混合砂礫の空隙率と河床変動に伴う空隙率の変化

京都大学防災研究所	正会員	藤田	正治
京都大学防災研究所	正会員	堤	大三
山口県庁		藤本	護

1.はじめに

貯水池からの排砂後の河床変動,浮石・沈み石の形成と破壊など,河床材料の空隙の変化を考慮しなければ ならないような課題は多い.しかし,平野¹⁾の指摘以来,この問題についてほとんど検討されていない.著 者らは,任意の粒度分布から空隙率を求める方法を一般化し,それを河床変動計算法に導入することによって 空隙率や空隙の大きさの変化も評価できるようにし,河床変動計算の精度を上げるだけでなく,生態系の問題 への展開も可能にするような研究を進めている.本報では,その第一段階として,粒子充填モデルによる粒度 分布と空隙の関係および2粒径の場合の空隙率の変化を考慮した河床変動計算法について検討する. 2.粒子充填モデル

原点を1頂点とし, *x*, *y*, *z* 座標の正の領域に置かれた1辺の長さ*L*の立方体の容器に球形の粒子を順次静的 に配置するシミュレーション方法を開発した.まず,与えられた粒度分布から個数密度分布を求め,それに基 づき乱数により粒子を選択する.つぎに各粒子を, 最初の粒子は原

点に置く, つぎの粒子は最初の粒子に接するように *x* 軸上に置く,

つぎの粒子は2つの粒子の接するように底面に置く,以下,配置 済みの2つの粒子を選び,高さが最小で配置可能な位置をスキャンし 配置する,容器が一杯になれば終了する,というルールで配置する.

3.粒度分布と空隙率

3.1 モデルの妥当性の検証

粒子充填モデルの精度を確認するために,実験と計算の比較を行う. 実験に用いた粒子は,直径0.2,0.4,0.6,0.8,1.0,2.0 mmの球形ガラスビ ーズである.粒子を詰める容器には,100 ccのメスシリンダーを用い た.これらの粒子を表1のような配合比で混合し,18 mmの高さから 180回自由落下させながら充填した.実験,計算ともに5回試行した. 計算においてLは配置個数が1000~2000個になるようにした.

図1および図2は実験結果と計算結果を示したものである.計算値 は実験値とほぼ一致しているが,実験値より多少バラツキが大きい. また,一様粒径(Sample 1)の場合,計算では空隙率が最密充填状態に近い0.28になる場合もあるが,配置場所に依存して0.35になることもあった.実験でも最密充填状態になっていないが,これは容器の形状と

	0.2mm	0.4mm	0.6mm	0.8mm	1mm	2mm	
Sample 1	0	0	0	0	0	1	
Sample 2	0	0	0	0	0.5	0.5	
Sample 3	0	0	0	0.33	0.33	0.34	
Sample 4	0	0	0.25	0.25	0.25	0.25	
Sample 5	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
Sample 6	0.167	0.166	0.167	0.167	0.166	0.167	

表1 実験に用いた粒子配合

キーワード 空隙,混合砂礫,河床変動,空隙率,2粒径

連絡先 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所流域災害研究センター Tel 0774-38-4119



粒径に少しでもバラツキがあれば空隙率が増加するという3.2 で述べる特性によるものと考えられる.

3.2 対数正規分布の場合

図3は粒度分布が対数正規分布に従うときの空隙率の変化を lndの標準偏差をパラメータにして示したものである.標準偏 差が0から少しでも大きくなると急に空隙率が大きくなり,従 来使われている0.4に近くなっている.また,標準偏差が大き くなるにつれ空隙率が小さくなり,0.13まで減少した.

3.3 2 粒径の場合

材料が2粒径の場合は解析的に空隙率が決定される.粗粒子 または細粒子を単独に充填した際の空隙率を1_sとし,粗粒子と 細粒子の混合割合を(1-p):pとするとき,混合物の空隙率1とp の関係は次式のようになる.

$$\boldsymbol{I} = \boldsymbol{I}_{s} - p(1 - \boldsymbol{I}_{s})/(1 - p) \quad (p \leq \boldsymbol{I}_{s}/(1 + \boldsymbol{I}_{s})) \quad (1)$$

$$\boldsymbol{I} = p\boldsymbol{I}_{s} / [\boldsymbol{1} - \boldsymbol{I}_{s}(\boldsymbol{1} - p)] \qquad (p > \boldsymbol{I}_{s} / (\boldsymbol{1} + \boldsymbol{I}_{s}))$$
(2)

4.空隙率の変化を考慮した河床変動計算

河床変動に伴う空隙率の変化を評価するために,1次元河床 変動計算法に粒度分布と空隙率の関係を導入する.しかし,任 意の粒度分布と空隙率の関係がまだ明確でないので,2粒径の 場合を対象にし,式(1),(2)を適用する.基礎となる河床変動計

算法は2粒径に対するものではないが拡張して使用する.計算には,空隙 率や粒度分布の鉛直分布も必要になるので,最大粒径の厚さで河床を層に 分け,それぞれを記憶する.従来の方法では,流砂の混合層の粒度分布の 時間変化の計算に河床高の変化を考慮するが,本計算では河床高の時間変 化量の計算に空隙率,すなわち粒度分布の時間変化が必要になるので,河 床高の時間変化を考慮せずに,河床表層における粒径別土砂収支のみから 粒度分布の時間変化を求める.また,各層間の土砂の交換は考えない.

このような方法を堰上流の堆砂計算に用いた.粒径は 20cm と 0.1cm と する.計算条件は,河床勾配 0.01,単位幅流量 2.5m²/s,下流端水深 5m,マニ





図6 空隙率の深さ方向の変化

ングの粗度係数 0.015,1,=0.4 であり,粗礫のみの河床に細砂を 0.0005m²/s の割合で給砂した場合(Case1)と 粗礫と細砂を 3 対 1 の割合で混ぜた河床に無給砂の条件で通水した場合(Case2)を設定した.なお,これら 条件では粗礫は移動しない.図 4 は Case 1 の堆砂過程を示したものである.図 5 は,本計算法と空隙の変化 を考慮しない従来の計算法により,上流から 500m と 1900mにおける堆積厚の時間変化を計算した結果を比較 したものである.本計算法では,Case 1 の場合,500m 地点では,粗礫間を細砂が埋め河床が上昇することな く土砂が移動しているのに,従来の方法では河床上昇が起こっている.そのため,堰堤近くの堆砂の進行がこ れまでの計算法に比べて遅くなっている.Case 2 では,本計算法では河床低下せず細砂のみが流出することが 表現できているのに対し,従来の方法では河床低下している.図 6 は通水 250 時間後の空隙率の鉛直分布を示 したもので,上流から 500m 地点の河床表層では,Case 1 のとき空隙率の減少,Case 2 のとき空隙率の増加が 表現できている.また,1900m地点の初期河床の高さでは,Case 1 のとき,粗礫で構成された河床の空隙に細 砂が入るため空隙率が減少し,250 時間後の河床付近では細砂のみが堆積しているため空隙率が増加している. 参考文献

1) 平野: Armoring をともなう河床低下について, 土木学会論文報告集, 第 195 号, pp.55-65