

휴대용관입시험기(PPT)를 이용한 토사절토사면 표층자료 예측기법 Preliminary surveying of Surface data on a road slope Using a PPT(portable penetration test)

곽영주¹⁾ · 강인준²⁾ · 沖村 孝³⁾

Kwak, Young Joo · Kang, In Joon · Okimura, Dakasi

¹⁾ 부산대학교 대학원 토목공학과 박사수료(E-mail:pusan@ac.kr)

²⁾ 부산대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail:ijkang@pusan.ac.kr)

³⁾ 일본 고베대학교 도시건설환경공학부, 도시안전센터, 교수(E-mail:okimura@kobe-u.ac.jp)

Abstract

Recently, slope failures are happen to natural disastrous when they occur in mountainous areas adjoining highways in Korea. The accidents associated with slope failures have increased due to rapid urbanization of mountainous areas. Therefore, Regular maintenance is essential for all slope and needs maintenance of road safety as well as road function. The purpose of this paper is to recommend a standard of a N_{10}^{\sim} value of Distribution of a potential failure layer using PPT(portable penetration test).

Keyword : Road Slope, PPT(portable penetration test), N_{10}^{\sim} value

1. 서 론

최근 10년간의 자연재해의 현황을 보면 전체 사망자 1,279명 중 산사태 등 급경사지의 붕괴로 약 22%에 달하는 280명 사망하였으며 2002년 8월에 발생한 태풍 '루사'로 인하여 국도 사면 붕괴에 따른 사망자가 발생하였다. 우리나라 건설교통부(2005)의 경우, 산지를 절취한 도로개설이 대부분이며 이로 인한 절취사면은 계속적으로 증가할 것이라고 예상하고 있다. 또한 기후특성상 강우량이 여름에만 집중되고 있어 사면붕괴로 인한 재해가 매년 발생하고 있어 사면에 대한 위험도 등급 마련으로 도로 접도구역과 관련하여 붕괴 발생을 미연에 방지하고 도로 피해를 최소화하는 기술을 개발하고 있다.

현재의 열악한 재정상황 중 공공사업비가 저감되고 건설투자의 타당성이 의문시 되는 현시점에서 위험도가 높다고 판단되어 지는 사면에 있어서도 전체의 방재대책을 시행하는 것은 현실적으로 어렵다. 그렇기 때문에 몇 가지 지표를 이용하여 방재대책 우선순위 판정을 시행하고 우선순위가 높은 사면부터 순차방재대책을 시행할 필요가 있다. 이러한 중요도에서부터 도로재해를 동반하여 발생하는 위험도에 주안점을 두고 붕괴 확률·점수에 따라 방재대책 및 예측을 판정하는 방법을 개발할 필요성이 있다.

다평면안정해석(MPSS)은 기반암 위의 표토 붕괴메카니즘을 설명하기 위해 제안된 모델이다. 모델의 정확도는 沖村 孝(1980, 1983)의 연구에서 보고된 바와 현장의 붕괴사례를 매우 정도 높게 예측하였다. MPSS모델을 실무에 적용하기 위해서는 표토층의 두께를 어떤 방식으로든 측정하지 않으면 안된다. 일본에서는 沖村 孝, 田中(1980)이 제안한 휴대용관입시험(PPT)을 수행하여 표토층의 심도를 조사하였다.

본 연구에서는 광역적인 지역을 우선 GIS를 이용하여 위험우선순위 판정하여 의사결정에 있어서 다소 정확도 낮지만 빠른 결정과 시간 비용의 효율이 극대화 될 수 있는 방법으로 제시하였으며 두 번째 단계로 현장조사를 병행하여 우선순위 판정의 정확도를 향상시켰다. 마지막 단계로 붕괴메카니즘에 따른 사면안정 평가를 하였으며 연구모델로 토층파괴가 발생하였을 경우 MPSS 모델을 적용, PPT를 통한 신기술을 적용하여 지리정보(GIS) DB를 구축하는 방안을 제시하였다.

2. 사면안정성 평가

2.1 다평면안정해석 역할모델

그림 1.에 나타난 바와 같이 沖村 孝(1980)가 제안한 다평면안정해석(MPSS:multi-planar surface)을 이용한다. 이 해석은 사면이 2m의 표토층의 미끄러지는 토괴에서 구성된다고 생각하여 그 미끄러지는 토괴의 안정을 구한다.

표층붕괴가 예상되는 사면들은 우리나라 전국토에 걸쳐 광범위하게 분포되어 있기 때문에, 모든 사면들의 표토층의 심도를 구하는 것은 현실적으로 불가능하고, 경제적이지도 않다. 따라서, 표토층의 심도를 구하는 간단한 방법의 제안이 요구되어 왔다. 이를 위해 沖村 孝(1980)등은 휴대용 관입시험(PPT)을 화강암산지의 사면에 대해 광범위하게 시험을 실시하였다. 그 결과, 사면의 표층붕괴에 직접관

여하는 것은 N_{10} 의 값이 10이하의 연약한 표층이고, 그 중에서도 N_{10} 값이 약 5정도인 것들이 사면의 대부분을 점유하고 있었다고 보고하고 있다. 따라서, 우리나라의 표층붕괴가 예상되는 사면들에 MPSS를 적용하기 위해서는 표층붕괴가 발생한 사면을 대상으로 적합한 표토층심도의 결정을 위해 PPT 시험을 실시할 필요가 있다.

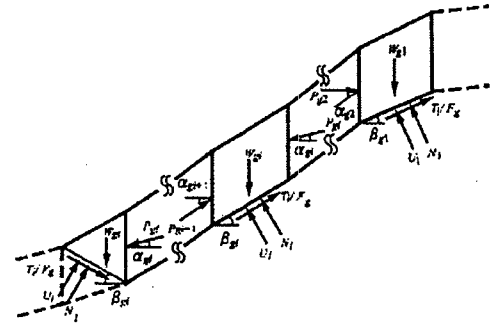


그림 1. Glide 역학모델

2.2 휴대용 관입시험(PPT)

현장조사(Field Investigation Test)의 시험방법은 1) 트렌치 컷(Trench cut)을 확보하여 소일 프로파일을 직접 확인한다. 2) 관입시험을 위하여 붕괴사면과 붕괴되지 않은 사면의 트렌치컷으로부터 각각 보링과 관입시험을 실시한다. 3) 채취된 샘플로 실내시험을 실시하여 토질정수 및 소일 프로파일을 작성 순으로 진행한다.

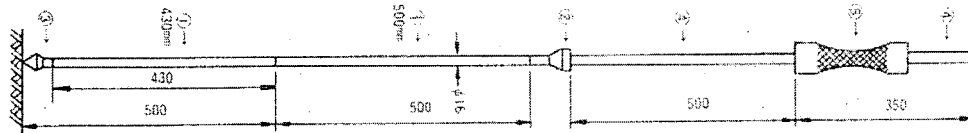


그림 2. Simplified penetration test instrument

시험결과 5kg의 추를 50cm에서 높이에서 자유낙하시켜 10cm관입했을 때의 타격회수를 측정하여 N_{10} (표층부와 기반암부의 경계치)으로 나타낸다. 飯田·奧西등의 PPT시험결과(1978)에 따르면 N_{10} 프로파일의 형식은 크게 4가지로 분류된다. 모근부에서는 A형(N_{10} 값이 깊이방향으로 일정하게 증가하는 형), 사면의 중간부에서 하부방향에 걸쳐서 C형(어떤 깊이까지든 N_{10} 값이 10이하이고, 그 이후는 급격히 증가하는 형)이다. 여기서 대략 $N_{10} < 10$ 이 되는 층을 연약층, $10 \leq N_{10} < 50$ 의 범위는 전이층, $50 \leq N_{10}$ 이되는 층을 기반층으로 부를 수 있다. 전형적인 것으로 실제 현장의 경우는 훨씬 복잡, 다양한 양상을 나타낼 수 있기 때문에 N_{10} 값을 간단하게 규정하기가 어렵다. 일본지역의 사면을 대상으로 한 결과를 바탕으로 우리나라 지형에 적합한 N_{10} 값을 규정하기 위한 실제적인 연구가 필요하다. 이에, 본 연구에서는 표층과괴가 발생한 사면을 대상으로 PPT시험을 실시하였고, MPSS해석을 통하여 적합한 N_{10} 값을 산정한다.

3. GIS 사면안정성 평가

3.1 연구대상 지역

연구지역은 산악지형의 굽은 고개도로로서 진영 국도관리사무소에서 관리하고 있는 밀양~창녕간 국도 24호선 중 북북면에 위치한 1.8km 구간의 그림 3.의 낙석위험지역을 선정하였다. 우선, 사면의 정확한 위치와 물리적인 경계를 확정하기 위하여 국토지리정보원에서 발행하는 밀양시 1:5,000 수치지도를 활용하여 측량 기준점을 선정하였다. 또한 접도사면의 정확한 시·종점과 사면의 경계를 설정하기 위하여 절대 좌표의 X, Y, H 좌표를 획득하였다. 연구지역인 국도24호선 밀양-창녕간 21.4km ~ 23.2km(우측) 구간의 사면 11개소를 대상으로 지리정보(GIS) DB를 완료하였다. 노선측량을 위한 기준점 좌표를 매설하고 Total-Station을 이용하여 대상 모델 11개소의 정확한 사면경계 및 시설물을 3차원으로 관측한 결과 지리정보(GIS)자료에서도 수집 할 수 있었다.

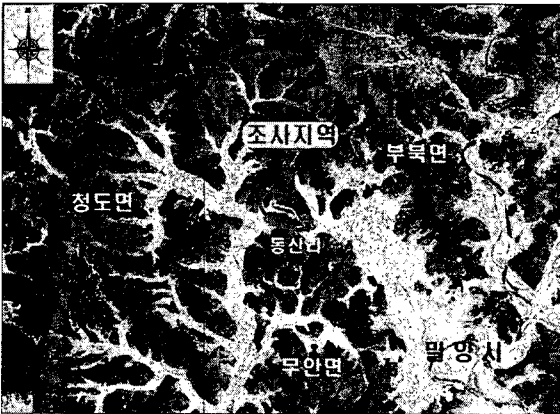


그림 3. 연구대상지역

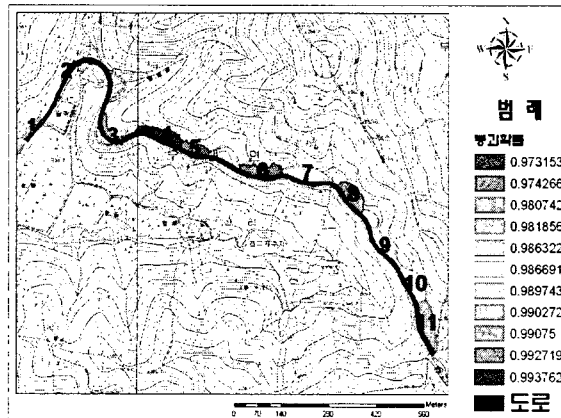


그림 4. 사면 붕괴확률위험도

3.2 연구지역의 지질

대상사면이 위치하는 조사지역은 중생대 백악기 경상누층군 유천층군에 속하는 화산암류(주산안산암질암, 안산반암)와 이를 관입한 석영반암, 그리고 이들 제지층을 부정합으로 피복하고 있는 제4기 충적층으로 구성된다. 조사대상사면의 기반암은 그림 6.과 같이 주산안산암질암으로 구성되어 있다.

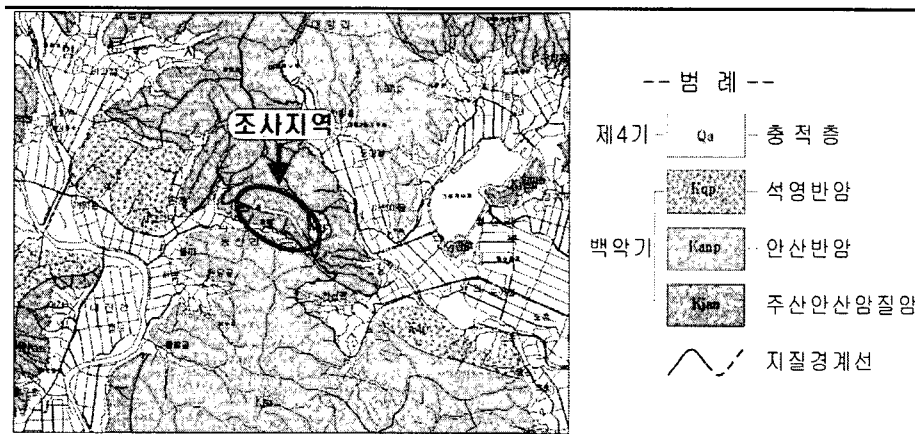


그림 5. 조사지역 일원의 지질도

조사지역의 지질 중 기반암은 중생대 백악기 중성화산쇄설암류(주산안산암질암; 안산암질화산력용회암 (Andesitic lapilli tuff)로 구성되고 토사층은 산록퇴적물과 풍화산류토로 구성되어 있으며, 일부 구간에서는 산사태 기원의 붕적토를 수반하고 있다. 지질구조는 기반암 내에는 소규모 단층과 단층파쇄대 그

리고 다수의 균열대를 수반하고 있어 전반적으로 취약한 지반 상태를 나타낸다. 그리고 두꺼운 풍화변질대와 핵석(Core stone)을 수반하고 있으며 상하 측방으로 불균질한 암질을 나타낸다.

3.3 전형적 N_{10}^{\sim} 치 산정

현지조사결과와 지질도를 기초로 하여 최종적인 붕괴확률을 산출하기 위해 테이블속성정보를 분류하였다. 이때, 붕괴의 경중률을 결정하여 주는 확률방정식을 입력하여 ArcGIS 프로그램에서 자동연산 후 붕괴확률이 정렬 되도록 사면정보 DB를 구축하였다. 그 결과 연구대상 지역의 11개의 사면에 대하여 그림 4와 같이 사면붕괴 위험 확률도를 나타내었다. 사면붕괴확률이 높은 사면은 빨간색으로 나타난 4, 6 번째 사면으로 확대하면 그림 6의 전경과 CAD 기반의 구조도(Face Map)로 표현된다. 표층자료획득을 위한 토사사면을 대상으로 우리나라 지형에 맞는 전형적인 N_{10}^{\sim} 치를 구하는 신기술을 소개하고 결과는 그림 8에서 보여지는 바와 같이 $N_{10}^{\sim}=20$ 의 값을 얻게 되었다.

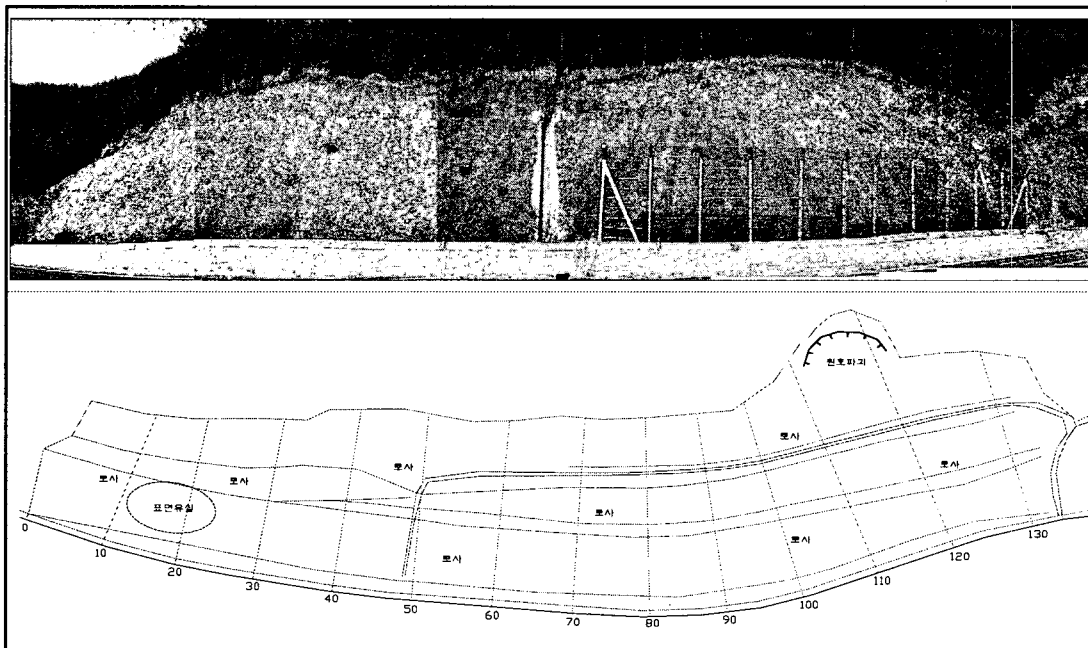


그림 6. 붕괴 우선순위의 모델 전경 및 구조도 (사면PSMIS#06)

현지조사에 따라 도로에 접해있는 선형구조물인 연구모델 사면을 10미터 단위로 나누어 사면을 관찰하면서 Face Map을 작성하게 되는데 이때 사면DB를 구축할 수 있는 시각적 판단의 모든 정보를 수록한 후 전문가 의견을 수렴하여 검토를 받는다. 그림 6.에서와 같이 실제 형상과 동일한 수치지형 주제도를 작성하고 지리정보(GIS) DB화를 구축할 수 있도록 일반도, 정면도, 평면도, 횡단도, 종단도 등 모든 각도에서 관찰 할 수 있는 3차원 실제 자료를 노선측량과 병행하여 표현, 기록하였다. 특히, 그림 8은 표층붕괴 잠재층을 예측할 수 있도록 과거 붕괴사례를 근거로 하여 종단면도를 작성하였으며 PPT결과의 관리를 위하여 원시자료 및 3차원 위치자료도 마련하였다. 대상 사면을 4개의 포인트로 대표하여 선형 관입하여 붕괴잠재면을 2미터 간격으로 보간하여 실제형상을 표현하였다. 이때 제시된 표준값이 그림 7의 $N_{10}^{\sim}=20$ 의 값이다.

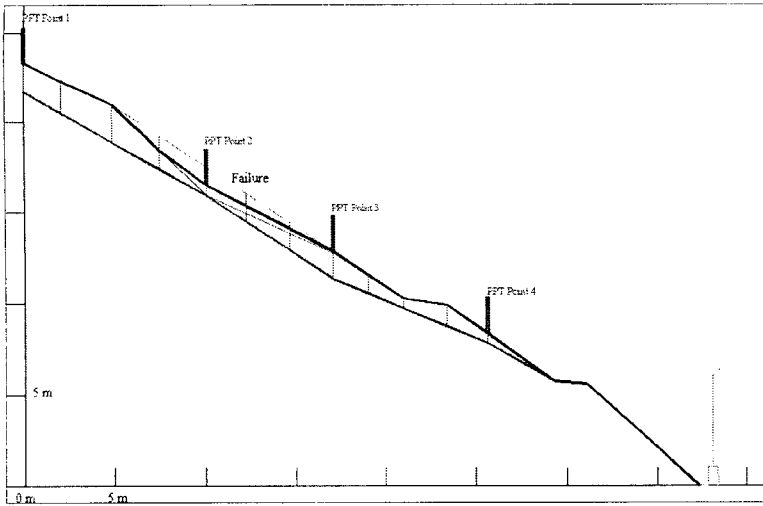


그림 7. 사면 단면도(사면PSMIS#06)

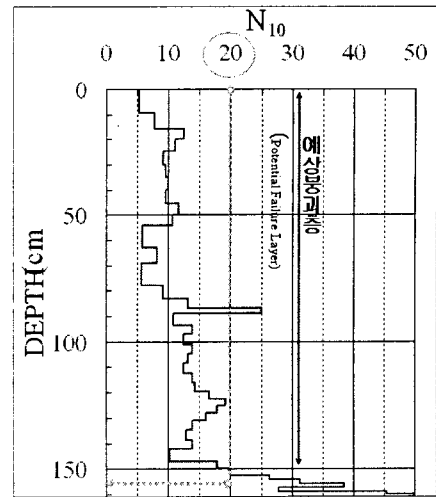


그림 8. N_{10} Profile of Point01 모델

4. 결론

본 연구는 휴대용관입시험기(PPT)를 이용한 토사절토사면 표층자료 예측기법에 관한 연구로 새로운 신기술을 소개하고 우리나라 환경에 맞도록 표준화된 수치화 방안을 제안하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 지리정보(GIS)기법을 적용하여 사면붕괴확률위험도에 따른 결과를 활용하여 다음단계인 사면의 중요한 붕괴인자추출, 붕괴인자, 특히 표층자료를 현장에 적용함으로써 GIS의사결정의 확실성을 높여주는 검증단계가 되었다. 따라서, 절토사면에 대한 공간 DB를 구축하고 정보를 공유하며 체계적인 시스템 관리를 위한 정확한 데이터를 제공할 수 있다.

둘째, 연구모델 중 붕괴확률방정식을 이용하여 절토사면 붕괴위험 우선순위가 연산되어진 결과에 1~2순위로 선정된 사면을 현장조사에서 토사사면에 해당하는 예측평가방안을 제안하였다. 표층 위험 중요인자를 간이법으로 획득하여 표준 $N_{10}=20$ 의 반발력으로서 토층깊이와 기반암을 구분한 토사사면의 위험표층 예측 신기술을 제시하였다.

셋째, 실제 토사사면에 적용한 결과 현장조사에서 취득할 수 있는 입력값으로 표층인자의 필요성이 요구되며 사면대장의 지리정보(GIS)기반의 데이터로 활용되도록 한다. 정확한 절대좌표를 기준으로 사면안정성 평가자료 항목 중 중, 단면도 뿐만 아니라 표층깊이까지도 휴대관입시험기(PPT)를 활용하여 정확하게 추출함으로써 GIS 도형정보, 속성정보 데이터로서의 예측 활용성을 증가시켰다.

향후, 연구 대상을 확대하여 우리나라의 다양한 지형과 지질조건을 고려한 표준화 된 N_{10} 치를 작성하는 것이 연구과제로 남아 있으며 토질전문가가 아니더라도 하더라도 판단에 있어서 좋은 지표가 될 수 있는 자료가 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설기술기반구축사업(05기반구축 A 07) 연구비 지원으로 이루어졌으며 본 연구를 가능케

한 건설교통부에 감사드립니다.

참고문헌

1. 강인준, 장용구, 곽영주(2006), 지상 LiDAR를 활용한 접도사면 위험평가에 따른 GIS관리, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, Vol 26, No1D, pp168~176
2. 건설교통부(2005), GIS를 이용한 도로 접도사면 재해위험도 작성 연구보고서, 중간보고서, pp. 15-23
3. 한국건설기술연구원(2005), 2004년 도로절토사면 유지관리 시스템 개발 및 운용, 연구보고서, 건설교통부.
4. 유복모(1998), 지형공간정보론, 동명사.
5. 강인준, (2003) 측량지형정보공학Ⅱ, 문운당
6. 土木研究所(2004), GIS 活用を 道路斜面のリスク平價, 共同研究報告書, 日本 獨立行政法人 土木研究所. pp18~20
7. 地盤工學會(2003), 豪雨時の斜面崩壊のメカニズム および 危険度 豫測, 研究報告書, 日本地盤工學會.
8. 沖村 孝, 田中(1980), Research on the Soil Horizon of Weathered Granite Mountain Slopes and failed Surface Depth in a Test Field, Shin-Sabo, 116, 7-16,
9. Okimura, D.(1983), A Slope Stability Method for Predicting Rapid Mass Moments on Granite Mountain Slopes, Natural disaster Science, Vol.5, No.1, pp.13-30