# 透水性の相関距離がダム基礎の浸透特性に与える影響の基礎的検討

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、透水係数の空間的な相関の有無を考慮した浸透流解析のモンテカルロシミュレーション（MCS）による検討を行ってきた[1)]が、透水性の相関距離が浸透特性に及ぼす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かつ空間的な相関性を有するような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相関距離がその浸透特性に及ぼす影響を考察した。

## ２．解析条件

（１）解析モデル

解析モデルを**図 1** に示す。解析モデルは、貯水位 100m のフィルダムの基礎岩盤を模擬したものである。コア部はモデル化していないが、コア敷を不透水の境界条件としてモデル化した。基礎岩盤は 2m×2m の正方形要素に分割した。要素数は 32500 である。

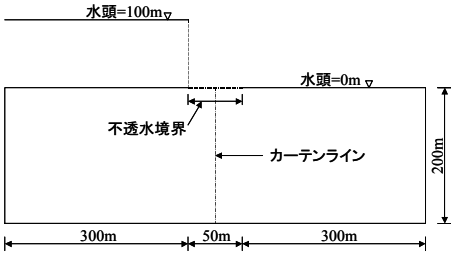



**図 1　解析モデル**

（２）透水係数分布

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-5.7（20Lu 相当）、標準偏差 σ は常用対数で 0.9 として乱数により発生させた。この時、SGS を用いて、異方的な空間的な相関性を有する乱数を発生させた。発生させた透水係数の上下流方向の相関距離は、50m、100m、150m および 300m とし、鉛直方向の相関距離は 10m、20m および 30m とした。解析ケースを**表 1** に示す。**表 1** の各ケースについてそれぞれ 1000 回の MCS を行い、統計処理を行った。

**表 1　解析ケース**

| | 上下流方向の相関距離(m) | 鉛直方向の相関距離(m) |
|---|---|---|
| case50-10 | 50 | 10 |
| case50-20 | 50 | 20 |
| case50-30 | 50 | 30 |
| case100-10 | 100 | 10 |
| case100-20 | 100 | 20 |
| case100-30 | 100 | 30 |
| case150-10 | 150 | 10 |
| case150-20 | 150 | 20 |
| case150-30 | 150 | 30 |
| case300-10 | 300 | 10 |
| case300-20 | 300 | 20 |
| case300-30 | 300 | 30 |

## ３．検討結果

**図 2** に、1000 回の MCS により得られた浸透流量の統計値を示す。上下流方向の相関距離が大きくなるほど、浸透流量の最大値～最小値の幅が広くなるとともに標準偏差が大きくなる傾向がある。平均値についても、若干ではあるが、上下流方向の相関距離が大きくなるほど、大きくなる傾向にある。また、平均値と 15%超過率値が近い値となっている。**図 3** にパーコレーション閾値[3)]を示すが浸透流量とほぼ同様の傾向がある。

**図 4-1** に、**図 1** に示しているカーテンライン上の平均流速分布を示す（**図 4-2** に浅部のみの結果を示す）。上下流方向の相関距離が大きいほど、浅部の流速は大きくなるが、逆に深部の流速は小さくなる傾向にある。

**図 5** に、case50-10、case50-30、case300-10 および case300-30 の各ケースについて、浅部付近の各要素が主透水経路に含まれる確率を示す。各要素が主透水経路に含まれる確率の算出方法については参考文献を参照されたい[4)]。Case50-10 と case50-30 の場合を比較すると、case50-30 の方が、10%から 30%の比較的高い確率の領域がより深い深度まで広がっている。また、case50-10 と case300-10 を比較すると、case300-10 の方が、10%から 30%の比較的高い確率の領域がより水平方向の広い範囲に広がっている。このように、コア着岩部付近の各要素が主透

【キーワード】ダム、浸透、相関距離

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

水経路に含まれる確率は、透水係数の相関距離に依存し、相関距離の大きい方向に、比較的確率の高い領域が広がっているものと考えられる。また、図 5 の(c)と(d)の赤い部分はコア着岩部近傍の要素であるが、上下流方向の相関距離が大きいほど確率が高くなっていることがわかる。

図 6-1 に、カーテンライン上の要素が主透水経路に含まれる確率を示す（図 6-2 に浅部のみの結果を示す）。比較的深度の浅い部分（深度 0m から 10m 程度）においては、上下流方向の相関距離が大きい方が確率が大きい傾向にある。一方、比較的深部（20m 程度以深）においては、鉛直方向の相関距離が大きい方が比較的確率が高い傾向にある。

## 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、特に相関距離がダム基礎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。それにより、上下流方向の相関距離が大きいほど、浸透流量やパーコレーション閾値が大きいなどの傾向があること、各要素が主透水経路に含まれる確率の分布は、透水性の上下流方向および鉛直方向の相関距離の影響を受けることがわかった。

今後は、グラウチングによる影響についても検討するとともに、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。

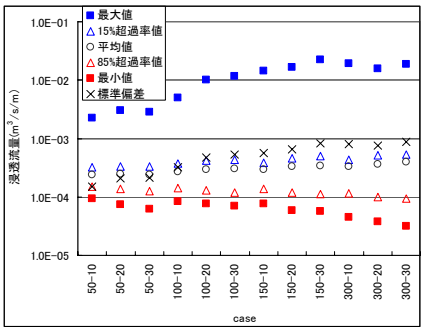



図 2　浸透流量（常用対数値）

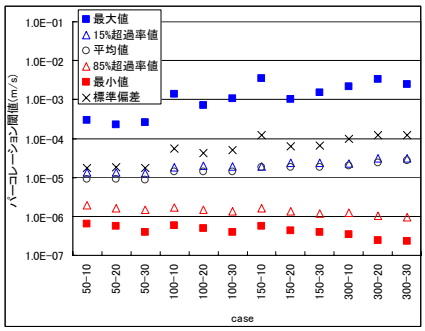



図 3　ﾊﾟｰｺﾚｰｼｮﾝ閾値（常用対数値）

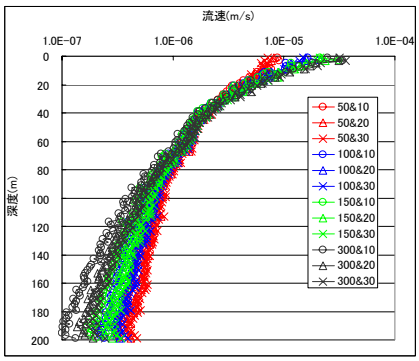



図 4-1　ｶｰﾃﾝﾗｲﾝ上の平均流速分布（流速は常用対数値）

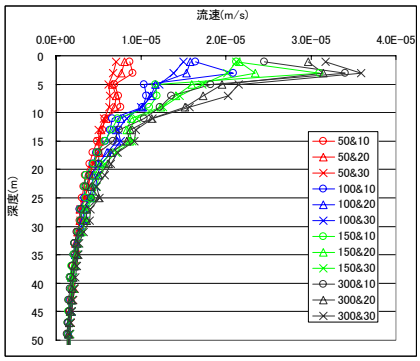



図 4-2　ｶｰﾃﾝﾗｲﾝ上の平均流速分布（浅部）

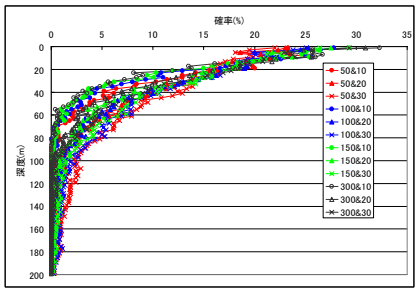



図 6-1　ｶｰﾃﾝﾗｲﾝ上の要素が主透水経路に含まれる確率

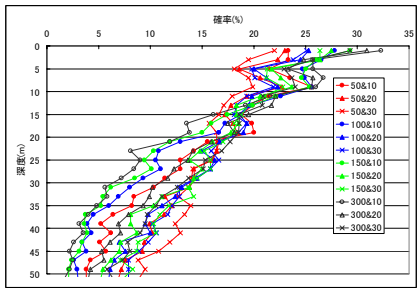
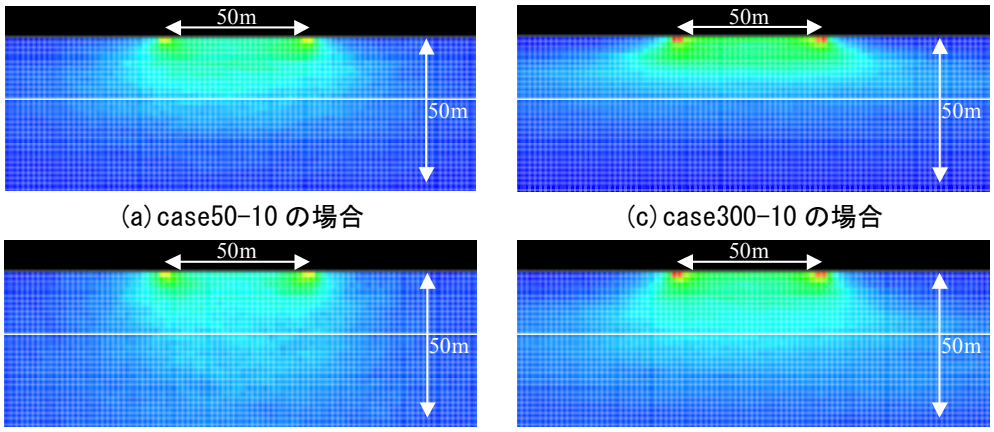



図 6-2　ｶｰﾃﾝﾗｲﾝ上の要素が主透水経路に含まれる確率（浅部）




(a) case50-10 の場合　(c) case300-10 の場合

(b) case50-30 の場合　(d) case300-30 の場合

図 5　要素が主透水経路に含まれる確率

**参考文献**

1) Satoh & Yamaguchi : Probabilistic Evaluation of Underseepage of Dam Rock Foundation Considering Spatial Correlation in Permeability, ICOLD, 2005. 2)Deutsch & Journel : GSLIB, 1998.

3)小田垣：パーコレーションの科学、裳華房、1993.　4) 佐藤・山口：透水性の空間分布を考慮したダム基礎の水みちの確率評価、第 34 回岩盤力学シンポジウム、2005.