講演概要　タンピング装置を用いた道床バラストの状態把握

三輪　昌弘[1]・伊地知　卓也[2]・安達　修一[2]

[1]正会員　東海旅客鉄道株式会社　技術開発部（〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545-33）
E-mail: m.miwa@ jr-central.co.jp (Corresponding Author)
[2]正会員　東海旅客鉄道株式会社　技術開発部（〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545-33）
E-mail: takuya.ijichi@jr-central.co.jp
E-mail: shuichi.adachi@jr-central.co.jp

マルチプルタイタンパーのタンピングツールの変位や荷重を測定することで，道床バラストの力学的な状態を把握する試験を実施した．既往の研究[1)]では，これらの測定データの分析によって，バラストが新品か劣化しているかの判別が可能であると報告されている．筆者らが実施した再現試験では，この手法によって把握が可能なのはバラストの締固め状態であり，新品か劣化しているかの判別には既往の報告とは異なる分析判断が必要であった．

Key Words: *ballast condition, multiple tie tamper,tamping tool, load-displacement curve*

1. はじめに

道床バラストの劣化状態の検査は，現地で試掘し目視で判定する方法が最も一般的である．この方法は，重労働を伴い，かつ，非効率である．さらに，判定結果に検査者の主観が影響してしまう．

近年，地中レーダーや小型 FWD（Falling Weight Diffractometer）を用いた検査手法の研究がなされている．前者は，PC まくらぎを用いた軌道では，まくらぎ内部の鋼材の影響を受ける．よって，最も知りたいまくらぎ底面下部のバラスト状態の検査精度が十分とは言えない．後者は，まくらぎ支持剛性の把握は可能であるが，バラストの細粒化や破砕の状態を知ることができない．また，両者ともに測定装置を現地まで運搬して検査をする必要がある．

これらに対し，既往の研究[1)]では，マルチプルタイタンパー（以下，MTT）のタンピングツールの変位や荷重を測定することで，道床バラストが新品か劣化しているかを把握する手法が報告されている．これが実用化できれば，MTT での軌道整備作業を実施する際，これと同時に道床バラストの劣化状態の検査も行える．本稿では，この手法に関する再現試験を行った結果を報告する．

2. 試験方法

(1) MTT とセンサ類

試験で使用した MTT は，Plasser & Theurer 社製の 09-2X 型である．

タンピングユニットに取付けたセンサー類の概況を図-1 に示す．バラストからの反力荷重を得るために，タンピングツールとタンピングアームのひずみを測定する．荷重に対するひずみの較正は行わず，相対値として評価に用いる．タンピングツールは，タンピングアーム 1 本あたり，まくらぎ方向に 2 本ある．このうち，レールに近い側のツールでひずみ測定を行う．また，図-1 に示す 4 本のタンピングアームのセットが，レールをはさむ形で片側レールあたり 2 セット，左右レールで計 4 セット

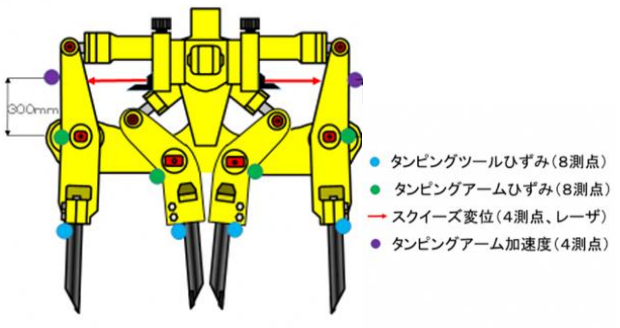


図-1　センサー類の設置位置

ある．これらのうち，左右レールのそれぞれレールの両外側の 2 セットで測定を行う．

スクイーズ変位は，スクイーズシリンダーの伸縮量を相対的に測定するために設置する．設置環境が狭隘なため，図-1 に示すようにレール方向に対して外側の 2 本を測定し，内側 2 本は測定しない．タンピングアームの加速度は，2 回積分することでタンピングツールの振動変位を相対的に得るために設置する．加速度についても，レール方向に対して外側 2 本のタンピングツールで測定する．

(2) 軌道条件

試験は，保守基地内で実施する．事前に試験区間の道床を入れ替え，次の 4 種類の条件を設定する．新幹線本線の道床更換で発生した安山岩の古バラスト（以下，発生）と，それぞれ安山岩，輝緑岩，砂岩の新品砕石を，各石質毎にまくらぎ 10 本分（約 6m）の区間に敷設する．道床厚さはまくらぎ下約 30cm とし，異物の混入を避けつつ試験後のバラストを採取するために，路盤との境界に合板を敷く．道床を入れ替えた後，東海道新幹線での通常の道床更換作業と同様に，バックホウタイタンパーによって MTT 作業前のつき固めを行う．

試験開始前のバラストの粒度分布を図-2 に示す．破線は，品質基準における仕様の範囲 [2]を示す．発生は，粒径 19mm 未満が明らかに多く，細粒分（0.075mm のふるいを通過するもの）を 7%含む．安山岩は，仕様の範囲内にある．今回の試験で使用した輝緑岩と砂岩は，比較的大きな粒径（37.5mm や 53mm のふるいを通過しない）の比率が仕様範囲よりも高い．

(3) タンピング条件

MTT によるつき固めは，道床更換を模擬して 1 か所あたり連続 6 回のタンピングを 2 工程，定期修繕を模擬して 1 か所あたり 1 回のタンピングを 30 工程（定期修繕 30 年分相当）行う．1 工程では，試験区間の開始地点から終了地点まで片押しでタンピングを行い，これを計 32 工程（合計タンピング回数：42）繰り返す．

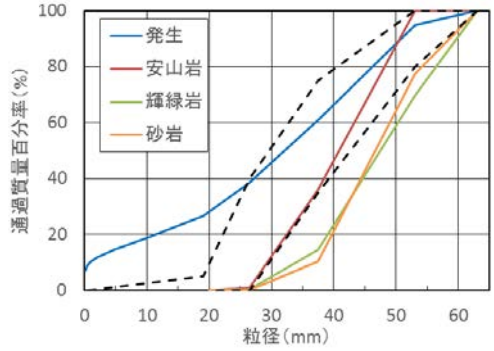


図-2 試験前のバラストの粒度分布

3. 試験結果と考察

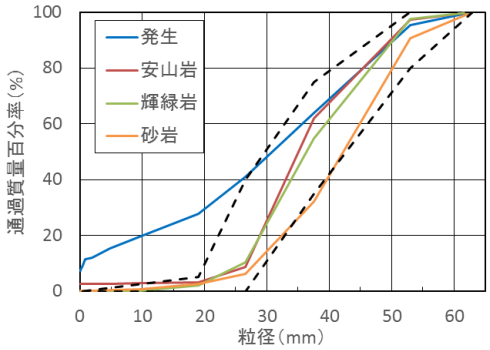
(1) 試験後のバラストの粒度分布

試験後のバラストの粒度分布を図-3 に示す．バラストは，その状態を乱さないように慎重に PC まくらぎを抜き去り，まくらぎ底面の下方から，上層と下層の 2 段（各層約 15cm 厚）に分けて採取した．タンピングツール先端の挿入深さは，概ね上層の範囲にある．

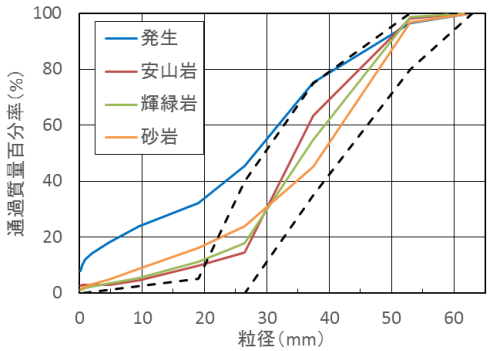
発生も含めすべての石質のバラストで，破砕や摩耗によって試験前に比べて小さな粒子径の割合が高まった．3 種類の新品バラストの試験後の上層は，安山岩で粒径 19mm 未満の割合が若干高いものの，概して品質基準における仕様の範囲内にあった．一方で下層は，これら 3 種類すべてで，粒径 19mm 未満の割合が仕様に対して約 2 倍以上になっていた．3 種類の石質での破砕の受けやすさは，砂岩，輝緑岩，安山岩の順であった．輝緑岩は道床バラストの岩石として不適とされているが [2]，安山岩や砂岩と比べて特に劣る石質ではなかった．

(2) タンピングツールの荷重-変位ループ

試験で得られたタンピングツールの荷重-変位ループの典型的な 2 例を図-4 に示す．これらの例は，既往の研究 [1]で示されているものと極めて類似している．しかし，次の点で異なる．図-4(a)で示した特性は，既往の研究で



(a) 上層



(b) 下層

図-3 試験後のバラストの粒度分布

は”Track Construction / New Ballast Conditions”で得られるとされている．しかし，筆者らの試験では，発生を含む 4 種類すべてのバラスト条件において観測された．同様に，図-4(b)は” Track Maintenance / Fouled Ballast Conditions”で得られるとされるのに対し，筆者らは新品を含む 4 種類すべてのバラスト条件において観測した．

(3) 観測された現象の考察

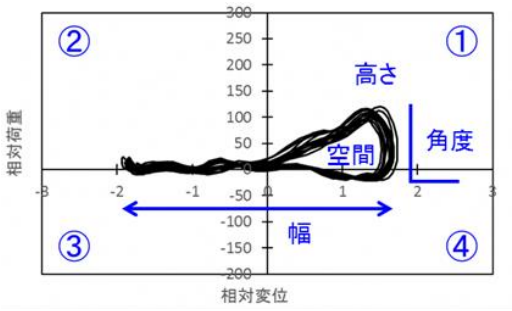
筆者らの試験結果について，以下に詳しく述べる．図-4(a)で示した特性は，発生を含む 4 種類すべてのバラスト条件で，試験開始直後からしばらくの間で観測された．その後，タンピング回数が増加するにしたがって，徐々に図-4(b)の特性へと変化していった．つまり，バラストが新品か劣化しているかとは関係なく，つき固めの度合いが低い（不飽和）状態では図-4(a)の特性を示し，高い（飽和）状態では図-4(b)の特性が現れると推察される．

a) 荷重-変位ループの説明

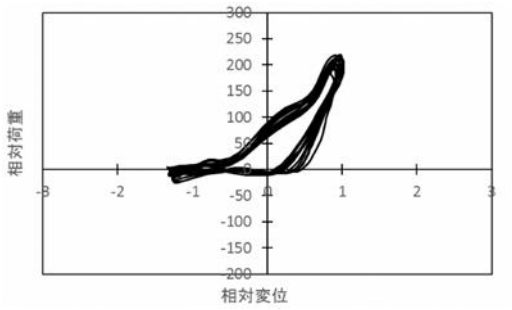
さらに，図-4(a)に書き加えた説明を用いて考察を続ける．横軸の正の側は，タンピングツールがまくらぎに近づく方向に振動変位している領域である．縦軸の正の側は，タンピングツールがまくらぎに近づく方向に振動変位しているときに，バラストから受ける反力である．ここでのループの動きは，「空間」の上側を右斜めに上り，次に下方に下がった後，横軸上付近を左端へと移動する行程を繰り返す．

b) ループの「高さ」

「高さ」を図-4 の(a)と(b)で比較すると，(b)の方が高い．つまり，(b)の方がバラストからの反力が大きい．



(a) 不飽和状態



(b) 飽和状態

図-4 タンピングツールでの荷重-変位ループの例

c) ループの「角度」

「角度」は，(a)が垂直に近いのに対して，(b)は左下がりに傾いている．(a)では，タンピングツールがバラストを押し切って戻る際に，バラストが押し返してこない状態を表している．一方で(b)は，タンピングツールがバラストを押し切って戻る際に，バラストが押し返している（一旦押し込んだバラストが，逆方向に戻る）挙動を表している．

d) ループの「幅」

「幅」は，(b)の方が狭い．これは，(b)の方がタンピングツールの振動変位の振幅が小さいことを表している．

タンピングユニットの動作の仕組みは，次のとおりである．図-1 に示した最も左側のタンピングアームの場合，その上側でスクイーズシリンダーの左側に接続される．タンピングアームを往復振動させるための変位は，当該スクイーズシリンダーの右側で与えられ，このシリンダーを介して伝達する．このとき，タンピング荷重（バラストの反力）が一定以上になると，スクイーズシリンダー内の油圧が上限設定値を超え，タンピングアームの振幅変位が抑制される．つまり，(b)ではバラストの反力が上限値を超えたため，変位幅が狭くなっている．

e) 高さ・角度・幅を組み合わせた現象推定

これらの，高さ，角度，幅の違いを組み合わせて推定すると，図-4 の(a)と(b)の相違は，バラストの締固め度合いによって発生すると考えることができる．(a)に示すような状況は，4 つのバラスト条件に共通して，道床更換模擬の 1 工程目で発生している．つまり，いずれも，バラストの締固め度合いが比較的低い状況である．(b)の状況は，この後にタンピングを繰り返した定期修繕模擬の試験の途中で発生し，継続していた．

(4) 特異なループ

図-4 で示した典型的な 2 種類のループに分類できない，特異なループも試験中に観測された（図-5）．これらは発生（バラスト）の条件においてのみ，定期修繕模擬の試験の中で一定割合で発生した．

図-5 の(a)，(b)，(d)は，図-4(a)で示した「空間」の面積が狭い．この空間は，タンピングツールがバラストに対して行った物理量である仕事を表す．(a)，(b)，(d)では，仕事をほとんどしていないことを意味する．(b)，(c)，(d)は，図-4(a)の③の領域にループが存在することが特徴的である．(c)は，タンピングツールの背面側にしかバラストの反力が発生していない．

このように，図-4 の(a)と(b)以外の変位-荷重ループのパターンが一定割合発生することによって，劣化バラストであることを判別できる可能性がある．ただし，今回の試験は，MTT でのタンピング作業のみを繰り返し行っており，列車通過の影響が含まれていない．本線で同

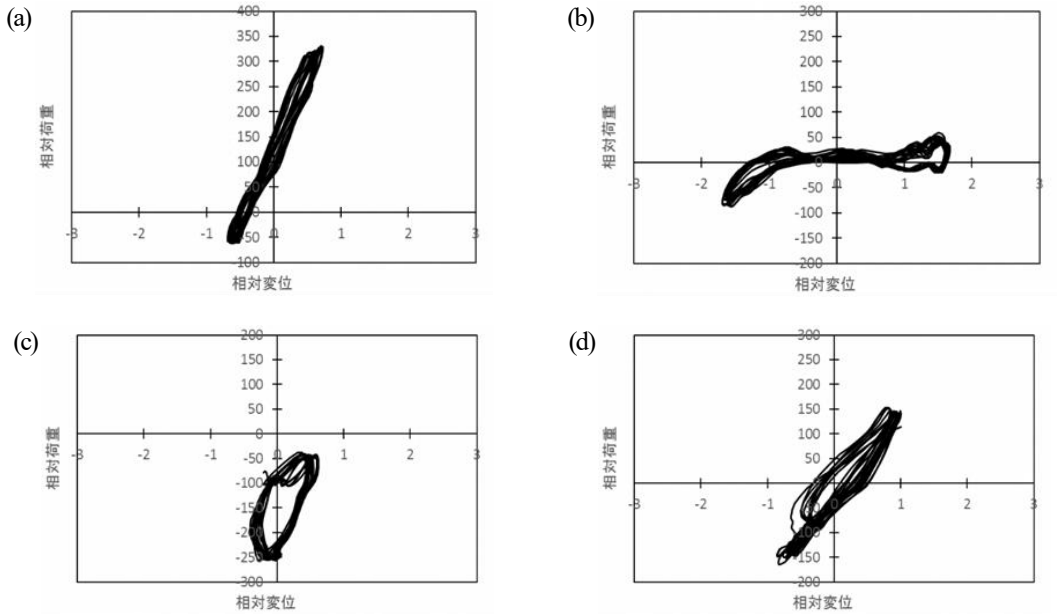


図-5 特異な荷重-変位ループの例

様の試験を行うと，今回と異なる結果が生ずる可能性も否定できない．今後，同様の試験を本線で実施する計画である．

4. まとめと今後の展望

MTTのタンピングツールでの荷重と変位を測定することで，道床バラストの締固め度合いを把握する手法として活用できる可能性を見い出した．これを常時監視するシステム化が可能になれば，タンピングの質の向上を図ることができる．質の向上とは，締固めが不十分ならタンピング回数を増やし，逆に十分であれば減じてタンピングによるバラストの破砕を低減することである．また，これらの測定により，劣化が進んで固結に近い道床や，逆に支持力が得られない道床の状態を検知できる可能性もある．さらに，これらの技術を発展させることで，現在の人手に頼る道床検査を，MTT作業中の装置化された検査へと代替させることが期待できる．

謝辞：本試験は，Plasser & Theurer 社と日本プラッサー社の許諾を得て実施した．MTT の動作に関する情報提供を含め，両社に謝意を表する．

REFERENCES

1) Olja Barbir, et al. : Compaction energy as an indicator for ballast quality, WCRR 2019, 2019.
2) 新版軌道材料編集委員会：新版軌道材料，pp. 355-377，鉄道現業社，2011.

(Received March 31, 2023)
(Accepted June 9, 2023)

ESTIMATION OF BALLAST CONDITION BY MEASURING TAMPING TOOLS' BEHAVIOR

Masahiro MIWA, Takuya IJICHI and Shuichi ADACHI

Estimation of railway track ballast condition by measuring load and displacement on tamping tools of multiple tie tamper are conducted on trial. Degree of ballast compaction are shown by the measurements. Also, ballast quality (new or fouled) can be known with the similar method. This study will yield superior tamping qualities and labor-saving ballast inspections.