重の影響を受けると考えられ、道床部以下のばね係数に対してその効果を検討した（図4）。図から、ばね係数は繰り返し数に伴い減少し、最終的には一定値に収束する傾向にあることがわかる。この傾向は横方向のばね係数についても把握された（図4）。なお、図中の点線及び一点鎖線はばね係数と荷重の繰り返し数がべき乗関係にあるとした場合の回帰曲線を示す。

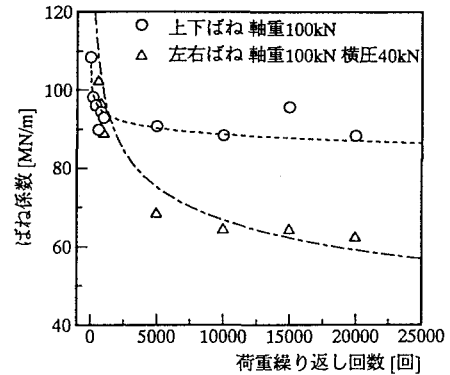


図4 ばね係数と繰り返し数の関係

4. 道床部の弾塑性モデル化

試験結果から道床部の変形挙動を推定するには、荷重の繰り返し数等を考慮してばね係数を設定し道床部の最大変位量を求めるとともに、粗粒材としての道床部の変形特性を評価して塑性変位量を把握する必要があることがわかった。この変形挙動を「限界面モデル¹⁾」で表現することとし道床部に適用すると図5のようになる。まず、軌道整備直後の道床部は塑性的性格が強いため、初期降伏曲面を示す荷重点（A点）は小さい。このため、容易に塑性流動が起こり、負荷荷重に応じて後続降伏曲面（B点）を形成する。C点から再負荷する場合、一般的な塑性理論によると降伏曲面の内側では弾性ひずみのみが生じると仮定している。しかし、繰り返し荷重時の実際の道床部では降伏曲面の内側においても塑性ひずみが生じるため、B点を限界面に置き換え、その内側に新たに降伏曲面（D点）を仮定する。この場合、道床部は初期荷重により弾性化が進行するため、弾性限界であるD点はA点より大きくなる。D点からE点までの再負荷では、D点を示す降伏曲面が等方硬化しながら限界面上のE点に近づき、除荷するとC点からF点までの塑性変位が生じる。なお、繰り返しによるばね係数の変化は負荷関数の変化として表現される。また、H点以降の変形挙動は限界面を降伏曲面と置き換えた場合の後続降伏関数で表現される。以上、限界面モデルを用いれば、繰り返し荷重時の塑性変形挙動を解析的に無理なく説明できる。なお、D点は、従来「閾値²⁾」と称されてきた沈下に対して有効に働く道床圧力の下限值（限界摩擦力）を表現するものであると考えられる。

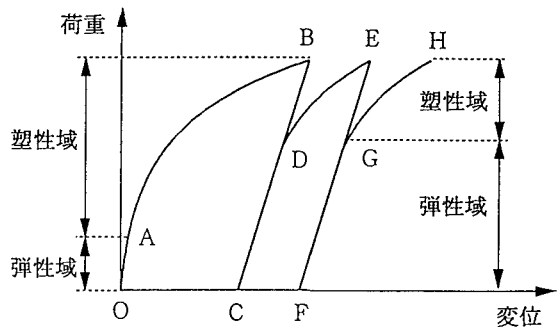


図5 道床部の弾塑性モデル

5. まとめ

本報告では、従来の軌道破壊理論では十分な検討がなされていない道床部の変形特性に関して、粗粒材としての材料特性を考慮しつつ理論的に考察した。この結果、繰り返し荷重時の道床部の変形特性を評価するには、その構造的特性の変化をばね係数と塑性変位傾向の点から把握する必要があることがわかった。また、解析的観点から軌道破壊現象をモデル化するには限界面モデルが有効であることを示した。今後、粒状集合体として道床部の変形特性を各種の試験結果及びシミュレーションに基づき充分評価すれば、解析的な理論展開が実現現象に即した形で可能になると考える。

【参考文献】

- 1) 土木学会編：材料特性の数理モデル入門，1989. 11
- 2) 山口義信ら：軌道走行路の劣化特性モデルについて，土木学会第43回年次学術講演概要集Ⅳ－253，1988.