

Ⅲ-A7

道床バラスト粒子の形状評価法について

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 河野昭子・関根悦夫
室蘭工業大学 正会員 木幡 行宏

1. はじめに； 道床バラスト粒子の形状の軌道沈下に及ぼす影響が大きいこと¹⁾²⁾から、本研究では、バラスト粒子の形状を、自動的に、より客観的かつ簡便に評価する事を目的として、CCDカメラで撮影したバラスト粒子の輪郭形状を解析し、'角張り'や'偏平'などの粒子形状の特徴を数値的に表すことを試みた。

2. バラスト粒子の読み取り装置； 図1にバラスト粒子の画像読み取り装置を示す。ステージは、XY方向の移動と360度の回転が可能である。また、ステージの端に45度に傾けた鏡を取付け、粒子形状を2方向から観察できるようにした。カメラからパソコンに読み込んだ画像は、画像処理ソフトによって二値化した後、輪郭の座標値を読み込んでテキストデータとして保存した。

3. 粒子形状評価関数(正規化偏角関数)； 画像輪郭を表現する方法として、ここでは'偏角関数'を採用した。'偏角'とは、図2に示すように、閉曲線上の始点から曲線上を長さX進んだ点における接線の角度 $\theta(x)$ である。更に、閉曲線の全長をLとすると、 $\theta(x+L)=\theta(x)+2\pi$ である事から、式(1)に示すように正規化偏角関数 $\theta_N(x)$ が定義される。

$$\theta_N(x) = \theta(x) - 2\pi(x/L) \quad \dots\dots (1)$$

以上より正規化偏角関数 $\theta_N(x)$ は周期Lの周期関数である事から、式(2)に示すフーリエ級数に展開できる。

$$\theta_N(x) = b_0/2 + \sum_{k=1}^{\infty} \{a_k \sin(2\pi kx/L) + b_k \cos(2\pi kx/L)\} \dots (2)$$

次に、式(2)より第k次の振幅スペクトル(式(3))を求める。

$$C_k = \sqrt{(a_k^2 + b_k^2)} \quad \dots\dots (3)$$

ここで a_k および b_k は以下の式(4)、(5)で表される。

$$a_k = (2/L) \int_{x_0}^{x_0+L} \theta_N(x_i) \sin(2\pi kx_i/L) dx \quad \dots\dots (4)$$

$$b_k = (2/L) \int_{x_0}^{x_0+L} \theta_N(x_i) \cos(2\pi kx_i/L) dx \quad \dots\dots (5)$$

4. 解析条件； バラスト粒子の解析を行う前に、パソコン上で描いた図形(正3角形、正方形、正5角形、正6角形、正8角形、円、および各多角形を縦横比1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 2.0, 2.4, 2.8, 3.2, 3.4で変形させた図)について、一連の解析を行った。また、本報告で用いたバラストは、輝緑岩、玄武岩、安山岩の3種類で、解析に用いたサンプル数は13~17コである。

5. 解析結果例

(1) 正多角形の解析結果例； 正N角形は、各辺および角度が等しいため正規化偏角の波形もN等分され、振幅スペクトルもN次の値が卓越することが報告されている³⁾。その一例として、正六角形の解析結果の入力図形、正規化偏角波形、振幅スペクトル値を図3に示す。また、Nの値が小さいと内角も小さく(鋭角に)

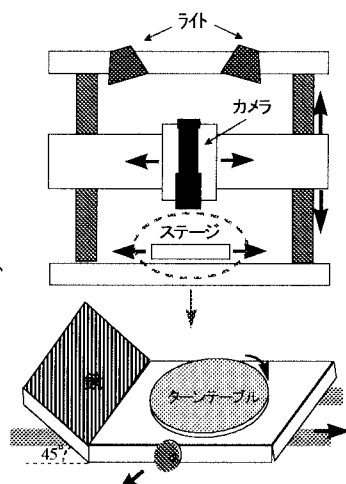


図1 画像読込装置

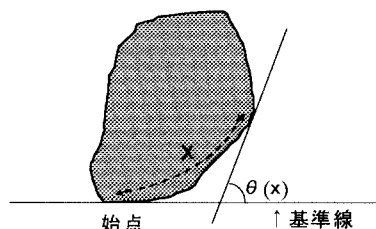


図2 偏角関数の概念

キーワード：道床バラスト、粒子形状、偏角関数、沈下、フーリエ解析

連絡先：東京都国分寺市光町2-8-38 電話 042-573-7276 FAX 042-573-7276

なり偏角の変動が大きくなるため、波形の振幅も大きくなり振幅スペクトルの値が大きくなっている。この傾向に着目し、各正多角形の $\sum_{k=1}^{10} C_k$ の値を求めてみたところ、角が増えるほど $\sum_{k=1}^{10} C_k$ の値が小さくなる傾向が見られた（表1参照）。

(2)偏平な多角形の解析結果； 次に、各多角形の縦横比を変えた図形の解析を行ったところ、縦横比が大きくなるに連れて2次の振幅スペクトルが大きくなり、ある値以上ではN次の振幅スペクトル値を越える。これに着目して、C2の値と縦横比の関係を図4に示すと、どの多角形においても、縦横比が大きくなるほど（偏平になるほど）C2の値が大きくなる傾向が認められる。

(3)バラスト粒子の解析結果； バラスト粒子の解析結果は、図形の解析結果と比較して、偏角波形のノイズが大きくなるが、それ以外の傾向は、多角形の図形とほぼ同様であった。

6. 形状評価関数の可能性； ‘角張り度’と $\sum_{k=1}^{10} C_k$ の値との関連性を検討するために、角張り度を表す係数FU値(式(6))⁴⁾との相関性を、バラスト粒子の解析結果を用いて図5に示す。

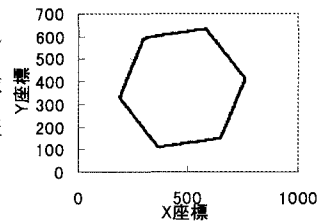
$$FU = \frac{4\pi a}{\ell^2} \quad \dots\dots (6)$$

FU値=1の時、形状は真円で、値が小さくなるほど‘角張って’いる。図5より、FU値が小さくなるほど（角張るほど） $\sum_{k=1}^{10} C_k$ が大きくなる傾向が示された。よって、形状評価関数を確立していく上で、 $\sum_{k=1}^{10} C_k$ が一つの因子となる可能性が明らかになった。また図4より、C2の値が縦横比に依存していることから、偏平度を示す形状評価関数の一つの因子としてC2の値が有効である可能性が明らかになった。

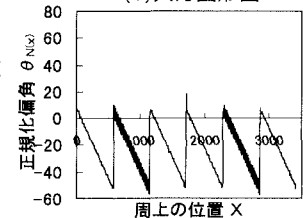
7. おわりに； 今後、読み取りのサンプル数を増やすとともに、バラスト粒子側方からの読み取り等を行い、バラスト粒子の形状評価法の確立について深度化していく予定である。

参考文献

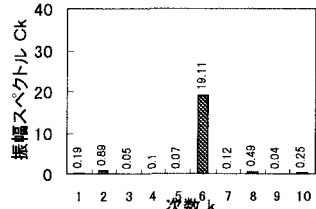
- 1)大島・榎本・高木：バラストの形状が道床沈下に及ぼす影響－動的載荷試験装置を用いた実験的研究(その2) 鉄道技術研究所速報 No.A-86-195, 1986
- 2)榎本 秀明、木谷 日出男、太田 岳洋：道床バラストの形を計る、RRR 1994年8月号
- 3)吉田 輝：砂の破壊に伴うひずみの局所化とせん断層の発生，東京大学大学院工学系研究科博士論文，1994年3月
- 4)吉村 優治、小川正二：砂のような粒状体の粒子形状の簡易な定量化法，土木学会論文集No.463/III-22, pp95-103, 1993年3月



(1)入力図形図



(2) 正規化偏角波形



(3) 振幅スペクトル値

図3 正六角形の解析結果

表1 多角形と $\sum_{k=1}^{10} C_k$ の関係

多角形	円	8角形	6角形	5角形	4角形	3角形
$\sum_{k=1}^{10} C_k$	6.49	19.91	21.31	37.6	45.14	76.07

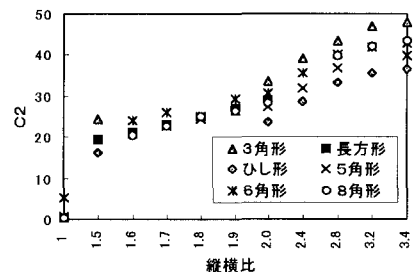


図4 C2と縦横比の関係

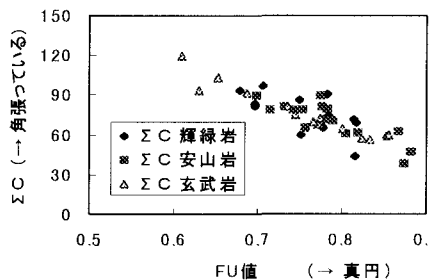


図5 FU値と $\sum_{k=1}^{10} C_k$ の関連性