砕石流れ発生に関するメカニズムの検討

東海旅客鉄道株式会社　○正会員　平尾博樹
正会員　曽田祥信

1．はじめに

砕石流れは、列車通過に伴う繰返し荷重により外軌側の砕石が内軌側に流動する現象であり、カントの大きい曲線部で発生する。砕石流れによりまくらぎ外軌側端部の露出が著しくなると道床横抵抗力が小さくなるおそれがある。

本研究では、砕石流れ発生の現象解明を目的に実物大の模型軌道を用いた繰返し載荷試験を実施した。

2．実物大の模型軌道による繰返し載荷試験

2.1　概要

砕石流れ現象を再現するため、砕石流れの発生箇所と可能な限り同様の材料を用いて供試体を作成した。

供試体軌道は、581mm 間隔に配置した 4T まくらぎ 6 本と 60kg レールからなるカント 200mm、道床厚 300mm の軌道で、実物大スケールの単線構造とした。

本試験では、曲線通過時における列車の超過遠心力を考慮し、軌道起振機を用いて荷重振幅約±60kN、周波数 7Hz で 40 万回載荷した(図 1)。

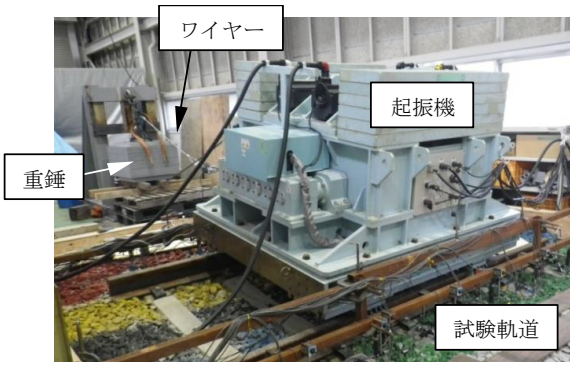

図１　繰返し載荷試験の状況

2.2　試験結果

(1)　砕石流れ現象の再現性

図２は本試験および現場における砕石流れの様子である。両者は、外軌側のまくらぎ端部露出の様子や、内軌側レール付近の砕石堆積の様子が酷似しており、本試験において、実現象に極めて近い砕石流れを再現できたといえる。本試験では、載荷回数 16,125 回で砕石流れが発生し、約 180,000 回で収束した。

図３は、載荷前後の中央断面の道床形状である。まくらぎ外側端部付近で断面が減少し、内軌側では流動した砕石の堆積により断面が増加した。載荷後の道床上面は、水平に近い形状となった。

なお、まくらぎ外軌側の沈下量および変位振幅は、中央部で最も大きくそれぞれ約-18.3mm、約 6mm であった。

図２　砕石流れの状況(左：本試験、右：現場)

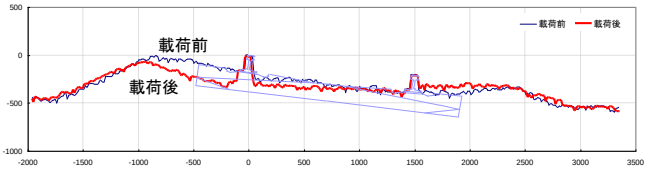

図３　載荷前後の道床断面(中央部)

(2)　まくらぎと砕石の変位振幅の関係

本試験では、載荷条件の変更等の理由で複数回加振を停止した。図４は、停止後のリスタートで荷重を段階的に上げる際の、図に示すまくらぎと砕石の変位振幅(上下方向)の関係をリスタートごとに示したものである。

図中のプロットがいずれも直線的であることから、砕石振動は隣接するまくらぎの振動に強く依存しているといえる。

図４に示すように、砕石流れが発生した N=16,125～180,000 で、外軌側の砕石の高さは低くなっている。一方で、まくらぎ変位振幅～砕石変位振幅の傾きに注目する

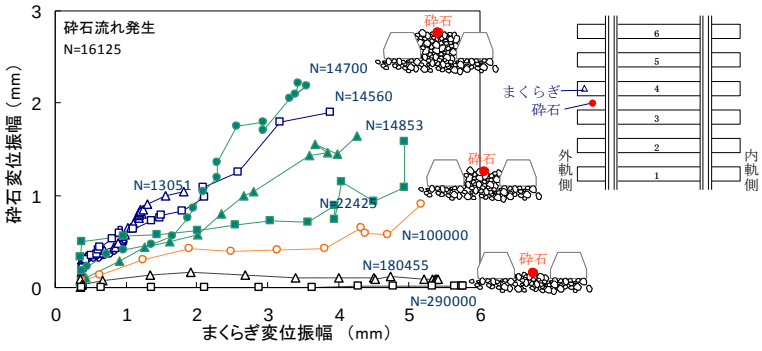

図４　まくらぎと砕石の変位振幅の関係

キーワード：砕石流れ、発生メカニズム、起振機、実物大軌道、繰返し載荷試験
連絡先：485-0801　愛知県小牧市大山 1545 番 33　技術開発部 軌道グループ 0568(47)5380

と、N=1～14,560 で傾きはほとんど変わらず、N=16,125 の砕石流れ発生後傾きは小さくなる。砕石流れが収束する N=180,000 以降、傾きはほとんどゼロになる。

このことは、まくらぎ振動に対する砕石の応答は、隣接まくらぎに対する相対的な砕石高さに依存していることを示している。

また、**図４**によると N=180,000 以降、まくらぎは約 6mm で振動しているのに対し、砕石の応答がほとんどない。このことから、まくらぎから隣接する砕石に伝わる振動は、まくらぎ側面の影響が支配的であるといえる。

(3) 砕石流れ発生に対するまくらぎ振動の限界値

図５はまくらぎ変位振幅と砕石流れの発生状況の関係をまくらぎ単位で示したものである。図中には対策工を評価した別の 3 ケースも含まれる。

図５より本試験においては、砕石流れ発生に対するまくらぎの変位振幅の限界値は、1.6mm～2.9mm の間にあると考える。また、砕石流れ箇所、非砕石流れ箇所の現地測定の結果、それぞれのまくらぎ変位振幅は約 3.0mm、約 1.5mm であり、本試験の結果とよく一致している。

３．砕石流れ発生のメカニズム

本試験で明らかになった砕石流れに関する特徴を以下に列記する。

- ・砕石振動はまくらぎ振動に依存する
- ・まくらぎ底面に比べ、まくらぎ側面から隣接する砕石に伝わる振動の影響が支配的である
- ・道床高さが高いほど、砕石の振動は大きい
- ・まくらぎ側面に近いほど、砕石の振動は大きい
- ・まくらぎ変位振幅が一定の値に達すると砕石流れが発生する
- ・少なくともまくらぎ底面より上の道床表面に近い部分の砕石が砕石流れに関与している
- ・砕石流れは、砕石振動により発生する力と隣接砕石の支持力の均衡が崩れることで発生し、砕石流れに伴う道床形状の変化により、再度均衡することで砕石流れが収束する

ここまでの検討をもとに、砕石流れ発生から収束までの推定プロセスを**図６**に示す。

４．おわりに

本研究では、砕石流れの特徴を把握したうえで、砕石流れ発生のプロセスを概ね明らかにした。砕石流れ抑制には、加振源であるまくらぎの振動抑制、まくらぎ～砕石間の摩擦抵抗力向上などの砕石流動抑制が有効であると考える。引き続き、効果的な対策を検討していく。

なお、本試験の実施にあたり、協力いただいた(公財)鉄道総合技術研究所 軌道・路盤研究室に感謝する。

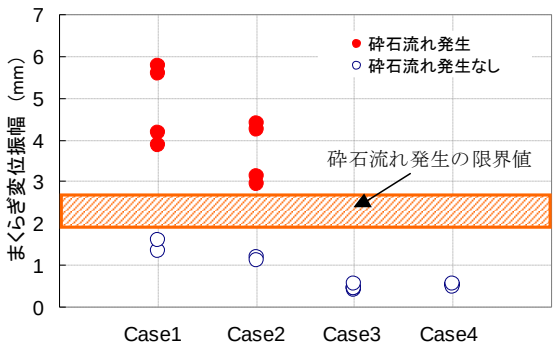

図５　砕石流れの発生とまくらぎ変位振幅

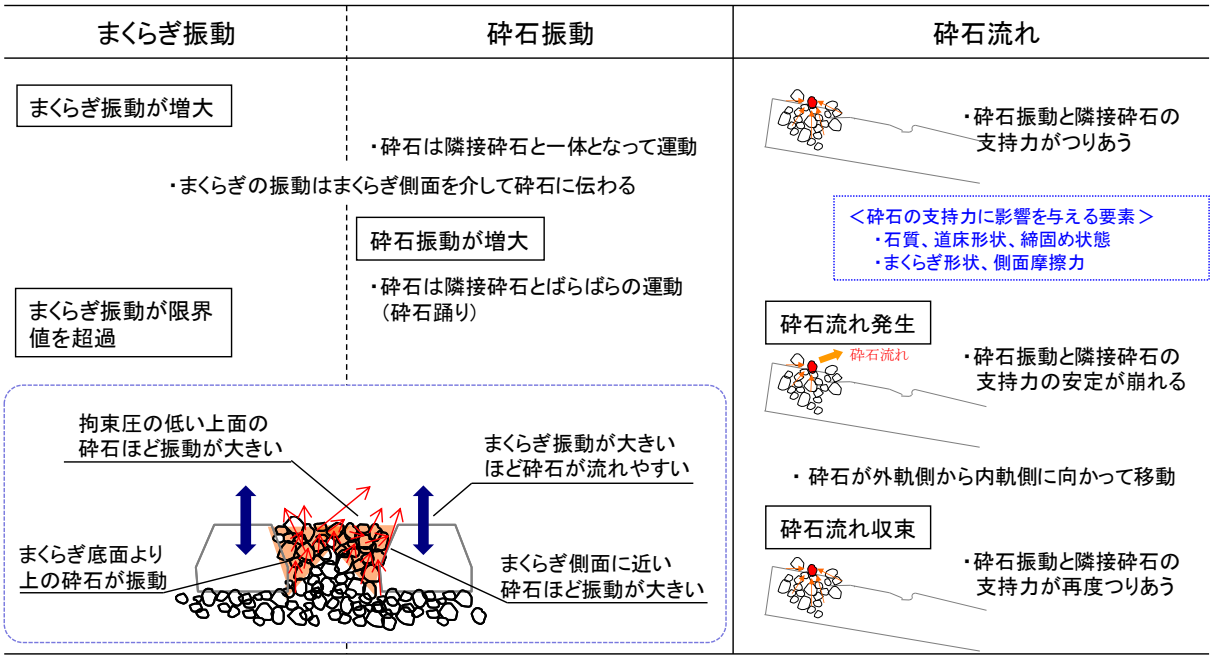

図６　砕石流れ発生～収束のプロセス