

# 粒子流の性質と乱流構造について —Daily 教授の論文を読んで—

日 野 幹 雄\*

粒子流がわれわれの身の辺の広い分野で取り扱われ、その奇妙な性質が十分に解明されずにいる現在、会誌 49 巻 6 号 42~47 ページに掲載されている Daily 教授の論文は混乱の中に一筋の道を指し示すものとして土砂流ないしは粒子流の専門の研究者にはもちろん、教科書どおりの水理学しか学んでいない一般の人々にもきわめて貴重なものである。ただ、この論文は MIT の研究を中心にした Daily 教授の思想をのべたものゆえ、二、三の考え方が落されているので、この点に関して筆者の考えを簡単に述べさせて頂きたい。

土砂流の流速分布の勾配が水の場合より急になるのは、土砂粒子を浮遊させるためのエネルギーが平均流から供給されるからであると考えられる。Einstein and Chien<sup>1),2)</sup> や Vanoni and Nomicos<sup>3)</sup> はこのような思想から、流れのエネルギー逸散率と土砂浮遊のためのエネルギーの比と Kármán 定数が強い相関関係をもつことを実験的に示した。この関係を理論的に導いたものに、椿<sup>4)</sup>・志村<sup>5)</sup>・日野<sup>6)</sup>の研究がある。

粒子を浮遊させるエネルギーを必要としない中立浮遊の粒子流の場合の流速分布の変化をこの考えで説明することはできないように見える。しかし、これは粒子同志の衝突のため混合長が短くなることを考慮すれば解決される。

また、中立浮遊粒子流の場合に、乱れの強さが増加する。この性質は水の一部が固体粒子でしめられるためその体積分だけ水の粘性による流体のエネルギーの逸散が減少し；水のみの場合と同じエネルギーを逸散させるためには乱れの強さが増さなければならないためであるとして説明しうる<sup>6)</sup>（粒子の回転運動や相対運動によるエネルギーの逸散は粒子が小さい場合には無視できることは理論的に示される）。

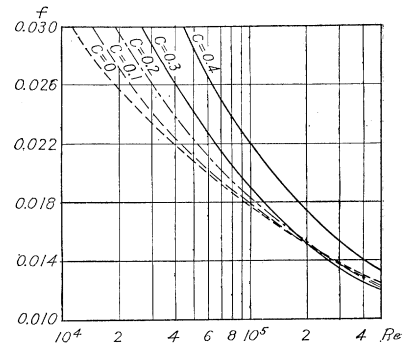
結局、粒子流では、④粒子を浮遊させるための仕事と⑥混合長の縮少と⑦粒子による有効逸散体積の減少とがつまりあい関係になっておちつくものと考えられる。

粒子流の抵抗係数の奇妙な性質（土砂流では抵抗係数が減少し、中立浮遊粒子流では増加する）についての統一的理論は日野<sup>7)</sup>によって導かれた。壁面が滑らかな場合には、粒子の混入の結果見掛けの粘性係数が増加し、粘性底層（従来、層流底層といわれて来た層）の厚さが増加する。その結果、粘性底層に接するきわめてエネルギー

逸散率の高い部分が排除もしくは消滅することになる。粘性底層内のエネルギー逸散の総量は厚さが厚くなっても一定である。壁面から離れた部分のエネルギー逸散率は増加するが、粘性底層によって排除された部分を考えると一般的には差引きエネルギーの逸散は減少したことになる。簡単のために、水深と勾配の等しい流れ ( $U_* = \sqrt{ghI}$  = 一定) を比較すれば、エネルギーの逸散率は  $\tau_0 U_0 = \rho U_*^2 U_0$  であるから、 $f = 8 \left( \frac{U_*}{U_0} \right)^2$  で定義される抵抗係数は増加する。

壁面が粗面  
の場合には、  
粘性底層は消滅しこれにか  
わって粗度エレメントによ  
る後流のため  
のエネルギー  
逸散が生じる。この層の  
エネルギー逸散  
や厚さは粒子  
の影響を受けない。したがって、抵抗係数は一般に減少する。

図-1



以上のような思想にしたがって展開された理論<sup>7)</sup>によれば粒子流は表-1のような性状を示す。図-1には、滑らかな管内の粒子流の抵抗係数の理論曲線を示す（レイノルズ数が小さい場合に、ニュートン流体の乱流抵抗係数からのズレが大きいうという実験事実も、無理なく説明されている）。

こうした粒子流（粒子懸濁流）の研究は、化学工学関

表-1

壁面の性質	滑 面		粗 面	
	土砂流	中立浮遊	土砂流	中立浮遊
平均渦径(カルマン定数)	↓	①	①	↓
乱れの強さ $\sqrt{u'^2}$	↘	②	↘	↑
平均流速 $U_0$	↑	③	③	↑
抵抗係数 $f$	↓	④	④	↓

↑ = 増加  
↓ = 減少  
↘ = わずかに減少  
○ = 実験的に検証されたもの

\* 正員 工博 電力中央研究所技術研究所

系の学者によって最も熱心に取りあげられている。しかし、それは Daily 教授の論文のはじめの所にのべられたような見掛け上の性質を本にしてのレオロジー的なものが多い。こうした中で、内部構造から濃度の高い粒子流のビンガム塑性的性質を解明しようとした Michaels and Bolger<sup>8)</sup> の論文は、これからの研究方向を示した新しいものと思われる。彼らは、高濃度粒子流の変形の仕事を、粒子群の作る network の抵抗と粒子間の結合力に対する仕事と粘性抵抗の三つの要素に分け、ビンガム塑性の stress-strain 曲線を導いた。

今後、粒子懸濁流の研究は、ますますさかんになるであろうし、またそうあって欲しいものと思う。

#### 参 考 文 献

- 1) Einstein, H.A. and Chien, N. : Series 47, Issure No. 2, University of California, Berkeley, Calif. (1952)
- 2) Chien, N. : Trans. ASCE. Vol. 121 (1956)
- 3) Vanoni, V.A. and Nomicos, G.N. : Trans. ASCE, Vol. 126 (1961)
- 4) 椿東一郎 : 土木学会誌 40 卷 9 号 (1955)
- 5) 志村博康 : 土木学会論文集 46 号 (1957)
- 6) 日野幹雄 : Proc. ASCE Vol 89, No. HY 4 (1963)
- 7) 日野幹雄 : Proc. 13th National Congress on Theoretical and Applied Mechanics (1963)
- 8) Michaels, A.S. and Bolger, J.C. : Industrial and Engineering Chemistry, Fundamentals, Vol. 1, No. 3 p. 153 (1963)

(1964.4.1・受付)

## 「偕成学術奨励金」申請課題募集

標記の件に関して財団法人偕成会事務局より連絡がありましたのでご希望の方は 7 月 25 日までに土木学会総務課へご連絡下さい。

1. 贈呈要領 : ①金額 : 総額 300 万円 ②人文科学および自然科学の両部門から各若干名 (注 : 1 件当り 40 万円前後)
2. 申請要領 : 土木学会総務課へご連絡下さい。

東北大学教授 工博 河上房義著 [最新刊]

## 土質力学 (改訂版)

A 5 判 304 頁 上製函入 定価 800 円 円 120 円

① 土質工学会の用語に統一した。② 説明を一段と親切かつ明確にした。③ ごく最近までの JIS (改訂案も含む) を入れた。④ 内外における新しいデータを入れ図・表を多くし、全く新しく組みなおした。

工学博士 千葉忠二著 [最新刊]

## 計画・工事測量

〔測量実務叢書 全 12 巻 完結〕

A 5 判 212 頁 上製函入 定価 650 円 円 120 円

① 各種測量に対するわが国の現行法を詳述した。② いかなる仕様書に対しても即時作業できるように実務を詳しく述べた。③ 多種類の測量成果を収めているから作業規定を作ったり改善するのに役立つ。④ 計画測量の部においては、調査の実際を述べ、工事測量の部においては、設計工事に直結して活用できるよう、長年の経験と記録を十分収めた。

◎ その他土木書多数 目録呈 ◎

東京都千代田区  
神田小川町 3~10

森 北 出 版

振替東京 3 4 7 5 7  
電話 (291) 2616・4510

九州大学教授 水野高明著 [最新刊]

## 鉄筋コンクリート工学

A 5 判 292 頁折込 12 丁 上製 定価 1000 円 円 120 円

① 硬化収縮、クリープに基づく塑性変形の諸計算法を詳しく述べた。② 部材の破壊・疲労に関する研究の現状を紹介した。③ 斜偏心圧縮力を受ける配筋法を十分扱った。④ ハンチを有する T 形断面部材の係数図表を折込みとして収めた。

成瀬勝武・青木楠男・村上永一監修 成瀬泰雄 編  
来島 武

## 世界の橋

A 4 変形判 250 頁 豪華本 定価 4000 円 円 200 円

本書は、世界 30 数か国の歴史的な名橋、近代・現代の代表的な橋のすべてを編者の現地撮影・各国大使館・航空会社・通信社・建設会社・個人の協力を得て、その形態・構造・工法・造形美のすべてを原色版・2 色刷・白黒大型写真により把え、和英両文により解説し、橋についての文化地理的、科学的な分析を試みた。