

IV-385 不連続変形法 (DDA) のバラスト軌道への適用に関する考察 (その1)

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

1. はじめに

従来、有道床軌道の設計計算手法としては、レールを連続梁と考えた弾性論による理論解析が主として用いられてきた。具体的には、弾性床にあるレールが連続的に支持されると仮定する等弾性連続支承上の梁モデルや、まくらぎを各支点と考え離散的に弾性支持されると仮定する有限間隔支持モデルの2つが挙げられる。これらのモデルで従来より解析上の問題点とされてきたのは、レール支持機構のモデル化にある。特にまくらぎと路盤の間に介在し応力分散機能を有する道床バラスト部(以下「道床部」という)は、それ自体が塑性変形体であるばかりでなくミクロ的にみれば粒状体の集合体であるため、その変形特性ならびに応力伝達機構を推測しにくい。このため、現行の有道床軌道の設計計算では、道床部を弾性体と近似した理論値や試験軌道による実験式を用いた応力計算等を行っている。しかし、軌道狂いの主要因である軌道面の不等沈下や応力の伝達機構を実現象に忠実にトレースすることは難しい。このため本報告では、列車荷重による軌道破壊機構の実現象に即した説明を目的に、不連続変形法(DDA)の道床部への適用に関して基礎的な検討を行った。

2. DDAの概要

DDA (Discontinuous Deformation Analysis)¹⁾は、G. H. Shiにより開発された不連続変形法あるいは不連続要素法ともいうべき解析法であり、不連続性体ならびに連続体の動的、準静的な挙動を解析することのできる解析手法である。DDAは、ポテンシャルエネルギー最小化原理に基づいてひずみエネルギーを最小化することにより、要素の剛体変位、剛体回転、ひずみを得るため、その定式化自体はFEM(有限要素法)と同様の手順を踏むことになる²⁾。また、不連続性体の解析手法としてはDEM(個別要素法)がよく知られており、DDAはブロックの接触によりバネを設定する点でDEMと類似しているが、DEMは運動方程式を差分近似して定式化するため理論的にはDDAと大きく異なる。このためDDAは、FEMでは表現できない不連続性体の変形挙動をDEMよりも解析の工学的解釈を明確にしてシミュレートする解析法であるといえる。

3. 解析方法

本報告ではFEMとDEMの長所を併せもつDDAにより解析を行うこととし、軌道の横断面方向(図1)と縦断面方向(図2)に対し荷重の分散傾向の把握を目的とした基礎検討を行った。具体的には、道床部を等価弾性係数³⁾を有する粒形集合体と考え、正16面体平面ひずみ要素によりバラスト粒子の塊(道床ブロック)を表現する。境界条件として

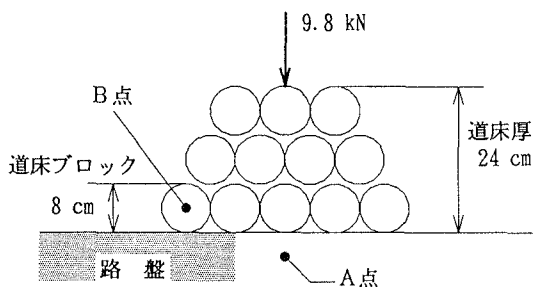


図1 軌道横断面方向の解析モデル

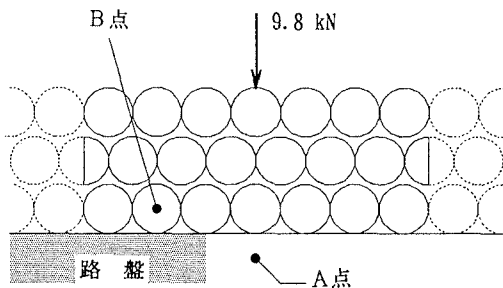


図2 軌道縦断面方向の解析モデル

は両断面の路盤部を固定した上で、縦断方向については図2の点線のように道床部が左右方向に無限に続くものと仮定して解析を行った。検討は、表1に示す解析条件の下で集中荷重（9.8 kN）を両断面に載荷し、路盤面（A点）での最大垂直応力及び道床部（B点）の変形傾向（左右変位量）を対象にして行った。

4. 結果及び考察

解析結果を表2に示す。まず、路盤の弾性係数を変化させた場合（case 1～3）路盤の剛性が増加すれば路盤内の垂直応力は増加することがわかる。また、横断方向（case 1）と縦断方向（case 4）の垂直応力を比較すると、縦断方向の方が大きい値となっている。これは、縦断方向では道床ブロックの側方変位を境界条件により拘束しているため、道床ブロックが比較的自由に動ける横断方向と比較して側方変位量が減少することによって考えられる。つまり、ブロック個々の弾性係数は解析条件により両断面とも同じであるが、道床部全体を一つのばねと考えた場合側方変位しやすい横断面方向では、そのばね係数が縦断面方向のばね係数と比較して小さなものとなるため、道床内部の応力分散傾向に差が生じると考えられる。以上の検討結果から道床内の応力分布傾向は、路盤の剛性及びバラスト粒子の拘束状態により変化すると推定される。

5. まとめ

DDAは、ポテンシャルエネルギー最小化原理にその理論的基礎をおくため実現象を概念的に捉えやすく、また数学的には変分原理の付帯条件つき停留値問題に帰着するため、問題により種々の条件を付加することが可能である。従って、不連続性体を扱う計算力学の分野に有効な解析手法であり、本報告でもDDAの適用

に関する基礎検討の結果、その有効性が確認できた。今後、DDAを道床バラスト部に適用するには、

① DDAの適用範囲の認識と解析方法の改善（解析種別変更、要素付加、接触機構改良）

② 解析パラメータの影響の確認とその決定手法の開発

③ 他の離散化解析手法との比較検討並びに理論値・実測値との比較検討

等の検討事項があり、これらを解決すれば道床部の弾性挙動ならびに塑性変位を実現象に即した形でシュミレートし、軌道破壊機構の解明に寄与できると考える。

最後に本報告をまとめるに際し、DDA研究委員会の諸氏には貴重な御意見、御示唆を頂いた。ここに深謝の意を表します。

〔参考文献〕

- 1) G. H. Shi, R. E. Goodman, "Block system modeling by DDA", Univ. of California, Berkeley, Dept. of Civil Eng. August, 1989.
- 2) 大西有三, 佐々木猛, "不連続変形法（DDA）とその岩盤工学への適用について", 第24回岩盤力学に関するシンポジウム, 1991.
- 3) 三浦重, "階層モデルによる道床振動の解析", 土木学会第46回年次学術講演概要集第4部, 1991.

表1 解析条件

材料種別		単位体積質量 [Kg/m ³]	弾性係数 [Mpa]	ポアソン比
バラスト		2.20×10^3	210.0	0.20
路盤	case 1	2.20×10^3	17.6	0.35
	case 2	2.20×10^3	27.0	0.35
	case 3	2.20×10^3	∞	0.35
	case 4	2.20×10^3	17.6	0.35

表2 解析結果

断面	解析ケース	A点の垂直応力 [Pa]	B点の側方変位量 [cm]
横断	case 1	4.82×10^2	1.87
	case 2	5.80×10^2	1.87
	case 3	6.23×10^2	1.87
縦断	case 4	1.89×10^3	0.41