

透水性の空間的相関を考慮したシミュレーションによる ダム基礎の浸透特性の検討（第2報）

独立行政法人土木研究所 正会員 ○佐藤弘行
独立行政法人土木研究所 正会員 山口嘉一

1. まえがき

ダム基礎岩盤の透水性にはばらつきが存在する。そのため、ダム基礎グラウチングを合理的、かつ効率的に行うためには、ダム基礎岩盤の透水性分布を精度よく推定する必要があるとともに、透水性のばらつきが浸透特性に与える影響について検討する必要がある。著者らはこれまで、透水係数が対数正規分布に従う乱数を用いた浸透流解析のモンテカルロシミュレーションを行ってきた¹⁾が、実際のダム基礎の透水性には空間的な相関が存在するため、その影響についても検討する必要がある。そこで本研究では、フィルダムを対象として、堤体コア部と基礎岩盤をモデル化し、地球統計学の Sequential Gaussian Simulation (SGS)²⁾を用いて、対数正規分布に従いつつ空間的な相関性を有するようダム基礎岩盤の透水係数を与えた二次元浸透流解析のモンテカルロシミュレーションを行い、その結果を統計的に分析することにより、ダム基礎岩盤の透水性のばらつきおよびグラウチングがその浸透特性に及ぼす影響を考察した。

2. 解析条件

解析モデルは図1に示すとおり、フィルダムコア部および基礎岩盤を模擬したものである。基礎岩盤は $4\text{m} \times 4\text{m}$ の正方形要素に分割した。基礎岩盤の透水係数は対数正規分布に従うと仮定し、その平均は m/s 単位の常用対数で -5、標準偏差 σ は常用対数で 0.3、1.2 と変化させて乱数を発生させた。また、SGS を用いて、空間的な相関性を有する乱数を発生させた。空間的な相関性については、等方的な場合（水平・鉛直方向の相関距離 30m）、異方的な場合（水平方向の相関距離 150m、鉛直方向の相関距離 20m）についてそれぞれ乱数を発生させた。コア、カーテングラウチングおよびブランクットグラウチングの透水係数は、それぞれ $1 \times 10^{-7}\text{m/s}$ 、 $2 \times 10^{-7}\text{m/s}$ 、 $5 \times 10^{-7}\text{m/s}$ で一定の値とした。グラウチングについては、グラウチング未施工、ブランクットグラウチングを施工しかつカーテングラウチングの深度 52m および 100m の場合を想定した。表1に解析ケースを示す。表1の各ケースについてそれぞれ 100 回のシミュレーションを行い、統計処理を行った。

3. 検討結果

図2の上段に Case2-3-C0、Case2-3-C52、Case2-3-C100 の透水係数分布の一例、図2の下段にはそれぞれの透水係数分布の場合の流速分布を示す。Case2-3 シリーズは異方的な相関を考慮している場合であり、流速分布には選択的な浸透が見られる。また、カーテングラウチングの深度が深くなるにつれて、カーテングラウチング施工部に対応する箇所流速が小さくなっていることが分かる。なお、グラウチングが未施工の場合の、空間的な相関による流速分布の特性については、文献³⁾を参照されたい。

$\sigma=1.2$ の場合に、グラウチングが未施工の場合の浸透流量 Q_0 に対する、カーテングラウチングの施工深度を変化させた場合の浸透流量 Q の割合を図3に示す。同様に、 $\sigma=1.2$ の場合に、グラウチングが未施工の場合のパークレーン閾値⁴⁾ V_{pc0} に対する、カーテングラウチングの施工深度を変化させた場合のパークレーン閾値 V_{pc} の割合を図4に示す。図3および図4を見ると、グラウチングがない場合の Q_0 および V_{pc0} の分布幅は、空間的な相関がない場合が最も狭く、異方的な相関を考慮した場合が最も広がっている。図3を見ると、カーテングラウチングの深度が 100m の時の浸透流量 Q_{100} の Q_0 に対する割合 Q_{100}/Q_0 は、空間的な相関がある時には若干ばらつくものの、空間的な相関によらずほぼ同一の曲線上に分布している。カーテングラウチングの深度が 52m の時の浸透流量 Q_{52} の Q_0 に対する割合 Q_{52}/Q_0 は、 Q_{100}/Q_0 の曲線を下限として 1.0 程度までばらついて分布しているが、 Q_0 が大きくなると Q_{52}/Q_0 はの値およびばらつきは小さくなる傾向にある。また、ケース数が 100 と少ないので明確なことは言えないが、等方的な空間的な相関を考慮した場合の Q_{52}/Q_0 のばらつきが大きくなっている。

【キーワード】ダム、グラウチング、浸透

【連絡先】〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 Tel.0298-79-6781 Fax.0298-79-6737

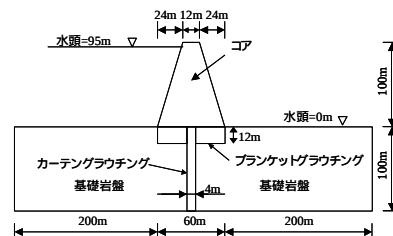
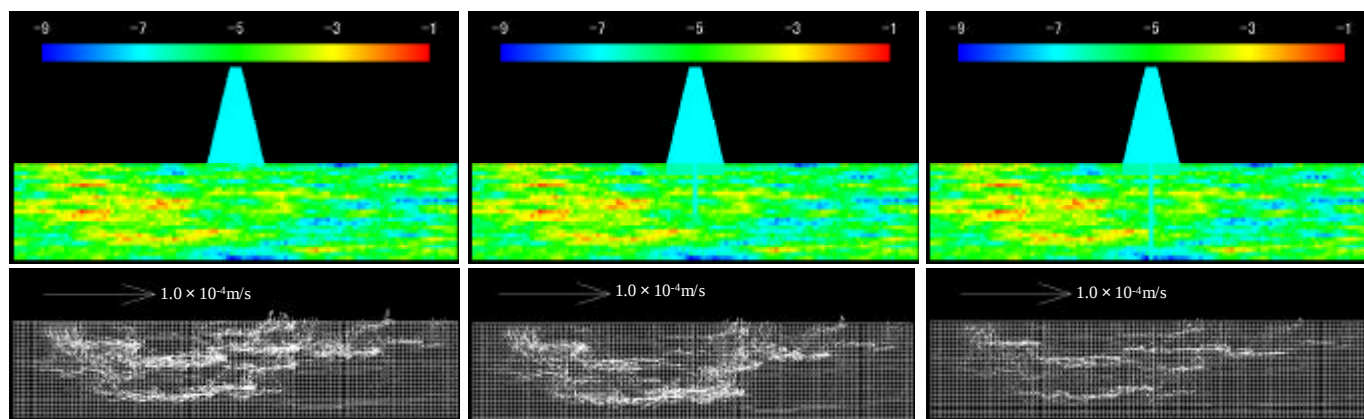


図1 解析モデル

表1 解析ケース

#case	分布	標準偏差	空間的相関	カーテングラウチング
Case1-1-C0	対数正規分布	0.3	なし	なし
Case1-2-C0	対数正規分布	0.3	等方	なし
Case1-3-C0	対数正規分布	0.3	異方	なし
Case1-1-C52	対数正規分布	0.3	なし	あり(深度52m)
Case1-2-C52	対数正規分布	0.3	等方	あり(深度52m)
Case1-3-C52	対数正規分布	0.3	異方	あり(深度52m)
Case1-1-C100	対数正規分布	0.3	なし	あり(深度100m)
Case1-2-C100	対数正規分布	0.3	等方	あり(深度100m)
Case1-3-C100	対数正規分布	0.3	異方	あり(深度100m)
Case2-1-C0	対数正規分布	1.2	なし	なし
Case2-2-C0	対数正規分布	1.2	等方	なし
Case2-3-C0	対数正規分布	1.2	異方	なし
Case2-1-C52	対数正規分布	1.2	なし	あり(深度52m)
Case2-2-C52	対数正規分布	1.2	等方	あり(深度52m)
Case2-3-C52	対数正規分布	1.2	異方	あり(深度52m)
Case2-1-C100	対数正規分布	1.2	なし	あり(深度100m)
Case2-2-C100	対数正規分布	1.2	等方	あり(深度100m)
Case2-3-C100	対数正規分布	1.2	異方	あり(深度100m)

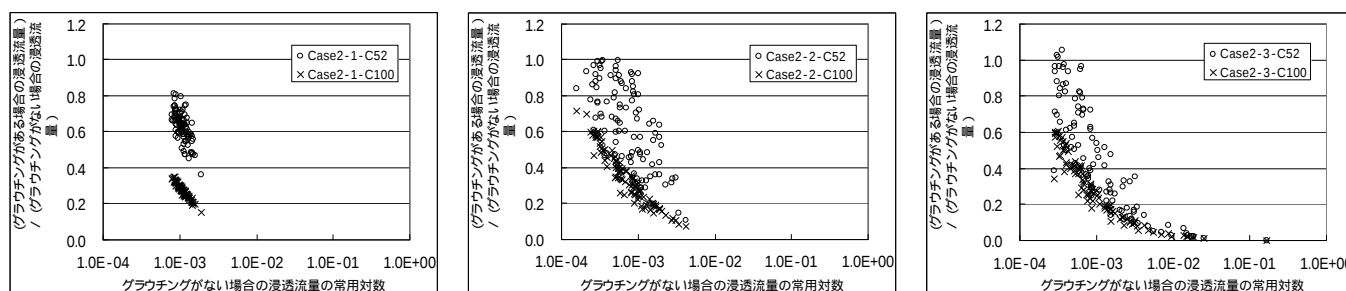


(a)Case2-3-C0 の一例

(b)Case2-3-C52 の一例

(c)Case2-3-C100 の一例

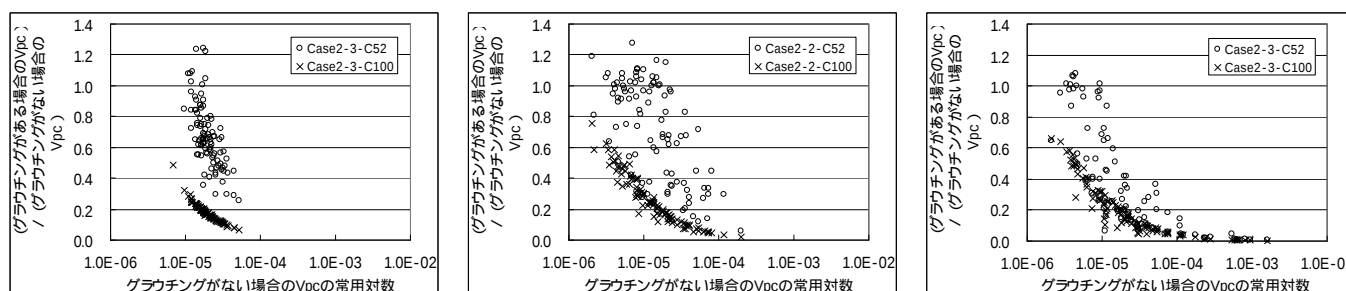
図2 カーテングラウチングの深度による浸透特性の変化（上段：透水係数分布、下段：流速分布）



(a)空間的な相関がない場合

(b)等方的な相関がある場合

(c)異方的な相関がある場合

図3 カーテングラウチングの深度による浸透流量 Q の変化（ $\sigma=1.2$ の場合）

(a)空間的な相関がない場合

(b)等方的な相関がある場合

(c)異方的な相関がある場合

図4 カーテングラウチングの深度によるパーコレーション閾値 V_{pc} の変化（ $\sigma=1.2$ の場合）

図4を見ると、パーコレーション閾値についてもほぼ同様のことが言えるが、 V_{pc0} が小さい時に V_{pc52}/V_{pc0} が 1.0 よりも大きくなる場合がある。

4. まとめ

ダム基礎グラウチングの合理化・効率化を目的として、ダム基礎岩盤の透水性のばらつきおよびカーテングラウチングの深度がその浸透特性に与える影響についての基礎的な検討を、モンテカルロシミュレーションにより行った。浸透流量およびパーコレーション閾値については、カーテングラウチングの深度が深い場合には、カーテングラウチングの影響により空間的な相関によらずほぼ同じ割合で減少するが、カーテングラウチングの深度があまり深くない場合には透水係数の分布に依存して減少することが分かった。今後は、ダム基礎岩盤の透水係数の空間的相関性およびグラウチングが浸透特性に及ぼす影響をさらに検討するとともに、その結果をダムの基礎グラウチングの設計に反映させる方法についても検討していく予定である。

参考文献

- 1) 佐藤・山口：透水性分布のばらつきを考慮したダム基礎岩盤の浸透特性の基礎的検討、第36回地盤工学研究発表会講演集、CD-rom、1999。
- 2) Deutsch & Journel：GSLIB、1998。
- 3) 佐藤・山口：透水性の空間的相関を考慮したシミュレーションによるダム基礎の浸透特性の検討、第39回地盤工学研究発表会（投稿中）。
- 4) 小田垣：パーコレーションの科学、裳華房、1993。