

パーコレーション理論を用いたフィルダム基礎の弱層抽出と掘削管理

国土交通省土木研究所 正会員 ○山口嘉一
国土交通省土木研究所 正会員 佐藤弘行

1. はじめに

フィルダム基礎に強度の小さい粘性土層などの弱層が存在する場合、堤体のみならず、その弱層沿いのすべりに対する安全性を検討する必要がある。基礎掘削時の強度評価試験数が十分な精度で統計処理を行えるほど多くないため、測定値すべてが管理基準値を上回る下限値管理が一般に採用される。しかし、完全塑性体を仮定した限界平衡法によるすべり安定解析は、全体の安全性がその構成要素の平均的な特性により決まる平均値問題の典型である¹⁾。そのため、精度の高い簡易試験方法の採用によって基礎弱層の強度評価点数を増加させ、かつ強度の全体としての分布形態だけでなく空間的な相関性も配慮することにより、基礎掘削の合理化が図れると考える。

本研究では、アースダムの基礎となる粘性土層に対して実施された強度試験結果に、パーコレーション理論^{2),3)}を適用し相対的な弱層の抽出を行う。さらに、試験対象領域全体および抽出した相対的弱層内において強度の統計処理を行い、合理的な基礎掘削管理基準について検討する。

2. 試験対象地盤と試験方法

試験対象となる土層の平面および断面形状を試験位置とともに図1に示す。B層は地下水位以浅で、その土質はシルト質粘性土が主体で、淡褐色・赤褐色を呈している。一方C層は地下水位以深で、シルト質粘性土主体・一部砂質シルトとなっており、青灰色を呈している。

B層およびC層に対して、ポータブルコーン貫入試験を行った。対象地盤の設計強度は粘着力 $c=9.8\text{ kN/m}^2$ ($\phi=0$) であるが、別に行った試験結果から、この設計強度はポータブルコーン貫入抵抗値 $q_c=156.8\text{ kN/m}^2$ に相当する。図1に示す通り、B層とC層それぞれについて5m格子の構成点50点でポータブルコーン貫入抵抗値の測定を行った。検討対象のダムにおける管理基準としては、① $q_c=156.8\text{ kN/m}^2$ における超過確率が85%以上(85%基準と呼ぶ)、② 156.8 kN/m^2 以下のブロックが連続(斜め連続も含む)しないこと(不連続基準と呼ぶ)、が採用されている。

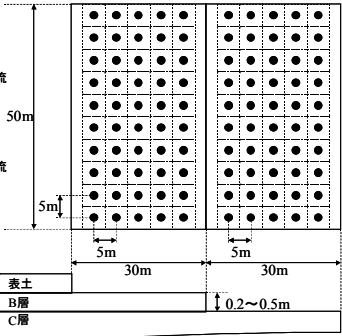


図1 土層形状と試験位置

3. 試験結果

試験により得られた q_c の統計量を表1に、超過確率分布を図2に示す。これらを見ると、 q_c の最小値はB層の方がC層よりも若干小さいものの、B層の方が相対的に大きな値が多く分布していることが分かる。

図3は、B層とC層における q_c の空間分布と、管理基準値 ($q_c=156.8\text{ kN/m}^2$) 以下のブロック(測点1点の対象領域 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ が相当)の分布を示している。これを見ると、B層は管理基準値以上のブロックが44あり、超過確率は $44/50=0.88>0.85$ となり、85%基準を満たしている。一方C層は、管理基準値以上のブロックが40で、超過確率は $40/50=0.8<0.85$ となり、85%基準を満たしていない。そのためC層では、図3(b)上部の連続した管理基準値以下の6ブロックを不連続基準に従って掘削することにより、最終的に両基準を満たすようにしている。なお、B層においても管理基準値以下の連続したブロックについては不連続基準に従って掘削処理を行う。

4. パーコレーション理論の適用

地盤の強度は空間的な連続性を有しているものと考えられる。ここでは相対的な弱層が上下流方向にどのように分布しているかを評価するため、 q_c の空間分布にパーコレーション理論を適用した。パーコレーションとはある性質のつながりを考えるための理論であるが、その詳細については参考文献^{2),3)}を参照されたい。

表1 q_c の統計諸量 (単位: kN/m^2)

対象土層	B層	C層
平均値	232.39	196.54
最大値	451.39	330.26
最小値	92.81	113.29
標準偏差	78.66	45.67
15%超過確率値	325.56	241.47
85%超過確率値	165.13	151.02

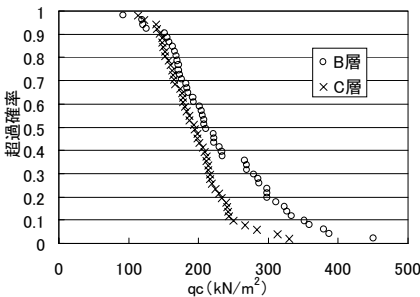


図2 q_c の超過確率分布

【キーワード】 フィルダム、基礎掘削管理、粘性土、パーコレーション
【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

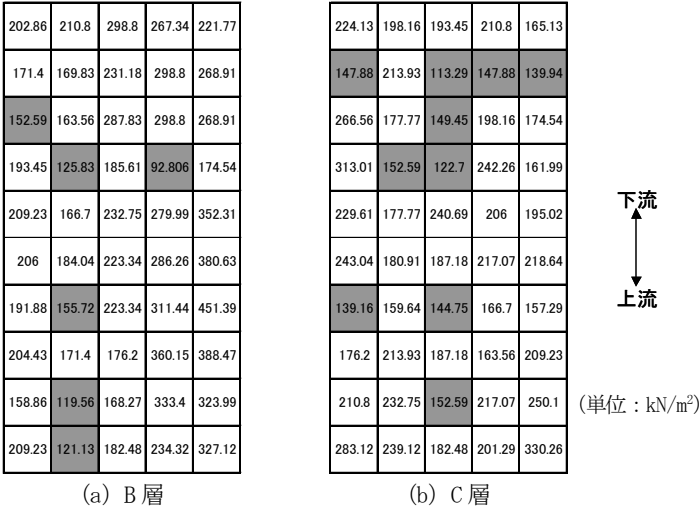


図3 qcの空間分布と管理基準値以下のブロックの分布
(網掛け部は管理基準値以下のブロック)

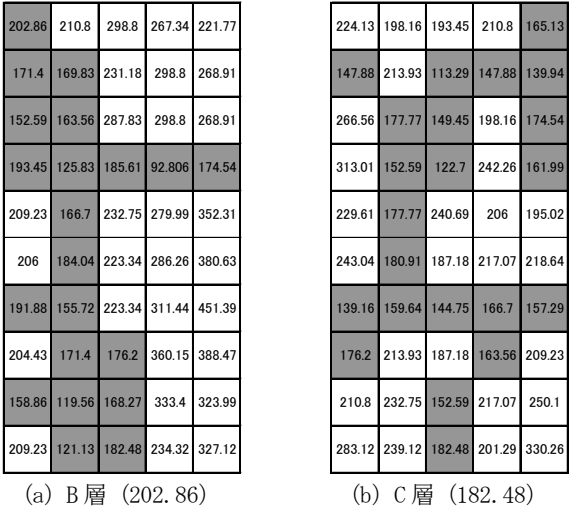


図4 qcのパークレーション
(網掛け部はパークレートしたクラスター)
(カッコ内の数値はパークレーション閾値)

図4は、qc が上下流方向にパークレートした時のクラスター形状およびパークレーション閾値を示している。なおここでは、qc の小さい要素から要素を塗りつぶしていった時に、あるクラスターが上下流端に初めて連続した時の qc、つまり臨界状態のクラスター内の最大値をパークレーション閾値と定義している。また、安全側の評価とするため、パークレーションの判定には接点のみの接続を認めている。図4により抽出されたクラスターは、相対的な弱層と解釈される。図4を見るとB層の相対的な弱層は左岸側に明瞭に存在しているのに対し、C層の相対的な弱層は左右岸方向に広い幅をもって存在している。

図5は、B層とC層それぞれの不偏分散で無次元化したバリオグラムの分布を示している。バリオグラムは空間的な相関性を表す指標であるが、詳細については参考文献⁴⁾を参照されたい。図5を見ると、B層の方が相関距離が10m程度までと小さい時の立ち上がりが鈍く、図4で見られるように、B層の方がC層よりもqcの空間的な相関が強いことを示唆している。

表2は、図4でパークレートしているクラスター内の統計量を示している。表2を見ると、相対的弱層を表す図4のクラスター内の平均値はB層とC層ともに管理基準値の156.8kN/m²程度になっており、弱層内のすべりを平均値問題としてとらえれば、不連続基準適用前でもぎりぎり設計強度を満たしていると考えられる。またクラスター内の平均値は表1の85%超過確率値とほぼ等しくなっており、さらに不連続基準を加えた管理基準により、結果的にすべりに対する安全性に問題となるような弱層を掘削除去できているものと考えられる。

5. まとめ

ダム基礎掘削の合理化を目的として、弱層の連続性に注目した基礎掘削管理基準についての検討を行った。その際、パークレーションの概念を用いて、低強度部の空間的な連続性に着目して弱層の評価を試みた。現在、一般的に採用されている下限値管理では過度に安全側の対応となる可能性も否定しきれないため、本論文で提案したような弱層の連続性に注目した掘削管理基準など、より合理的な掘削管理基準についての研究を進める必要がある。

参考文献

1) 松本・本城：土質データのばらつきと設計（講座）、5. 実際の構造物への適用、土と基礎、Vol. 35、No. 6、pp. 63-70、1987。
2) 小田垣：パークレーションの科学、裳華房、1993。
3) 佐藤・山口：ブランケットグラウチングにおける有効領域評価法の提案と主透水経路の評価、第30回岩盤力学に関するシンポジウム講演文集、pp. 248-252、2000。
4) DEUTSCH, C. V. & JOURNAL, A. G. : GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide, 1998。

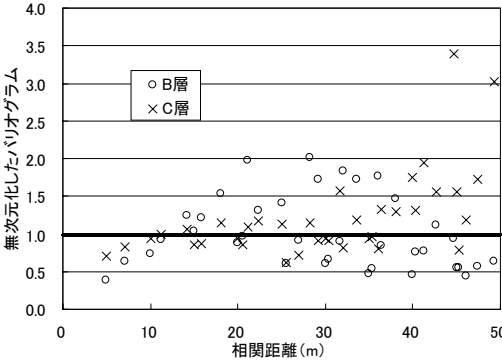


図5 qcのバリオグラムの分布

表2 パークレートしているクラスター内の統計諸量

対象土層	B層	C層
クラスター要素数 (全要素に占める割合)*)	21(0.42)	22(0.44)
クラスター内の最小値	92.8	113.3
クラスター内の最大値 (=パークレーション閾値)	202.9	187.2
クラスター内の平均値	163.4	157.0
クラスター内の15%超過確率値	191.1	175.4
クラスター内の85%超過確率値	135.6	138.6

*) これ以外の項目の単位は kN/m²。