

일본 수문관측 현황과 이후의 과제



深見 和彦 >>

일본 독립행정법인 토목연구소
유네스코센터 설립추진본부 수문팀
선임연구원
k-tukami@pwri.go.jp

1. 서론 - 수문관측의 목적

수문관측이란 넓은 의미에서 지구상의 물과 물질의 순환의 다양한 과정을 정량적으로 파악하는 수단이며, 그것을 대상으로 하는 항목이나 그것을 실시하는 주체는 넓은 분야에 이른다. 홍수재해를 미연에 방지하기 위해서는 강우유출현상의 해명이나 과거의 수문데이터의 통계해석에 근거한 합리적인 하천구조물의 설계나 홍수예측기술이 필요하며, 수문관측데이터는 이러한 것들의 기반이 된다. 또, 인간이 쌓아올린 물이용 시스템은 자연계의 물과 물질 순환의 일부를 인위적으로 취해서 이용하고, 그것을 다시 순환과정으로 환원하는 구조인데 지속 가능한 수자원의 제어·이용을 추진하기 위해서는 자연의 수자원 부존량을 정량적으로 파악하는 것이 기초가 된다. 즉, 수문관측 데이터는 치수나 이수를 위한 하천계획·관리 및 홍수발생시의 홍수조절·수방활동, 혹은 가뭄발생시의 갈수조정이라는 위기관리를 위한 기본통계자료 또는 실시간 하천정보이다. 최근에는 하천환경관리·보전을 위한 기초자료로서의 중요성도 증가해 가고 있다. 또, 인간의 사회경제활동은 의도한 바와 관계없이 수문순환에 큰 영향을 미친다. 가령, 도시화에 의한 대규모적인 토지피복의 개변이나 인공구조물설치는 자연의 강우유출형태를 크게 변화시킨다. 또, 지

구온난화 등에 기인한 지구규모의 기후변동에 의해서 하천유황이 변화할 가능성도 우려되고 있다. 이러한 영향을 평가하고, 적절한 대책을 강구해 가기 위해서도 장기간에 걸친 정상적, 또 계속적인 수문관측 데이터의 축적과 그 해석의 중요성이 크다.

이러한 목적의식을 기반으로 일본에서 하천관리가 실시하는 수문관측은 장기간에 걸쳐 계속되고 있다. 예를 들면, 경제산업성이 소관 하는 수력발전에 관련한 수문관측, 농림수산성이 소관 하는 농업수리에 관련한 수문관측, 수자원기구(독립행정법인) 등이 실시하는 댐·제방 관리를 위한 수문관측을 비롯해서 많은 기관에 의해 실시되고 있으며, 본 원고에서는 일본 국내의 하천관리자(국토교통성 및 지방자치단체)가 실시하고 있는 수문관측, 특히 주로 관측대상으로 하고 있는 강수량과 수위·유량에 대해서 소개한다.

2. 일본의 수문관측에 관한 법령과 규정

2.1 하천법

국토교통성이 실시하는 수문관측은 하천법 등의 법령에 구체적으로 규정되어 있지는 않지만, 아래의 하천법 제1조에 명시된 하천법의 목적을 달성하기 위해서 필요불가결한 것으로 해석되고 있다.

하천법 제1조(목적)

「이 법률은 하천에 대해서, 홍수, 고조 등에 의한 재해의 발생이 방지되고, 하천이 적정하게 이용되며, 유수의 정상적인 기능유지 및 하천환경의 정비와 보전이 이루어지도록 종합적으로 관리하는 것이며, 국

토의 보전과 개발에 기여하고, 또, 공공의 안전을 보전 유지하고, 공공의 복지를 증진하는 것을 목적으로 한다.»

또한, 강수량관측에 대해서는 기상 업무법에 준할 필요가 있다. 국토의 실태를 과학적, 종합적으로 조사하는 것을 목적으로 하는 국토조사법이 있고, 그 가운데 물 조사가 자리 잡고 있다. 국토교통성의 전신에 해당하는 구 건설성 뿐만 아니라, 각종 행정기관이 소관하는 하천유형이나 물이용 실태 등의 데이터를 정리한 성과가 당시의 구 국토청에 의해서 수계마다 「주요수계조사서」로서 2000년까지 정리되어 있다.

2.2 수문관측에 관한 규정·기술기준의 변천

하천관리자에 의한 통일적인 수문관측의 실시를 위해서는 수문관측의 체제, 방법, 기술 등에 대해서 정한 모든 규정·기술기준이 필요하다. 각각의 시대마다 수문관측에 대한 요청에 따라서 이러한 규정도 변천해가고 있다.

국가에 의한 조직적·체계적인 수문관측은 1937년에 하천수통제사업(담에 의해서 하천유형의 안정화를 도식화하고, 홍수조절과 발전·관개에 대한 이수의 양자를 추구하고자 하는 사업. 제3대 토목연구소장이기도 했던 모노노베 나가호(物部 長穂)박사가 중력식 담의 내진 설계법을 확립하는 것과 함께 추진되었다. 제2차 세계대전 이후에는 하천종합 개발사업으로서 계속 발전했다)을 위한 조사로서 당시의 구 내무성 등에 의해 개시되었다. 당시의 조사요령은 1910년 이후 구 체신성이 주창해서 부정기적으로 실시된 포장수력조사 목적의 유량관측시의 조사요령을 근간으로 하고 있으며, 연직방향의 유속분포를 정밀하게 측정하는 것을 추진 장려 했지만, 한편으로는 하천폭 방향의 유속측선수의 사고법이나 홍수시의 부자측법에서 보정계수가 통일화되어 있지 않았다. 기술기준의 통일을 포함해서, 전국 규모의 계속적인 수문관측체제가 정비된 것은 하천수통제사업조사가 구 건설성 아래서 수리조사로서 개편된 1950년 이후이다.

또, 제2차 세계대전 이전의 구 내무성 토목국은 그 수문관측 성과를 1938년 이후의 것에 대해서 「유량연표」, 「유량연표」로서 간행했다. 그것은 구 건설성 또는 국토교통성으로 조직개편이 된 현재에 이르기까지 계속되고 있으며, 일본에서 귀중한 장기수문통계자료로 되어 있다.

1950년에 앞서 말한 하천수통제사업조사가 수리조사로서 계속적으로 실시된 것과 함께 1952년에 수리조사 기준요항이 건설사무차관통달로서 정해졌다. 통일적인 수문관측 기술기준의 선구가 된 것이다.

1958년에는 하천사방기술기준(안) 조사편에서 제1장 강수량조사, 제2장 수위조사, 제3장 유량조사라고 하고, 수문관측시설의 설치방법, 관측방법, 관측회수 등의 매우 기본적인 부분에 대해서 통일적인 기술기준이 제정되어, 이후 상당정도 가필·수정되었지만, 그 골격은 현재에 이르기까지 이어져 오고 있다.

하천사방기술기준(안)은 수문관측시설의 근간이 되는 부분의 통일기준을 명시하는데, 구체적인 관측의 실시방법까지는 기준화되어 있지 않았다. 한편, 1950년대부터 1960년대 초반부에 걸쳐서, 당시의 구 건설성 토목연구소에서 이들의 기술기준의 재검토·검증이 이루어지고 있었다. 그리고, 성과를 반영한 형태로 기술기준의 내용을 구체적으로 실시하기 위한 안내서·매뉴얼로서, 1962년에 「수문관측」 초판이 출판되었다. 이에 따라, 구 건설성에서 수문관측의 기술적 체계는 실질적으로 확립되기에 이르렀다.

1966년에는 수문관측을 조직적으로 실시하는데 필요한 모든 절차 특히, 수문관측자료의 정리 보관방법의 기준화를 목적으로 수문관측업무규정이 건설사무차관통달로서 제정되었다. 이것은 그 전년도인 1965년에 하천법 개정(치수중심으로부터 이수도 고려하는 대개정)에 이어 수문관측체제의 확립을 도모한 것이었다.

그 후, 수문관측업무규정, 하천사방기술기준(안), 「수문관측」매뉴얼의 각각에 대해서, 시대의 요청에 부응해 개정이 이루어지고 있다.

수문관측업무규정에 대해서는 1996년과 2002년에 근본적인 개정이 이루어졌다. 전자는 1) 관측소를

제1종부터 제3종의 3가지로 구분하고, 배치계획책정이나 보고 절차를 각각 명시한 것, 2) 텔레미터 데이터를 통계기록으로서 자기 데이터와 동일형태로 취급하는 것, 3) 일강수량의 정의를 오전 9시부터가 아닌 오전 0시부터의 24시간으로 변경한 것, 4) 관측시설의 정기적 점검을 의무화한 것, 5) 하천수질·하상관측이나, 지하수위·수질관측의 절차를 새로이 추가한 것 등이 주요한 개정사항이다.

2002년의 수문관측업무규정개정에서는 1997년의 하천법개정(치수·이수에 덧붙여 하천환경의 정비·보전을 목적으로 하여 추가했다), 1999년의 정보공개법 제정, 2001년의 중앙성청의 재편성(구 건설성, 구 운수성, 구 국토청, 구 홋카이도 개발청이 통합되고 국토교통성으로 되었다)을 실시해 수문관측데이터 공개를 목적으로 책임의 명확화와 품질확보를 최대의 키워드로서 아래와 같은 개정이 이루어 졌다.

(1) 관측 데이터의 품질 확보

관측데이터의 품질 확보를 위해서 지방정비국장이 품질관리조직을 설치하는 것으로 하고, 지방정비국장에 의한 수위, 우량 및 유량 등의 관측 데이터의 조사를 의무화했다.

(2) 보통 관측 제도의 폐지

자기관측기기의 보급과 신뢰성의 향상, 레이더 관측기술의 향상으로 보통관측(위탁관측) 제도를 폐지했다.

(3) 수문관측 업무의 확실한 실시

수문관측업무는 지방정비국장이 실시하는 것을 분명히 했다. 구체적으로는 수문관측업무계획을 지방정비국장의 승인사항으로 하고 감사실시계획의 작성을 의무화했다.

(4) 모든 관측 성과의 공개

모든 관측성과에 대해서 디지털화, 인터넷이나 연표에 의한 공개를 의무화 했다.

(5) 기술개발

수문관측에 관한 기술개발을 하천국장 및 지방정비국장의 책임으로 했다.

3. 일본의 수문관측 현황

3.1 관측규모

일본에서 강수량 관측에 대해서는 기상청에 의한 약 1,300지점에서의 관측 데이터가 널리 일반에게 알려져 통계자료로서 활용되고 있다. 그러나, 관측지점수로 보면, 하천관리자가 실시하고 있는 강수량관측의 지점수(국토교통성 약 2,800지점, 지방자치단체 약 2,200지점) 쪽이 훨씬 많다. 이것은 하천구역에서 우량분포를 가능한 한 정확하게 파악해야 하는 필요성과 특히 홍수유출발생의 주요한 곳인 산간지역·고지대에서의 관측소가 기상청에 비해서 많은 것에 그 원인이 있다. 전체로 보면, 일본의 국토면적이 약 378,000km² 이므로, 약 60km²에 1개소는 우량계가 존재한다고 계산된다.

수위관측은 하천관리자인 국토교통성(약 2,000지점)이나 지방자치단체(약 3,300지점) 이외에 경제산업성·발전회사에 의한 수력발전 관련의 관측(약 700개소)이나 농림용수·관개시설관련의 수위관측(농림수산성에서는 100개소 정도)이 있는데, 전자, 특히 지방자치단체에 의한 관측소가 많다는 것을 알 수 있다. 이것은 국토교통성 관할의 1급 하천 직할구간에 비해서, 지방자치단체 관할의 2급 하천이나 1급 하천 지정구간 쪽이 수·길이와 함께 합계로 하면 매우 크기 때문이다. 유량관측소로 보면 국토교통성 관할구간 보다 약 1,300개소가 많다.

국토교통성에서는 앞서 말한 2002년의 수문관측업무규정의 개정에 의해, 유역에 거주하는 주민에게 매일 관측을 위탁하는 보통관측을 원칙적으로 폐지한다는 방침이 명시되어 있고, 90%이상의 관측소가 자기관측으로 되어 있다. 또, 약 60%는 지상 마이크로

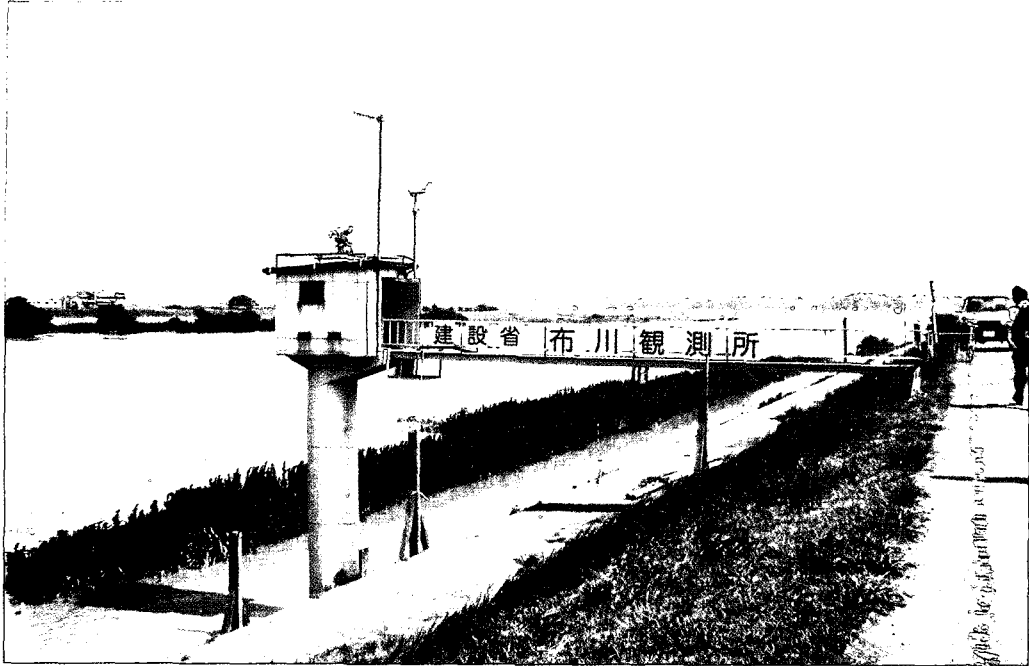


그림 1. 수위유량관측소의 예(국토교통성 관동지방정비국 利根川 布川관측소)

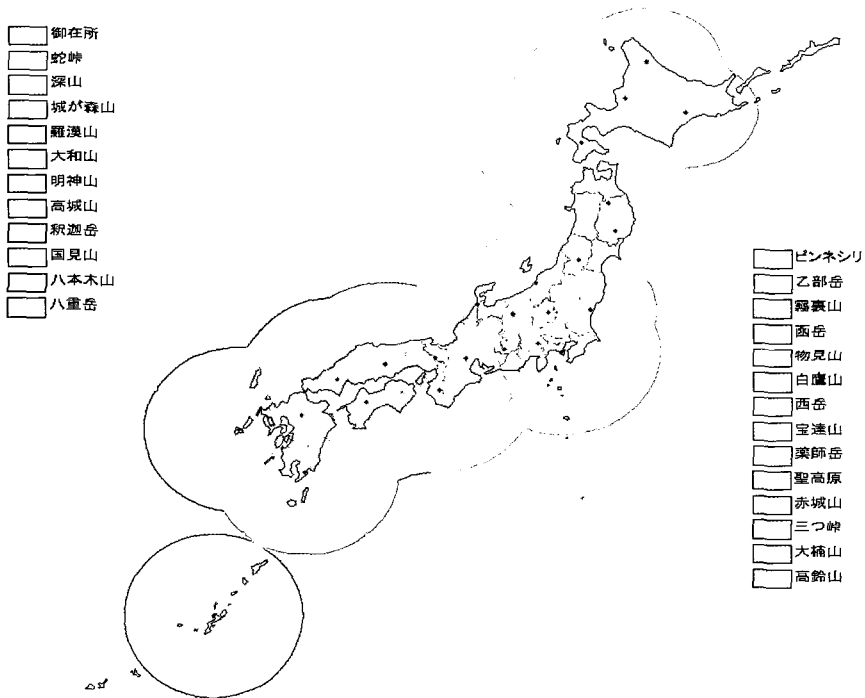


그림 2. 국토교통성 하천국·도로국에 의한 26기의 레이더 우량계 데이터의 전국종합

파 회선에 의한 텔레미터가 설치되어 있고, 실시간 데이터 수집이 가능하게 되었다.

또, 구 건설성 시대인 1976년에 관동지방북부의 아카시로(赤城)산에 일본초기의 디지털 데이터처리가 가능한 레이더우량계를 설치한 이래, 레이더 우량계 네트워크의 정비를 추진하고, 현재, 국토교통성 하천국·도로국으로서 26기의 레이더 우량계(c밴드 정량 관측범위 : 120km, 정성관측범위 : 200km, 5분 간격)에 의해 전국적으로 관측을 실시하고 있다. 당초에는 개별 레이더 마다 개별의 운용·관리가 이루어지고 있는데, 일반인도 알기 쉬운 방재 정보제공·표시가 필요해진 것, 2002년의 수문관측업무규정개정에서 레이더우량계로 관측된 레이더 우량이 수문관측 데이터로서 위치 지어진 것, 기상청이 동일형태로 전국적으로 전개하고 있는 20기의 기상 레이더와의 최적 연계방책의 검토가 필요하게 된 것, 등의 배경으로부터 2002년에 전국의 레이더 우량계 관측 데이터

를 전국적으로 종합하는 것과 동시에 지상 텔레미터 우량관측값을 이용해서 온라인 보정을 실시하는 레이더 우량계 전국 종합시스템이 구축되었다. 이에 따라, 국토수치정보인 3차 격자(약1km×1km의 직교 좌표격자)마다 전국 우량분포를 정량적으로 파악하는 것이 가능하게 되었고, 지상의 GIS 데이터와 종합해서 처리하는 레이더 우량 데이터의 활용이 점차로 넓어지는 것이 기대되고 있다.

3.2 관측데이터의 검증·품질관리체제

앞서 말한 것처럼 2002년의 수문관측업무규정의 개정에서 보통관측원칙 폐지의 방침이 명시되었다. 이에 따라, 수문관측 자료는 텔레미터 데이터나 자기 기록에 전면적으로 의존하게 되며, 이들 데이터의 정밀도 관리의 체제강화가 긴급하게 요구되었다. 이러한 사실로부터 관측소의 관리 상태나 설치위치, 유량

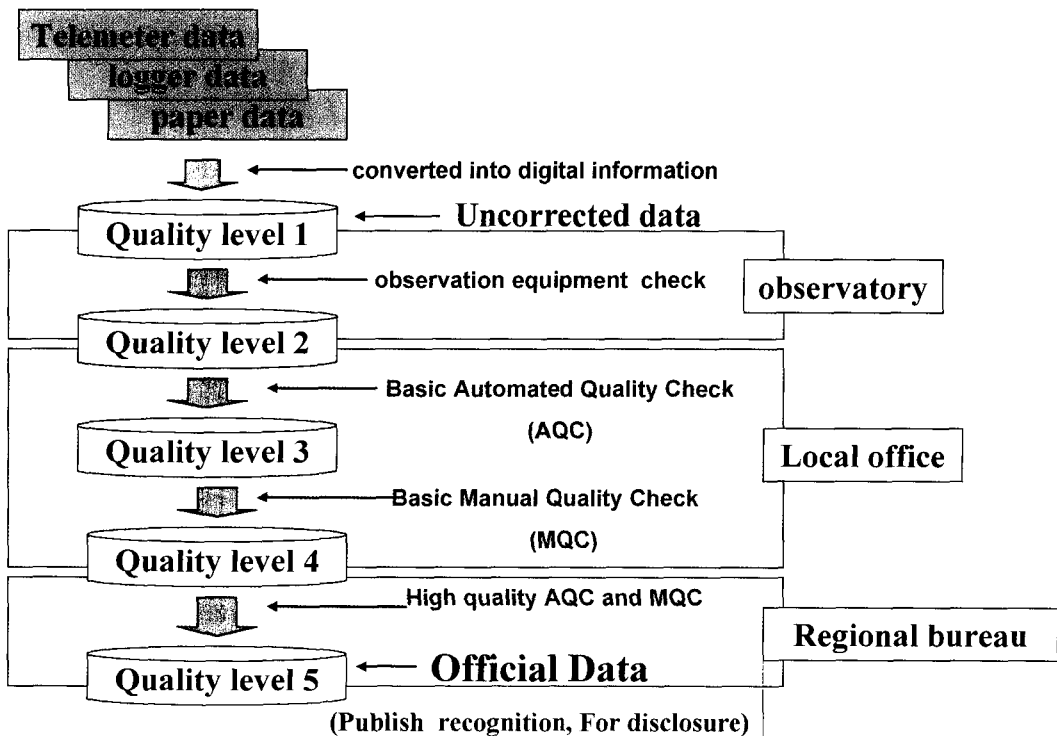


그림 3. 국토교통성의 수문관측 데이터 검증과정

관측의 실시위치나 관측순서에 대해서, 최신 기술적 식견을 바탕으로 재검토를 실시하게 되었다.

또한, 데이터 조사체제의 재검토가 도모되게 되었다. 그 이전까지 얻어진 수문관측데이터는 현장의 숙련 기술자의 판단으로 조사되어져 왔다. 그러나, 기술자의 감소와 함께 과거 조사가 곤란하게 되었다. 그 결과, 하천 상하류의 부정합, 과거 데이터와의 부정합 뿐만 아니라, 이상치가 조사되지 않는 단순한 과오도 눈에 띄게 되었다. 이에 대처하기 위해 2002년의 수문관측업무규정개정에서, 지방정비국장은 수문관측 데이터의 조사, 수위유량곡선의 조사, 기타 수문관측 데이터의 품질확보에 관한 품질관리 조직을 설치하여 수문관측 데이터에 대해서 품질조사의 의무를 규정했다.

이들 개정에 따라, 각 지방정비국에서는 새로이 정밀한 데이터 조사지원 시스템을 도입하여 관측소간의 상관이나 과거 데이터도 고려한 이상 데이터의 검출, 수정 등의 품질관리를 고도한 판단아래 실시하는 체제가 2002년 이후 정비 되었다. 데이터 품질조사의 기술적 수법에 대해서는 수문관측 데이터 품질조사 매뉴얼에 기술되어 있다.

3.3 관측데이터의 공개

1938년 이후의 주요 강수량·유량관측소 데이터에 대해서는 우량연표 및 유량연표로서 인쇄되어 오랜 기간에 걸쳐 일반에게 공표되고 있다.

한편, 종이기반의 공개 뿐만 아니라, 최근에는 인터넷 상에서의 디지털 데이터의 공개도 급속하게 진전되고 있다. 이것은 국토교통성에서 「물에 관한 모든 정보를 수집정비하고, 국민이 그것을 공유하고, 활용하는 것에 의해서 실현된 안전하고 다양한 문화를 가진 국토」를 「물정보국토」로 정의하고, 그 구축을 목적으로 2002년 이후 하드웨어(광케이블망, 감시카메라(CCTV) 등), 소프트웨어(하천GIS, 물정보국토 데이터 관리 센터 등)정비를 활발히 추진해온 성과이다. 국토교통성의 물정보국토의 홈페이지는 <http://www.river.go.jp/IDC/index.html> 인데,

그 중에서 수문관측 데이터로서는 수문수질 데이터베이스 홈페이지(<http://www1.river.go.jp>)에 링크되어 있고, 우량·수위 뿐만 아니라, 유량, 수질, 하상, 지하수위, 지하수질, 적설깊이, 댐, 제방 등의 여러 자료와 해상 데이터가 공개되고 있다. 모든 데이터의 디지털화가 완료된 것은 아니지만, 과거 수문데이터의 다운로드도 가능하다. 또, 동일한 형태로 주요한 강수량·수위·유량관측소의 텔레미터 데이터에 대해서, 국토교통성 하천국·도로국 레이더 우량계 관측화상도 포함해서, 하천의 방재정보 홈페이지(<http://www.river.go.jp>)에서 볼 수 있다. 레이더 데이터에 대해서는 기상청 레이더와 국토교통성 하천국·도로국 레이더 데이터를 종합한 실시간 레이더 데이터에 대해서 국토교통성 방재정보제공 센터(<http://www.bosaijoho.go.jp>)에서도 열람이 가능하다. 실시간 데이터란, 육지·산악지역의 중~고강도의 강우관측에 유리한 국토교통성 하천국·도로국 레이더 데이터와 해안지역의 강우나 약한 강우에 유리한 기상청 레이더 데이터의 양자의 이점을 살려가면서 종합한 산물이다.

4. 일본의 수문관측 기술 기준의 개요

강수량과 수위·유량조사에 관한 일본(국토교통성)의 수문관측기술기준과 현황에 대해서, 이하, ISO기준과 다른 부분도 포함해 주요한 사항에 대해서 소개한다. 상세한 내용에 대해서는 참고문헌을 참조하기 바란다.

4.1 강수량 조사

강수량은 어느 시간내에 지표의 수평면에 도달한 강수의 양을 말하고, 물의 깊이를 나타낸다. 일본에서 가장 일반적으로 이용되는 센서는 전도형(Tipping Bucket type) 우량계이다. 수문관측업무 규정에서는 일단위의 저수형 우량관측이 일반적 이었

던 시대에는 0.1mm 단위로 계측하는 것으로 되어 있었는데, 1996년의 개정으로, 당시 1mm단위의 전도형이 주류였던 텔레미터 데이터도 통계 데이터로서 활용하는 관점과 면적우량으로서의 평가오차와의 균형으로부터 1mm단위로 간소화되었다.

하천관리자로서의 입장에서는 하천유역 스케줄에서의 강수량분포나 평균량을 아는 것이 중요하다. 이 때문에, 유역 스케줄이나 지형에 따라서 적절한 밀도와 위치에서 우량관측소를 설치하는 것이 중요하다. 표본계획법에 의한 연구성과가 현재의 기술기준에서 채택되고 있고, 가령, 3000km²의 하천유역에서 유역평균 일시 총 유량을 10%이내의 오차로 파악하기 위해서는 30개소 정도의 우량관측소가 필요하게 된다. 최근에는 기술한 것처럼 지상 텔레미터 우량값에 의해 온라인으로 보정을 실시한 1km 격자의 전국종합 레이더 우량 데이터가 이용가능하게 되었고, 폭넓은 분야에서의 활용이 기대되고 있다.

4.2 수위조사

수위란 어느 기준면으로부터 측정된 수면의 높이이다. 매우 좁은 의미에서는 수위는 동경만 평균해수면(T.P.=Tokyo Peil)을 기준면으로 해서 측정된 수면의 높이이다. 그러나 어떤 하천단면에서의 수심이나 유수 단면적과의 관계를 직감적으로 이해하기 쉽도록 개별 수위관측소마다 최저수위부근을 기준으로해서 수면높이를 측정·표시한 방법도 많이 채택된다. 모든 경우 수준기표를 관측소 부근에 설치하고, 수위관측 영점표석과의 상대표고차를 파악해둘 필요가 있다.

수위관측을 실시하는 수법은 1cm 단위에서의 목자판을 지지 기둥에 설치한 수위표에 의해 수위를 직접 육안으로 읽는 보통관측과 수위계와 자기지·데이터 로거라는 기록장치(텔레미터라 불리는 데이터 전송장치도 대개 함께 설치된다)를 조합시킨 자기관측으로 크게 구별된다. 단, 자기관측에서도 관측값의 정기적인 체크나 자기수위계 결측시의 수위확인·보고를 위해서 목자판 수위표는 불가결하다. 자기기록

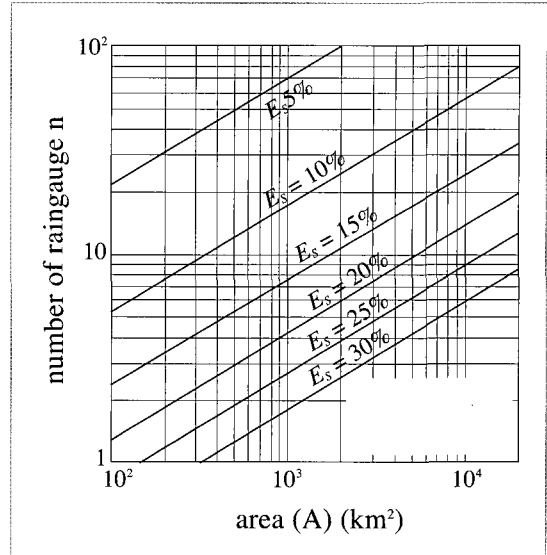


그림 4. 허용관측오차를 매개변수로 한 유역면적과 필요우량관측소와의 관계

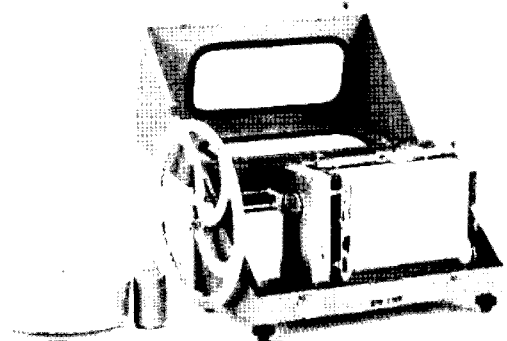


그림 5. 수연62형 부자식 수위계

없이 인력에 의한 보통관측이 주류였던 시대는 6시와 18시의 1일 2회의 관측 데이터의 평균을 일평균 수위로 했는데, 현재는 매시 수위의 평균을 채용하고 있다.

자기기록을 위한 수위센서에는 주로 1) 부자식, 2) 리드 스위치식, 3) 압력식, 4) 초음파식 등의 종류가 있다. 부자식은 측정기구가 단순하며, 하상변동·퇴사 등의 영향을 배제가능하면 장기적으로 안정적인 기록을 얻을 수 있다. 1962년에 구 건설성 토목연구소에서 개발된 수연 62형 부자식 수위계는 특히 그 기록부의 신뢰성이 높아 일본국내에서 매우 널리 보급된

수위계였다.

리드 스위치식(측정기동식)은 하상에 H형 강철 지지봉을 세우고 수위표와 동시에 설치하여 물의 흐름을 방해하는 면은 있지만 부자식에 비해서 설치가 용이하고 하천의 중하류부에서 많이 이용된다. 수압식은 압력센서를 이용하는 것으로 시설의 설치나 유지관리가 용이하여 최근 그 사용이 증가하고 있다. 초음파식은 비접촉으로 수위를 계속하기 때문에 토사 등이 유하 하는 하천상류부나 하상변동이 심한 하천, 고유속의 수로 등에서 이용된다.

4.3 유량조사

하천유량의 현지관측수법은 1) 유속·면적법, 2) 수리구조물에 의한 계측법, 3) 홍수흔적 등을 이용한 수리학적 지식을 바탕으로 한 간접 계측법으로 크게 분류 가능하다. 일본의 저수관측에서 많이 이용되는 휴대용 유속계에 의한 방법 및 고수관측에서 이용되는 부자측정법은 1)로 분류된다. 일본의 하천에서는 저수부터 홍수 등의 고수에 이르는 유황의 변화폭이 매우 크므로, 저수시, 고수시의 각각에 적합한 관측수법을 각각 채용하는 것이 일반적이다.

저수시에 이용되는 유속·면적법(Velocity-Area Method)은 일반적으로는 휴대용 유속계에 의해서 실시된다. 유수단면중의 유속분포를 실측하고, 수심측정결과와 함께 구분단면마다에 평균유속·유량을 산출해서 하천 전 단면에서의 유량을 산출하는 방법이다. 국토교통성의 기준의 표준법에서는 수심측선간격을 수면폭의 10%정도 이하의 등간격으로 설정하고 유속측선간격은 그 배로 하고 있다. 수심측선을 겸한 유속측선을 끼고 있는 양측의 수심측선의 합계 3개의 수심측선 데이터를 이용해서 두 개의 평면형 면적을 구하고, 그 중앙에 있는 유속관측값을 대표유속으로서 곱하는 것으로 구분유량을 구해, ISO에 규정되어 있는 복수 수법의 어느 쪽과도 일치하지 않는 독자적인 구분단면 유량계산법으로 되어 있다. 정밀법에서는 유속측선의 간격을 절반으로 하고 있고, 이것이 ISO 기준상의 측선

간격과 대략 일치한다. 단면형이나 유속분포에 따라서 단면전체의 유량에 크게 기여하는 부분의 관측은 정밀하게 실시해야 하는 것이나 ISO처럼 구분유량 5%를 목표로 하고 10%를 넘는 경우는 측선을 재설정한다고 까지는 구체적으로는 규정하고 있지 않다. 1측선에서 연직방향의 평균유속에 대해서는 수심의 20%와 80%의 위치에서의 유속의 평균값으로 대표하는 수법이 일반적으로 채용된다. 한 측정에서 유속측정에 대해서 ISO 규격에서는 1회 계측으로 좋다고 되어 있지만, 일본기준에서는 실수에 의한 오차를 피하기 위해 2회 계측을 의무화하고 있다. 단, ISO에 있는 불확실도 계산 방법은 일본에서는 기준화되어 있지 않다. 이용하는 유속계로서는 프라이스 유속계 등의 회전식 유속계나 휴대용 전자유속계가 대표적이다. ISO에서는 유속계 타입마다에 계측시간을 설정하고 있는데 일본에서는 표준 20초, 정밀관측일 때 60초로 일률적으로 규정하고 있다. 홍수시 일본에서는 주로 부자법에 의해서 유량관측이 실시되고 있다. 필요한 측선마다 부자를 투하 하고 어떤 구간을 유하하는 시간을 계측하여, 그 구간의 평균 유속을 구해서 각 측선의 유속이라 간주하는 방법으로 수위관측값과 관측 전후작성의 하천단면도를 바탕으로 각 유속측선 주변의 구분단면적을 평가하고, 합산해서 하천전단면에서의 유량을 산출하는 방법이다. ISO에서는 부자관측은 보조적으로 매우 간단하게만 규정하고 있는데 이 부자측법에 대해서 상세히 규정하고 있는 점이 일본의 기준의 특징이다. 일본의 하천은 경사가 급하고 지리가 짧으므로 홍수는 모두 돌발홍수(Flash Flood)라 불려도 좋을 정도로 급격한 수위·유량의 변화를 나타낸다. 이 때문에 홍수유량관측시의 최대유속은 5m/s를 넘는 일은 매우 보통이고 장소에 따라서는 10m/s를 넘는 일도 있으며, 추를 달아도 유속계의 유수로의 삽입은 상당히 곤란하다. 또, 침식작용이 심하고 토사농도가 높은데다가 유목이나 쓰레기 등의 유하가 매우 많다. 이 때문에 가동부를 포함하는 프로펠러 유속계는 물론이고 유속계의 유수로의 삽입조차도 위험하다. 이러한 상황으로부터 일본에서는 그러한 장소에서도 홍수류에 대해서 확실하게 적용 가능한 수법으

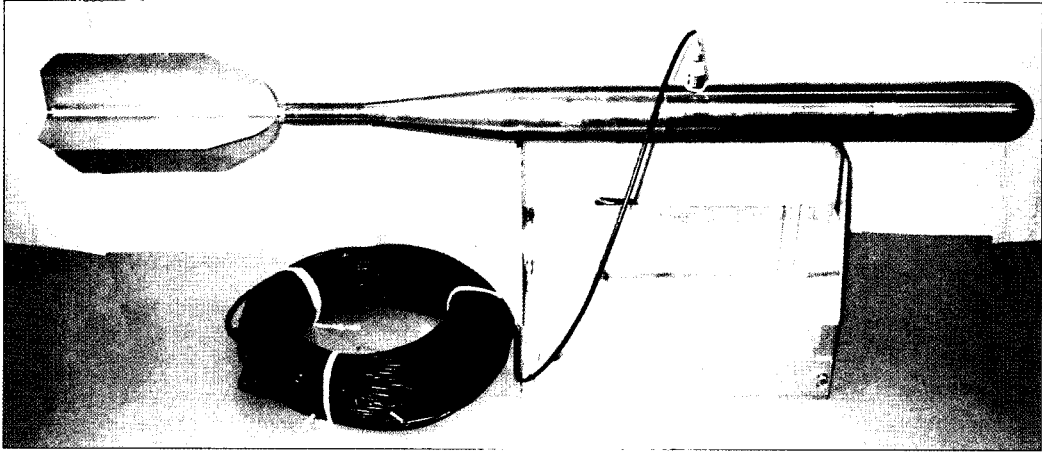


그림 6. 수압식 수심 유속계

로서 부자측법을 채용해온 경험이 있다. 국토교통성 기준에서는 부자의 흘수비(흘수심과 수심과의 비)를 0.4~0.8의 사이에 수렴하는 것을 원칙으로 해서 부자의 종류(흘수심)를 15cm(표면부자), 0.5m, 1.0m, 2.0m, 4.0m의 5종류로 한정하는 것과 동시에 조도계수와 수심방향의 유속분포를 가정하여 각 측선의 수심만의 함수로 해서 일의적으로 부자와 보정계수(부자의 유하속도에 곱해서 해당측선평균유속을 산출하기 위한 비)를 설정해서 선택 가능 하도록 하고, 부자와 보정계수의 규격화를 도모하고 있다.

또, 부자를 이용하지 않고 수심방향의 평균유속을 직접 측정하는 것으로 홍수유량관측의 정밀도를 향상시키는 것을 목적으로 피토크의 원리에 기초하여 정압·동압의 측정에 의해 유속과 기심을 동시에 측정하는 것으로 어느 정도의 유속까지 적용 가능한 홍수관측용의 수압식수심유속계가 개발되고 있다.

단면평균유속 V_m 을 직접측정해서 유량을 평가하고자 하는 방법으로서 수중에 초음파를 발신해서 물의 흐름에 의한 주파수의 도플러 이동을 측정하는 초음파 센서를 이용하는 방법, 하상에 전자 코일을 설치하고 하천단면 전체에 자기장을 발생시켜서 그것을 유수가 통과 할 때에 발생하는 기전압을 측정하는 것으로 V_m 을 구하는 개수로전자유량계를 이용하는 방법이다. 전자는 도플러 센서를 수심방향으로 복수 수중설치 하는

것에 의해 V_m 을 구하는 소위 초음파 유속계로 수상 보트나 하안·교각 등으로부터 초음파를 복수방향으로 조사하고, 흐름방향의 조사영역내의 각 단면유속분포가 일정하다고 가정하는 단면내 2차원 유속분포를 직접 평가하고자 하는 ADCP가 있다. 어떤 방법도 휴대용 유속계를 이용하는 수법보다는 단시간내 관측이 가능하고, 수위유량곡선이 적용 불가능한 지점(조석이나 댐조작·대하천과의 합류 등에 의한 배수의 영향을 받는 지점)을 중심으로 활용사례가 증가하고 있다.

한편, 유수에 직접 닿지 않는 원격 탐사에 의해서 하천의 표면유속만을 측정하고, 수심방향의 유속분포를 가정하는 것에 의해 유량을 관측하는 수법이 최신 개발 되었다. 아무리 급격한 홍수출수에서도 인력에 의존하지 않고 신속·안전·확실하게 또, 연속적으로 유량관측 데이터를 얻을 수 있다는 점이 최대 이점이다. 유수내의 유속분포를 직접 측정 불가능하므로 고정밀도를 담보로 하기 위해서는 앞서 말한 수법 이외의 수법과 적절한 조합을 이루는 것이 필요하게 되는데 수위관측과 세트로 된 표면유속의 연속 데이터는 하상변동이나 조도의 변화 등 수리화적인 유황의 변화의 모니터링에도 유효하다는 것이 보고되고 있다. 유수표면에서의 도플러 효과를 이용하는 전파유속계 및 초음파 유속계 이외에 비디오카메라로 하천표면의 파문 등의 이동을 촬영하고, 화상처리에 의해서 표면

유속분포를 구하는 유형도 개발되고 있다. 도입시에 막대한 초기비용이 필요하지만 장기적으로 관측을 계속하는 것이므로 종합적으로는 유량관측 비용을 절감하는 것이 가능하며, 중소하천에서의 유량관측 체제 구축이나 중요지점에서의 관측의 이중화(백업)등에 유효하다고 생각된다.

수리구조물에 의한 계측법은 독이나 한계류를 발생시키는 댐 등의 구조물을 하천단면에 설치하고, 상류(常流)부터 사류(射流)로 천이하는 지배단면 등을 만들어서 일의적인 수위유량관계를 얻는 방법이다. 흐름을 크게 저해하므로 유량관측목적만으로 이 같은 구조물을 만드는 것은 매우 작은 규모의 계류 등을 제외해야하는데, 기존 제방이나 댐·수문 등의 구조물이 있는 지점에서는 이 방법에 의해 유량을 관측하는 것이 가능하고 널리 적용되고 있다. 최근, 기존 위어 등에서 수리공식을 활용한 간단한 유량관측수법이 실현 가능한지의 여부에 대해서 토목연구소에서 검토를 실시했는데 적용 가능한 수위·유량범위가 한정 되어 있으므로 수리공식만을 단독적으로 이용할 경우 현실적으로 적용성이 없다고 생각되고 있다. 단, 통상의 수위유량곡선 작성에 의한 유량평가지점으로서의 하상안정을 통해서 정밀도의 안정이라는 좋은 효과를 가져 올 가능성이 있다.

홍수흔적을 이용한 수리학적 식견에 근거한 간접 유량측정법은 일본에서는 유량관측수법으로서는 인식되어 있지 않다. 일본에서는 특히 현지에서의 홍수 유량관측 데이터와 부정류 계산 시뮬레이션을 조합시켜 주요지점에서의 유량관측 데이터를 상하류에서 종합적으로 조사하거나 시공간적으로 보간하는 수법으로서 이용하는 것이 일반적이다.

5. 이후의 과제

5.1 수문관측 데이터의 요구에 대한 대응

수문관측의 목적은 먼저, 장기적으로는 치수·이수

계획을 입안하기 위한 기초적인 데이터를 얻는 것이며, 단기적으로는 수해 방지활동이나 갈수 대책 등에 필요한 데이터를 얻는 것에 있다. 그 중요성은 이후에도 변함없으며, 현장 수준에서도 항상 확인해가는 것이 중요하다. 그러나 한편으로는 하천관리, 유역관리에 대한 사회적인 요청에 따라서 수문관측을 둘러싼 환경도 크게 변화해 가고 있다. 예를 들면 홍수나 갈수라는 하천의 상태에서는 한정된 기간에 관측성과의 활용에 더해, 앞으로는 보통 하천의 유황·수리형태에 대한 상세한 관측성과의 활용 기회가 증가해 갈 것이라 생각된다. 가령, 생태계 보전의 관점으로부터는 단면평균유량이 아닌 횡단방향의 유량변화의 관측이나, 물순환계의 파악의 관점으로부터는 수계일관의 데이터 처리 등이 필요하다. 또, 이미 말한 것처럼 일반 사용자에게 대한 정보공개의 요구와 활용이 앞으로 점점 증가해 갈 것이라 가정된다. 이들의 새로운 요구에 대응한 관측체제·기술기준의 확립이 앞으로 중요하게 될 것이라 생각된다.

5.2 수문관측효율화 요구에 대한 대응

일본은 저출산 고령화가 급격하게 진행되고, 가까운 장래에 인구감소도 예상되고 있다. 공공투자가 앞으로 축소되어 가는 것은 피할 수 없으며 하천정비가 아직 충분하다고 말할 수 없는 상황에서 수문관측을 둘러싼 환경은 급변해가고 있다. 이후, 정밀도·신뢰성을 보전 유지하면서, 인력 감소화·비용절감을 도모하는 것이 가능한 수문관측체제·기술기준의 방법이 더 한층 요구될 것이라 예측된다.

구체적인 수법으로서 1) 기존 수문관측소의 배치의 재검토를 바탕으로 한 관측소수의 감축, 2) 수문관측의 중점화와 다양화, 3) 인력감소화·비용절감에 공헌 가능한 신기술의 개발 등이 가정될 것이다. 1)에서는 관측목적에 비추어서 우량·수위·유량관측소의 배치가 적정한지의 여부를 재확인하는 것과 동시에 필요하다면 관측소의 통폐합 등을 추진할 필요가 있다. 2)는 1)과 세트로 생각해야하는 사항이다. 하천계획

·관리상 중요한 관측소에는 중점적인 투자를 실시하고, 필요 충분한 품질의 수문관측 자료를 확보하는 한편, 우선순위가 떨어지는 관측소에 대해서는 어느 정도의 오차 레벨은 허용한 간이적인 관측체계·기술 기준을 적용해가는 수법이다. 3)은 예를 들면 비접촉형 유속계 등의 무인으로 관측 가능한 유량관측 시스템의 개발·실용화이다.

5.3 품질을 확보하기 위한 관측 시스템의 개선과 유지관리

각 관측소에서 관측기로부터 데이터의 표시장치까지 시스템으로서의 재검토도 중요하며, 필요에 따라서 수위계의 증설이나 이설, 센서 및 전송로의 다중화, 전송로의 확실성의 확보(텔레미터 + 유선화), CCTV의 설치 등의 조치를 실시해갈 필요가 있다. 또, 유량·수위관측에 대해서 자기관측이 기본이 되고, 관측소의 매일의 유지관리를 적절하게 실시해 가는 것에 대한 중요성이 증가하고 있다.

5.4 수문관측기술 기준의 재검토

5.2에서 기술한 것과 공통인데, 하도수리학이나 계측기기 등에 관한 최신 기술적 식견도 바탕으로 하면서 과거부터의 요구 뿐만 아니라 위에 말한 새로운 요구에 대응 가능하면서, 유연하고, 다양한 관측기술 기준의 제시가 수문관측정밀도의 유지·향상과 비용 절감의 양립을 위해서 필요하다고 생각된다.

5.5 수문관측 데이터 조사 시스템의 개선

3.2에서 말한 것처럼 2002년의 수문관측업무규정의 개정에 따라 새로운 데이터 조사체제가 구축되고, 이미 2년이 경과했다. 품질조사 매뉴얼에 따른 조사 작업에 의해서 이상데이터의 스크리닝의 효율성 향상 면에서 큰 성과를 올리고 있는데, 관측소 현지에서의

관리보수성과와의 연계, 조사결과 관측데이터의 품질 향상에 대한 정확한 피드백, 실시간 데이터 감시 시스템으로의 발전 등의 측면에서 앞으로 한층 더 개선의 여지가 있다고 생각되고 있다. 또, 레이더 유량 데이터의 관리·조사체제의 확립도 앞으로의 과제로 남아 있다.

참고문헌

- 국토교통성(2002) 수문관측업무규정 및 동세척, 국토교통사무차관통달, 국가하천환경 제6호
- 건설성 하천국(1998) 개정 신관건설성 하천사방기술기준(안) 동해설·조사편, (사)일본하천협회
- 국토교통성 하천국 감수, 독립행정법인 토목연구소편저 (2002) 2002년도판 수문관측(제4회 개정판), (사)전일본 건설기술협회
- 개수로 유량계측에 관한 ISO규격 : -748, -1070, -1088, -1100-1, -1100-2, -6416, TR7178, TR8363, TR9123, TR9209, -9213, -9823, -9825, DTR11332, & DTR11627.
- 竹島睦(2003) 수문관측업무규정의 개정과 새로운 수문관측체계, 토목기술자료, Vol.45, No.2, pp.18-21.
- 橋本健(1977) 표본계획법에 의한 면적우량의 정밀도 및 신뢰도 평가에 관한 연구, 토목연구소 보고 제149호, pp.115-127
- 深見親雄, 新部明朗(2004) 전국종합 레이더 우량의 정밀도 검증, 수문·수자원학회 2004년 연구발표회 요약집, pp.130-131
- 深見和彦, 天羽淳, 大手方如, 吉谷純一(2003) 유량관측에 관한 기술기준의 과제와 새로운 기술개발에의 대응, 토목기술자료, Vol.45, No.2, pp.22-29.
- 堀田哲夫, 吉谷純一(2003) 개수로 유량계측에 관한 국제규격, 토목기술자료, Vol.45, No.2, pp.46-51.
- 山口高志(2003) 홍수유속 및 유량관측 - 제2, 수문·수자원학회지, Vol.16, No.4, pp.439-448.