모의실험을 통한 사방댐의 토석류 유출저감효과 분석

A Analysis on the Debris Flow Reduction Effect of Debris Barrier Through Simulation

윤병하* · 전계원** · 전병희*** · 정욱교****

Yoon, Byungha*, Jun, Kyewon**, Jun, Byunghee***, and Jung, Wookkyo****

Abstract

In Korea, where 64% of the land area is composed of mountainous areas, so it is inevitable to develop mountainous areas and steep slopes. Mountain development increases the incidence of landslides and debris flow. In this study, an indoor model test was carried out to confirm the installation effect of the dam installed to reduce the damage to the debris flow. The types of models used in this experiment are gravity concrete erosion control dam, buttress erosion control dam and breaker erosion control dam. Experimental results of one or more facilities installed in a single mooring facility were compared and analyzed. Through this result, the combination that effectively reduces the amount of soil erosion was quantitatively confirmed. Experimental results show that the 'gravity concrete erosion control dam' has the highest reduction effect when installing a single structure. The experiment results that combines three facilities showed the highest level of debris flow erosion control effect of the combination of 'buttress-breaker-gravity concrete erosion control dam'.

Key words : Debris Flow, Erosion Control Dam, Breaker

요 지

우리나라는 국토면적의 64%가 산지로 구성되어 있기 때문에 산지나 급경사지의 개발이 불가피한 실정이다. 이러한 산지개발은 산사태 및 토석류의 발생빈도를 증가시킨다. 본 연구에서는 토석류 피해를 저감하기 위해 설치되는 사방댐의 설치효과를 확인하기 위해 실내 모형실험을 수행하였다. 토석류 모형실험을 위하여 중력식 콘크리트 사방댐, 버트리스 사방댐, 브레이커 유출저감 시설의 세 가지의 기초 시설들의 모형을 제작하고 실험을 실시하였다. 하나의 계류에 한 가지 또는 세 가지 이상의 시설을 설치할 시, 어떠한 시설들을 조합하는 것이 효과적으로 토석류를 저감시킬 수 있는지, 실험결과를 통하여 정량적으로 파악하였다. 토석류 유출저감 시설들의 조합에 대한 실험결과 단일 구조물을 설치 시에는 '중력식 콘크리트 사방댐'이 가장 높은 저감 효과를 보였고, 세 가지 시설을 조합한 실험 결과는 '버트리스-브레이커-중력식 콘크리트 사방댐'의 조합이 토석류 유출저감 효과를 가장 높게 나타냈다.

핵심용어 : 토석류, 사방댐, 브레이커

*정회원, 강원대학교 방재전문대학원 석사과정(E-mail: ybh0514@kangwon.ac.kr)

Member, The Master's Course, Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

**교신저자, 정회원, 강원대학교 방재전문대학원 방재관리전공 교수(Tel: +82-33-570-6447, Fax: +82-33-570-6447, E-mail: kwjun@kangwon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

***강원대학교 소방방재학부 교수(E-mail: bhjun@kangwon.ac.kr)

Professor, School of Fire & Disaster Prevention, Kangwon National University

****정회원, (주)SDMENC 기술연구소 연구원(E-mail: jwk90@sdmeng.co.kr)

Member, Researcher, R&D Team, SDM ENC Co., Ltd

1. 서 론

토석류는 산지의 지반을 이루고 있는 토사가 다량의 물과 혼합되어 연속유체의 성질을 가지게 되어 산 사면이나 계곡을 따라 흘러내리는 현상이다. 오랫동안 풍화작용을 받아 다량의 토사와 암석이 생성된 산은 집중호우나 여름철 장마로 인해 물이 포화되어 그 무게가 마찰력을 지탱하지 못하여 토석류를 유발하게 된다(Iverson, 1997). 이러한 토석류는 유동성이 강해 산지나 사면 아래에 위치한 시설물과 민가들을 덮쳐 큰 인명피해를 및 재산피해를 유발한다.

산지가 국토의 64% 이상을 차지하는 우리나라의 경우, 토석류의 발생확률이 높아 다양한 피해가 발생하고 있다. 특히 2011년 7월 우면산과 춘천 천전리에서 발생한 토석류 재해는 그 대표적인 예라고 할 수 있다. 이러한 토석류 재해를 저감하기 위해 토석류 발생 위험지에 대한 분석, 토석류 수치 모델링 및 토석류 저감 시설 설치 등에 관한 연구가 필요하다. 특히 토석류 저감 시설인 사방댐의 토석류 유출저감효과 분석에 관한 연구는 매우 중요하다.

국내에서 선행된 연구로는 최근 5년간 고속도로에 피해를 유발시킨 48개소의 토석류에 대해 유역의 지형 및 토석류 유발 강우자료 조사, 분석을 통하여 토석류에 대한 지형과 강우 특성을 분석한 연구가 있다(Kim et al., 2008). Jang (2011)은 하도형상 변화를 고려하여 격자기반의 토석류 해석 모형을 개발하여 토석류 실내 모형실험(실험수로 길이 6 m, 수로 폭 0.1 m, 수로경사 18°)을 통해 매개변수를 산정하고, 개발한 모형의 적용성을 검토, 토석류 유출 해석을 실시하였다. Lee(2010)은 실제 산지 토석류 예상지역에 원형 철망을 활용하여 산간지역의 토석류방지공법 적용을 위한 연구를 진행하였다. 모형실험수로(실험수로 길이 5 m, 수로 폭 0.3 m, 수로경사 15°)에서 슬릿트 사방댐의 유목, 토석류 포착 효과에 대해 검증은 실시하는 연구가 Lim et al.(2008)에 의해 진행된 바가 있다. Kim et al.(2013)은 모형실험(실험수로 길이 3m, 수로 폭 0.4m, 수로경사 20°)을 통하여 유목 및 토석류 포착용 철강재 바닥스크린의 간격별 토석과 유목의 이동특성을 분석하였다. Park and Ahn(2015)은 수리모형 실험을 통해 사방댐과 슬릿트 댐의 토사와 유목의 포착효과를 분석한 실험을 실시하였다.

국외의 선행연구를 보면 Iverson(1997)에 따르면 토석류의 체적농도는 0.4~0.8의 범위를 갖는다고 보고한 바 있다. Vernes(1978)은 재료와 사면의 유동형태에 따라 산사태와 토석류 등을 분류하였고, Pierson and Costa(1987)은 유속과 농도를 통해 토석류를 분류하였다. 모형실험에 관한 연구로는 Major(1997)가 대형수로장치에서의 토석류 실험연구를 실시하여 퇴적과정에 대한 퇴적유동 특성의 연구를 실시한 바 있다. Kim(2015)은 2개의 사보 댐에서의 토석류 거동을 분석하기 위해 실내 모형실험(실험수로 길이 4.7 m, 수로 폭 0.1 m, 수로경사 18°)과 수치적 연구를 실시하였

으며, Kim(2013)은 해외에서 많이 사용되는 사방댐인 브레이크의 메커니즘을 분석하기 위해 실내 토석류 모형실험(실험수로 길이 5 m, 수로 폭 0.1 m, 수로경사 18°) 연구를 실시하였다.

기존 국내외 선행연구는 사방시설물에서의 토석류의 이동 특성을 중심으로 사방시설물의 검증이나 성능에 대해 검토하였다. 그러나 사방시설물을 한 계류에 다중으로 설치했을 경우에 대해 토석류의 저감효과를 분석한 연구나 사방시설물의 다중조합 설치 기준이 제시되지 않은 실정이다. 또한, 국외에서는 브레이크에 대한 연구가 진행되고 있으나 국내에서는 아직 브레이크에 대한 연구가 미흡하다. 따라서 본 연구에서는 사방댐의 토석류 유출저감효과 분석을 위해 실내 모형실험을 통해 중력식 콘크리트 사방댐, 버트리스 사방댐 및 브레이크의 단일효과를 비교분석하고 세 가지 형태의 사방댐을 조합한 다중설치의 효과를 분석하고자 한다.

2. 사방댐의 개요

일반적으로 토석류의 피해를 저감시키기 위해서 토석류가 발생하기 쉬운 계류에 사방댐을 설치한다. 이러한 사방댐에도 형태에 따라 여러 종류가 있으며, 형태가 다른 만큼 해당 지역을 조사하여 지역적 조건에 적합한 사방댐을 설치해야 한다. 본 토석류 모형실험 연구에 사용된 사방댐은 국내외에서 대표적으로 사용하고 있는 수직방향 사방댐인 중력식 콘크리트 사방댐과 버트리스 사방댐, 그리고 수평방향 사방댐인 브레이크로 선정하여 적용하였다.

2.1 중력식 콘크리트 사방댐

중력식 콘크리트 사방댐은 토석류 저감을 위해 설치하는 사방댐 중 가장 일반적인 형태로 불투과형 사방댐이다. Fig. 1(a)의 형태로 설치되며, 토석류 발생 시 흘러내려오는 물과 토석, 유목 등을 모두 가두어 댐 하류의 피해를 경감시킨다.

2.2 버트리스 사방댐

버트리스 사방댐은 토사만 저감시키고 물은 통과시키는 투과형 사방댐이다. Fig. 1(b)의 형태로 설치되며, 토석류를 구성하는 토사와 유목 등의 고형 물질을 물과 분리시켜 토석류의 위력을 저감시키는 형태이다.

Fig. 1. Debris Flow Reduction Facilities

2.3 브레이커

브레이커는 버트리스 사방댐과 마찬가지로 투과형 사방댐이며 Fig. 2의 그림으로 확인할 수 있다. 수직방향으로 설치되어 토석류를 막는 일반적인 사방댐과 다르게 수평방향으로 설치하는 구조물로 상판에 격자형 스크린이 위치하여 물과 토사를 분리하는 형태이다. 토석류가 브레이커에 도달하면 토석류의 공급수압이 변화하여 토석류의 에너지를 줄여 통과시킨다(Fig. 3). 브레이커는 협소한 지역에 효과적으로 설치할 수 있으며, 간단한 설계, 비교적 쉬운 유지관리 및 적은 비용으로 인해 저비용 고효율의 장점을 지니고 있다(ICHARM, 2008).

Fig. 2. Debris-flow Breaker (suwa et al., 2009)

Fig. 3. Pore Water Pressure Distribution on the Debris Flow (Kim, 2012)

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 토석류 모형 실험수로

토석류 모형 실험수로는 선행연구들에서 제시한 모형수로의 제원들을 바탕으로 제작하였다. 실내 토석류 모형실험의 수로를 길이 6 m, 폭 0.2 m, 높이 0.5 m의 형태로 제작하여 18°의 경사로 설치하였다. 계류 상류부인 실험수로의 상단부 2 m 구간에 높이 10 cm의 흙막이를 설치하였으며 유량유입구간에는 3 cm 높이의 위어를 설치하여 유량이 한쪽으로 치우치지 않고 일정하게 공급되도록 유도하였다. 아크릴판을 실험수로의 측벽으로 설치하고 높이 1 cm 간격으로 눈금이 표시되어있다. 수로바닥은 합판을 사용하여 자연하천에서의 하도 조도 영향을 일부 반영하였다. 실험수로 외부에는 수조와 용량식 유량계를 설치하여 펌프를 이용해 유량을 공급하도록 설치하였다. 설치된 수로의 모식도 및 수로 전경은 Figs. 4와 5의 그림에 나타나 있다.

Fig. 4. Schematic Diagram of Experimental Flume

Fig. 5. Experimental Flume View (side)

3.2 사방댐 축소 모형 제작

토석류 모형실험에서 사용한 사방댐 모형은 일반적인 불투과형의 중력식 콘크리트 사방댐과 투과형인 버트리스 사방댐 및 브레이커의 모형을 실험수로에 맞춰 축소하여 모형을 제작한 후 수로에 설치하였다. 축소비율은 현장시료 크기의 비율에 맞추어 추정하였다. 제작된 모형의 사진과 입체도면은 그림 Figs. 6과 7에 나타나있다.

Fig. 6. Model of Debris Erosion Control Dam

3.3 실험방법

실험 수로 상단부에 설치한 흙막이 위로 길이 2 m, 폭 0.2 m, 높이 0.1 m로 시료를 포설하였으며 포설한 시료의 무게는 85 kg이다. 시료는 강원도 산지하천에서 채취하였으며, 시료의 비중은 2.65, 평균이경은 0.85 mm이다. 토석류를 발생시키기 위해 포설되어있는 토사가 포화상태에 도달한 상태에서 수로에 유량을 공급하였다.

Fig. 7. Design of Debris Erosion Control Dam

토석류는 일반적으로 0.2~0.56의 범위 내에 체적농도가 형성된다(Takahasi, 2007). 선행연구를 기반으로 본 연구에서는 토석류 모형실험을 위해 적정 농도범위의 토석류를 발생시키는 공급유량 값의 산출을 목적으로 예비실험을 실시하였다. 그 결과, 토석류 실험 수로에 20초간 700ml/sec의 유량을 공급하는 조건하에서 발생한 토석류의 평균 체적농도가 0.341~0.522로 분석되어 선행연구에서 제안한 토사 체적 농도의 범위를 나타내는 것을 확인하였다. 따라서 예비 실험에서 발생시킨 유체를 토석류로 가정하고 실험을 진행하였다. 실험의 조건은 단일 및 다중 설치로 구분하여 각각 3회씩 실험을 수행하였다. Fig. 8의 그림을 통해 실험 수행 중 수로의 흐름을 확인할 수 있다.

Fig. 8. Measurement Standard for Required Time of Debris Flow Run-off

Table 1은 모형 사방댐을 이용한 실험의 Case에 대한 내용을 나타낸 것이다. A 유형은 중력식 콘크리트 사방댐, B는 버트리스 사방댐, C는 브레이커 사방댐을 나타낸다. Single은 각 사방댐을 단일로 설치한 토석류 실험의 항목이며, Three Structure의 경우, 세 가지의 사방댐을 조합한 실험을 나타낸 항목이다.

Table 1. Experimental Conditions

Division	Case	Number of repetition
Single	A	3
	B	
	C	
Three structure	A-B-C	
	A-C-B	
	B-A-C	
	B-C-A	
	C-A-B	
	C-B-A	

4. 실험 결과 및 분석

4.1 토석류 저감률

본 연구의 실험결과 분석을 위해 사용된 토석류 저감률은 다음과 같은 Ep. (1)에 의해 산출되었다.

$$R(\%) = \frac{T}{D} \times 100 \quad (1)$$

여기서, R은 토석류 저감률(%)을 나타내며, T는 토석류의 양(kg), D는 발생된 전체 토석류량(kg)으로 수로 외부로 유출된 토석류량과 사방댐에 의해 저류된 토석류량을 더한 값이다.

4.2 단일 설치 실험 결과

모형 사방댐을 단일로 설치하여 중력식 콘크리트 사방댐(A), 버트리스 사방댐(B), 브레이커(C)에 대한 토석류 유출 저감 효과분석실험을 수행하였다. Table 2는 실험 케이스 각각의 분석결과들을 나타낸 것이다.

각 사방댐의 토석류 저감률은 Fig. 9의 그래프에 나타나있다. 사방댐 A의 저감률은 약 75%, 사방댐 B의 경우 약 65%, 사방댐 C의 경우 약 73%의 저감률을 보이고 있다. 따라서

중력식 콘크리트 사방댐의 저감률이 가장 높은 것으로 나타났다. 또한, 버트리스 사방댐인 B와 브레이커 C의 경우 동일한 투과형 사방댐 형태임에도 불구하고 저감률은 약 8%가량 차이가 나는 것으로 나타났다.

Fig. 10은 모형 사방댐을 거쳐 수로 최하단부를 통해 외부로 유출된 토석류의 토사-유량 비율이다. 사방댐 A의 경우 토사-유량의 비율이 평균 39 : 61의 비율로 이루어져 있었으며, 사방댐 B의 경우 31 : 69, 사방댐 C의 경우 22 : 78의 비율을 이루고 있는 것을 확인하였다. 사방댐 A, B, C의 토사 유출비율을 비교한 결과 사방댐의 형태에 따라 사방댐 A는 약 39%로 유출토사의 비율이 가장 높았고 B의 경우는 약 31%, C의 경우 약 22%로 나타났다.

Table 2. Results of a Reduction Rate by Each Structure

Case	Case_A (%)	Case_B (%)	Case_C (%)
1	75.802	66.282	71.021
2	74.625	65.755	73.553
3	75.208	64.838	74.600
Mean	75.212	65.625	73.058
SD	0.481	0.597	1.502

Fig. 9. A Reduction Rate by Each Structure

Fig. 10. The Discharged Soil-water Rate by Each Structure

4.3 다중 설치 실험 결과

중력식 콘크리트 사방댐(A)와 버트리스 사방댐(B), 브레이커(C)의 세 가지 사방댐을 다중 조합형태로 수로 하단에 설치하였다. 실험의 Case는 총 여섯 가지로 단일 구조물 실험의 경우와 동일한 실험조건 하에 실험을 실시하였고, 실험결과를 통해 토석류의 유출저감 효과를 분석하였다. Table 3은 실험 case 각각의 분석결과들을 나타낸 것이다.

Fig. 11의 그래프는 세 가지 사방댐의 조합 순서에 따른 저감률 그래프이다. A-B-C 조합의 토석류 유출저감률은 약 81.8 %로 나타났고, A-C-B 조합 토석류 유출저감률은 약 79.7 %, B-A-C 조합의 유출저감률은 약 87.9 %, B-C-A 조합의 유출저감률은 89.7 %, C-A-B 조합의 유출저감률은 84.8 %, C-B-A 조합의 유출저감률은 86.1 %로 나타났다.

세 구조물의 조합순서에 따른 유출토사비율은 Fig. 12의 그래프로 확인할 수 있다. 수로 유출부를 통해 유출된 토석류의 토사비율은 A-B-C 조합의 경우 약 3.8 %,로 나타났고, A-C-B 조합은 약 3.7 %, B-A-C 약 1.7 %, B-C-A는 약 6.3 %, C-A-B는 약 3.5 %, C-B-A는 약 13.8 %로 나타났다.

세 가지 조합형태의 구조물을 설치할 경우에는 버트리스 - 중력식 콘크리트 사방댐 - 브레이커(B-A-C)조합의 토석류 저감률이 약 87.9%로 가장 높은 수치를 기록하였다.

중력식 콘크리트 사방댐이 최하부에 위치하는 경우 평균 87.9%의 저감률을 보여 약 7.9 % 효과가 높았다. ‘중력식 콘크리트 사방댐-브레이커-버트리스’의 조합은 가장 높은 저감효과를 보인 ‘버트리스-중력식 콘크리트 사방댐-브레이커’의 조합과는 약 10 % 차이가 나는 것으로 분석되었다.

따라서 중력식 콘크리트 사방댐 등의 불투과형 사방댐 시설은 투과형 사방댐보다 하류에 위치하는 것이 효과가 높은 것으로 분석되었다.

Fig. 11. A Reduction Rate by Three Structures Combination

Table 3. Results of a Reduction Rate by Three Structures Combination

Case	A-B-C (%)	A-C-B (%)	B-A-C (%)	B-C-A (%)	C-A-B (%)	C-B-A (%)
1	86.061	80.587	88.127	88.072	84.379	85.653
2	78.161	77.609	84.559	86.316	86.945	85.289
3	81.256	80.773	91.044	94.783	83.085	87.494
Mean	81.826	79.65633	87.91	89.72367	84.803	86.14533
SD	3.250249	1.449673	2.651933	3.648609	1.604106	0.96516

Fig. 12. The Discharged Soil-water Rate by Three Structures Combination

5. 결 론

현재 토석류 연구는 국내외적으로 활발히 이루어지고 있고 특히 토석류 유출을 저감시켜 주는 사방시설에 대한 연구가 다방면에서 이루어지고 있다. 그러나 선행연구에서는 사방시설에서의 토석류의 이동 특성 및 규모 등을 검토했지만 한 계류에 다중으로 설치하는 경우의 토석류 발생에 대한 연구는 아직 미흡하다. 또한, 국외에서는 브레이커에 대한 연구가 이루어지고 있지만 국내에서는 아직까지 이에 대한 연구가 미진한 상황이다.

따라서 본 연구에서는, 실내 모형실험을 통해 브레이커를 비롯한 중력식 콘크리트 사방댐, 버트리스 사방댐을 축소 모형으로 제작하여 수로장치에 단일로 설치한 경우를 비교 분석 및 조합하여 다중으로 설치한 경우의 토석류 저감효과를 분석하였다. 단일 구조물의 경우 불투과형 사방댐인 중력식 콘크리트 사방댐의 저감률이 75%로 가장 높았으며, 투과

형 사방댐인 브레이커와 버트리스 사방댐의 경우에는 브레이커 73%, 버트리스 사방댐은 65.6%의 저감률을 보여 브레이커의 저감효과가 높은 것으로 나타났다. 세 가지의 사방댐을 조합하여 설치한 결과 중력식 콘크리트 사방댐이 수로의 상부에 위치하는 경우에는 80% 수준의 저감률을 보인 반면, 최하부에 위치하는 경우 평균 87.9%의 저감률을 보였다. 사방댐을 다중으로 조합하여 설치하는 경우 불투과형 사방댐이 하류부에 위치하는 것이 토석류 저감능력에 효과적인 것으로 나타났다.

본 연구에서는 사방댐을 다중으로 설치하였을 때에 토석류 저감률을 분석하기 위해서 실내 토석류 모형실험을 실시하였다. 실험을 통해 아직 국내에서 연구가 제대로 이루어지지 않은 브레이커에 대한 효용가능성을 확인하였으며 사방댐 다중 설치 시 가장 효과적인 조합을 검토하였다. 그러나 토석류를 연구하는 데에 있어서 토사뿐만 아니라 유송잡물의 영향까지 고려해야 한다는 점을 볼 때, 추후에 토석류의 특성을 고려한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

이 논문은 행정안전부장관의 방재안전분야 전문인력 양성사업으로 지원되었습니다.

References

- Huang, X., and Garcia, M.H. (1997) A Perturbation Solution for Bingham-plastic Mudflows. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 123, No. 11, pp. 986-994.
- Hunt, B. (1994) Newtonian Fluid Mechanics Treatment of Debris Flows and Avalanches. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 120, No. 12, pp. 1350-1363.
- ICHARM (2008) Debris-flow Dewatering Brakes: A Promising Tool for Disaster Management in Developing Countries. *International Center for Water Hazard and Risk Management Newsletter*, Vol. 3, No. 3, p. 10.
- Iverson, R.M. (1997) The Physics of Debris Flows. *Review*

- of *Geophysics*, Vol. 35, No. 3, pp. 245-296.
- Jang, C.D. (2012) *Development of Grid-based Debris Flow Model with Channel Cross-Section Shape*. Ph.D. dissertation, Kangwon National University, Republic of Korea.
- Kim, K.S. (2008) Characteristics of Basin Topography and Rainfall Triggering Debris Flow. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers C*, Vol. 28, No. 5C, pp. 263-271.
- Kim, N.G. (2015) *Numerical Study on Debris Flow Behavior with Two Sabo Dams*. Ph.D. dissertation, Kyoto University, Japan.
- Kim, Y.J. (2013) *Study on Hydraulic Characteristics of Debris Flow Breakers and Sabo Dams with a Flap*. Ph.D. dissertation, Kyoto University, Japan.
- Lee, W.G. (2011) *Study on the Prevention Method of Debris Flows with Circular Wire Mesh in Mountainous Areas*. Master's thesis, Incheon University, Republic of Korea.
- Lim, Y.H., Jeon, G.U., Kim, M.S., Yeom G.J., and Lee, J.H. (2008) Capture Effect of Secondary Slit Dam for Debris Flow and Woody Debris with Hydraulic Model Experiment: Focusing on A and D Type. *Proceedings of 2008 Summer Conference*, Korean Forest Society, pp. 343-344.
- Major, J.J. (1997) Depositional Processes in Large-Scale Debris-Flow Experiments. *Journal of Geology*, Vol. 105, pp. 345-366.
- Park, H.G., and Ahn, Y.S. (2015) Analysis of Debris Flow Reduction and Woody Debris Capturing with Erosion Control Structures using a Model Experiment. *Journal of The Korean Society of Forest Engineering*, Vol. 13, No. 2, pp. 85-90.
- Pierson, T.C., and Costa, J.E. (1987) A Rheologic Classification of Subaerial Sediment-water Flows. *Debris Flow/Avalanches: Process, Recognition, and Mitigation*, Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, Vol. 7, pp. 1-12.
- Suwa, H., Okano, K., and Kanno, T. (2009) Behavior of Debris Monitored on Tusk Slopes of Kamikamihorizawa Creek, Mount Yakedake, Japan. *International Journal of Erosion Control Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 33-45.
- Takahasi, T. (1991) *Debris Flow*. IAHR Monograph Series, Balkema, Rotterdam, pp. 1-165.
- Van Dine, D.F. (1985) Debris Flows and Torrents in the Southern Canadian Cordillera. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 22, No. 1, pp. 44-68.
- Varnes, D.J. (1978) *Slope Movement Type and Process*. Special Report 176: Landslides, Analysis Control, Transportation Research Board, National Academy of Science, pp. 11-33.

Received	■	August 31, 2017
Revised	■	September 5, 2017
Accepted	■	September 15, 2017