

地震動を受けたバラスト軌道の道床横抵抗力に関する FEM 解析

(株)ジェイアール総研情報システム 正会員 ○藤波 潔 大野和巳 大木裕久
(財)鉄道総合技術研究所 正会員 白江雄介 関根悦夫 中村貴久

1. はじめに

地震動を受けたバラスト軌道では、道床横抵抗力の低下により軌きょうの座屈現象や著大軌道変位が発生し、列車の走行安全性に支障をきたした事例が報告されている¹⁾。このため、地震時の列車走行安全性や地震後の復旧を考慮すると、常時および地震動を受けたバラスト軌道の道床横抵抗力を評価することが重要となる。これまで、常時のバラスト軌道における道床横抵抗力の推定方法について検討を進めてきたが²⁾、今回、地震動を受けたバラスト軌道における道床横抵抗力の推定方法を検討するため、常時および地震動を受けたバラスト軌道について、道床バラストの強度・変形特性を考慮した非線形静的3次元FEM解析を行った。なお、FEM解析を行うに当たり、道床バラストの強度・変形特性把握のための三軸試験を行い、FEM解析では、大型振動台試験における道床横抵抗試験³⁾の結果を検討するものである。

2. 道床バラストの三軸試験

道床バラストの強度・変形特性を把握するために、三軸圧縮試験を行った。使用した碎石の粒度分布は文献(4)と同様である。三軸試験は、JGS 0524 土の圧密排水三軸圧縮試験方法に準拠し、拘束圧 20kPa まで負圧により等方圧縮させた後、軸ひずみ速度 0.01%/min にて排気条件で単調載荷を行った。軸ひずみは外部変位計、局所変形測定装置 LDT、ギャップセンサーを用いて計測を行った。供試体寸法は直径 10cm、高さ 20cm である。試験時の密度は 1.62g/cm^3 である。単調載荷試験結果として、軸差応力と軸ひずみの関係を図 1 に示す。なお、ここで示した軸ひずみは LDT で測定した値である。

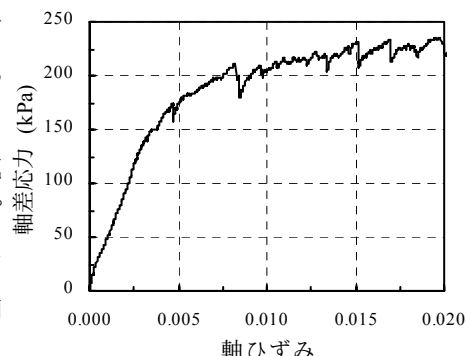


図1 軸差応力-軸ひずみ関係

3. 解析モデル

解析ソフトは汎用 FEM 解析ソフト NX Nastran を用い、解析モデルは、図 2 に示すように、道床バラスト上に 1 本の PC まくらぎを配置した 3 次元モデルとした。また、PC まくらぎと道床バラストの境界面には、せん断ばねを設けて摩擦力を考慮し、路盤上面と道床バラストの境界面は、滑りが生じにくい構造としてあるため³⁾、路盤と道床バラストの境界面は連続として扱った。なお、常時におけるバラスト軌道では、道床バラストの変形係数は均一とし、地震動を受けたバラスト軌道では、文献(4)による剛性低下の分布状況を道床バラストの変形係数に反映させることとした。解析パラメータを表 1 に示す。

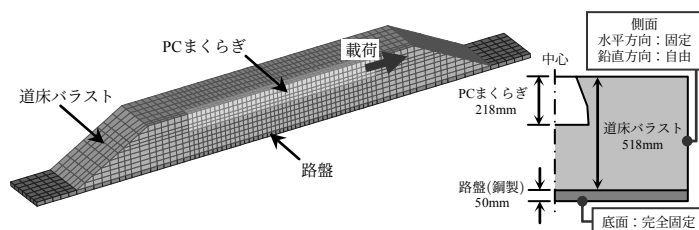


図2 解析モデルの概要

表1 解析パラメータ

部 材	変形係数 E (MPa)	ポアソン比 ν
PC まくらぎ	34,300	0.16
道床バラスト	※	0.30
路盤 (鋼製)	210,000	0.30

【常時の解析方法²⁾】道床バラストの変形係数※は、三軸試験結果の応力ひずみ曲線から算出した割線変形係数とし、ひずみレベルに応じて変化させ、非線形性を持たせた。道床バラストは引張に対して応力がほとんど作用しないため、引張方向は圧縮方向の 1/100 の値を用いた。また、実軌道における道床バラストは拘束圧の影響を受けやすいことから、三軸試験結果の応力をひずみレベルに応じて軽減した。解析に使用した軽減応力

キーワード バラスト軌道、道床横抵抗力、FEM 解析、地震動

連絡先 〒185-0034 東京都国分寺市光町 2-8-38 数理解析部 TEL: 042-577-7827

とひずみの関係を図3に示す。

【地震動を受けた場合の解析方法】地震動を受けた道床バラストは常時に比べて剛性が低下する。地震動を受けた場合には、常時の解析手法に加え、常時の解析で使用した応力ひずみ関係に図4に示した変形係数低下率を適用することで剛性低下を考慮する。全ての要素に対して道床バラストの変形係数低下率を適用するのは難しいので、低下率を10層に分けて適用した。なお、解析対象は800gal正弦波加振後の道床横抵抗力試験である。

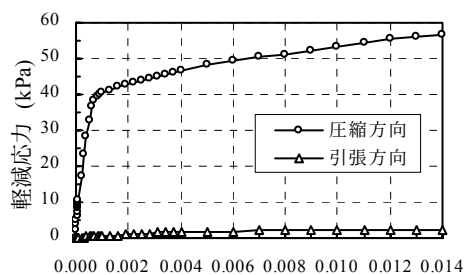


図3 軽減応力-ひずみ関係

4. 解析結果

常時と地震動を受けた場合（地震時）のまくらぎ水平変位（1.5mm, 3.0mm）に対するまくらぎ端部付近の水平方向ひずみ分布をそれぞれ図5, 図6

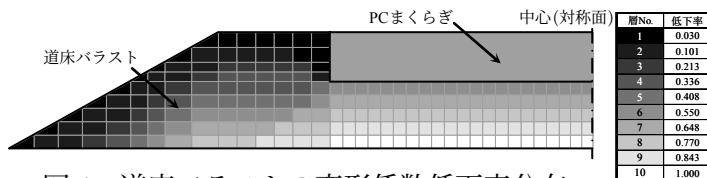


図4 道床バラストの変形係数低下率分布

に示す。常時と地震時における水平変位1.5mm 載荷時の最大圧縮ひずみの値はいずれも0.012程度であり、水平変位3.0mm 載荷時にはほぼ倍の値となる。水平方向ひずみはいずれもまくらぎ端部付近に集中している。地震動を受けた場合の水平方向ひずみは、常時に比べて載荷方向に広く分布している。これは、地震時における道床バラスト表面の剛性が常時と比べ低くなっていることに起因していると考えられる。また、まくらぎ水平変位と道床横抵抗力との関係を解析値と試験値を合わせて図7に示す。解析から得られた道床横抵抗力は、常時および地震動を受けた場合ともに試験値と概ね一致していることから、本解析方法の妥当性が確認できる。

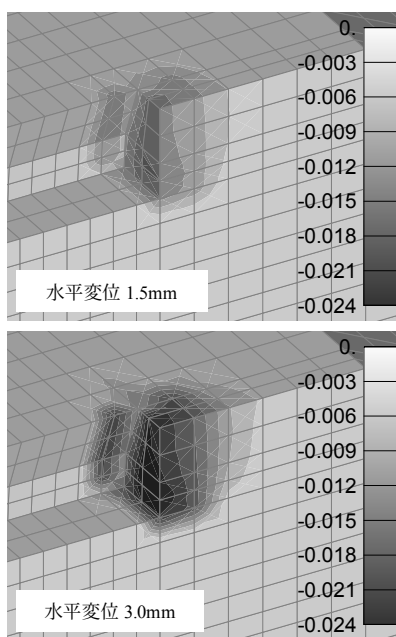


図5 水平方向ひずみ(常時)

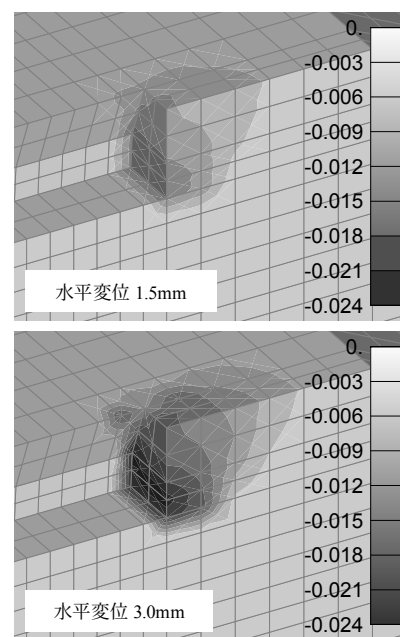


図6 水平方向ひずみ(地震時)

5. おわりに

道床横抵抗力について、振動台試験を対象として、本稿で示した解析方法を用いて3次元静的FEM解析で算定した結果、常時および地震動を受けた場合でも、まくらぎ水平変位と道床横抵抗力との関係を再現することができた。今後、解析ケースを増やして、解析方法の確立に努めたい。

【参考文献】

- 1) 三浦重, 切敷啓介: 地震による列車および軌道の被害に関する文献調査, 鉄道技術研究所速報, No.82-45, 1982.3
- 2) 白江雄介, 関根悦夫, 中村貴久: バラスト軌道の道床横抵抗力に関するFEM解析, 土木学会第64回年次学術講演会, 2009.9
- 3) 飯島正敏, 田村幸彦他: 実物大バラスト軌道の大型振動台試験 その2 道床横抵抗力, 土木学会第65回年次学術講演会, 2010.9 (投稿中)
- 4) 白江雄介, 関根悦夫, 中村貴久: 地震動を受けたバラスト軌道の剛性評価に関するFEM解析, 土木学会第65回年次学術講演会, 2010.9 (投稿中)

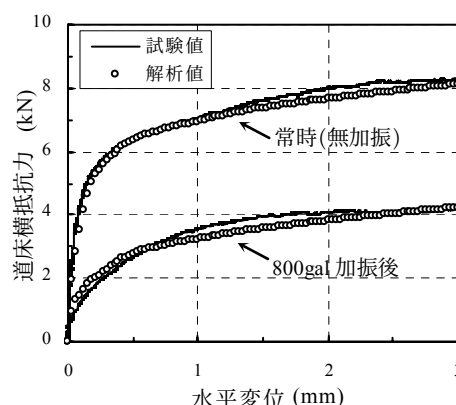


図7 道床横抵抗力-水平変位関係