

토석류 고려 도로배수시설 설계 방안

Design of Road Drainage for Debris Flow

이용수* · 최창호** · 정하익*** · 고정현****

Lee, Yongsoo · Choi, Changho · Chung, Ha-Ikn · Koh, Jeung-Hyun

Abstract

In addition the typhoon 'Lusa' of year 2002 has resulted 5,400 billion won of property damage and the damages for roads and railroads were approximated to be 2,860 billion won at 12,377 locations holding 53% damage of total. It was reported that the property damage due to the 2003 typhoon, 'Maemi' was 4,200 billion won. The recent typhoon, 'Aewinia', caused the 1,400 billion-won property damage including sweeping and flooding of 127 roads and 65 rivers, respectively. Therefore, this paper presented to estimate drainage size for debris flow

key words : Debris-Flow, Road drainage, Road

2002년 태풍 '루사'로 인하여 재산피해가 약 5조 4,000억원 발생하였고, 도로 및 철도 등 주요시설물 피해는 12,377개소에서 약 2조 8,600억원으로 약 전체 피해액의 53%에 달했다. 2003년 태풍 '매미'에 의한 재산피해는 약 4조 2000억원으로 나타났다. 최근 2006년 7월 태풍 '에위니아'로 인한 재산 피해는 약 1조 4000억원으로, 도로 127개소, 하천 65개소 등의 주요 시설물이 유실 또는 침수 피해를 입었다. 따라서, 이상기후에 의한 매년 반복되는 집중호우로 도로의 피해를 최소화하기 위하여, 본 논문은 도로의 피해 원인인 토석류를 고려한 도로 배수시설의 규격 결정 방안을 제시하였다.

1. 서 론

토석류이란 집중호우시 우수의 흐름에 의해 나뭇가지, 토사, 자갈, 유목 등이 원지반으로부터 분리되어 이동하는 것으로, 물을 다량으로 함유하여 유동화된 토사가 흘러내리는 현상을 말한다. 발생 원인을 보면 첫째, 다량의 물을 포함하는 산사태의 토사가 비탈면을 따라 하강하는 경우, 둘째, 급격한 출수(용수 또는 우수)에 의해 계곡의 퇴적토사가 침식되고 우수와 함께 다량의 토사가 흘러내리는 경우로 분류 할 수 있다. 토석류에 의하여 도로의 암거 및 배수관 등에 퇴적되어 배수구조물의 통수능력을 저하시키거나 막힘으로써 기능을 마비시켜 우수와 함께 도로를 월류하여 2차 피해를 유발시킨다. 또한, 발생된 유송잡물 등이 산지하천의 급류와 함께 하류측으로 이동하면서 하천을 횡단하는 횡단시설물 또는 하천 만곡부 및 수충부에 충격 하중을 주면서 도로의 시설물을 파손하게 된다. 따라서, 도로의 배수시설을 설계할 때, 토석류를 고려하여 배수시설의 규격을 결정하여야 하므로 이에대한 설계방법을 제시하였다,

2. 도로 배수시설 규격 설계 방안

2.1 횡단 배수 암거의 수리계산

산악지 도로의 횡단 암거 수리계산은 횡단 배수 시설내에 상시로 퇴적되는 토사 및 토석류(유송잡물)를 고

* 정회원 · 한국건설기술연구원 · 책임연구원 · 공학박사 · E-mail : ysllee@kict.re.kr
** 비회원 · 한국건설기술연구원 · 선임연구원 · 공학박사
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 · 책임연구원 · 공학박사
**** 비회원 · 한국건설기술연구원 · 선임연구원 · 공학박사

려하여 다음과 같은 순서와 방법으로 규격을 산정한다.

구형단면일 경우, 수심 h 를 구한다. (식 1)의 h 값을 시행착오법으로 반복 계산함으로써 h 를 구한다.

$$Q = A \cdot v = \frac{A}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_0^{1/2} = \frac{1}{n} \cdot (B \cdot h) \cdot \left(\frac{B \cdot h}{B + 2h} \right)^{2/3} \cdot S_0^{1/2} \quad (\text{식 1})$$

여기서, Q :설계유량(m^3/sec), A :유수단면적(m^2), v :유속(m/sec), n :상하유수로의 조도계수($sec/m^{1/3}$)
 R :경심(m), S_0 : 암거(상하유수로)경사, B :암거폭(m), h : 수심(m)

암거의 높이 D 를 (식 2)에 의해 결정한다.

$$D = (1 + \alpha_1 + \alpha_2) \cdot h \quad (\text{식 2})$$

여기서, α_1 : 통상의 토사퇴적에 의한 통수단면의 축소를 고려한 여유로 적어도 20% 정도 고려

α_2 : 호우시에 대량의 토사·유목 등이 유입할 우려가 있는 경우

원형 단면일 경우, 유량비(Q/Q_0)를 (식 3)에 의해 구한다.

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{1}{1 + \alpha_1 + \alpha_2} \quad (\text{식 3})$$

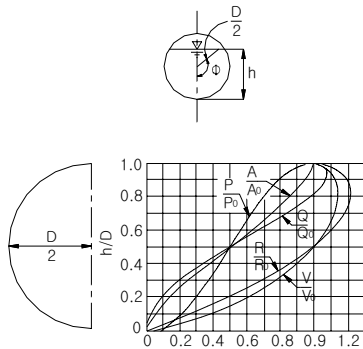
유량비에 대한 h/D 를 구해서, 다음 (식 4)에 의해 ϕ 를 구한다.

$$h = \frac{D}{2} (1 - \cos \phi) \quad (\text{식 4})$$

ϕ 를 다음 (식 5)에 대입하여 직경 D 를 구한다.

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_0^{1/2} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{D}{2} \cdot \frac{2\phi - \sin 2\phi}{2\phi} \right)^{2/3} S_0^{1/2} \quad (\text{식 5})$$

원형관일 경우 (식 3)은 구형단면일경우의 (식 2)와 대응하여 유송잡물 및 토사 퇴적을 고려할 수 있다.



여기서, h :수심(m), $h = \frac{D}{2}(1 - \cos \phi)$

P :윤변(m), $P = \phi \cdot D$

A :유수단면적(m^2), $A = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \left(\phi - \frac{1}{2} \sin 2\phi\right)$

R : 경심(m), $R = \frac{D}{2} \cdot \frac{2\phi - \sin 2\phi}{4\phi}$

v : 유속(m/sec), $v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$

Q : 유량(m^3/sec), $Q = A \cdot v$

참자₀은 만관일 때.($\phi = \pi$)

그림 1. 원형수로의 수리특성곡선

2.2 토석류 규모 산정(횡단배수관 수리계산시 α_2 산정)

(1) 최대유량

횡단배수암거의 단면 결정은 토석류에 의한 최대 유량 산정이 필요하다. 일반적으로 수로에서 퇴적되거나 수로바닥 또는 주변 여건에 의해 유입되는 유송잡물 및 토석류의 경우의 최대 유량은 다음 식으로 추정할 수 있다.

$$Q_{sp} = \frac{C_*}{C_* - cl} Ql \quad (\text{식 6})$$

이 때, Q_{sp} : 토석류의 피크 유량(m^3/sec), Q_d : 설계유량(m^3/sec), C_s : 계곡바닥퇴적토사의 용적토사 농도 ($=1-n$, n : 간극율), C_d : 유입되는 토석류의 농도

(2) 토석류의 토사 농도

토석류의 토사 농도는 식(7)에서 구할 수 있으며, 여기서 토석류의 단위 체적 중량을 구할 수가 있다. 구조물의 설계상, 토석류의 단위체적 중량의 계략치가 필요한 경우에는 $18kN/m^3$ ($1.8tf/m^3$)을 사용 한다.

$$Cd = \frac{\gamma_w \tan \theta}{(\gamma_s - \gamma_w)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad (\text{식 } 7)$$

여기서, γ_s : 사력의 단위 체적 중량 ($kN/m^3(tf/m^3)$), γ_w : 물의 단위 체적 중량 ($kN/m^3(tf/m^3)$)

ϕ : 계곡 바닥 퇴적 토사의 전단 저항각 (도), θ : 기존수로의 경사(기존수로의 평균경사)

위에서 구해진 Q_{sp} 와 Q_d 의 수로 단면적과 유역면적은 같으므로, $D_{sp} = a \times D_d$ 라고 정의한다. 따라서, 토석류에 의해서 증가된 유량(수두) 만큼의 수두가 높아진다고 볼 수 있다. 그러므로 (식7)에서처럼 상시 퇴적된 토사의 퇴적을 20%(α_1)외에 α_2 의 백분율을 상시토사퇴적 및 유송잡물을 고려한 수리계산의 유송잡물 및 토석류의 유입을 고려한 여유고(α_2)로써 사용할 수 있다.

$$\alpha_2 = \left(\frac{Q_{sp}}{Q_d} - 1 \right) \times 100 \quad (\text{식 } 8)$$

3. 도로 배수시설 규격 설계 분석

호우로 인한 도로 피해가 발생한 OO지구 현장에서 피해발생 전 기존 설치된 배수구조물과 피해발생 후 설치되고 있는 구조물의 규격을 분석하였다. 적용생기빈도는 25년, 50년, 100년, 적용 강우강도는 $93.00mm/hr$ 를 적용하였다.

3.1 기존 설치관에 대한 검토(토사퇴적 미적용)

기존 설치관은 25년으로 적용하였고 기존 설치된 규격을 25년 빈도와 50년 빈도로 구분하여 검토를 하면 다음과 같다. 단, 토사 퇴적 및 유송잡물을 고려하지 않았다.

표 1. 기존 배수시설 검토(토사퇴적 미적용)

STA.	빈도	기존설치암거	유입부수두(m)	단면검토
1+226.50	25	PIPE ϕ 1000	0.53	OK
	50	PIPE ϕ 1000	0.57	OK
1+290.00	25	PIPE ϕ 800	4.12	NG
	50	PIPE ϕ 800	4.25	NG
3+672.00	25	BOX 1.5 \times 1.5	0.29	OK
	50	BOX 1.5 \times 1.5	0.33	OK
5+520.00	25	BOX 2.0 \times 2.0	0.39	OK
	50	BOX 2.0 \times 2.0	0.42	OK

3.2 토사퇴적을 고려한 검토

토사 퇴적을 고려한 수리검토에 대하여 생기빈도는 25년, 50년, α_1 (상시토사퇴적) = 20% α_2 (유송잡물 및

토석류)는 50% 적용하였다.

표 2. 기존 배수시설 검토(토사퇴적 적용)

STA.	빈 도	기존설치암거	수두검토	단면검토
1+226.50	25	∅1000	0.701	OK
	50		0.742	OK
1+290.00	25	∅800	1.342	NG
	50		1.349	NG
3+672.00	25	1.5 × 1.5	0.382	OK
	50		0.412	OK
5+520	25	2.0 × 2.0	0.522	OK
	50		0.562	OK

위 표에서의 유입부 수두 비교에서 보듯 25년 빈도와 50년 빈도의 적용에는 약 4% 내외의 수두 상승효과가 있는 것으로 판단되고, 기존 토사퇴적 및 유송잡물을 고려하지 않았을 때 보다 고려하였을 경우 약 20% 내외의 수두상승으로 인하여 STA. 1+226.50에서는 0.53m인 수두가 0.701m로 상승하고 STA. 3+672.00에서는 0.29m이었던 수두가 0.382m로 상승하였다. 따라서 산악지에서 우수시 한꺼번에 유입되는 토사와 토석류를 최소로 잡을 경우에도 20% 이상의 상승효과가 있다. 이러한 상황에서 상류부에서 산사태, 비탈면 붕괴 등으로 예측할 수 없는 토석류가 유입되는 상황에서는 단면 부족 등이 발생할 수 있다.

4. 결 론

토석류에 의하여 도로의 암거 및 배수관 등에 퇴적되어 배수구조물의 통수능력을 저하시키거나 막힘으로써 기능을 마비시켜 유수와 함께 도로를 월류하여 2차 피해를 유발시킨다. 따라서, 도로의 배수시설을 설계할 때, 토석류를 고려하여 배수시설의 규격을 결정하여야 하므로 이에대한 설계방법을 제시하였다, 그 결과, 배수관 검토는 강우강도, 실제 강우량, 암거의 규격, 토석류의 유입 등을 상시토사 퇴적과 유송잡물을 고려하여 약 10% 정도 안전한 설계를 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 이상기후대비시설기준강화 연구단에 의해 수행되는 2005 건설기술기반구축사업(05-기반구축-D03-01)에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원(2006). 2006년 7월 태풍 및 집중호우 피해 조사, 연구보고서, 건설교통부
2. 한국건설기술연구원(2003), 도로배수시설 설계 및 유지관리 지침 연구, 연구보고서.
3. 건설교통부(2007), 산악지 도로설계 매뉴얼
4. 건설교통부(2007), 이상기후에 대비한 시설기준 강화 연구보고서