

大型模型実験による乾湿繰り返し条件下での堤体内水位観測方法の検証

復建調査設計(株) 正会員 来山 尚義 総合計測(株) 非会員 武田 克史
(株)エヌ・ティ・ティ 材メイト 非会員 光永 顕 東広島市 非会員 小田 浩司
(独)土木研究所 正会員 小橋 秀俊

1. はじめに

河川堤体内の水位は変動が大きく、また乾湿を繰り返す。こういった条件下における水位を精度良く観測する手法を確立することを目的として、平成18年から(独)土木研究所、(財)国土技術研究センターおよび民間8社5グループは共同で研究を実施してきた。このうち、我々復建調査設計、総合計測、エヌ・ティ・ティ・ネオメイトの研究グループでは、シリコンオイルを封入した水圧式水位計とレーザー変位計を用いたフロート式水位計を提案し、その適用性を確認するため、透水係数が異なる2種類の大型模型において無線パケット通信で監視しながら長期間観測を行った。また、大型水槽においてこれら水位計の耐久試験を行った。その結果、これらの水位計は堤体内水位観測において、遠隔監視を含めて十分適用できることがわかった。

2. 水位計の概要

今回実験に使用した水位計は、2種類である。(写真-1~写真-6)

水位計1: シリコンオイルを入れた保護容器に水圧式水位計(測定範囲0~10m, 精度 $\pm 0.3\%$ FS)を挿入して測定管内に設置し、水圧(水位)を観測する。

水位計2: 測定管(VP-75またはVP-65)内にフロートを挿入し、測定管の天端に据え付けたレーザー変位計(測定範囲0~12m, 精度 $\pm 0.15\text{cm}$)によってフロートまでの距離(水位)を観測する。

なお、観測データは無線パケット通信(DoPa網)により監視センターに送信・処理し、インターネットで閲覧が可能なシステムとした。また、実験に必要な電力は太陽光発電により確保することとした。

3. 実験概要

1)実験1(水位計の耐久性に関する基礎実験): 実験は土木研究所内の水槽(L=10m, W=5.7m, H=5m)を使用して行った。水槽内にストレーナを設けた測定管を設置して水位計1, 水位計2を取り付けた。そして、水槽内の水位を変化(6時間で4m上昇, 18時間保持, 5時間で下降)させ、その間の水位を2時間間隔で観測した。実験は、2007年3月から2007年12月までの間に計9回実施した。なお、実験時以外は水槽内を乾燥状態に保ち、その間も1日間隔で水位を観測した。

2)実験2(実物大堤防模型による水位計測実験)

実験は、土木研究所内の実験槽に透水係数の異なる2種類の堤防模型を作製して行った。

a)実験2-1(堤防模型1)¹⁾: 図-1に堤防模型1の断面図を示す。

模型は天端幅3m, 法勾配1:2の半断面形状であり、基礎地盤(厚さ0.5m)は透水性の低い関東ロームを、堤体(高さ3m)は山砂を用いて作製してある。なお、模型の延長



写真-1 水位計1 (水圧式水位計)



写真-2 水位計1 (設置状況)



写真-3 水位計2 (フロート)



写真-4 水位計2 (レーザー変位計)



写真-5 水位計2 (設置状況)



写真-6 送信装置(例)

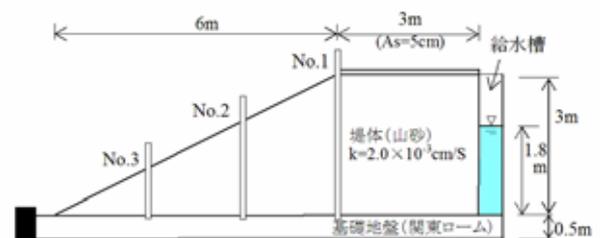


図-1 堤防模型1 断面図

は実験槽にあわせて20mである。観測孔は機械ボーリングにより掘削して測定管（水位計1用：VP-65，水位計2用：VP-75，ストレーナ延長0.5m，開口率20%，防虫網巻き）を挿入し，ストレーナ部は7号砕石にて，それ以外は発生土で埋め戻し，口元は雨水が直接測定管内に流入しないようモルタル処理を行った。また，水位計は図-1に示す3箇所（No.1：法肩，No.2：法肩から2m，No.3：法肩から4m）に設置した。なお，水位計1と水位計2は縦断方向に約1m離して設置した。そして，給水槽の水位を変化（2時間で1.8m上昇，96時間保持，4時間で下降）させ，その間の水位を1時間間隔で観測した。実験は，2006年6月から2007年11月の間に計10回実施し，実験時以外は給水槽内を乾燥状態に保った。

b)実験2-2(堤防模型2): 図-2に堤防模型2の断面図を示す。

模型は天端幅3m，法勾配1:2の全断面形状である。堤体に使用した材料の透水係数が堤防模型1に比べて小さいが，模型の作製方法は堤防模型1と同様である。なお，模型の延長は実験槽にあわせて15.5mである。観測孔の掘削方法は堤防模型1と異なりハンドオーガーとした。また，水位計は図-2に示す3箇所（No.1：法肩，No.2：法肩から2m，No.3：法肩から4m）に設置した（No.1：水位計2，No.2：水位計1，No.3：水位計1の保護容器，シリコンオイル無し）が，測定管は可能な限り径を小さくすることを目指し，No.1およびNo.2をVP-65，No.3をVP-40とした。そして，給水槽の水位を変化（2時間で1.8m上昇，408時間保持，6時間で下降）させ，その間の水位を1時間間隔で観測した。実験は，2007年3月から2008年2月の間に計5回実施し，実験時以外は給水槽内を乾燥状態に保った。

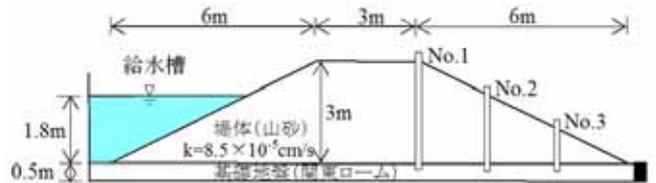


図-2 堤防模型2断面図

掘削方法は堤防模型1と異なりハンドオーガーとした。また，水位計は図-2に示す3箇所（No.1：水位計2，No.2：水位計1，No.3：水位計1の保護容器，シリコンオイル無し）が，測定管は可能な限り径を小さくすることを目指し，No.1およびNo.2をVP-65，No.3をVP-40とした。そして，給水槽の水位を変化（2時間で1.8m上昇，408時間保持，6時間で下降）させ，その間の水位を1時間間隔で観測した。実験は，2007年3月から2008年2月の間に計5回実施し，実験時以外は給水槽内を乾燥状態に保った。

4. 実験結果および考察

1)実験1: 図-3および図-4にそれぞれ水位計1および水位計2の3回目，5回目，9回目の観測値を経時変化図にして示す。右図は水位保持中の経時変化を拡大して示したものである。図より，水位計1における水位保持(4.0m)時の水位は各回とも1cm程度高い値となっている。これは，計測器の測定誤差(±3cm)内であること，および設置誤差が含まれていることを考慮すると，水位計2とともに高い精度で観測できていると判断できる。また，乾燥～湿潤状態を繰り返すことによる観測値の

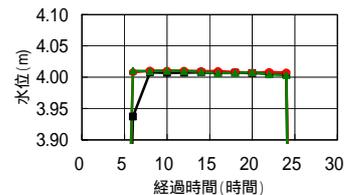
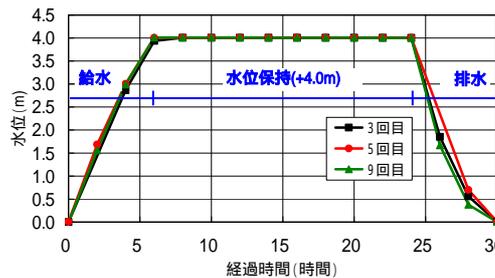


図-3 実験1経時変化図(水位計1)

変化も見られず，長期間安定した観測が行われていると判断できる。なお，図-3および図-4の右図において3回目の6時間経過時の水位が他の観測回の値より低くなっているが，これは水槽への湛水が若干遅れたためである。

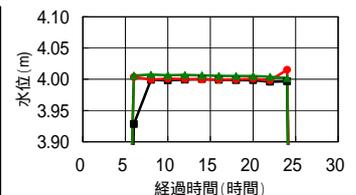
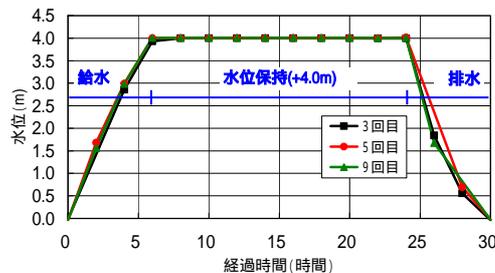


図-4 実験1経時変化図(水位計2)

2)実験2

a)実験2-1(堤防模型1): 図-5および図-6に水位計1，図-6および図-7に水位計のそれぞれNo.1(法肩)およびNo.2(法肩より2m)における3回目，5回目，7回目，10回目の観測値を経時変化図にして示す。これらより，いずれも外水位(給水槽の水位)よりやや遅れて水位は上昇し，実験開始後70～80時間程度で一定値に収束し，その後外水位の低下に伴って水位も低下している。なお，上昇時・下降時の水位変動は，土中の保水量や気候の影響を受けて観測回毎に多少ばらついているが，水位保持期間終期の各観測回の水位はほぼ同じ値となっている。また，横断方向に同じ位置に設置した水位計1と水位計2の結果を比較すると，No.1(法肩)およびNo.2(法肩より2m)いずれも水位計1の方が水位は若干高くなっている。これは，堤体作製時の締め固め度

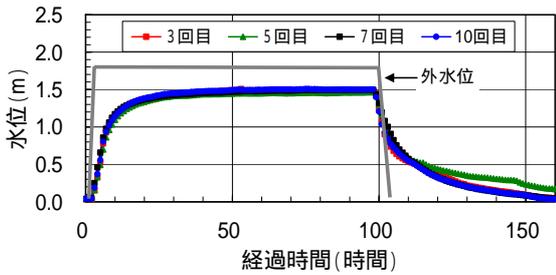


図-5 水位経時変化図 実験 2-1
(堤防模型 1, 水位計 1 No.1: 法肩)

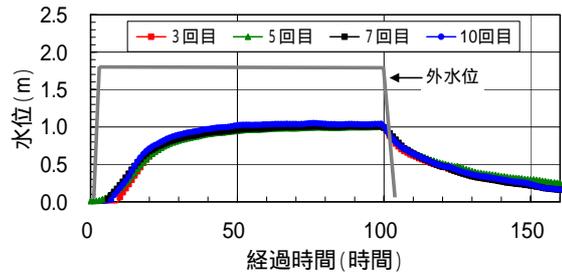


図-6 水位経時変化図 実験 2-1
(堤防模型 1, 水位計 1 No.2: 法肩より 2m)

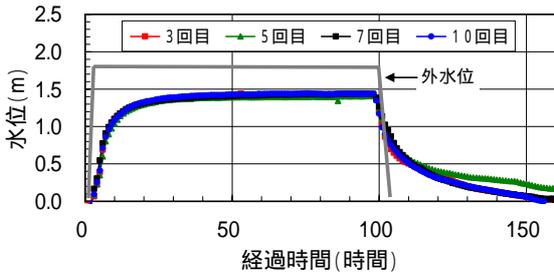


図-7 水位経時変化図 実験 2-1
(堤防模型 1, 水位計 2 No.1: 法肩)

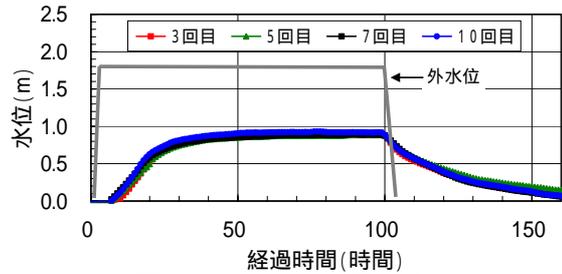


図-8 水位経時変化図 実験 2-1
(堤防模型 1, 水位計 2 No.2: 法肩より 2m)

の誤差などの影響を受けているものと考えられ、付近で計測したマノメータや他グループの観測結果からも伺える。これより、乾燥～湿潤状態を繰り返す状態においても、本水位計は長期間高い安定性を維持しているものと考えられる。

b)実験2-2 (堤防模型2): 図-9に水位計No.1 (法肩), 図-10は水位計No.2 (法肩から2m)における2回目から4回目までの観測値を経時変化図にして示す。実験開始時における水位は、それまでの降雨の影響等により0になっていないが、外水位(給水槽の水位)の上昇にしたがって水位は上昇し、実験開始後120時間程度で一定値に収束し、その後外水位の低下に伴って水位も低下している。水位が一定値に収束するまでの時間は実験2-1より遅くなっているが、これは堤体材料の透水係数に起因すると考えられる。また、実験2-1の結果と同様に、水位保持期間終期の各観測回の水位はほぼ同じ値になり、付近で計測したマノメータの計測結果の傾向とも一致していることから、長期間安定した観測ができていると考えられる。なお、3回目の200時間経過時前後において水位が上昇している。これは、図-11に示すように、同時に観測している土壌水分計より求めたGL-1.5m付近の体積含水率が急激に増加している。これは、この時期に60mm/h程度の降雨があり、この影響を受けて土中の水位が上昇したものであり、観測孔に直接雨水が浸

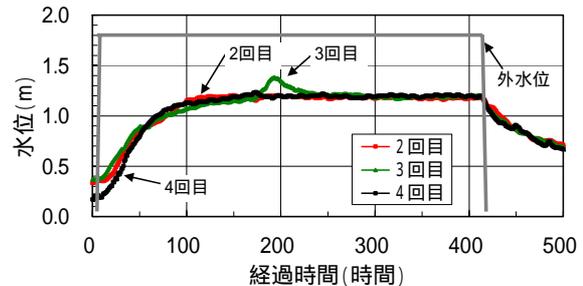


図-9 水位経時変化図 実験 2-2
(堤防模型 2, 水位計 No.1: 法肩)

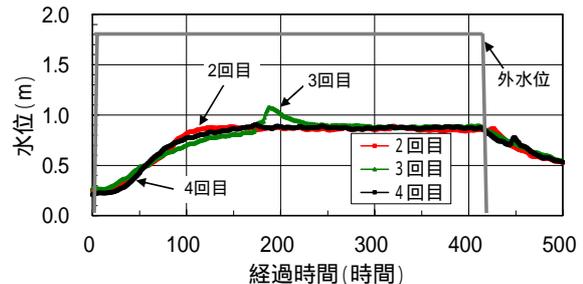


図-10 水位経時変化図 実験 2-2
(堤防模型 2, 水位計 No.2: 法肩より 2m)

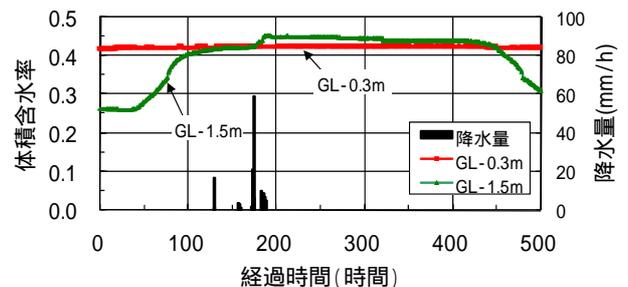


図-11 体積含水率経時変化図 実験 2-2
(堤防模型 2, 法肩, 3回目)

入したものではないと考えられる。

5.まとめ

乾燥～湿潤状態を繰り返すような条件下にある堤体内水位を精度良く観測する方法として、シリコンオイルを封入した水圧式水位計とレーザー変位計を用いたフロート式水位計を提案し、大型模型などによって長期間観測（最長 1.5 年間で 9 回）し適用性の確認を行った。その結果、観測器に起因する実験時期による観測値の差は見られず、乾燥～湿潤状態を繰り返す状態においても長期間安定した観測ができることが確認できた。また、実験 2-1 および実験 2-2 ではストレナ部の開口率を 20% と比較的大きくしたが、実験中構造上の問題は生じず、また土砂等の流入も見られなかった。さらに、撤去時の計測器の状態は表面に細粒分の付着が若干見られた程度であった。これらのことより、本水位計および測定管は堤体内水位観測に十分適用できるものと考えられる。

なお、本実験では一定間隔で無線パケット通信（D o P a 網経由）により監視センターに送信・処理した観測データを、いつでも、また遠隔地であっても、PC や携帯電話でインターネットを経由して閲覧できることを確認した。さらに、実験中の通信および観測機器の電力は太陽光発電により確保できたことから、通信および電源のインフラが十分でない場所でも適用できるものと考えられる。

本論文は、国土交通省の総合技術開発プロジェクト「社会資本の管理技術の開発」の一環として、(独)土木研究所、(財)国土技術研究センターおよび民間企業 8 社の共同で実施した「堤防管理技術高度化のための堤体内水位観測方法の開発（平成 17 年度～平成 19 年度）」の成果の一つとしてとりまとめたものである。

参考文献

- 1)古本一司,齋藤由紀子,谷中仁志,小橋秀俊:堤体内水位観測方法の開発(その1) - 観測孔仕様の及ぼす影響 - ,地盤工学会第42回地盤工学研究会発表講演集,511,pp.1021-1022,2007.