

일본의 수위-유량곡선의 정도(精度)와 개선 방향

권오익 (일본 국토교통성 토목연구소 수공연구그룹(수리수문) 일본과학기술청 STA Fellow 연구원)

요시타니 쥬니치 (일본 국토교통성 토목연구소 수공연구그룹(수리수문) 상석(上席)연구원)

1. 서론

수문관측의 필요성과 중요성, 이에 수반하는 문제점은 어느 나라나 공통된 과제일 것이다. 또한 그 해결방안에 대해서도 서로 엇비슷한 견해를 공유하고 있으나, 그 실행방안은 각 나라의 여건(경제사정, 우선순위 등)에 따라 다소 차이가 있을 수 있다. 일본의 경우 오래 전부터 국토교통성을 중심으로 토목연구소를 비롯한 관련 연구소와 학회, 회사 등이 주축이 되어 조직된 각종 연구회와 위원회에서 지속적인 수문관측(우량관측, 수위관측, 유량관측 등)의 정도향상을 위해 노력하고 있다. 본고에서는 그중 수위, 유량관측에 따라 작성되는 수위-유량곡선식과 관련한 일본의 현황을 소개하고자 한다.

2. 수위-유량곡선의 정도(精度)

수위-유량곡선이란 관측된 수위와 유량의 관계를 나타내는 곡선으로, 이를 이용하여 연속적으로 관측된 수위로부터 연속된 유량을 계산하게 된다. 수위-유량곡선을 작성하여 이용하기 위해서는 자료의 점검, 곡선식 적용기간의 분리(곡선의 분리), 수위-유량곡선식의 선정, 수위-유량곡선도의 작성, 수위-유량곡선식 조사 등 일련의 절차가 필요하다. 어느 정도 하상경사가 있고 수위가 천천히 변동하는 지점에서는 수위와 유량의 관계가 거의 일대일로 대응하나, 홍수시나 배수의 영향을 받고 있는 지점 등에서는 일대일로 대응되지 않는다. 저수시의 수위-유량곡

선은 보통 1개의 곡선으로 나타나나, 홍수시의 경우에는 홍수전후가 서로 다른 루프형태로 나타난다. 홍수시의 경우 상승시의 수면경사가 하강시보다 급하게 되어(상승시의 유속이 하강시의 유속보다 일반적으로 빠름) 같은 수위라도 상승시의 경우, 최고수위보다 최대유량이 먼저 발생하게 된다. 따라서 발생한 루프를 무시하고 수위-유량곡선을 작성한 경우, 수위로부터 변환된 유량은 홍수 상승시에는 실제유량보다 작고, 하강시에는 실제유량보다 크게 계산된다. 명확한 루프가 확인되지 않는 한 보통 1개의 수위-유량곡선으로 나타내는 것이 일반적이거나 보다 정도 높은 계산을 위해서는 수면경사 등을 고려한 유량보정방법이나 홍수마다 수위-유량곡선을 상승시와 하강시로 시기를 구분하는 방법을 이용하기도 한다.

작성된 수위-유량곡선은 그 이용을 전제로 하는 것으로 그 정도(精度)가 관건이라 할 수 있다. 정도(精度)란 일반적으로도 폭넓게 사용되고 있으나, 작성된 수위-유량곡선식의 정도란 정확성(正確性, accuracy)과 정도(精度, precision)의 개념이 함축되어 있다고 할 수 있다. 정확성이란 관측치가 참값에 치우침이 적은 것을 의미하며, 정도란 그 관측치가 참값에 조밀하게 분포되어 있는 것을 말한다. 그러나 우리는 진정한 참값을 알 수 없기에 관측치의 대표치를 참값으로 가정하여 이용하고 있다. 그림1은 루프형태로 나타내지 않은 일반적인 수위-유량곡선에 대해 그 정확성과 정도의 개념을 나타낸 것이다.

그림 1(a)는 정확성은 높으나 정도가 낮은 예로,

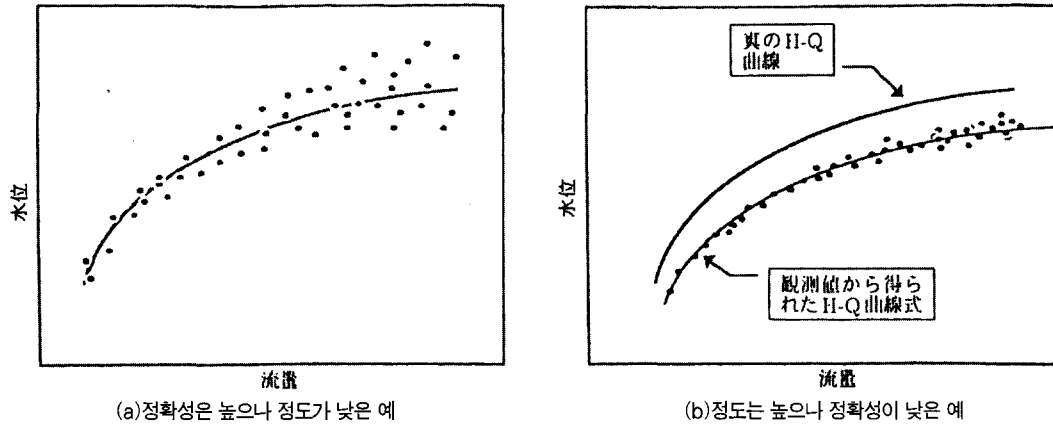


그림 1. 수위-유량곡선의 정도와 정확성의 개념도

보다 정도가 높기 위해서는 충분히 확보된 관측치가 수위-유량곡선에 보다 조밀하게 분포되어야 한다. 그림 1(b)는 정도는 높으나 정확성이 낮은 예로, 이는 주로 관측치가 일정한 경향오차를 갖고 있을 때 발생한다. 경향오차의 원인으로는 관측방법의 한계, 수면경사, 단면특성, 조도의 변화와 같은 물리적인 요인 등이 있다. 실제 작성된 수위-유량곡선의 경우, 그림 1(a)와 같은 경우는 쉽게 발견이 가능하다. 그러나, 그림 1(b)와 같은 경우는 관측자가 자신의 관측치를 쉽게 신뢰하는 경향이 있어, 별도의 독립된 정확성 조사를 실시하지 않는 한 통상 발견되기 어려운 오류이다. 이의 방지하기 위해서는 관측자가 직접 인근관측소와의 유출을 등을 독립적으로 조사하여 비교하는 등, 관측치에 대한 별도의 검정해석을 실시하여야 한다. 또한, 흔히 관측치는 충분한데 분산이 크거나, 분산은 작는데 관측치가 충분하지 못한 경우가 있는데, 두 경우 모두 정확성을 확신할 수는 없을 것이다. 실제로 시시각각으로 수위가 변동하는 홍수의 경우 관측치를 충분히 확보하기가 매우 어렵다.

3. 수위-유량곡선식 작성과정상의 오차와 관련문헌 조사

유량계산과정의 정도를 결정하는 오차요인으로는 수위관측에 의한 오차, 유속관측에 의한 오차, 유량

을 평가할 때의 오차로 구분할 수 있다. 표 1은 각각의 오차요인과 이와 관련된 일본의 문헌을 조사한 것이다. 표 2는 문헌조사결과 나타난 각 항목별 오차의 영향을 정리한 것이다.

4. 작성된 수위-유량곡선의 수면구배를 고려한 보정 결과

수위-유량곡선식에 의해 추정된 유량과 실측유량과의 오차는 식(1)에 의해 구한 상대편차를 이용하여 평가할 수 있다. 식(1)에서 σ 는 상대편차, N는 관측치수, Q_c 는 수위-유량곡선식에 의해 수위를 대입하였을 때 구해진 추정유량, Q는 관측유량을 각각 나타낸다.

$$\sigma(\%) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum \left(\frac{Q_c - Q}{Q}\right)^2} \times 100 \quad (1)$$

표 3은 일본의 관측소별 홍수에 대한 수위-유량곡선식의 상대편차에 의한 오차파악 실례를 소개한 것이다(한국의 강은 일본의 경우 가와(川)로 발음되며, 일부 일본 한자의 표기가 곤란한 것이 있어 수계명과 하천명, 관측소명을 모두 한글발음으로 나타내었다).

하천 경사가 완만하고 홍수시의 수면경사의 변화

표 1. 유량계산과정의 오차요인과 관련문헌

오 차 요 인		관 련 문 헌	
구분	세부항목	문헌명	저자
수 위 관 측 에 의 한 오 차	계기 및 계측법에 의한 오차	-	-
	만곡하천의 수면경사에 의한 오차	수리공식집, 소화60년(1985)판 기보당	토목학회(1993)
		충적하천학, 산해당	山本昱一(1996)
		풍천만곡부에 대해 제21회 중부지방, 건설국기술연구회 논문집	藤村信行 鈴木輝明 田村伸夫 (1978)
		도로공의 만곡부에 관한 이론적 고찰, 토목기술자료 25-3	阿部宗平 鈴木浩之 (1983)
	사주에 의한 수심과 유량의 변화에 동반하는 오차	충적하천학, 산해당	山本昱一(1996)
		하도계획책정의 입문서, (財)국토개발기술연구센터	(1999)
		선상지(扇狀地)하천의 하도특성과 하도처리, 토목연구소자료제3139호	山本昱一 高橋昱(1993)
	홍수시의 수면파에 의한 수위오차	충적하천학, 산해당	山本昱一(1996)
		제방만배(滿杯)유량시의 수위변동에 의한 제방월류, 토목연구소자료제3139호	山本昱一 藤田光一(1993)
불어닥친 바람에 의한 수위 오차		충적하천학, 산해당	山本昱一(1996)
유량 관측에 의한 오차	부자관측법에 있어서 측선의 불안정에 의한 오차	유량관측에 있어서 관측시간과 정도의 관계, 토목기술자료23-9	淺野富夫 (1981)
		하천하류부에 있어서 홍수유량관측법에 관한 제안, 수문수자원학회지 제11권 5호	木下良作 (1988)
	홍수시의 하상변동에 의한 영향	소화 63년 8월 홍수관측 결과에 대해, 북해도개발국 기술연구회 발표개요집 32-3	坂井一浩 西村豊 高田利幸(1989)
유량을 평가 할때의 오차	단면내 평균유속을 평가할 때의 오차	부자의 변경계수, 토목기술자료5-1	竹内竣雄 江川太郎(1957)
		수리공식집, 소화 46년 개정판 기보당	토목학회
	수위-유량곡선식 작성시의 오차	하천응용수문학서설 (財)하천정보센터, 산해당	竹内竣雄(1996)
		수문구배를 고려한 수위유량곡선, 토목기술자료 14-6	青木祐久(1972)
	홍수유량 산출 정도 향상을 위한 수위유량곡선식 조사의 한방법, 토목기술자료39-7	吉谷純一 寺川陽(1997)	

가 큰 경우에는 관측된 수위와 유량의 관계가 루프형태로 그려진다. 이때 수위관측치로부터 환산된 유량에는 보다 큰 오차가 발생하게 된다. 이 경우 수면경사를 보정하여 수위-유량곡선식을 작성하는 것이 바람직하다. 표4는 표3의 홍수에 대해 루프성을 고려하

여 2점법에 의해 보정된 수위-유량곡선의 상대편차를 함께 나타낸 것으로 그 보정효과를 알 수 있다.

한편 다케우치(竹内)는 유사가 특히 많은 神流川の 하상형상 변화가 심한 지점에서 1953년도 유량자료를 기초로 연간 몇 개의 수위-유량곡선식으로 나타

표 2. 유량계산정도의 영향(문헌조사결과)

검토항목	문헌조사결과	문헌명	비고	
수위계 및 관측법에 의한 오차	계기특성에 의한 오차	±1cm이내	모회사의 부자식수위계(水研62型)	
		±1mm~1cm이내	기상계기 부자식수위계(리도스위치식)	
		±0.1~0.2%이내	카달로그 압력식수위계(수압식)	
		±0.02%이내	압력식수위계(수정식)	
		±1cm이내(無風靜水時)	초음파수위계	
관측법에 의한 오차	만곡하도의 수면경사에 의한 오차	△H=1m정도	山本昱一(1996) 도오가와(豊川), 1965년 9월 홍수의 흔적(廊跡)수위의 사례	
		사주(砂州)에 의한 수심과 유량변화에 의한 오차	사주를 형성한 지배유량 상당수심의 3~4할 정도의 좌우안 수위차	I=1/100, 직선하도에서 B/H m가 50이상의 단열사주하도에서의 모형실험에 의해
		하상경사 1/1000에서 0.4m 정도의 좌우안 수위차	최우안의 혼적수위차와 하상경사를 비교한 그림으로부터	
오차	홍수시의 수면파에 의한 오차	홍수 침두수위 진동의 반 △H와 수심H의 비 △H/H가 최대5%정도	△H/H와 froude수의 관계도로부터	
	불어닥친바람, 파랑에 의한 오차	△H=10cm정도	풍속 30m/s, B(하천폭)/H(수심)=150 시산치	
유속계에 의한 오차 (부자관측만을 대상)	측선의 불안정에 의한 오차 (부자관측의 경우)	표면부자(H≤0.7m) : 오차 2~3%, 봉부자(Z0/H=0.5, 0.7(H<10m) : 오차 3~13%	淺野富夫(1981) 부자관측법에 있어서 50~200m 떨어진 2개의 관통선간을 유하하는데 필요한 시간을 측정할 때 발생한 계기오차	
	교랑에 의한 영향	부자로 측정위치에서 구분유속을 평가할 때, 실제보다 17%과다하게 계산되었다.	木下良作(1998) 항공측량에 의해 구한 표면유속을 횡단정리하고, 부자의 측정위치와의 관계를 정리한 것	
유량평가시의 오차	홍수시의 하상변동에 의한 영향	홍수전의 단면에서 계산한 유량은 홍수후의 단면에서 계산했을 때 보다 약 3%가량 적다	坂井등(1989) 石狩川の 소화63년8월 홍수유량관측 결과로 홍수전의 단면과 홍수후의 단면을 이용한 유량의 비교	
	단면내평균유속을 평가할 때의 오차	-	-	
	수위-유량곡선식 작성시의 오차	-	-	

넌 경우에 대한 정도평가를 실시하였다. 통상 일 2회 (아침, 저녁) 유량측정을 기준으로 홍수시에는 1일 수회 실시하여, 일년간 718개의 유량측정자료를 수집하였다. 이들 자료를 이용하여 수위-유량곡선식을 3가지 형태(유형 A, B, C)로 작성하여, 표 5와 같이 유량오차 ±10%내에 들어오는 비율을 조사하였다. 유형 A란 총자료수가 718개로 홍수의 침두에서 다음 홍수의 침두까지를 하나의 구간으로 하여 1년에 대한

수위-유량곡선식을 13개 작성한 것이다. 유형 B는 매월 5일, 15일, 25일에 각 3회씩 측정하여 연간 합계 36개의 자료를 사용하여 1개의 수위-유량곡선식을 작성한 것이다. 유형 C는 유형 B의 형태에 홍수자료를 추가하여 39개의 자료로, 4개의 수위-유량곡선식을 작성한 경우이다. 각 분리수(13개, 4개, 1개)별 유량오차 ±10%내에 들어오는 비율은 유형 A, C, B 순으로 각각 95%, 83%, 69%로 조사되었다.

표 3. 수위-유량곡선식의 상대편차에 의한 오차파악

수계 및 하천명	관측소명	홍수명 (년/월/일)	식의 정수(定數)		상대편차(%)	
			a ²	b/a	홍수별	평균
와타리가와 수계 나카수지가와	이소노가와	1989/8/27	16.28	-1.72	7.72	12.25
		1989/9/19	19.13	-1.70	19.87	
		1990/7/2	6.03	1.02	7.07	
		1990/8/22	18.99	-1.80	17.81	
		1990/9/19	14.92	-1.67	11.24	
		1990/9/29	12.19	-1.06	10.48	
		1990/10/8	14.11	-1.26	10.91	
		1991/8/29	16.57	-1.95	12.90	
토레가와 수계 토레가와	구리바시	1990/8/10	63.49	2.40	4.12	4.03
		1990/12/1	35.83	4.49	4.88	
		1991/8/21	11.63	-30.19	2.22	
		1991/9/19	35.41	5.05	1.68	
		1983/9/29	70.75	2.20	7.23	
토레가와 수계 고가이가와	구로고	1991/8/21	21.23	-0.23	10.54	11.95
		1991/9/19	30.81	-1.02	13.35	
시나노가와 수계 구치구마가와	다치카바나	1991/9/19	40.79	2.43	5.83	5.83
쇼나이가와 수계 쇼나이가와	비와지마	1985/6/30	50.72	-1.49	7.06	8.60
		1985/9/25	37.29	-0.67	3.55	
		1989/9/3	49.13	-1.68	4.96	
		1989/9/18	86.57	-2.57	14.76	
		1991/9/19	88.23	-2.73	14.50	
		1993/9/9	55.46	-1.45	7.51	
		1994/9/17	60.66	-1.91	7.89	
기소가와 수계 이비가와	만고쿠	1989/9/3	36.50	3.21	8.43	9.17
		1990/9/18	66.83	0.96	9.90	
오오노가와 수계 오오노가와	시라타키바시	1987/7/17	86.48	1.64	3.81	7.83
		1990/7/2	58.18	3.06	15.71	
		1993/7/27	107.11	1.93	7.06	
		1993/8/10	46.95	4.04	4.75	

※ $Q' = a^2 \cdot (H + b/a)^2$

5. 수위-유량곡선의 정확성 관리

수위-유량곡선의 정확성 조사란 유량관측치의 정도를 직접 규정한다는 점에서 매우 중요한 작업이라

할 수 있다. 수위-유량곡선을 구하는 각각의 과정에서 자료를 점검한다 해도 계산 및 관측 실수가 발견되지 않는 경우가 종종 있다. 이런 실수를 방지하기 위해서는 각각의 과정을 재점검하면서 별도의 정확성

■ 학술기사

일본의 수위-유량곡선의 정도(精度)와 개선방향

표 4. 2점법에 의해 작성된 수위-유량곡선식과 상대편차

홍수명 (년/월/일)	식의 정수(定數)		상대편차(%)					
			표3의 방법		2점법		차이(개선효과)	
	a2	b/a	홍수별	평균	홍수별	평균	홍수별	평균
1989/8/27	14.28	-1.45	7.72	12.25	7.35	8.34	0.37	3.91
1989/9/19	16.60	-1.70	19.87		15.91		3.96	
1990/7/2	8.11	1.02	7.07		5.46		1.61	
1990/8/22	14.94	-1.80	17.81		8.76		9.05	
1990/9/19	11.87	-1.67	11.24		4.87		6.37	
1990/9/29	11.19	-1.06	10.48		8.36		2.12	
1990/10/8	11.93	-1.26	10.91		11.07		-0.16	
1991/8/29	11.50	-1.95	12.90		4.97		7.93	
1990/8/10	58.64	2.40	4.12	4.03	2.72	2.89	1.40	1.14
1990/12/1	42.07	4.49	4.88		3.33		1.55	
1991/8/21	46.03	-30.19	2.22		1.34		0.88	
1991/9/19	96.50	5.05	1.68		0.82		0.86	
1983/9/29	57.51	2.20	7.23		6.22		1.01	
1991/8/21	26.19	-0.23	10.54	11.95	10.19	10.26	0.35	1.69
1991/9/19	42.68	-1.02	13.35		10.33		3.02	
1991/9/19	42.31	2.43	5.83	5.83	5.62	5.62	0.21	0.21
1985/6/30	-	-	7.06	8.60	0.00	2.91	7.06	5.70
1988/9/25	-	-	3.55		0.00		3.55	
1989/9/3	-	-	4.96		0.00		4.96	
1989/9/18	-	-	14.76		0.00		14.76	
1991/9/19	72.26	-2.19	14.50		12.44		2.06	
1993/9/9	-	-	7.51		0.00		7.51	
1994/9/17	77.29	-2.06	7.89		7.91		-0.02	
1989/9/3	58.64	1.81	8.43		9.17		6.25	
1990/9/18	80.16	0.80	9.90	8.70		1.20		
1987/7/17	94.55	1.66	3.81	7.83	8.45	6.89	-4.64	0.94
1990/7/2	67.41	2.91	15.71		9.56		6.15	
1993/7/27	95.24	2.75	7.06		5.88		1.18	
1993/8/10	45.64	5.47	4.75		3.67		1.08	

※ $Q = a^2 \cdot (H+b/a)^2 \cdot (\sqrt{I} / lm)$

조사를 실시할 필요가 있다. 일본의 건설성 토목연구소의 수문연구실(1996)에서는 정도관리도(精度管理圖)를 이용한 수위-유량곡선식의 정확성 조사를 검토하고, 정도관리도를 이용한 수위-유량곡선식의 조사

용 컴퓨터시스템(윈도우판, 오라클사용)을 개발하였다(1999년 10월). 2001년 6월 현재, 전국 2곳의 공사사무소(四國, 關東)에서 이를 시험적으로 운영중이며 정확성 조사의 내용을 요약하면 다음과 같다.

표 5. 수위-유량곡선 분리수와 정도

유형	관측 횟수	10%내에 들어오는 비율(%)														평균 (%)	
		관측 월/일															
		1/1	5/8	5/24	6/9	7/4	7/11	7/19	8/28	9/17	9/26	10/1	10/29	11/30	12/31		
A	718		96	93	94	96	100	100	98	98	100	91	89	98	97		95
C	39		76						90	80		90				83	
B	36																69

1) 유속측정의 정확성 확인을 위한 횡단도~유속·유량도(그림 2)의 이용: 매회의 유량관측에서 작성된 그림 2를 이용하여 유속측정치가 적절한가를 판단한다. 판단기준은 수심이 깊은 측선에서의 유속치가 커가, 인근 측선의 유속에서 이상치가 발견되지는 않는가, 측선의 배치가 유속의 횡단분포에서 볼 때 타당한가 등이다. 또한 사수역이나 구조물이 흐름에 미치는 영향도 고려할 필요가 있다. 판단 결과 불량이라 판단되는 관측유량치는 수위-유량곡선의 작성시에 제외시키고, 기록 자체는 별도로 보관한다.

2) 유량관측의 정확성 확인을 위한 관측수위유량

도(그림 3)의 이용: 1회의 유량관측작업을 마친 직후에는 전년도 작업에 의한 작성된 수위-유량곡선과 함께 놓고, 관측한 수위-유량군을 플로팅하여 확인하고, 수위-유량곡선식의 적용기간을 분리한다. 새로 관측한 수위-유량군이 전년도의 곡선식과 크게 차이가 난다면, 그림 2를 재확인하고, 수위가 거의 동일한 다른 그림 2와 서로 비교하여 이상의 원인을 분석한 후 양호·불량을 판단한다. 새로 관측한 수위-유량군이 종전의 경향과 다른 경우에는 년간횡단면도(그림 4)를 검토하여 횡단면의 퇴적이나 세굴 등의 상관관계를 분석한다. 상관관계가 있다고 판단되면,

單位幅

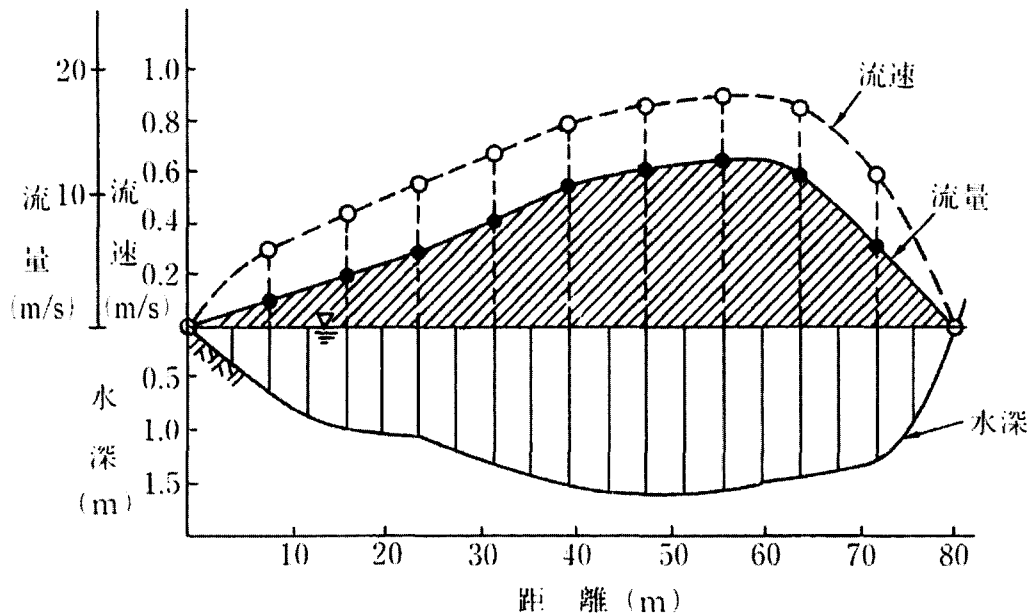


그림 2. 횡단도~유속·유량도

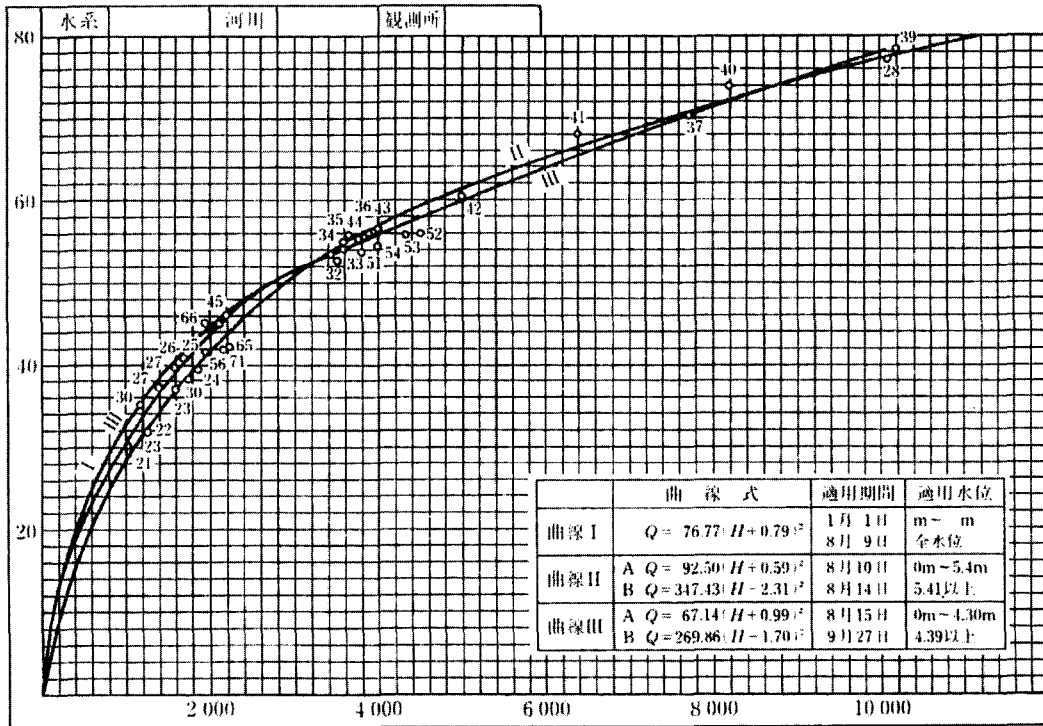


그림 3. 관측수위유량도

수위-유량곡선의 적용기간을 그 기간내에 발생한 최대홍수의 전후로 분리시킨다.

3) 횡단면 형상과 변화를 확인하기 위한 연간 횡단면도(그림 4)의 이용: 1년간 측정한 횡단측량의 성과를 전부 한 횡단면도에 그려서 단면형상의 변화를 확인한다.

4) 수위-유량곡선의 정확성 확인을 위한 수위-유

량곡선과 횡단면도(그림 5)의 이용: 해당 1년간의 최저수위에서 최고수위까지의 범위에 대해 각 곡선도를 그림 5에 그려, 수위-유량곡선과 유량관측치근과의 흠어진 정도, 단면형상과 곡선식의 적용수위 범위 등과의 관계를 검토한다. 수위에 대해 2개 이상의 곡선식으로 분리된 경우, 분리점의 타당성 등도 검토한다.

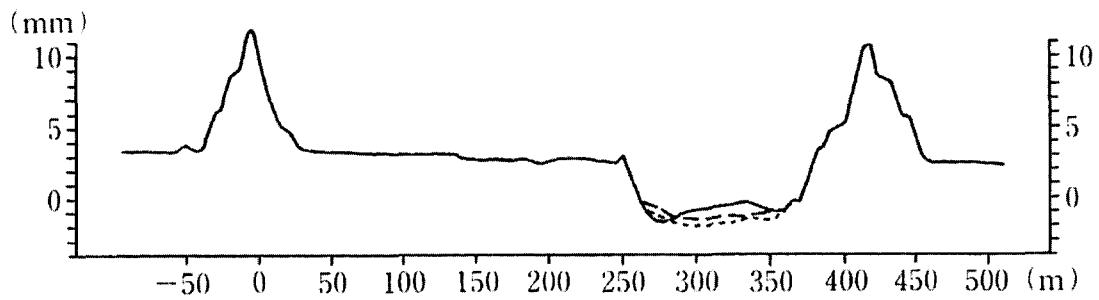


그림 4. 연간 횡단면도

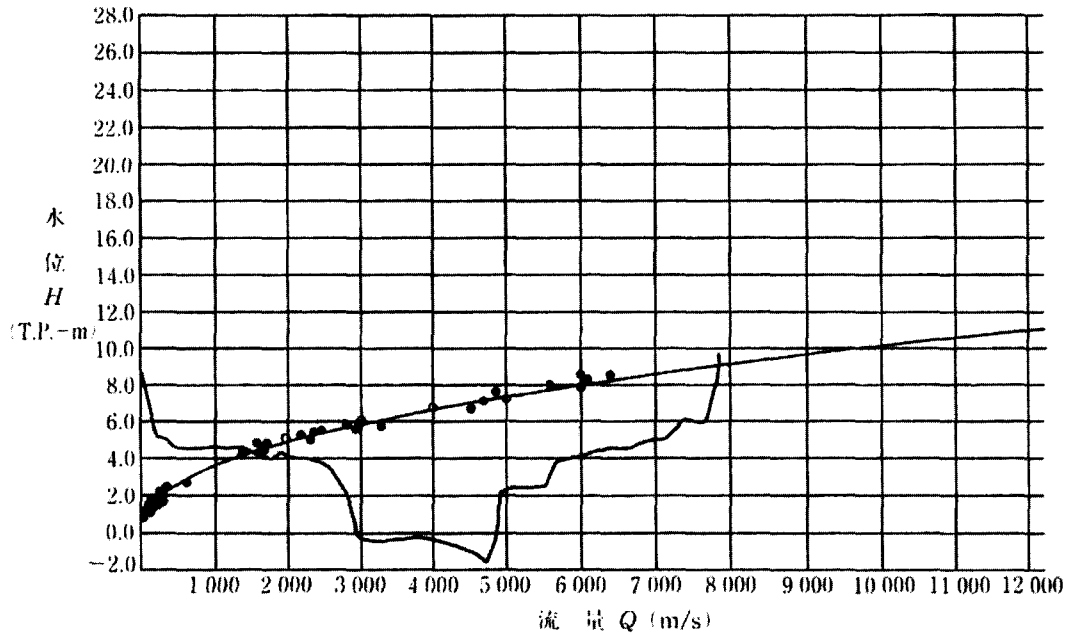


그림 5. 수위유량곡선~횡단면도

5) 수위-유량곡선의 개략적인 정확성 확인을 위한 수계시간유량도(그림 6)의 이용: 동일 방안에 유역의 상류·중류·하류에 대한 복수의 수계시간유량도를 작성하여 수문곡선의 형태와 총량, 유출을 등을 계산하여 불합리적인 면이 없는지 등을 확인한다.

6. 결론

유량관측치와 작성된 수위-유량곡선식에 의해 계산된 유량치가 서로 많이 다른 경우에는 과연 어느 쪽을 선택하여야 할 것인가? 우리는 명확한 참값을 알 수 없을 뿐만 아니라 그 판단 방법이 아직 없기에 아무도 명확한 선택을 할 수 없을 것이다. 단지, 사용자의 판단에 따라 유량관측에 신뢰가 간다면 유량관측치를, 관측치의 랜덤오차가 너무 크다고 판단되면 수위-유량곡선식을 선택할 수 밖에 없을 것이다.

관측치의 품질을 향상시키기 위한 방안으로 단지 주의 깊은 관측만을 요구하거나, 예산을 늘려 관측횟수를 늘리는 방안만으로는 다소 불충분할 것이다. 아무리 유량관측횟수를 늘린다 해도 정확성은 기대만큼 향상되지는 않을 것이다. 현 상황에서 정도 높은 수위-유량곡선의 작성방안이란, 주의 깊은 관측과 관측횟수의 증진뿐만 아니라 별도의 정확성조사 및 상대편차 등과 같은 통계치를 이용하는 방법 등을 병행하여 전체적인 향상을 기해야 할 것이다. 이를 위해서는 이를 지원할 수 있는 체계적인 시스템이 마련되어야 할 것이다. 일본은 이러한 일련의 정확성조사와 통계치를 이용하는 방법에 대해, 기 개발된 수위-유량곡선식의 작성·점검지원 소프트웨어를 2001년 6월 현재, 전국 2곳의 공사사무소에서 시범적으로 운영중이며, 지속적인 개량사업과 함께 이를 전국의 공사사무소로 확대할 계획이다. ●

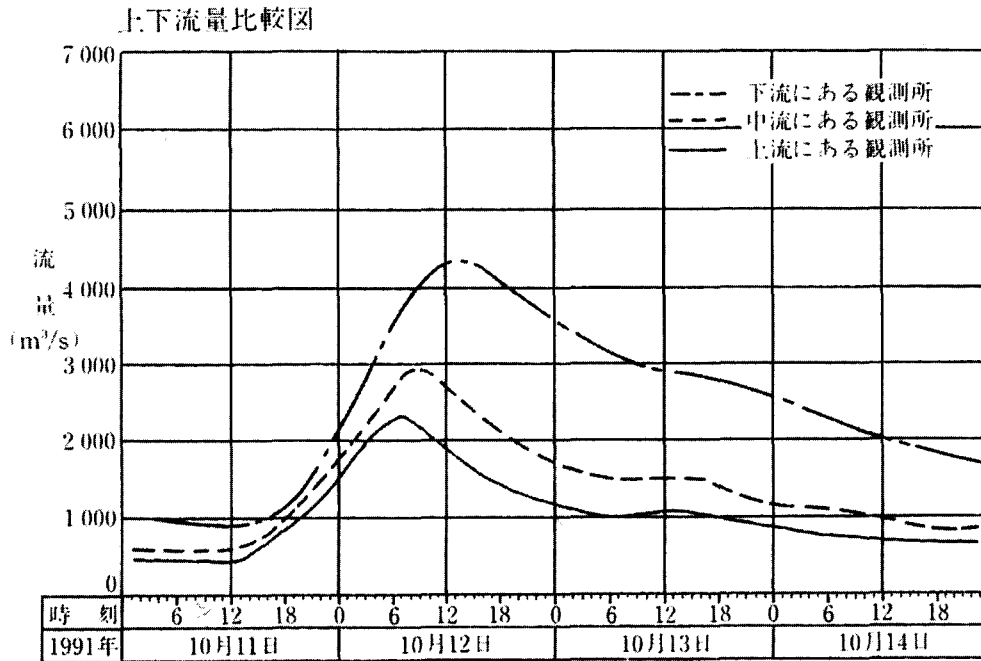


그림 6. 수계시간유량도

〈참고문헌〉

수리공식집, 소화60년판(1993): 기보당, 토목학회
 건설성수문연구회(1996): 수문관측,
 사단법인전일본건설기술협회
 山本昱一(1996), 총적하천학, 산해당
 하도계획책정의입문서, (財)국토개발기술연구센터(1999)
 수리공식집, 소화46년개정판, 기보당, 토목학회
 竹内俊雄(1996), 하천응용수문학서설(財)하천정보센터,
 산해당
 藤村信行·鈴木輝明·田村伸夫(1978),
 풍천만곡부에대해,
 제21회중부지방건설국기술연구회논문집
 木下良作(1988),
 하천하류부에있어서홍수유량관측법에관한제안,
 수문수자원학회지제11권5호
 阿部宗平·鈴木浩之(1983),
 도로공의만곡부에관한이론적고찰, 토목기술자료25-3
 浅野富夫(1981),
 유량관측에있어서관측시간과정도의관계,
 토목기술자료23-9

竹内俊雄·江川太郎(1957), 부자의변경계수,
 토목기술자료5-1
 青木祐久(1972), 수문구배를고려한수위유량곡선,
 토목기술자료14-6
 吉谷純一·寺川陽(1997),
 홍수유량산출정도향상을위한수위유량곡선식조사의한
 방법, 토목기술자료39-7
 山本昱一·高橋昱(1993),
 선상지(扇狀地)하천의하도특성과하도처리,
 토목연구소자료제3139호
 山本昱一·藤田光一(1993),
 제방만배(滿杯)유량시의수위변동에의한제방월류,
 토목연구소자료제3139호
 坂井一浩·西村豊·高田利幸(1989),
 소화63년8월홍수관측결과에대해,
 북해도개발국기술연구회발표개요집32-3