

耐震点検に向けた土壌水分計付貫入計による老朽ため池浸潤線の評価

株式会社田中地質コンサルタント	正会員	○田中 謙次
株式会社田中地質コンサルタント	非会員	長岡 達哉
京都大学大学院農学研究科	非会員	小杉賢一朗
京都大学大学院農学研究科	非会員	山川 陽祐

1. はじめに

東日本大震災では、岩手県、宮城県、福島県で約12,500箇所のため池のうち、約1,780箇所が被災(被災率14%)しており、決壊した「ため池」はいずれもため池設計指針(平成12年制定)以前に築造(改修)されたものであった。農業用ため池は全国で約21万ヶ所あり、うち3/4が江戸時代以前に築造されたものである。東日本大震災では藤沼湖(福島県須賀川市)が決壊し下流域で7名が死亡、その他2箇所でも決壊した。よって、老朽化と耐震対策は急務である。農林水産省の試算では今後、震度6弱以上が予想される警戒ため池は約6,900箇所、そのうち被災時に下流への影響が大きいとされる堤高10m以上かつ貯水量10万 m^3 以上のため池が280箇所ある。現在、大規模地震により人命やライフライン、重要施設などに重大な被害が生じる可能性があるため池については、フィルダム並みの耐震設計を導入する検討が進められている。老朽化ため池の耐震点検(地震時安定性評価)を進める上で、本報では、現況の浸潤線を簡便に求め、かつ高精度でモデル化するために、小杉ら¹⁾が山腹斜面の表層崩壊調査用に開発された土壌水分計付貫入計(Combined Penetrometer Moisture Probe;以下CPMP)を、ため池調査に用いたケースを紹介する。

2. CPMPで浸潤線を把握する目的

ため池の多くは土構造物であるため、完成後の老朽、漏水およびパイピングなどの発生は当時の施工品質に左右され易い。また、古いため池では現存する設計・施工図書が少なく、土質構造など不明瞭な点が多い。今回実施した「ため池耐震調査」のケースでは、「傾斜遮水ゾーン型」と設計書に記載されるものの、老朽化のためか遮水性ゾーンとランダム材の土質に違いは認められず、均一型と同等であると評価した。このように、実状が既存情報と異なれば、安定解析上、重要な要素となる浸潤線を正しく評価することができない。CPMPは、TDR(Time Domain Reflectometry)の原理を応用し、計測値 λ から土中の比誘電率 κ を求め、適切な変換式により土壌の体積含水率 θ を算定する。CPMPより θ の分布傾向を求め、貫入抵抗値 N_h' 、ボーリング結果等の評価と併せて堤体内部の浸潤線を設定した。

3. CPMPの構造

小杉ら²⁾が、TDR式コイル状センサーを長谷川式土壌貫入計に取り付けて開発したCPMPの先端部を図-1に示す。検出部は、二本のステンレスワイヤーがらせん状にアクリル管の溝に巻き付けられた構造である。ワイヤーに接続された同軸ケーブルが中空ロッド内に通され、電磁波送受信装置と接続され連続計測を行う。

4. CPMPを含めた調査結果の評価

地下水位に近い不飽和帯は地下水と区別して「土壌水」と呼ぶ。土粒子間に働く毛管力をマトリックポテンシャルといい、間隙に水分を保持する力となる。このポテンシャルは、毛管力に由来するため飽和状態では作用しない。また、マトリックポテンシャルと土の水分量(体積含水率 θ あるいは含水比(W_n))には関数関係がある。この関数関係を表したものが水分特性曲線である(図-2)。

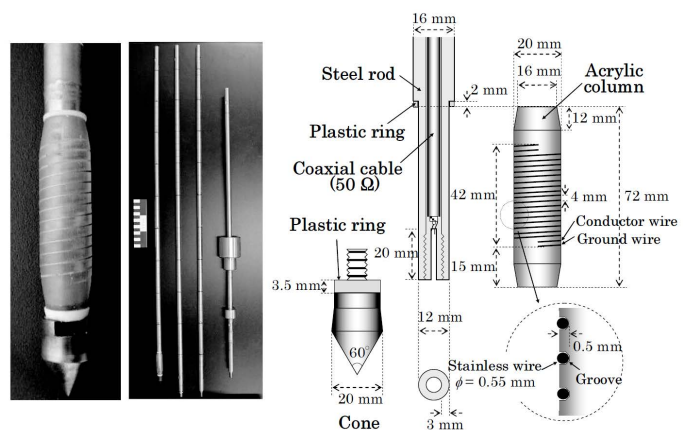


図-1 CPMP先端の模式図²⁾

キーワード ため池, 耐震点検, 地下水位, 土壌水分, 貫入計, TDR

連絡先 〒915-0082 福井県越前市国高二丁目 324 番地 7 株式会社田中地質コンサルタント TEL.0778-25-7000

図-3には、土質の違いによる水分特性曲線を示す。砂質土は粘質土と比較すると、平均孔隙径が大きく孔隙径分布が集中型であるため、毛管領域におけるマトリックポテンシャル変動に伴う水分変動が大きい。一方粘質土は、一般に孔隙径が小さく、孔隙径分布が分散型であるため、マトリックポテンシャル変動に伴う水分変動が緩やかである。

今回調査を実施した結果(図-4)では、堤体土質が細粒分質礫質砂(SFG)であり、図-3の砂質土の曲線に近似した毛管領域の傾向を捉えている。よって、C-1では深度1.65m付近、C-2では深度0.3m付近が地下水位であると判断した。CPMP結果より、設計当初の浸潤線より現状水位が上昇していることが明らかになったため、堤体安定解析によって両ケースの安定性を比較した。設計当初の浸潤線を現況のため池整備指針に従い設定したところ、最小安全率は $F_{smin}=1.223$ となり、必要安全率を満足した($F_s > 1.2$)。ところが、現況の浸潤線は老朽化に伴い上昇しているため、地震時に不安定であると判断された($F_{smin}=1.182$)。なお、安定計算は老朽化が進みやすい取水施設付近の物性値を用いて解析したものである。

5. まとめ

農業用ため池の多くは老朽化したものが多く、大地震によって破堤すれば、下流側の人命やライフラインなどに重大な被害を与える地域も少なくない。今回、簡易的に浸潤線を求めるために実施したCPMPにより、高精度な結果を得ることができた。今後、レベル2地震動で耐震点検を行う際の浸透流解析では、正確な水位分布の把握が必須であることや、被圧地下水との誤認識を回避できる利点などを評価すれば、CPMPは今後の耐震点検の精度を上げる有効な手法の一つであると判断できる。ただし、適応深度は3m程度までであるため、調査する位置など予め計画的に行い活用することが重要である。

【参考文献】

- 1) 小杉賢一郎・水山高久・堤大三・長谷川秀三(2004):斜面土壌水分空間分布計測のための土壌水分計付貫入計の開発, 砂防学会誌, Vol.57, No.3, p.3-13
- 2) 京都大学大学院農学研究科(2009):土壌水分計付貫入計による斜面調査技術砂, 防技術総覧, 社団法人砂防学会, p. I-6-4
- 3) 猪迫耕二(2006):<http://muses.muses.tottori-u.ac.jp/dept/S/Soil-Physics/SPTtext06-S3.doc>, 鳥取大学, p.27

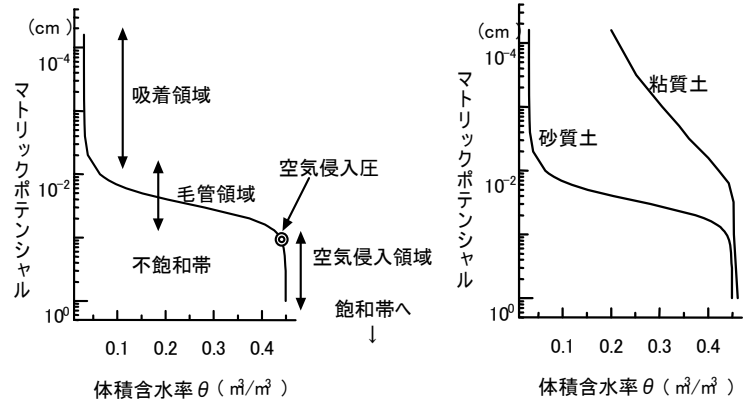


図-2 水分特性曲線とポテンシャル領域³⁾

図-3 異なる土質の水分特性曲線³⁾

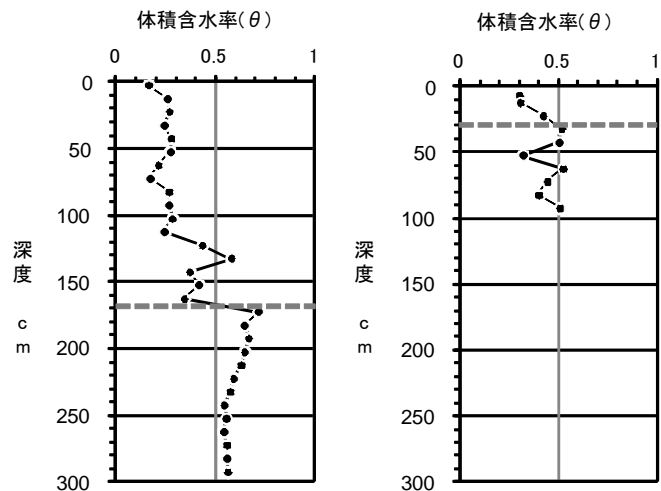


図-4 体積含水率 θ の深度分布図 (左)C-1, (右)C-2

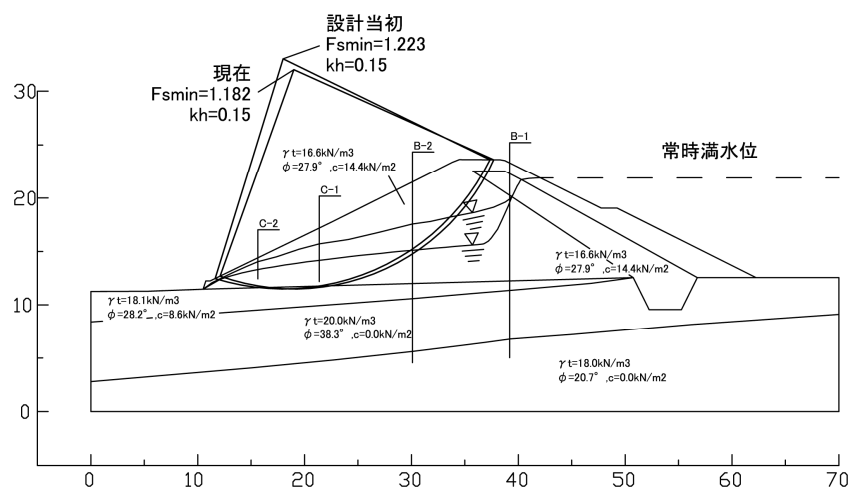


図-5 堤体の安定解析結果図(常時満水時・地震時)