

流水型ダムのカートングラウチングの合理化に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 25

担当チーム：水工研究グループ（水工構造物）

研究担当者：榎村康史、佐藤弘行

【要旨】

河川環境保全の観点から洪水調節用放流設備を河床標高付近に設置することで、常時の水位上昇を抑えるとともに土砂等の流下を促進する流水型ダムの計画が増加している。流水型ダムにおいては、常時満水位(NWL)が河床標高付近に存在し、NWL からサーチャージ水位(SWL) の間のアバットメント部の基礎地盤については洪水時に一時的に水浸するのみである。そのため、基礎浸透の非正常性を考慮することで、カートングラウチングの基礎浅部における改良目標値の緩和や深度（範囲）の短縮（縮小）などの合理化が行える可能性がある。ただし、合理化検討に当たっては、合理化検討が可能となる地盤条件を明確にした上で、グラウチング処理部および未処理部の透水性のばらつきが集中的な浸透の発生を引き起こす可能性についても考慮する必要がある。

平成 25 年度は、ダム基礎岩盤の透水性の空間的な相関が浸透特性に及ぼす影響の検討として、透水性の空間的な相関性を考慮した二次元定常浸透流解析および三次元非定常・定常浸透流解析による検討を行った。また、本研究課題で得られた成果をふまえたうえで、流水型ダムのカートングラウチングの合理化について提案した。

キーワード：流水型ダム、カートングラウチング、合理化

1. はじめに

河川環境保全の観点から洪水調節用放流設備を河床標高付近に設置することで、常時の水位上昇を抑えるとともに土砂等の流下を促進する流水型ダムの計画が増加している。

現行のダムの基礎処理、主にカートングラウチングの計画設計においては、湛水に伴う浸透現象の非正常性を考慮せず、設計上安全側の対応として定常問題として扱っている。しかし、流水型ダムにおいては、常時満水位(NWL)が河床標高付近に存在し、NWL からサーチャージ水位(SWL) の間のアバットメント部の基礎地盤については洪水時に一時的に水浸するのみである。そのため、基礎浸透の非正常性を考慮することで、カートングラウチングの基礎浅部における改良目標値の緩和や深度（範囲）の短縮（縮小）などの合理化の可能性を積極的に検討し、ダムの安全性を確保した上でその建設コストの縮減を図る必要がある。ただし、合理化検討に当たっては、合理化検討が可能となる地盤条件を明確にした上で、グラウチング処理部および未処理部の透水性のばらつきが集中的な浸透の発生を引き起こす可能性についても考慮する必要がある。

平成 25 年度は、ダム基礎岩盤の透水性の空間的な相関が浸透特性に及ぼす影響の検討として、透水性の空間的な相関性を考慮した二次元定常浸透流解析および三次元非定常浸透流解析による検討を行った。

2. 空間的な相関を有する二次元定常浸透流解析による検討

2.1 解析モデル

カートングラウチングの深度方向の施工範囲の影響について、ロックフィルダムを対象に浸透流解析により検討した。解析モデルを図-2.1 に示す。解析モデルは、堤高 100m、貯水位 95m とした。基礎岩盤については、4m × 4m の正方形要素で分割した。

2.2 解析条件

コア、カートングラウチング、ブランケットグラウチングの透水係数はそれぞれ $1 \times 10^{-7} \text{m/s}$ 、 $2 \times 10^{-7} \text{m/s}$ 、 $5 \times 10^{-7} \text{m/s}$ の一定値とした。基礎岩盤の透水係数の統計的な分布形状とカートングラウチングの深度などの組み合わせは表-2.1 のように設定した。基礎岩盤の透水係数の統計的な分布形状については対数正規分布に従うものとし、常用対数での平均が-5 で、標準偏差は 0.3、0.6、1.2 の 3 ケース設定した。標準偏差が 1.2 の Case3-1-C0、Case3-2-C0、Case3-3-C0 のそれぞれのケースの透水係数の頻度分布を図-2.2 に示すが、ほぼ平均-5 標準偏差 1.2 の対数正規分布に従っている。基礎岩盤の透水係数の空間的な相関については、空間的な相関を考慮しない場合、空間的な相関を考慮しかつ等方的な相関を考慮する場合、空間的な相関を考慮しかつ異方的な相関を考慮する場合、の 3 ケースを想定した。等方的な相関を考慮

する場合には水平 (x) 方向と鉛直 (y) 方向の相関距離はともに 30m とし、異方的な相関を考慮する場合には x 方向の相関距離は 150m、y 方向の相関距離は 20m とした。図-2.3 に Case3-2-C0、Case3-3-C0 のバリオグラムを示すが、ほぼ設定した相関距離が得られている。なお、空間的な相関を考慮した場合の乱数の発生方法は、Sequential Gaussian Simulation®の方法を用いた。表-2.1 の中の Case3-1-C0、Case3-2-C0、Case3-3-C0 の透水係数の空間分布の一例をそれぞれ図-2.4 に示す。

グラウチングについては、グラウチングが未施工の場合、ブランケットグラウチングの深度が 12m でかつカートングラウチングの深度が 52m の場合、ブランケットグラウチングの深度が 12m でかつカートングラウチングの深度が 76m の場合、ブランケットグラウチングの深度が 12m でかつカートングラウチングの深度が 100m の場合、の 4 ケースを設定した。

表-2.1 の各ケースについてそれぞれ 100 回のモンテカルロシミュレーションを行い、結果の統計処理を行った。

2.3 解析結果

図-2.5 に、図-2.4 の透水係数分布の時の流速分布を示す。基礎岩盤の透水係数に空間的な相関があり、かつ異方的な相関がある場合に選択的な浸透が発生している。図-2.6 に、Case3-3-C0、Case3-3-C52、Case3-3-C100 の透水係数分布の一例を示す。また、図-2.7 に、図-2.6 の時の流速分布を示す。カートングラウチングの深度が深くなるにつれて、カートングラウチング施工部に対応する箇所の流速が小さくなっている。

標準偏差 $\sigma=1.2$ 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、カート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-4-8 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コレーション閾値 V_{pc0} に対する、カートングラウチングの施工深度を変化させた場合のパーコレーション閾値 V_{pc} の割合を図-2.9 に示す。また、参考のため、基礎岩盤の透水係数にばらつきがなく、基礎岩盤の透水係数の値とカートングラウチングの深度を変化させた時に、グラウチングが未施工の場合の浸透流量 Q_0 に対するカート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-2.10 に示し、グラウチングが未施工の場合のパーコレーション閾値 V_{pc0} に対するカートングラウチングの施工深度を変化させた場合のパーコレーション閾値 V_{pc} の割合を図-2.11 に示す。

図-2.8 および図-2.9 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-2.8 と図-2.10 を比較すると、Case3-3-C0 の Q_0 の最大値は、基礎岩盤の透水係数が $\mu + \sigma$ 一定値の時の Q_0 とほぼ一致する。また図-2.9 と図-2.11 を比較すると、Case3-3-C0 の V_{pc0} の最大値についても、基礎岩盤の透水係数が $\mu + \sigma$ 一定値の時の V_{pc0} とほぼ一致する。図-2.8 を見ると、カート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。この曲線は、図-2.10 を見ると、カートングラウチングの深度が 100m で、ばらつきがない基礎岩盤の透水係数を変化させた時の Q_{100}/Q_0 の曲線にほぼ等しくなっている。つまり、カートングラウチングの深度が深部の不透水境界まで達している時には、基礎岩盤の空間的なばらつきを考慮した浸透流量は、基礎岩盤の透水係数のばらつきがない時に透水係数の値を変化させた時の浸透流量の曲線に等し

表-2.1 解析ケース

#case	分布	標準偏差	空間的相関	カートングラウチング
Case1-1-C0	0.3	なし	なし	
Case1-2-C0	0.3	等方	なし	
Case1-3-C0	0.3	異方	なし	
Case1-1-C52	0.3	なし	あり(深度52m)	
Case1-2-C52	0.3	等方	あり(深度52m)	
Case1-3-C52	0.3	異方	あり(深度52m)	
Case1-1-C76	0.3	なし	あり(深度76m)	
Case1-2-C76	0.3	等方	あり(深度76m)	
Case1-3-C76	0.3	異方	あり(深度76m)	
Case1-1-C100	0.3	なし	あり(深度100m)	
Case1-2-C100	0.3	等方	あり(深度100m)	
Case1-3-C100	0.3	異方	あり(深度100m)	
Case2-1-C0	0.6	なし	なし	
Case2-2-C0	0.6	等方	なし	
Case2-3-C0	0.6	異方	なし	
Case2-1-C52	0.6	なし	あり(深度52m)	
Case2-2-C52	0.6	等方	あり(深度52m)	
Case2-3-C52	0.6	異方	あり(深度52m)	
Case2-1-C76	0.6	なし	あり(深度76m)	
Case2-2-C76	0.6	等方	あり(深度76m)	
Case2-3-C76	0.6	異方	あり(深度76m)	
Case2-1-C100	0.6	なし	あり(深度100m)	
Case2-2-C100	0.6	等方	あり(深度100m)	
Case2-3-C100	0.6	異方	あり(深度100m)	
Case3-1-C0	1.2	なし	なし	
Case3-2-C0	1.2	等方	なし	
Case3-3-C0	1.2	異方	なし	
Case3-1-C52	1.2	なし	あり(深度52m)	
Case3-2-C52	1.2	等方	あり(深度52m)	
Case3-3-C52	1.2	異方	あり(深度52m)	
Case3-1-C76	1.2	なし	あり(深度76m)	
Case3-2-C76	1.2	等方	あり(深度76m)	
Case3-3-C76	1.2	異方	あり(深度76m)	
Case3-1-C100	1.2	なし	あり(深度100m)	
Case3-2-C100	1.2	等方	あり(深度100m)	
Case3-3-C100	1.2	異方	あり(深度100m)	

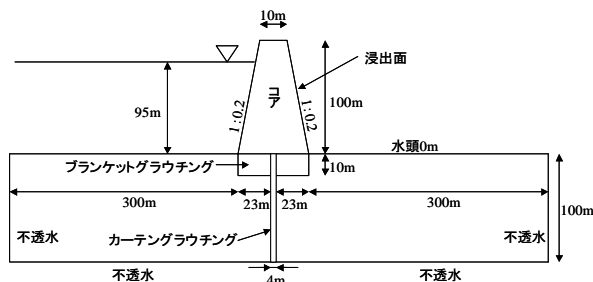


図-2.1 解析モデル

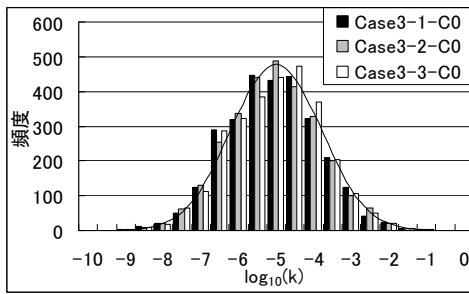


図-2.2 基礎岩盤の透水係数の頻度分布 (単位は m/s)

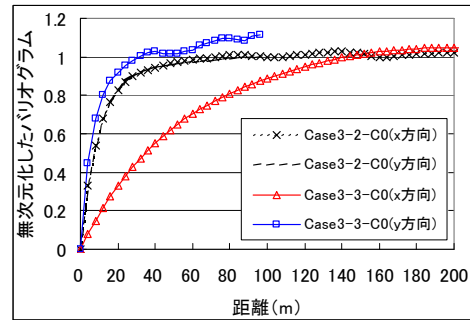
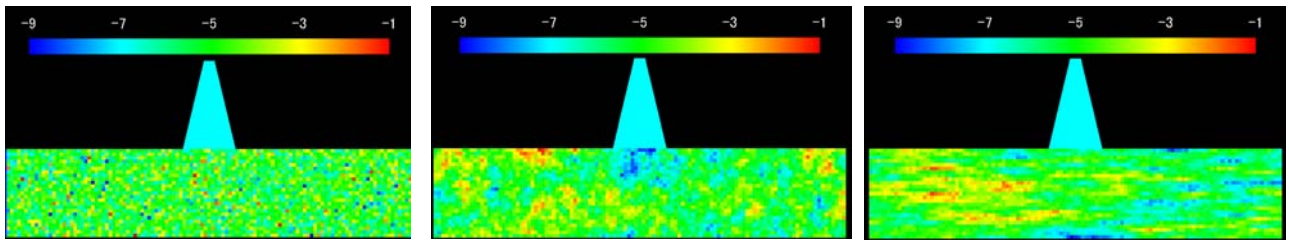


図-2.3 x方向とy方向のバリオグラム

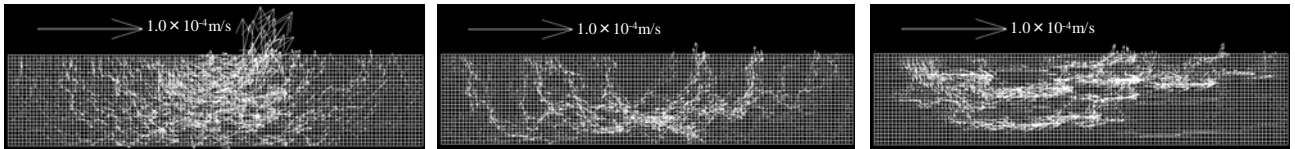


Case3-1-C0 の一例

Case3-2-C0 の一例

Case3-3-C0 の一例

図-2.4 乱数の発生方法の違いによる透水係数の空間分布 (常用対数表示)

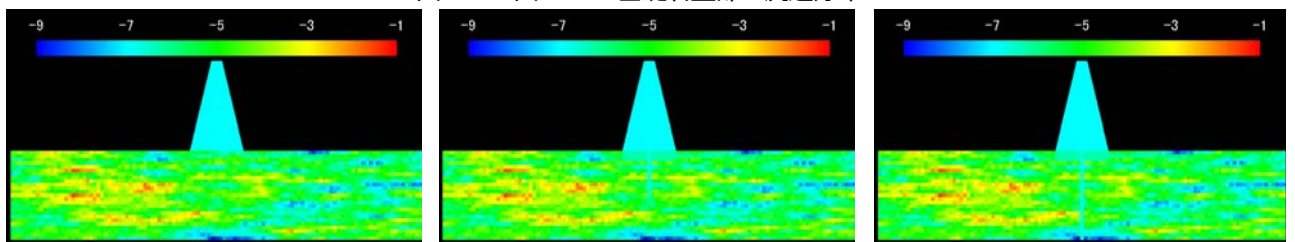


Case3-1-C0 の一例

Case3-2-C0 の一例

Case3-3-C0 の一例

図-2.5 図-2.4の基礎岩盤部の流速分布

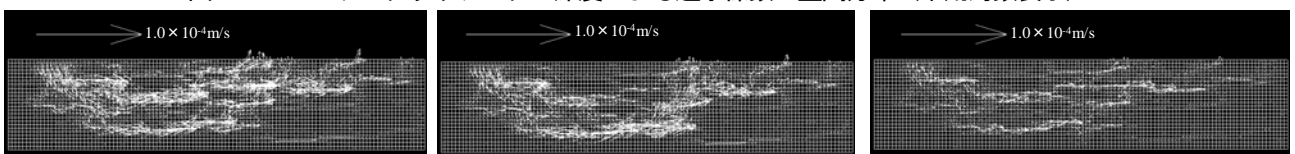


Case3-3-C0 の一例

Case3-3-C52 の一例

Case3-3-C100 の一例

図-2.6 カートングラウチングの深度による透水係数の空間分布 (常用対数表示)



Case3-3-C0 の一例

Case3-3-C52 の一例

Case3-3-C100 の一例

図-2.7 図-2.6の基礎岩盤部の流速分布

い。これはパーコレーション閾値についても同様である。カートングラウチングの深度が 52m および 76m の時の浸透流量 Q_{52} および Q_{76} の Q_0 に対する割合 Q_{52}/Q_0 および Q_{76}/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 および Q_{76}/Q_0 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、等方的な空間的相関を考慮した場合の Q_{52}/Q_0 および Q_{76}/Q_0 のばらつきが大きくなっている。そ

のため、カートングラウチングの深度があまり深くない場合には、基礎岩盤の透水係数の空間分布によっては、浸透流量が大きくなる可能性があるため、透水性の空間分布を考慮する必要がある。図-2.9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} および V_{pc76}/V_{pc0} が 1.0 よりも大きくなる場合がある。なお、図-2.10 と図-2.11を見ると、カートングラウチングの深度が 52m あるいは 76m の時、基礎岩盤の透水係数が大きくなると、 Q/Q_0

および V_{pc}/V_{pc0} の値は一定値に近づく。

2.4 二次元定常浸透流解析による検討のまとめ

二次元定常浸透流解析の結果によると、ダム基礎の透水係数に空間的な相関がある場合の浸透流量やパーコレーション閾値は大きくなる。カートングラウチングの施

工深度がダム基礎の浸透特性に及ぼす影響については、ダム基礎の透水性の空間分布、特にカートングラウチング未処理深度を通しての高透水部の連続性の影響が大きく、透水係数の空間分布を考慮してカートングラウチングの施工深度を決定する必要がある。

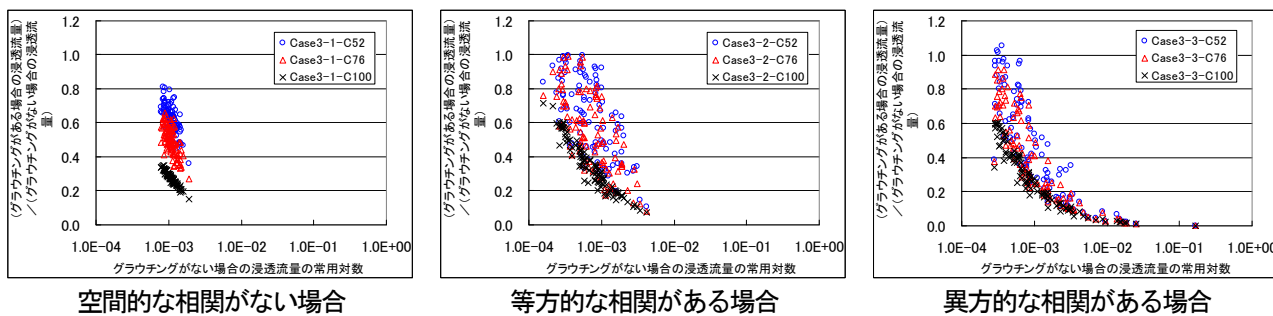


図-2.8 カートングラウチングの深度による浸透流量 Q の変化 ($\sigma=1.2$ の場合)

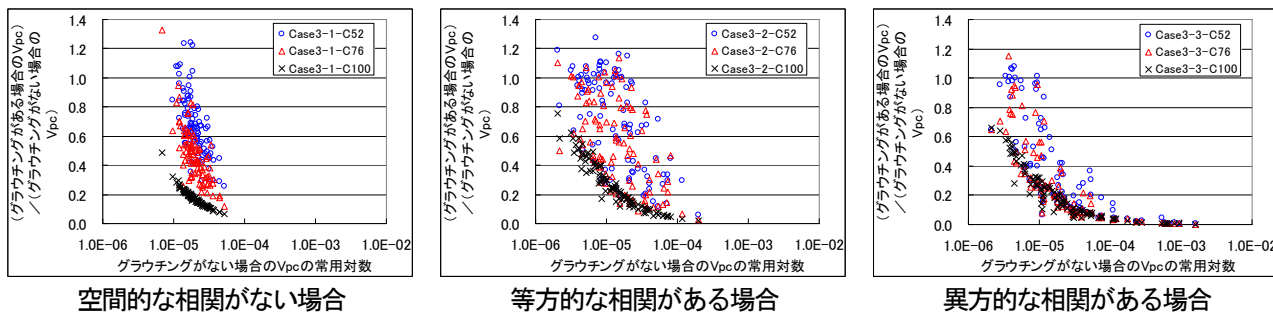


図-2.9 カートングラウチングの深度によるパーコレーション閾値 V_{pc} の変化 ($\sigma=1.2$ の場合)

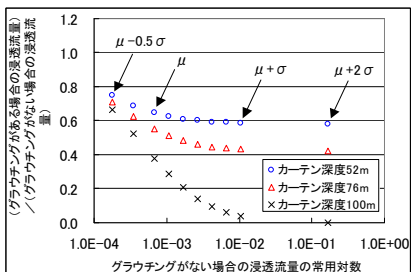


図-2.10 基礎岩盤の透水係数にばらつきがない場合の Q/Q_0 ($\mu=-5, \sigma=1.2$)

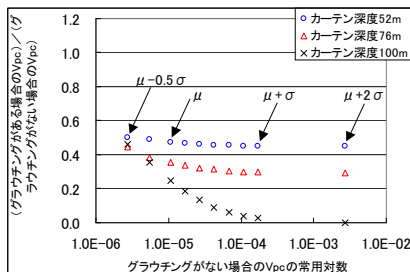


図-2.11 基礎岩盤の透水係数にばらつきがない場合の V_{pc}/V_{pc0} ($\mu=-5, \sigma=1.2$)

3. 空間的な相関を有する三次元透水係数場の作成

ダム基礎岩盤の透水性には、以下の2種類のばらつきが存在する。

① 統計的なばらつき

ダム基礎岩盤の透水性は対数正規分布に従うとされており、グラウチング施工前のパイロット孔のルジオン値は非超過確率図において直線となる場合が多い。ダム基礎グラウチングにおいては、非超過確率 85%程度で改良目標値以下となるように完了基準を設定し、統計的なばらつきを考慮している。

② 空間的なばらつき

ダム基礎岩盤の透水性は岩種、岩級などの地質特性に大きく依存する。一般的に、ダム基礎岩盤の透水性や地質状況は、ある場所に近ければ類似の性状を示すと考えられる。実際、ルジオンマップでは、高透水部が遍在することが多い。ダム基礎グラウチングにおいては、高透水部が連続しないように、完了基準や追加孔基準を設定し、空間的なばらつきを考慮している。

本研究が対象とする流水型ダムにおいては、常時満水位(NWL)が河床標高付近に存在し、NWLからサーチャージ水位(SWL)の間のアバットメント部の基礎地盤については洪水時に一時的に水浸するのみである。そのため、基礎浸透の非定常性を考慮することで、深部に存在する高透水部が卓越した水みちとならなければ、カートングラウチングの施工範囲を縮小することができる可能性がある。

そこで、ダム基礎岩盤の透水性の空間的な相関が浸透特性に及ぼす影響の検討を実施するために、本章では、透水性の空間的な相関を有する三次元透水係数場の作成について検討を行った。

3.1 空間的な相関を有する三次元透水係数場の作成方法

空間的な相関を有する透水係数場の発生方法としては、Sequential Gaussian Simulation (SGS。逐次ガウスシミュレーション)を用いた。

SGSでは、通常型クリギング(Ordinary kriging)を用いる。通常型クリギングでは、点 x_0 における値を、その近傍に存在する n 個の標本点 $x_\alpha (\alpha=1, \dots, n)$ のデータ値と重み係数 w_α を用いた線形結合によって推定する。その際重み係数の総和が1となるような制約条件を取ることとなり、式(1)のようになる。

$$\begin{cases} Z^*(x_0) = \sum_{\alpha=1}^n w_\alpha Z(x_\alpha) \\ \sum_{\alpha=1}^n w_\alpha = 1 \end{cases} \quad (1)$$

ここで推定分散は式(2)で与えられる。

$$\sigma_z^2 = -\gamma(x_0 - x_0) - \sum_{\alpha=1}^n \sum_{\beta=1}^n w_\alpha w_\beta \gamma(x_\alpha - x_\beta) + 2 \sum_{\alpha=1}^n w_\alpha \gamma(x_\alpha - x_0) \quad (2)$$

ここで $\gamma(h)$ はバリオグラムである。重み係数に関する制約条件のもとに推定分散を最小化すると、数式 3 に示すような通常型クリギング推定式を得る。

$$\begin{pmatrix} \gamma(x_1 - x_1) & \dots & \gamma(x_1 - x_n) & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma(x_n - x_1) & \dots & \gamma(x_n - x_n) & 1 \\ 0 & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \\ \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma(x_1 - x_0) \\ \vdots \\ \gamma(x_n - x_0) \end{pmatrix} \quad (3)$$

μ はラグランジュ乗数である。ここで行列式を実行することにより、通常型クリギング推定式を数式 4 のような形式に書き直すことができる。

$$\begin{cases} \sum_{\beta=1}^n w_\beta \gamma(x_\alpha - x_\beta) + \mu = \gamma(x_\alpha - x_0) \\ \sum_{\beta=1}^n w_\beta = 1 \end{cases} \quad (4)$$

これより、通常型クリギングの推定分散は式(5)で与えられる。

$$\sigma^2 = \mu - \gamma(x_0 - x_0) + \sum_{\alpha=1}^n w_\alpha \gamma(x_\alpha - x_0) \quad (5)$$

SGSでは、これらの式を用いて推定点における推定値と推定分散を算出する。推定点の値は正規分布に従うものとし、その正規分布には、算出された推定値と推定分散をそれぞれ用い、これに従う乱数を発生させて値を得る。

本研究では、参考文献¹⁾で公開されているソースコードを修正して、空間的な相関を考慮した透水係数場の生成を行った。本研究におけるSGSの概念図を図-3.1に示した。

SGSを行う際にはシミュレーション対象点の周囲にある点のデータを用いる。図-3.1(a)に示すように、シミュレーションの対象点を中心とした円の内部に存

在する点を用いることとし、その円の半径は相関距離と等しくなるように設定した。

ここで、シミュレーションにおける初期には、図-3.1 (b)に示すようにシミュレーション対象点の周囲にシミュレーション済みの点が存在しないことがある。このような場合はSGSを行うことができない。

そのため、図-3.1(c)に示すように基準データを使用する。この基準データとは、例えば観測値データなど値が確定しているデータである。本研究における基準データは、指定された統計量の正規分布に従って乱数を用いて発生させた。基準データの位置は、各ケースの相関距離と等しい間隔で発生させることとした。これは、シミュレーション対象点を中心とした円の内部に基準データが必ず含まれるようにするためである。

そして図-3.1(d)に示すようにシミュレーションにおける後半のシミュレーションでは、シミュレーション済みの要素中心点が円の中に十分存在する状況が起こる場合が多くなる。このような場合にはシミュレーション済みの要素中心点のデータを基準データより優先させて使用するよう設定した。

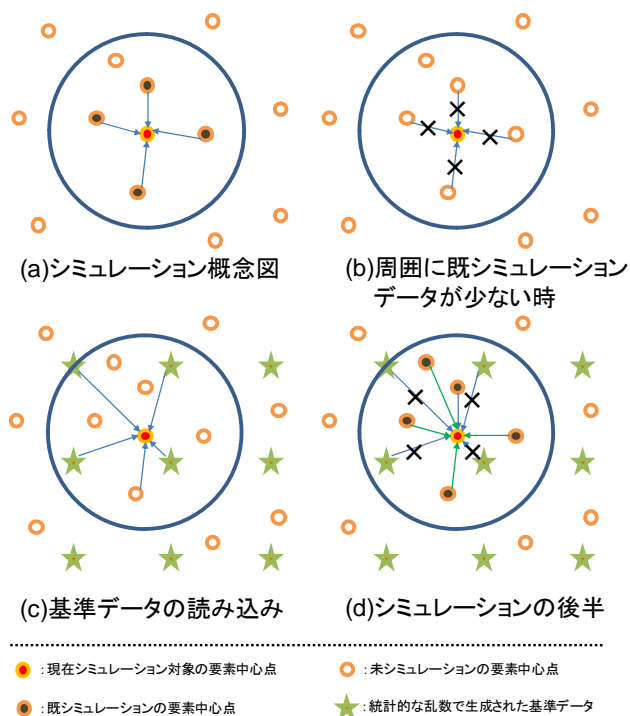


図-3.1 SGS の概念図

3.2 対象モデル

三次元透水係数場を作成した対象モデルを図-3.2 に示す。堤高 100m の重力式コンクリートダムの基礎岩盤をモデル化し、有限要素分割をしたモデルに対して、

透水係数場を作成した。図-3.2 のモデルの節点数は 389635、要素数は 383420 である。

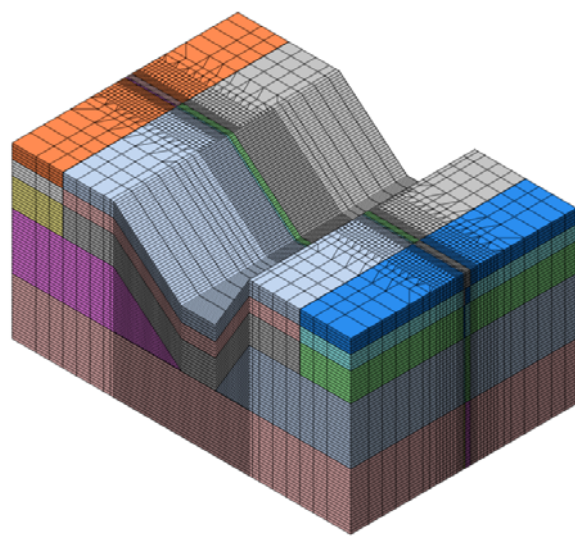


図-3.2 対象モデル

3.3 作成ケース

カートングラウチングのパイロット孔におけるルジオン値の空間的な相関距離の既往の研究成果をふまえて、三次元透水係数場の作成ケースは表-3.1 の 1 ケースとし、1000 個の透水係数場を作成した。

表-3.1 作成ケース

統計量(常用対数値)		バリオグラムモデル	相関距離(レンジ)[m]		
平均値	標準偏差		上下流方向(x)	ダム軸方向(y)	鉛直方向(z)
-6.58503	1	指数型	75	75	20
$\approx \log_e(2.6 \times 10^{-7})$					

3.4 作成結果

3.4.1 作成した透水場

図-3.3 に、xy 平面の透水係数分布の例を示す。また、図-3.4 に、xz 平面の透水係数分布の例を示す。

いずれのケースにおいても、透水性の空間的な相関性を良好に再現できている。

3.4.2 作成した透水場の統計量

図-3.5 に、case1 から case3 の透水係数の頻度分布を示す。いずれも、対数正規分布の理論値に良好に適合している。また、図-3.6 から図-3.8 に、各方向のバリオグラムを示す。いずれのケースについても、想定した相関距離が良好に再現されている。

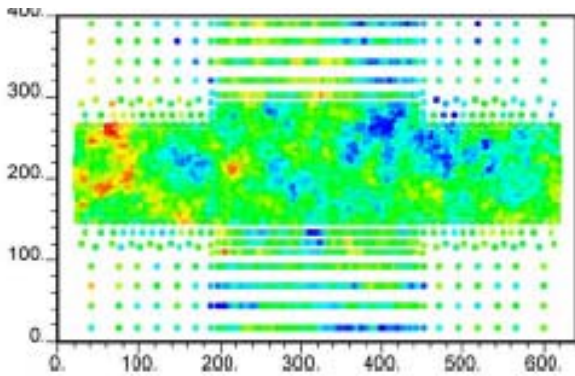
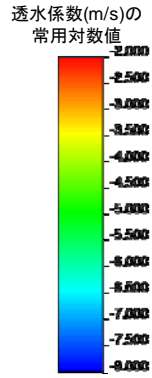


図-3.3 xy 平面の透水係数分布

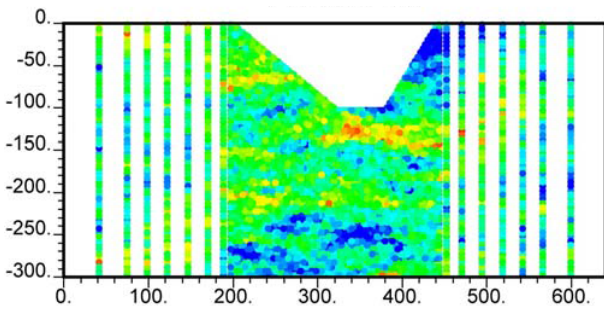


図-3.4 xz 平面の透水係数分布

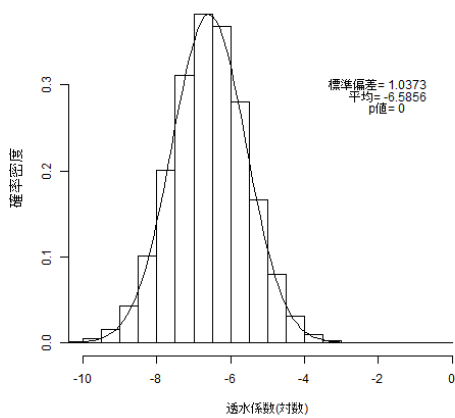


図-3.5 透水係数の頻度分布

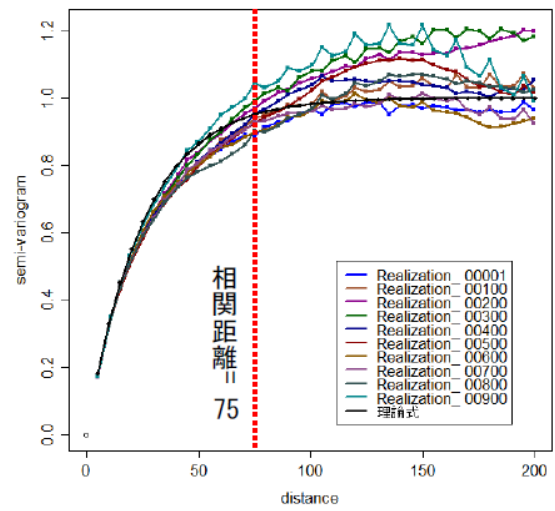


図-3.6 x 方向のバリオグラム

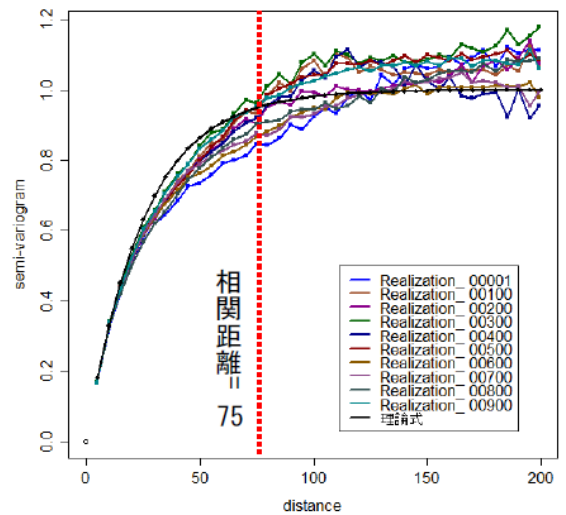


図-3.7 y 方向のバリオグラム

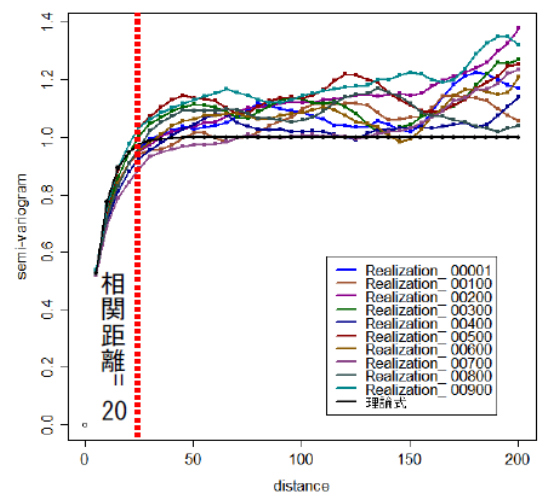


図-3.8 z 方向のバリオグラム

4. 三次元非定常浸透流解析

本検討においては、①前述した透水性の空間的な相関性を考慮したケース（以下、SGS モデル、という）、②空間的な透水性の相関は考慮せずランダムに透水係数のばらつきを発生させたケース（以下、random モデル、という）、の大きく 2 種類の透水係数場により検討を行った。また、(a)非定常解析、(b)定常解析、の 2 種類の水位条件により解析を行った。

本報告書では、本検討で得られた成果を記述する都合上、先に (a)非定常解析の検討結果を述べた後、(b)定常解析の検討結果を述べる。そのうえで、三次元浸透流解析にもとづく流水型ダムのカートングラウチングの合理化についての提案をまとめる。

4.1 三次元非定常浸透流解析の解析条件

解析モデルは、図-4.1（図-3.2 の再掲）に示す堤高 100m の重力式コンクリートダムの基礎岩盤モデルである。

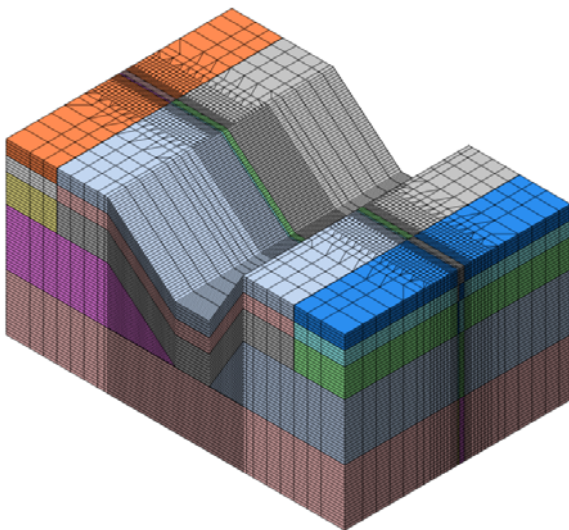


図-4.1 解析モデル（図-3.2 の再掲）

境界条件は、堤体着岩部は不透水境界、堤体より上流側の貯水池にあたる河床部およびアバット部は図-4.2 に示すような水位条件、堤体より下流側の河床部およびアバット部は浸出点境界条件とした。

図-4.2 に示した上流側の非定常水位条件は、初期条件 ($t=0$) の水位は河床高、 $t=43200$ 秒 ($=0.5$ 日) で最高水位 100m (天端と同じ高さ) となり、 $t=86400$ 秒 ($=1$ 日) で再び水位が河床高に戻り、その間の水位は直線的に変化するように設定した。なお、実際の洪水波形の時間と比較して時間的に短い可能性はあるが、水位の継続時間が長くなるほど解析に要する時間も比例的

に長くなるため、本検討においては図-4.2 の 1 日で洪水波形が終了する水位条件を設定した。

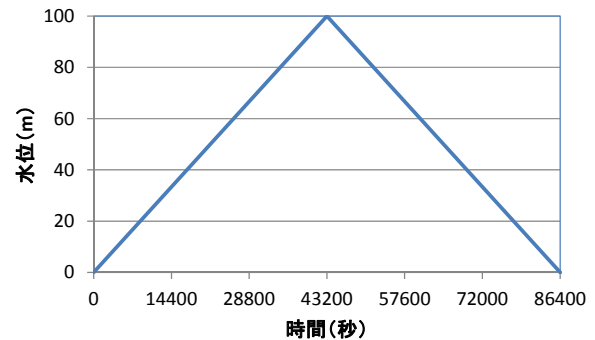


図-4.2 上流側の非定常水位条件

本検討の解析モデルは要素数が多く、また透水性の統計的・空間的なばらつきを考慮しているため、隣接する透水係数の差が大きい場合が多い。そのため、本計算の前にいくつかの不飽和浸透特性により解析の収束性を検討したうえで、不飽和浸透特性として図-4.3 に示す物性を用いた。

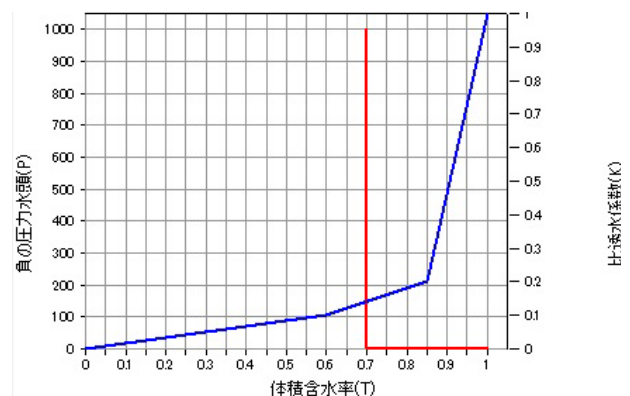


図-4.3 不飽和浸透特性

4.2 三次元非定常浸透流解析の解析ケース

前述のとおり、透水係数場には大きく 2 種類のケースを設定した。つまり、①透水性の空間的な相関性を考慮したケース (SGS モデル) と、②空間的な透水性の相関は考慮せずランダムに透水係数のばらつきを発生させたケース (random モデル)、の 2 種類である。SGS モデルの透水係数場に関するパラメータを表-4.1 に示す。random モデルについては、表-4.1 に示した SGS モデルの統計量の平均値と標準偏差を用いて乱数を発生させることにより、random モデルの三次元透水係数場を作成した。

カートングラウチングおよびコンソリデーション

ラウチングの施工範囲と透水係数の設定に関しては、以下の3種類のケースを設定した。

- (1) カートングラウチングとコンソリデーショングラウチングを施工していないケース。
- (2) カートングラウチングについては、図-4.4に示す断面図において、①の範囲：2Lu、②の範囲：5Lu、③の範囲：10Luと、近年の重力式コンクリートダムで比較的多い施工範囲と改良目標値に設定したケース。コンソリデーショングラウチングの施工範囲は河床部とアバット部の図-4.5に示す領域を施工範囲とし、改良目標値5Luに設定した。
- (3) 図-4.4に示す断面図において、①の範囲：2Lu、②の範囲：5Luと、(2)のケースにおいて図-4.4の深部の③の範囲のカートングラウチングを施工していないように設定したケース。コンソリデーショングラウチングの施工範囲と改良目標値は(2)のケースと同じに設定した。

また、(2)のケースにおいては、右岸リム部のカートングラウチングの施工範囲を延長したケースの検討も実施したが、後述する解析結果の考察で詳述する。

なお、本検討においては、透水性が等方均質の岩盤の場合に一般的に用いられる、 $1Lu=1.3 \times 10^{-7}$ (m/s) でルジオン値から透水係数に変換した。

表-4.1 SGSモデルの解析ケースの透水係数に関するパラメータ (表-3.1の再掲)

統計量(常用対数値)		パリオグラ ムモデル	相関距離(レンジ)[m]		
平均値	標準偏差		上下流方向(x)	ダム軸方向(y)	鉛直方向(z)
-6.58503	1	指数型	75	75	20
$\approx \log_{10}(2.6 \times 10^{-7})$					

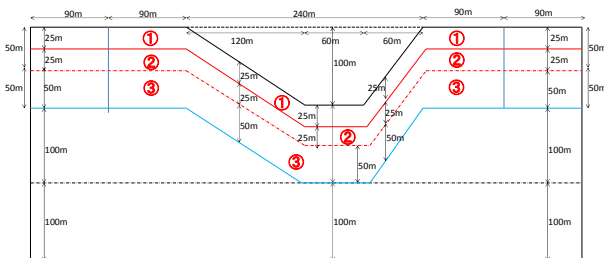


図-4.4 カートングラウチングの施工範囲の断面図

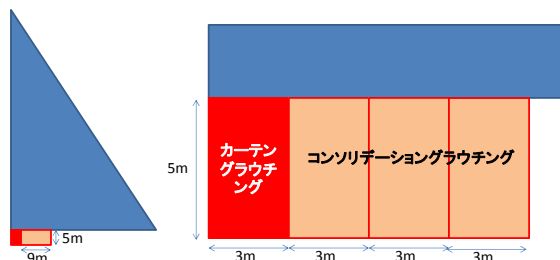


図-4.5 コンソリデーショングラウチングの施工範囲

4.3 三次元非定常浸透流解析の解析結果

(1) 圧力水頭の観点からの考察

SGSモデルのカートングラウチングがない1ケースの、 $t=43200$ 秒時の最高水位時の圧力水頭分布の一例を図-4.6と図-4.7に、同じケースの $t=86400$ 秒時の最低水位時の圧力水頭分布を図-4.8と図-4.9に示す。

図-4.6から図-4.9に示したSGSのカートングラウチングがないケースは、透水係数の最大値は10の-3乗(m/s)のオーダーであり、等方均質岩盤における透水係数とルジオン値の変換式 $1Lu=1.3 \times 10^{-7}$ (m/s)を単純に適用すると、図-4.6から図-4.9におけるルジオン値の最大値は10000Lu程度となっている。このようなダム基礎の透水性としては通常ありえない大きなルジオン値、かつカートングラウチングがないケースにおいても、図-4.6から図-4.9に示す圧力水頭分布に示すように、本検討の水位条件においては、モデル岩盤内において圧力水頭が上昇する箇所は、比較的浅部に限定されている。

本検討で行った浸透流解析は、ダルシー則を適用可能な連続体を前提としており、開口亀裂による水みちが上下流に卓越するような状況は適切には再現できない。そのため、開口亀裂による水みちが上下流に卓越しダルシー則が適用できないようなダム基礎においては、開口亀裂による水みちを再現可能な解析手法を用いた検討を行うか、ダルシー則や連続体の前提が適用可能となるようにカートングラウチングによる処理を実施したうえで流水型ダムにおけるカートングラウチングの合理化の検討を行うべきと考えられる。

一方、図-4.6から図-4.9に示したように、連続体等の前提条件はあるものの、本検討における解析条件においても、透水係数の空間分布によっては、 $H/4$ から $H/2$ 程度の深度においても圧力水頭が上昇しているケースもあり、流水型ダムにおいても河床-アバット部-リム部の浅部から中深度においては、貯水ダムと同様にカートングラウチングを注意深く実施する必要性があることが示唆されているものと考えられる。

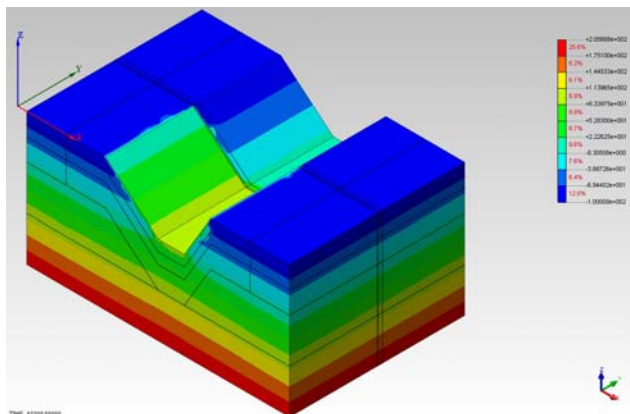


図-4.6 t=43200 秒（最高水位時）の圧力水頭分布の一例

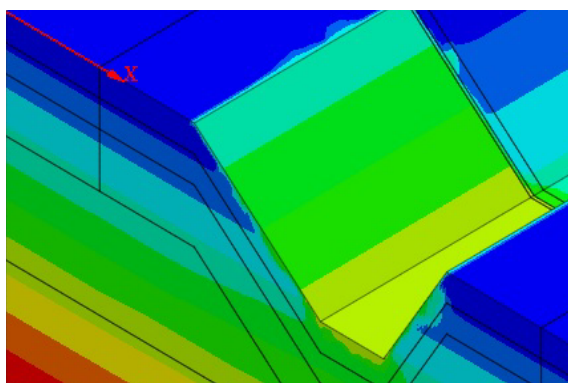


図-4.7 t=43200 秒（最高水位時）の圧力水頭分布の一例（拡大図）

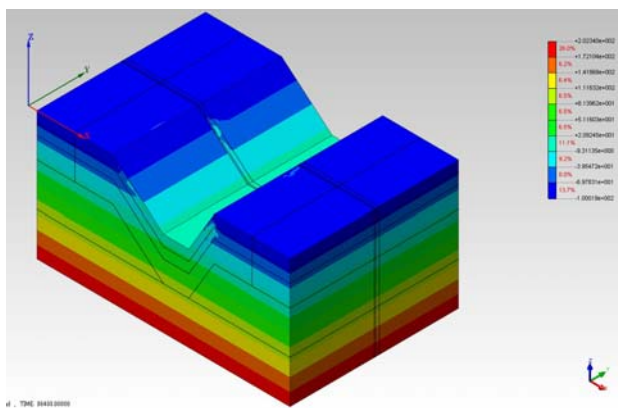


図-4.8 t=86400 秒の圧力水頭分布の一例

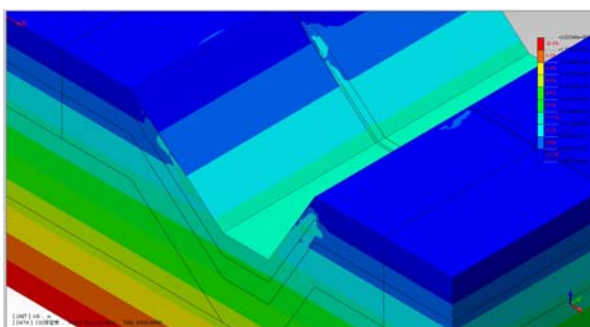


図-4.9 t=86400 秒の圧力水頭分布の一例（拡大図）

(2) 流速の観点からの考察

本検討では、流水型ダムのカートングラウチングの合理化として想定される、次の2項目について、流速の観点から検討を行った。

- (a) H/2 より深部のカートングラウチングを省略したケース
- (b) リム部のカートングラウチングの施工範囲を変化させたケース

なお、以下の検討においては、流速とは浸透流解析により得られた要素の流速の値、いわゆる見かけの流速を意味しており、岩盤の間隙率を考慮した実流速ではない。

(a) H/2 より深部のカートングラウチングを省略したケース

本研究において過去に調査した近年の重力式コンクリートダムのカートングラウチングの改良目標値の実績では、図-4.10 に示した模式図のように、深度ごとに改良目標値を設定している事例が多く、①着岩部～H/4 まで：2Lu、②H/4～H/2：5Lu、③H/2～H：10Lu、と改良目標値を設定している事例が比較的多い。

本検討では、図-4.11 に示した模式図のように、深部の H/2～H までのカートングラウチングを省略したケースを比較ケースとして、深部のカートングラウチングによる影響を流速の観点から検討した。

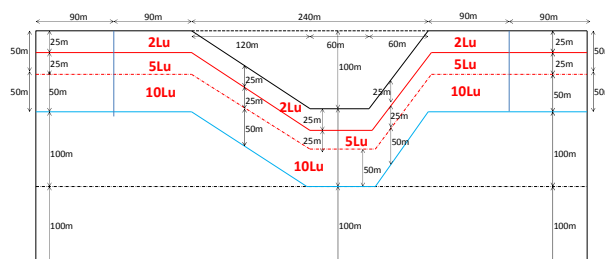


図-4.10 深部 (H/2 以深) のカートングラウチングの改良目標値が 10Lu のケースのモデルの模式断面図

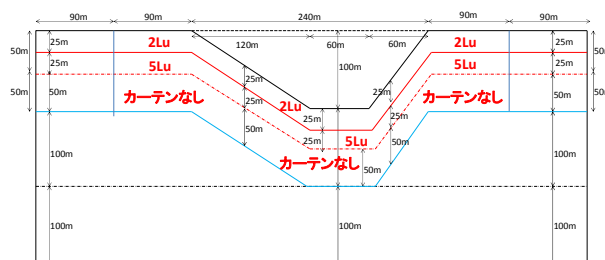


図-4.11 深部 (H/2 以深) のカートングラウチングを省略したケースのモデルの模式断面図

図-4.12 に、SGS モデルの要素番号と流速の倍率の一例を示す。ここで、図-4.12 の y 軸の倍率とは、(図-4.11 の深部のカートングラウチングを省略したケースの要素流速) / (図-4.10 の深部のカートングラウチングの改良目標値を 10Lu に設定したケースの要素流速)、の値である。同様に、SGS モデルの解析結果について、x 軸：図-4.10 の深部のカートングラウチングの改良目標値を 10Lu に設定したケースの要素流速、y 軸：上記の倍率、を示した結果を図-4.13 に示す。

同様に、random モデルの解析結果について、図-4.14 に要素番号と要素流速の倍率を示す。また、図-4.15 に、x 軸：図-4.10 の深部のカートングラウチングの改良目標値を 10Lu に設定したケースの要素流速、y 軸：上記の倍率、の結果を示す。

図-4.12 を見ると、SGS モデルで深部のカートングラウチングを省略することにより、流速が大きくなっている要素がいくつか見られ、最大で 1800 倍程度要素流速が大きくなっている。詳細に調べたところ、カートングラウチングを省略した深部の要素で流速が大きくなっていた。一方、図-4.13 を見ると、比較的要素流速が大きい 10^{-5} 乗 (m/s) オーダー程度以上の要素流速は深部のカートングラウチングの有無に関わらずほとんど変化はなく、深部のカートングラウチングを 10Lu に設定したケースの要素流速が 10^{-9} 乗 (m/s) オーダー程度とかなり小さい要素流速がカートングラウチングを省略したことにより大きくなっていることがわかる。

同様に、図-4.14 を見ると、random モデルで深部のカートングラウチングを省略することにより、流速が大きくなっている要素がいくつか見られ、最大で 450 倍程度要素流速が大きくなっている。詳細に調べたところ、SGS モデルと同様に、カートングラウチングを省略した深部の要素で流速が大きくなっていた。一方、図-4.15 を見ると、比較的要素流速が大きい 10^{-5} 乗 (m/s) オーダー程度以上の要素流速は深部のカートングラウチングの有無に関わらずほとんど変化はなく、深部のカートングラウチングを 10Lu に設定したケースの要素流速が 10^{-9} 乗 (m/s) オーダー程度とかなり小さい要素流速がカートングラウチングを省略したことにより大きくなっていることがわかる。

また、SGS モデルの要素流速の結果と、random モデルの要素流速の結果を比較すると、SGS モデルの方が、深部のカートングラウチングを省略することによる影響が大きくなっている。これは、SGS モデルでは透水性の空間的な相関性を考慮しており、モデル岩盤内に

おける上下流方向の高透水部の連続性がモデル化できているが、random モデルにおいては高透水部の上下流方向の連続性はモデル化できないため、SGS モデルの方が深部のカートングラウチングを省略したことによる影響が出やすいためと考えられる。

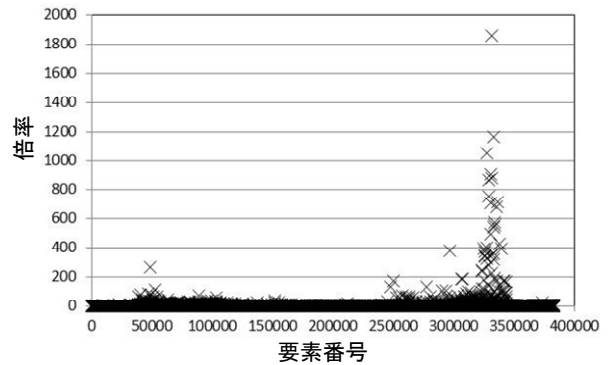


図-4.12 SGS モデルにおける要素番号と要素流速の倍率の一例

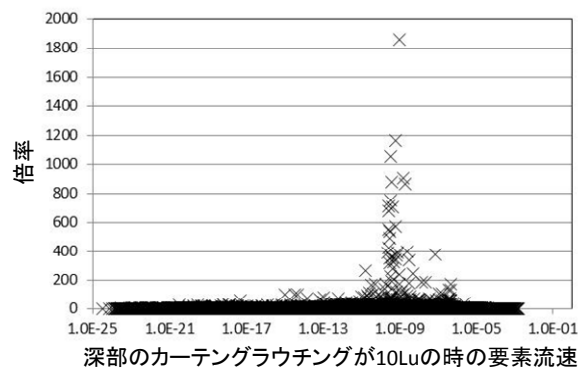


図-4.13 SGS モデルにおける要素流速とその倍率の一例

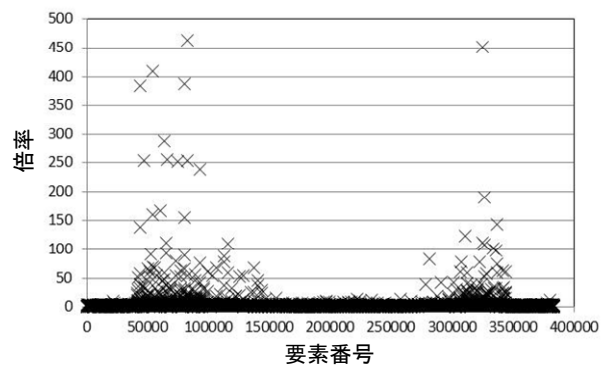


図-4.14 random モデルにおける要素番号と要素流速の倍率の一例

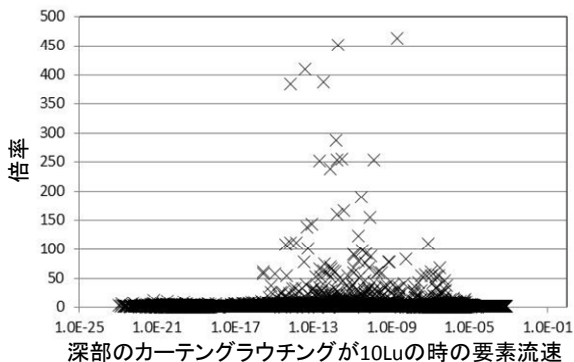


図-4.15 random モデルにおける要素流速とその倍率の一例

(b) リム部のカーテングラウチングの施工範囲を変化させたケース

本検討では、図-4.16 に示したようなリム部のカーテングラウチングをダム高程度施工したケースと、図-4.17 に示した模式図のように、右岸側のリム部のカーテングラウチングの施工範囲を延長したケースを比較ケースとして、リム部のカーテングラウチングの施工範囲による影響を流速の観点から検討した。

なお、(a)の深部のカーテングラウチングを省略したケースにおいて、SGS モデルの方が random モデルよりもリム部のカーテングラウチングの影響が出やすいと考えられるため、ここでは SGS モデルのみを対象として解析を実施した。

図-4.18 に、SGS モデルの要素番号と流速の倍率の一例を示す。ここで、図-4.18 の y 軸の倍率とは、(図-4.17 のリム部のカーテングラウチングを延長したケースの要素流速) / (図-4.16 のリム部のカーテングラウチングがダム高程度のケースの要素流速)、の値である。同様に、SGS モデルの解析結果について、x 軸：図-4.16 のリム部のカーテングラウチングがダム高程度のケースの要素流速、y 軸：上記の倍率、を示したものを図-4.19 に示す。

図-4.18 を見ると、リム部のカーテングラウチングの施工範囲を延長することにより、要素番号 35 万あたりの流速が最大で 16 倍程度に増加している。しかし、図-4.19 を見ると、元々（リム部のカーテングラウチングの施工範囲がダム高程度）の要素流速が 10 の -17 乗 (m/s) オーダー程度と非常に小さい値であり、10 の -5 乗 (m/s) 程度の比較的大きな要素流速はほとんど変化がない。従って、本検討の条件においては、リム部の施工範囲をダム高程度から延長したことによる流速面への影響はほとんどないと考えられる。

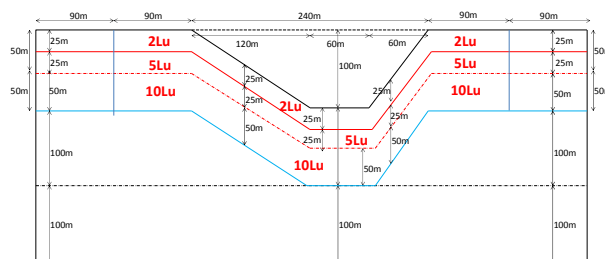


図-4.16 リム部のカーテングラウチングの施工範囲がダム高程度のモデルの模式断面図 (図-4.10 の再掲)

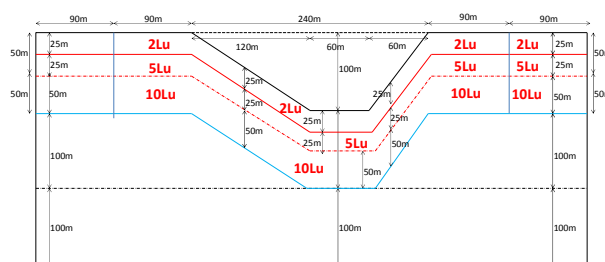


図-4.17 右岸側のリム部のカーテングラウチングの施工範囲を延長したモデルの模式断面図

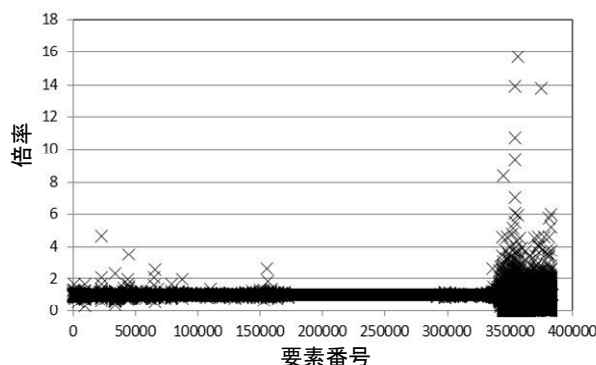


図-4.18 SGS モデルにおける要素番号と要素流速の倍率の一例

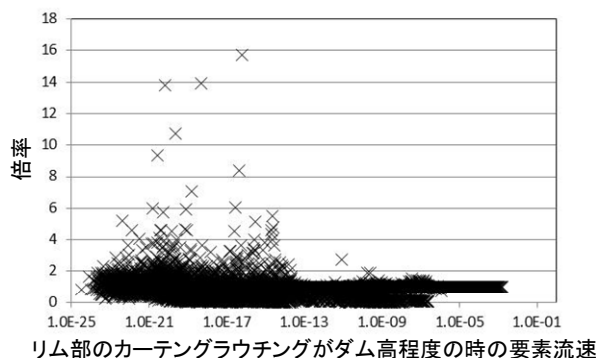


図-4.19 SGS モデルにおける要素流速とその倍率の一例

5. 三次元定常浸透流解析

4章において、三次元非定常浸透流解析の解析結果を分析した結果、ダルシー則を前提とする一般的な浸透流解析では、1日程度の水位上昇・水位低下では、通常のダム基礎岩盤では想定されないような非常に大きな透水係数をモデル化したケースにおいても、水位の変化の影響はダム基礎岩盤の浅部～中深度に限定されることがわかった。

現在のところ、流水型ダムについても、貯水ダムと同様に、最終的なダムの堤体および基礎地盤の安全性は、試験湛水により評価することになっている。

また、当初は流水型ダムとして建設されたダムが、将来的に貯水ダムとして活用されるケースも想定される。

そのため、本章では、4章で用いた三次元解析モデルを用いて、水位がダム高と同じ定常条件で、三次元定常浸透流解析を実施した。その際、以下の2種類のケースについて検討を行った。

- (a) H/2 より深部のカートングラウチングを省略したケース
- (b) リム部のカートングラウチングの施工範囲を変化させたケース

5.1 三次元定常浸透流解析の解析条件

水位条件は、ダム高と同じとした。

4章と同様に、透水係数場には大きく2種類のケースを設定した。つまり、①透水性の空間的な相関性を考慮したケース (SGS モデル) と、②空間的な透水性の相関は考慮せずランダムに透水係数のばらつきを発生させたケース (random モデル)、の2種類である。なお、SGS モデルおよび random モデルの三次元透水係数の分布は、4章と同じものを使用した。

その他、境界条件や不飽和浸透特性は、4章と同じ設定を使用した。

(a) H/2 より深部のカートングラウチングを省略したケース

図-5.1 と図-5.2 に、カートングラウチングの施工範囲と改良目標値の模式図を示す。図-5.1 は図-4.10 と同じであり、図-5.2 は図-4.11 と同じであるため、詳細条件は4章を参照されたい。

図-5.3 に、SGS モデルの要素番号と流速の倍率の一例を示す。ここで、図-5.3 の y 軸の倍率とは、(図-5.2 の深部のカートングラウチングを省略したケースの要素流速) / (図-5.1 の深部のカートングラウチングの

改良目標値を 10Lu に設定したケースの要素流速)、の値である。同様に、SGS モデルの解析結果について、x 軸：図-5.1 の深部のカートングラウチングの改良目標値を 10Lu に設定したケースの要素流速、y 軸：上記の倍率、を示した結果を図-5.4 に示す。

同様に、random モデルの解析結果について、図-5.5 に要素番号と要素流速の倍率を示す。また、図-5.6 に、x 軸：図-5.1 の深部のカートングラウチングの改良目標値を 10Lu に設定したケースの要素流速、y 軸：上記の倍率、の結果を示す。

図-5.3 を見ると、SGS モデルで深部のカートングラウチングを省略することにより、流速が大きくなっている要素がいくつか見られ、最大で 160 倍程度要素流速が大きくなっている。詳細に調べたところ、カートングラウチングを省略した深部の要素で流速が大きくなっていた。図-5.4 を見ると、比較的要素流速が大きい 10 の-5 乗 (m/s) オーダー程度以上の要素流速は深部のカートングラウチングの有無に関わらずほとんど変化はないものに、深部のカートングラウチングを 10Lu に設定したケースの要素流速が 10 の-6 乗 (m/s) オーダー程度の要素流速がカートングラウチングを省略したことにより 2 オーダー大きくなった要素があることがわかる。つまり、SGS モデルでは、深部のカートングラウチングを省略することにより、その箇所の要素流速が最大で 10 の-4 乗 (m/s) 程度になる場合があることから、カートングラウチングを省略する深部に高透水部がある場合には注意が必要であることがわかる。

同様に、図-5.5 を見ると、random モデルで深部のカートングラウチングを省略することにより、要素流速が 10 倍程度に大きくなっている要素が散見される。一方、図-5.6 を見ると、比較的要素流速が大きい 10 の-5 乗 (m/s) オーダー程度以上の要素流速は深部のカートングラウチングの有無に関わらずほとんど変化はなく、深部のカートングラウチングを 10Lu に設定したケースの要素流速が 10 の-6 乗 (m/s) オーダー程度の要素流速が、カートングラウチングを省略したことにより 10 倍程度に大きくなっている要素が散見される。つまり、random モデルでは、深部のカートングラウチングを省略することにより、その箇所の要素流速が最大で 10 の-5 乗 (m/s) 程度になる場合があることがわかる。

このように、SGS モデルの要素流速の結果と、random モデルの要素流速の結果を比較すると、SGS モデルの方が、深部のカートングラウチングを省略することに

よる影響が、要素流速で1オーダー程度大きく変化している。これは、4章での非定常結果の考察で前述したとおり、SGSモデルでは透水性の空間的な相関性を考慮しており、モデル岩盤内における上下流方向の高透水部の連続性がモデル化できているが、randomモデルにおいては高透水部の上下流方向の連続性はモデル化できないため、SGSモデルの方が深部のカートングラウチングを省略したことによる影響が出やすいと考えられる。

SGSモデルでは、深部のカートングラウチングを省略した場合の当該箇所の要素流速の最大値は10の-4乗(m/s)オーダーとなり、実流速では10の-3乗(m/s)オーダーになる可能性が想定される。SGSモデルのような高透水部が連続するケースは実際のダム基礎岩盤においてもありうるケースであり、前述のように試験湛水や将来的な貯水ダムへの変更を考えれば、流水型ダムの深部のカートングラウチングの省略・施工範囲の変更・改良目標値の変更などについては、SGSモデルのような透水性の空間的な相関を考慮したうえで検討すべきと考えられる。

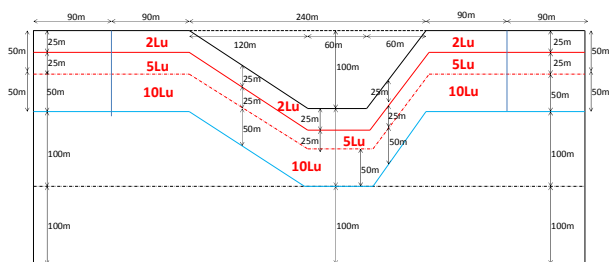


図-5.1 深部(H/2以深)のカートングラウチングの改良目標値が10Luのケースのモデルの模式断面図(図-4.10の再掲)

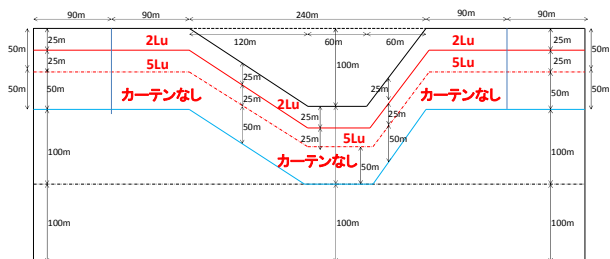


図-5.2 深部(H/2以深)のカートングラウチングを省略したケースのモデルの模式断面図(図-4.11の再掲)

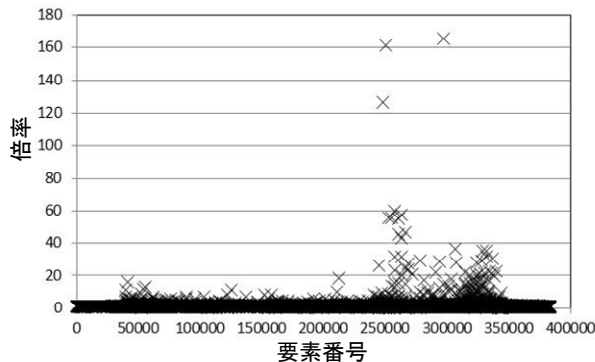


図-5.3 SGSモデルにおける要素番号と要素流速の倍率の一例

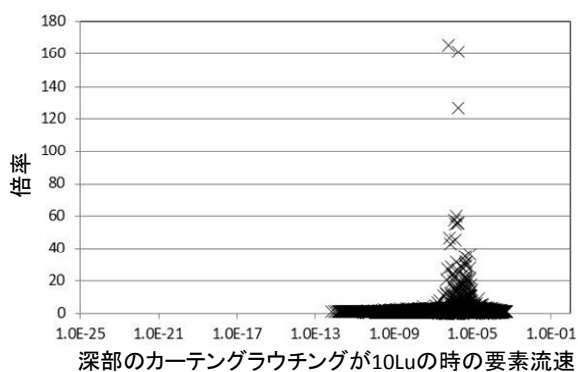


図-5.4 SGSモデルにおける要素流速とその倍率の一例

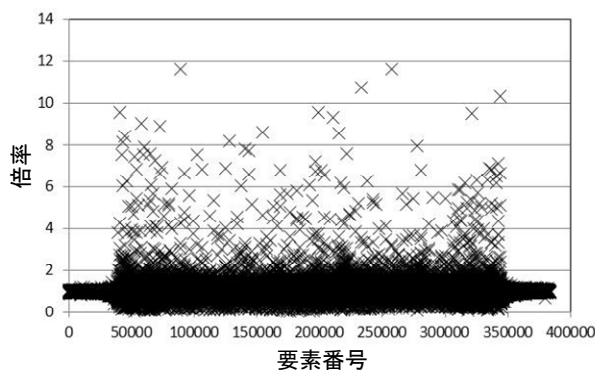


図-5.5 randomモデルにおける要素番号と要素流速の倍率の一例

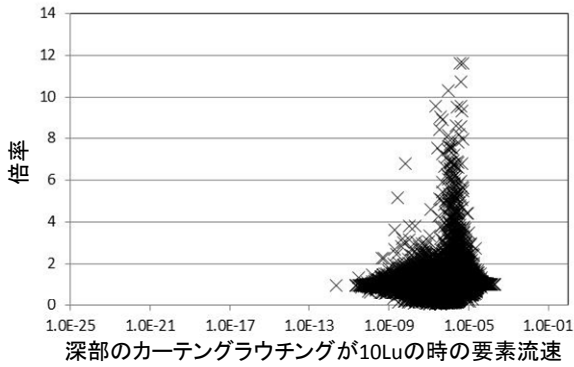


図-5.6 random モデルにおける要素流速とその倍率の一例

(b) リム部のカートングラウチングの施工範囲を変化させたケース

本検討では、図-5.8 に示した模式図のように、右岸側のリム部のカートングラウチングの施工範囲を延長したケースを比較ケースとして、リム部のカートングラウチングの施工範囲による影響を、三次元定常浸透流解析結果の流速の観点から検討した。

なお、(a)の深部のカートングラウチングを省略したケースにおいて、SGS モデルの方が random モデルよりもリム部のカートングラウチングの影響が出やすいと考えられるため、ここでは SGS モデルのみを対象として解析を実施した。

図-5.9 に、SGS モデルの要素番号と流速の倍率の一例を示す。ここで、図-5.9 の y 軸の倍率とは、(図-5.8 のリム部のカートングラウチングを延長したケースの要素流速) / (図-5.7 のリム部のカートングラウチングがダム高程度のケースの要素流速)、の値である。同様に、SGS モデルの解析結果について、x 軸：図-5.7 のリム部のカートングラウチングがダム高程度のケースの要素流速、y 軸：上記の倍率、を示したものを図-5.10 に示す。

図-5.9 を見ると、リム部のカートングラウチングの施工範囲を延長することにより、要素番号 35 万番以降の要素流速が最大で 7 倍程度に増加している。図-5.10 を見ると、元々（リム部のカートングラウチングの施工範囲がダム高程度）の要素流速が 10 の-7 乗 (m/s) オーダー程度の要素流速が 7 倍程度に増加しており、10 の-5 乗 (m/s) 程度の比較的大きな要素流速はほとんど変化がない。

従って、本検討の解析条件においては、リム部の施工範囲をダム高程度から延長したことによる流速面への影響はほとんどないと考えられる。

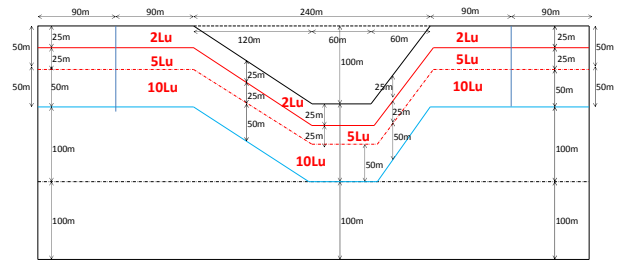


図-5.7 リム部のカートングラウチングの施工範囲がダム高程度のモデルの模式断面図 (図-4.16 の再掲)

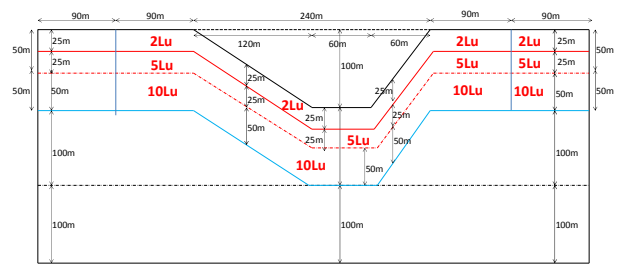


図-5.8 右岸側のリム部のカートングラウチングの施工範囲を延長したモデルの模式断面図 (図-4.17 の再掲)

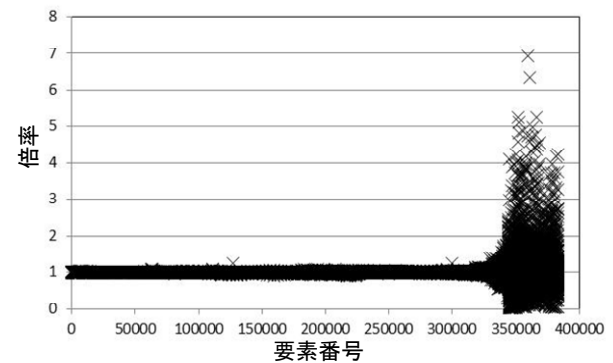


図-5.9 SGS モデルにおける要素番号と要素流速の倍率の一例

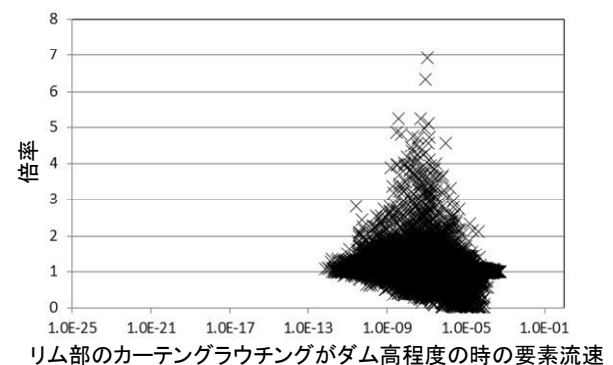


図-5.10 SGS モデルにおける要素流速とその倍率の一例

6. まとめ

平成 25 年度は、ダム基礎岩盤の透水性の空間的な相関が浸透特性に及ぼす影響の検討として、透水性の空間的な相関性を考慮した二次元定常浸透流解析および三次元非定常・定常浸透流解析による検討を行った。

以下に、本年度の成果も含めた、本研究課題により得られた成果をまとめるとともに、本研究課題の成果をもとにした流水型ダムのカートングラウチングの合理化を提案する。

- (1) 本研究による調査により、平成 15 年のグラウチング技術指針の改訂後に試験湛水を実施したダムにおいては、大きく分けて計画変更と仕様変更によりカートングラウチングの合理化が実施されていることがわかった。これらの合理化内容を整理し、流水型ダムに積極的に活用することで、流水型ダムのカートングラウチングの合理化をかなり図ることが可能になると考えられる。
- (2) 過年度で調査した 78 ダムのうち、試験湛水時に漏水量が比較的多かったダムは 8 ダムと、調査対象ダムの約 1 割程度であった。この 8 ダムのうち 7 ダムは花崗岩を基礎岩盤としているダムであった。これらのダムについて、漏水の要因となる可能性がある項目について詳細調査を行ったところ、特にグラウチングにより透水性の改良が困難と考えられる浅部の花崗岩の開口低角度割れ目や、マサを挟在する高角度割れ目などが要因である可能性が高いことがわかった。
- (3) 既設ダムのカートングラウチングの合理化項目から、流水型ダムの特徴をふまえたうえで、流水型ダムのカートングラウチングにも適用可能と考えられる合理化内容について整理した。流水型ダムのカートングラウチングの合理化を考えるにあたっては、現状では試験湛水により堤体および基礎地盤などの安全性を確認する必要があることから、貯水ダムと同様、基本的にはダム基礎岩盤の水理地質構造などを踏まえてダムの安全性を確保する必要があることに留意する必要がある。
- (4) 空間的な相関を有する透水係数場を発生させたうえで、ダム基礎の透水性の空間的な相関が浸透特性に及ぼす影響を検討するため、二次元定常および三次元非定常・定常の浸透流解析による検討を行った。その結果、空間的な相関を有する透水係数場による検討が流水型ダムのカートングラウチングの合理化を検討するうえで重要であることがわかった。三次元非定常浸透流解析による圧力水頭の上

昇箇所 の考察からは、流水型ダムにおいても河床部・アバット部・リム部の基礎岩盤浅部～中深度においては非定常水位の影響を受けることがわかり、その箇所においては貯水ダムと同様なカートングラウチングの施工が必要であると考えられる。

- (5) 空間的な相関を有する透水係数場における三次元定常浸透流解析の結果では、H/2 以深の深部においても、流水型ダムのカートングラウチングの合理化の検討は慎重に行うべきと考えられる。一方、リム部のカートングラウチングの施工範囲については、本研究の解析条件においては、ダム高程度よりも離れたリム部のカートングラウチングを延長したことによる要素流速に影響は小さかったことから、貯水池からの高透水路の連続性を検討したうえで、流水型ダムのカートングラウチングの合理化検討の可能性があるものと考えられる。
- (6) 開口亀裂による連続した水みちが卓越する基礎岩盤については、本研究で実施した浸透流解析の前提条件が適用できないこともあり、亀裂の地下水流を再現可能な別の手法等により合理化の検討を行うか、基本的には基礎岩盤の安全性の観点から貯水ダムと同様に水みちとなる箇所を確実にカートングラウチングにより透水性を改良する必要があると考えられる。

カートングラウチングの設計・施工を考える上で、流水型ダムの特徴としては以下の項目が考えられる。

①通常の貯水位は低い

流水型ダムは通常は水を貯めないため、通常の貯水位である常時満水位は河床標高付近にある。

②貯水時は非定常性が強い

流水型ダムは通常は水を貯めないが、洪水時には貯水位の上昇・下降速度が速く、非定常性が強い。

③リム部およびアバット部は通常は貯水の影響を受けない

以上の流水型ダムの特徴において、本研究課題により実施した既設ダムの事例調査および浸透流解析結果をふまえたうえで、流水型ダムのカートングラウチングの合理化検討の可能性が高いと考えられる項目について、以下に箇条書きで提案する。ただし、前述したとおり、現状では試験湛水を実施する必要があることもふまえて、特に高透水路の上下流方向の連続性を考慮したうえで、流水型ダムのカートングラウチングの合理化の検討を行う必要性があることを強調しておく。

(1) 計画変更

①施工範囲

- ・堤体から離れたリムカーテングラウチング範囲、リムカーテングラウチング深度の施工範囲の変更・縮小。
- ・アバット部の深部の施工範囲の変更・縮小。
- ・河床部深部の低透水性部あるいは上下流方向に連続しない高透水性部の施工範囲の変更・縮小。

②改良目標値

- ・堤体から離れたリム部の改良目標値の緩和。
- ・アバット部深部の改良目標値の緩和。
- ・河床部深部の低透水性部あるいは上下流方向に連続しない高透水性部の改良目標値の緩和。

③規定孔間隔

- ・堤体から離れたリム部の規定孔間隔の拡大。
- ・アバット部の規定孔間隔の拡大
- ・河床部深部の低透水性部あるいは上下流方向に連続しない高透水性部の規定孔間隔の拡大。

④追加孔基準

- ・堤体から離れたリム部等において、改良目標値を若干上回る孔が連続したような場合の追加孔基準の緩和。

(2)仕様変更

①注入圧力

- ・孔間隔を拡大した場合、限界圧力が高い時には、注入圧力を高圧化して注入量の増加を図ることが考えられる。
- ・初期透水性が低い場合、あるいは孔間隔が狭い場合には、注入圧力を低圧化し、無駄な注入を避けることが考えられる。

②配合切替

- ・リム部の深部あるいはアバット部の深部においては、上下流方向の水みちとなる可能性がある高透水性部の改良のため、全体的に高濃度配合に移行することなどが考えられる。

③注入材料

- ・花崗岩系のダムにおいては、基礎浅部において、高角度亀裂あるいはマサを挟在する低角度亀裂において漏水が問題となる事例があり、このようなダムにおいては超微粒子セメントを施工当初から活用することが考えられる。

④追加・省略

- ・規定孔次数においても、リム部の深部やアバット部の深部においては、省略基準を満たした孔を省略することも考えられる。
- ・ルジオン値が小さいステージにおいて、セメントミ

ルクの注入省略を積極的に実施することが考えられる。

参考文献

- 1) Clayton V. Deutsch & Andre G. Journel : GSLIB, Geostatistical Software Library and User's Guide, Second Edition, 369p., 1998.

RESEARCH ON RATIONALIZATION OF CURTAIN GROUTING FOR DRY DAMS

Abstract: The number of construction plans of dry dams which do not impound the water except during the flood are increasing from the viewpoint of the river environmental preservation. The present standards for foundation treatment and grouting do not consider the effects of the change of water level of reservoir on unsteady seepage in dam foundation, and these design standards are thought to stand on the safety side. But as for the dry dams, the NWL (Normal Water Level) is almost at the riverbed and there is almost no water from the NWL to SWL (Surcharge Water Level) except during flood control. We can rationalize the design and execution of curtain grouting for dry dams if we consider and evaluate the unsteady seepage due to the impounding water level on the safety of dry dams.

In this fiscal year, we conducted Monte-Carlo simulation of two dimensional steady and three dimensional unsteady and steady seepage analysis to investigate the influences of spatial variations of permeability and the construction area of curtain grouting.

Key words : dry dam, curtain grouting, rationalization.