

kriging によるカーテングラウチング効果の評価に関する基礎的検討

建設省土木研究所 正会員 ○佐藤弘行
建設省土木研究所 正会員 山口嘉一

1. はじめに

ダム基礎グラウチングの施工においては一般的に中央内挿法が用いられている。中央内挿法では、各次数の施工必要個所の抽出が容易である反面、次数が増加すると施工個所の候補地点数が等比級数的に増加するなどの課題も有している。また、グラウチングの改良効果判定には、一般的に遮水性に関する改良目標値に対する（非）超過確率が用いられている。この際、中央内挿法では、規定孔時においては対象領域において等間隔にルジオン試験ないしは水押し試験（以下、ルジオン試験で総称）を行うため、観測値による統計値から場全体の評価をしても問題はないと考えられるが、追加孔時においては改良目標値を満足しない高透水領域を対象とした局所的なルジオン試験結果しか得られないため、観測値による統計値から場全体の評価をすることに問題があると考えられる場合も少なくない。また近年のコスト縮減の要請の高まりを踏まえ、より合理的なグラウチングの効果判定法や追加孔基準について検討する必要がある。

そこで本研究では、対象領域場全体の透水特性を評価するための基礎的な検討として、地盤統計学においてよく用いられる kriging 法をカーテングラウチング施工時のルジオン試験結果に適用し、前次数のルジオン試験結果から次の次数の施工個所でのルジオン値の分布を推定することを試み、その適用性の検討を行った。

2. 検討方法

kriging の基本的な手順は参考文献^{1),2)}に詳しい。ここでは、kriging において、対象とする地盤物性値の空間的な相関を表すバリオグラムについての説明のみを説明する。バリオグラムには式(1)で表される指数関数型を仮定した。

$$g(h) = s^2 [1 - \exp(-h/a)], \quad g(h): \text{バリオグラム}, s^2: \text{シル}, h: \text{相関距離}, 3a: \text{レンジ} \quad (1)$$

式(1)において、シルはカーテングラウチングにおける対象次数孔の観測値（ルジオン値）の不偏分散とし、レンジは観測ルジオン値のバリオグラムとの比較から決定した。検討対象としたダムにおいては、河床部の地質はほぼ熔結凝灰岩よりなり、下位に行くほど低熔結となる傾向にあるが、ダム堤敷には広く中熔結の熔結凝灰岩が存在している。また規定孔は1～3次孔、追加孔は4次孔以降である。検討の対象は、バリオグラムが式(1)で近似可能と判断した、パイロット(P)孔、1次孔、2次孔とした。図1(a)から(c)にP孔から2次孔までのバリオグラムを示す。いずれの図も明瞭な相関関係を示している。式(1)のレンジは観測値との比較から、それぞれ、21、24、30(m)とした。なお、図1(a)から図1(c)の観測値においては、5m 間隔での平均を求めている。また、透水係数についてはその分布が対数正規分布に従うと言われているため、本研究においてはルジオン値は全て対数値に変換してから統計処理などを行い、最終的な結果をルジオン値に変換している。

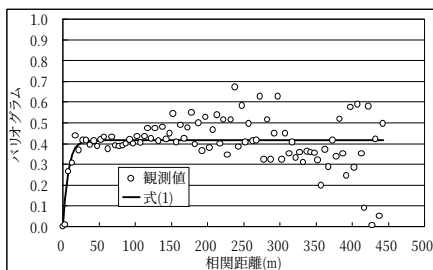


図1(a) P孔のバリオグラム

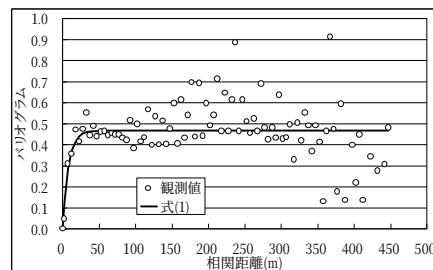


図1(b) 1次孔のバリオグラム

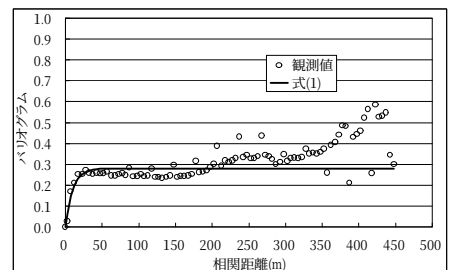


図1(c) 2次孔のバリオグラム

3. 検討結果

表1に各次数におけるルジオン試験結果を示す。次数が進むにつれ平均値、分散などが低減し、グラウチングによる改良効果が見られる。なお、前述したように、追加孔である4～7次孔では場全体の評価でないためこれらの値の逆転現象が見られる。次に観測値と kriging による推定値の比較を示す。ここでは、場全体を評価できるデータがあり、かつ孔間隔が広くグラウチングの影響があまり大きくないと考えられるP孔のルジオン試験データを用いて1次孔の座標で

表1 ルジオン試験結果

次数	P孔	1次孔	2次孔	3次孔	4次孔	5次孔	6次孔	7次孔	C孔
データ数	450	398	761	1337	593	668	89	30	347
孔間隔(m)	12	12	6	3	1.5	0.75	0.38	0.19	12
平均値	10.84	7.57	3.85	3.24	4.66	6.11	6.04	4.91	2.20
不偏分散	1495.44	596.82	290.04	151.63	12.16	8.93	18.93	8.59	3.21
標準偏差	38.67	24.43	17.03	12.31	3.49	2.99	4.35	2.93	1.79
超過確率15%値	49.51	32.00	20.88	15.55	8.15	9.10	10.39	7.84	3.99
平均値	0.4073	0.2644	0.2332	0.2175	0.5448	0.7173	0.6976	0.6373	0.1989
不偏分散	0.4153	0.4672	0.2809	0.2712	0.1323	0.0883	0.0833	0.0441	0.1605
標準偏差	2.60	2.93	1.91	1.87	1.36	1.23	1.21	1.11	1.45
超過確率15%値	0.6444	0.6835	0.53	0.5207	0.3637	0.2975	0.2886	0.2101	0.4006
超過確率15%値	4.41	4.83	3.39	3.32	2.31	1.98	1.94	1.62	2.52
超過確率15%値	1.0517	0.9479	0.7632	0.7382	0.9085	1.0148	0.9862	0.8474	0.5995
超過確率15%値	11.26	8.87	5.80	5.47	8.10	10.35	9.69	7.04	3.98

【キーワード】ダム、グラウチング、地盤統計学、クリギング

【連絡先】〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1番地 Tel.0298-64-2211 Fax.0298-64-2688

のルジオン値を推定した時の結果のみを示す。図 2(a)は P 孔の観測値、図 2(b)は P 孔の観測ルジオン値から kriging により推定した 1 次孔の座標でのルジオン値の推定値、図 2(c)は 1 次孔の観測値、をそれぞれ示している。図 2(a)～(c)のスケールは、地表面からの深度約 80m、横断方向約 450m である。図 2(a)、図 2(c)の観測値では河床部深くに比較的広範囲な高透水性が見受けられるが、図 2(b)の推定値でもその存在は推定できている。しかし、図 2(b)の推定値は図 2(c)の観測値と比較すると全体的に高透水性を示す白い部分が少なくなっており、推定結果が平均化される傾向がうかがえる。同一地点における P 孔からの推定値 (図 2(b)) と 1 次孔の観測値 (図 2(c)) とを比較した図を図 3(a) と図 3(b) (対数値) に示す。1 次孔の観測値では 200 ルジオン程度のかかなり大きなルジオン値が存在するが、P 孔からの推定値は全て 50 ルジオン以下となっており、高ルジオン値の定量的な推定精度はあまりよくない。また、P 孔のルジオン値の平均の方が 1 次孔のそれよりも大きいこともあいまって、図 3 において 1:1 の直線の上側にあるデータ (278 個) の方が下側にあるデータ (120 個) よりも多くなっている。図 2(b) は図 2(a)の P 孔観測値から推定した結果なので、kriging の仮定から図 2(b)の平均値は図 2(a)の平均値と等しくなり、図 2(b)の平均値は図 2(c)の平均値よりも若干大きくなる。それにも関わらず図 2(b)の推定結果が図 2(c)の観測値と比較して白い高透水領域が少なくなっているのは、kriging では式 (2)で示される線形内挿により推定されているため、推定値が平均化されることに起因しているものと考えられる。

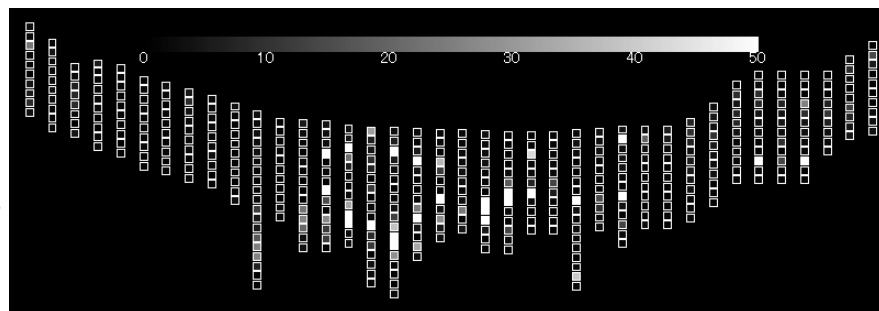


図 2(a) P 孔観測値

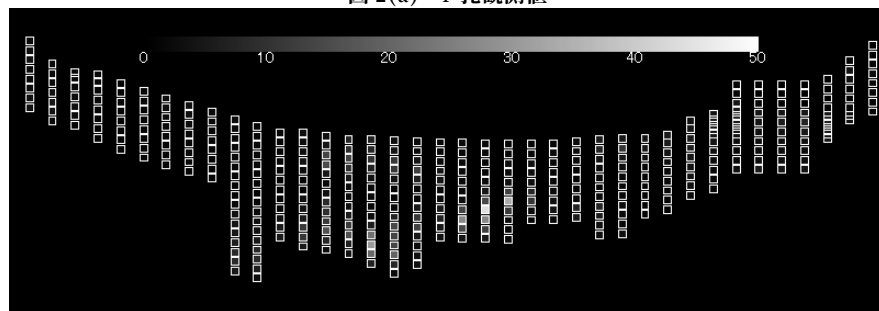


図 2(b) P 孔から 1 次孔座標の推定値

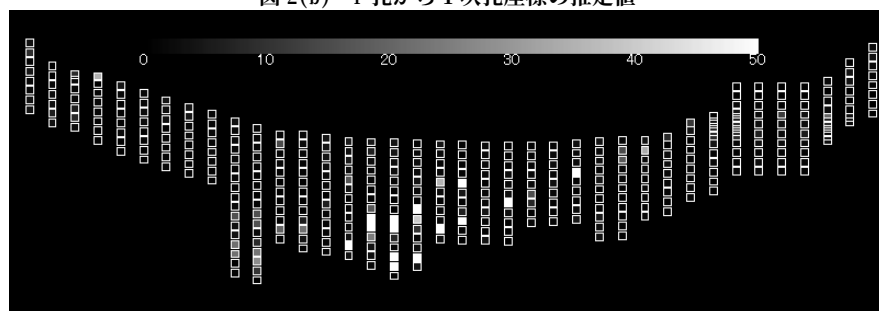


図 2(c) 1 次孔観測値

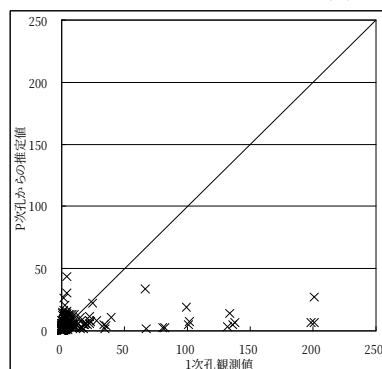


図 3(a) P 孔からの推定値と 1 次孔の観測値との比較

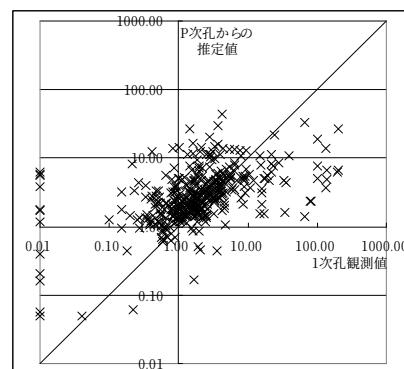


図 3(b) P 孔からの推定値と 1 次孔の観測値との比較 (対数値)

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n l_i z(x_i) \quad z^*(x_0): x_0 \text{ での推定値、} z(x_i): x_i \text{ での観測値、} l_i: \text{重み係数} \left(\sum_{i=1}^n l_i = 1 \right) \quad (2)$$

4. まとめ

ダム基礎グラウチングにおける対象領域場全体の透水特性を評価するための基礎的な検討として、地盤統計学の基礎的なモデルである kriging を用いて、カーテングラウチングにおけるルジオン試験結果から次の次数のルジオン分布を推定し、その適用性の検討を行った。その際、物性値の距離の相関を表すバリオグラムには指数関数型モデルを用いた。その結果、連続的な高透水領域の存在範囲は比較的よく推定できるものの、推定結果は定量的には平均化される傾向にあることが分かった。本研究では、特に追加孔時においてバリオグラムが単純な関数で近似できなかったために、その次数では kriging の適用は困難であった。また、前次数におけるグラウチングによる透水性低減についても考慮する必要がある。今後は様々な手法を用いて、さらに場全体の透水特性を把握する方法及びそのグラウチング効果評価への適用について検討して行きたい。

参考文献

- 1) 筑紫ら：砂丘地の土壌特性値の空間変動に対する Kriging 法の適用性、農業土木学会論文集、127 号、pp.35-42、1987。
- 2) 大西ら：「クリギング」と「ガウシアン」を用いたダム基礎岩盤の透水性の評価、第 30 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp.273-277、2000。