

# 繰返し荷重に対するバラスト軌道の沈下特性

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 村本勝己 関根悦夫

## 1.はじめに

開業後数十年を経た鉄道の営業線のバラスト軌道において、列車荷重によって生じるバラスト軌道の沈下の大半が道床バラスト層の塑性変形によるものであると考えられる。

バラスト軌道の沈下に影響を及ぼすパラメータは数多く考えられるが、これらのパラメータを体系的に検討する事で、バラスト軌道の沈下特性を明らかにし、保守量低減のための有効な手段の提案が可能となると考える。

今回は、バラスト軌道を模擬した実物大レベルのバラスト道床模型を用いて繰返し載荷試験を行い、バラストの種類、路盤剛性、載荷荷重、変位量について沈下量との相関関係を検討し、繰返し荷重に対するバラスト軌道の沈下特性を明らかにするための基礎的な検討を行った。

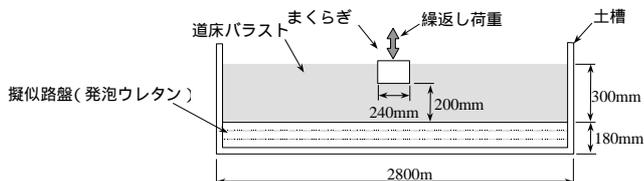


図1 バラスト道床模型の概要

## 2.試験概要

試験に用いたバラスト道床模型を図1に示す。本試験においては、模型は軌道のレール直角方向を同一

断面とみなした二次元平面ひずみ模型とし、レールによる荷重分散を考慮した繰返し荷重をフーチング1本に対して載荷した。このフーチングはバラスト軌道で一般的に用いられているPC3号まくらぎを模擬したものである。荷重はまくらぎ下面の圧力振幅に換算して、荷重 16kN/m<sup>2</sup>程度、荷重 42kN/m<sup>2</sup>程度、荷重 100kN/m<sup>2</sup>程度、荷重 200kN/m<sup>2</sup>程度の4種類とした。このうち荷重 が通常の列車荷重レベルに相当する。これらの荷重を周波数 7Hz の正弦波で、繰返し回数 30 万回以上を目標に載荷した。ただし、沈下量や動的変位量が著しく大きく、試験の続行が困難な場合は途中で載荷を終了した。

また、バラストの下には、表1に示されるような路盤に相当するマットを敷詰めた。この擬似路盤マットの諸元は、二次元平面ひずみ条件の十分に深い地盤とできるだけ等価なたわみ変形を生じるように、FEM解析によって決定した。ただし、擬似路盤マットと実際の地盤との変形挙動は同一ではないため、ここで示す K<sub>30</sub>相当値は擬似路盤マットの剛性を区別するための目安値であることに注意しなければならない。

表1 擬似路盤マットの条件

使用するマット	K <sub>30</sub> 相当値
硬質マット1枚+粒度調整材料	60MN/m <sup>3</sup>
硬質マット6枚	30MN/m <sup>3</sup>
硬質マット4枚(上層)+軟質マット2枚(下層)	20MN/m <sup>3</sup>

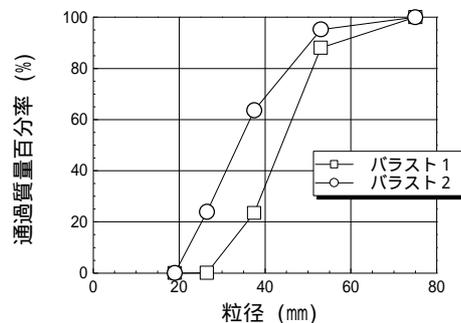


図2 バラストの粒度分布

## 3.バラストの種類による強度・変形特性の違い

本試験においては、同一の安山岩バラストを粒度調整して図2に示すような粒度分布とした2種類のバラストを用いた。この2種類のバラストについて、別途大型三軸試験を行い、繰返し載荷履歴が強度・変形特性にどういった影響を及ぼすか検討した。試験条件は表2に示すとおりであり、図3および図4に、2種類のバラストの静的載荷時の応力・ひずみ曲線を示す。このひずみ

はLDTで測定されたものである。なお、今回は載荷に伴う弾性係数の変化を見るために、載荷中に数回程度の除荷・再載荷過程が挟まれている。

表2 大型三軸試験条件

供試体寸法	300mm × H600mm
有効拘束圧	20kN/m <sup>2</sup>
繰返し軸差応力振幅	80kN/m <sup>2</sup>
繰返し載荷周波数	1Hz
繰返し載荷回数	40,000回
静的載荷時の軸ひずみ速度	0.01%/min CD条件

両者の応力・ひずみ曲線の形状を比較すると、バラスト1は、繰返し載荷履歴が応力・ひずみ曲線の形状に影響を及ぼし

ているのに対して,バラスト2では前者に比較して応力・ひずみ曲線への影響は比較的小さいことがわかる。

#### 4. バラスト道床模型の沈下特性

図5に道床模型の荷重試験における残留沈下量の推移の一例を示す。この図から,繰返し荷重応力が大きくなるにしたがって残留沈下量は増大するが,その沈下速度は荷重応力と線形に比例するわけではなく,非線形に増大する傾向を示すことがわかる。これはすべての試験ケースにおいて同様の傾向であった。

そこで,すべての試験ケースにおいて荷重回数 30 万回における残留沈下量について整理したのが図6~図9である。ただし,バラスト1の路盤剛性  $20\text{MN/m}^3$  の試験結果だけは沈下量が大きく20万回で試験を終了したため,バラスト1の沈下特性の近似式<sup>2)</sup>で Fit して得られた値を用いた。

まず,図6および図7から,荷重応力が増大するとまくらぎの残留沈下量は増大するが,あるしきい値を越えると沈下が急激に増大する傾向が見られることがわかる。そのしきい値は路盤剛性によって異なり,またバラストの種類によっても異なると思われる。

次に,図8と図9から,まくらぎの変位振幅と残留沈下量の関係は,同じバラストであればすべての試験結果が一つの曲線上にのる事がわかる。この曲線はバラスト1とバラスト2で異なり,繰返し応力履歴の影響を受けにくいバラスト2の方が残留沈下の増加率は小さい。したがって,バラストの残留沈下は変位振幅とユニークな関係があり,その関係はバラストの強度・変形特性と関係が深いと考えられる。

#### 5. おわりに

今後は,バラストの材料特性や強度・変形特性と軌道の沈下特性の関係について詳細に検討していく予定である。

参考文献 :1) 「道床バラストの変形・強度特性に及ぼす繰返し荷重の影響」,蔭,木幡,関根他,第3回地盤工学研究発表会概要集,pp.647-648,1997,地盤工学会。

2) 「異なる道床バラストを用いた大型模型による繰返し荷重試験」,矢崎,関根,木幡他,第52回土木学会年次学術講演会概要集4,pp810-811.,1997,土木学会

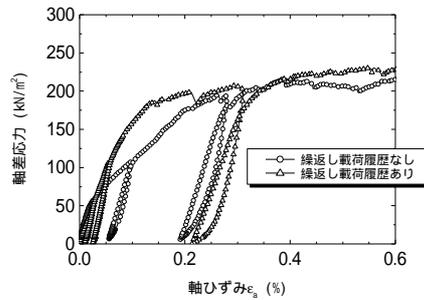


図3 大型三軸試験による応力・ひずみ曲線 (バラスト1)

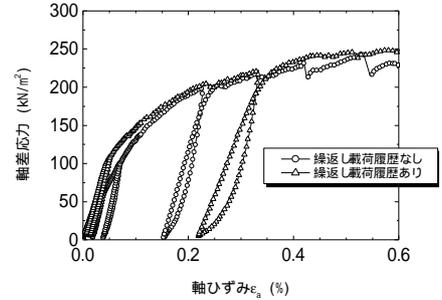


図4 大型三軸試験による応力・ひずみ曲線 (バラスト2)

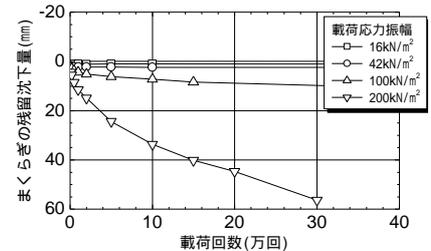


図5 まくらぎの残留沈下量の推移 (バラスト2,路盤のK30相当値=60MN/m²)

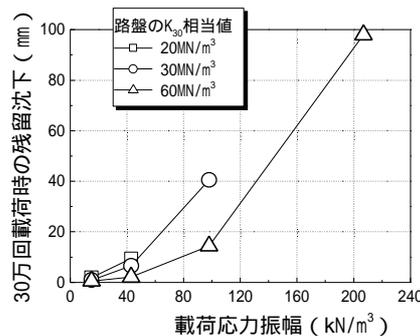


図6 荷重応力と残留沈下の関係 (バラスト1)

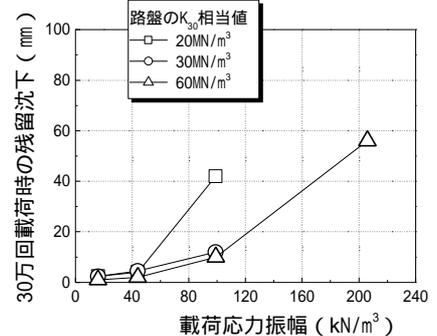


図7 荷重応力と残留沈下の関係 (バラスト2)

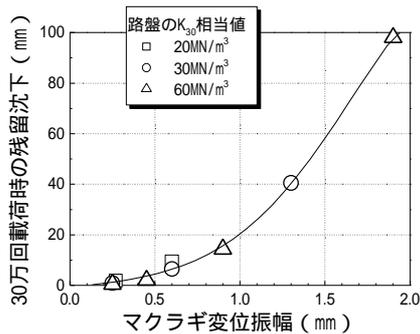


図8 まくらぎ変位振幅と残留沈下の関係 (バラスト1)

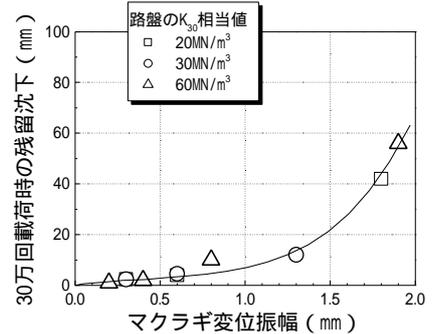


図9 まくらぎ変位振幅と残留沈下の関係 (バラスト2)