

호우로 인한 절개산지의 피해 조사 및 대책공법

—동아대 승학 캠퍼스를 중심으로—

Investigation and Repair Methods for the Excavated Mountain Area
damaged by Rainfall : At the Sunghak Campus, Dong-A University

鄭 成 教*¹ 玉 致 南*²

Chungs, Sung-Gyo Oak, Chi-Nam

金 鍾 大*³ 朴 鍾 南*⁴

Kim, Chong-Dae Park, Chong-Nam

白 承 訓*⁵

Baek, Sung-Hoon

Abstract

The Sunghak Campus, Dong-A University, which located at the excavated area of mountain, has been constructed year by year for about 10 years since 1978. The buildings, steep slopes, road and so on in the Campus area were damaged by heavy rainfall more than 200mm/day on August, 1989.

The methods used for the investigation and repair methods of the damage are the preliminary investigation, the present condition survey, 50 by 50m grid survey, compass traverse for locating outcrops, geophysical exploration, geologic survey, boring and laboratory soil testing. Based on the results of investigations, the causes of the failures have been evaluated, and the repair methods have been set up as horizontal drains, removal of the dangerous rock, retaining wall with subsurface drains, the elimination of colluvium and slope stabilization by use of precast concrete grids and so on.

요 지

동아대학교 승학캠퍼스는 산지를 굴착하여 약 10년 전부터 연차적으로 건설되어 왔다. 1989년 8월에 내린 200mm/day 이상의 집중호우로 인한 지하수 및 산사태로써 건물, 사면, 도로 등 많은 피해를 입었다.

이 피해의 원인조사 및 보완대책을 위하여 현황 및 50m 격자형 위치측량, 예비조사, 야외간이 측량법, 지구 물리학적 탐사법, 시추조사 및 흙의 특성시험 등이 수행되었다. 이러한 조사결과를 바탕으로 피해의 원인 및 예측을 수행하였으며 수평배수공법, 위험한 노출암괴의 제거, 지하배수를 겸한 옹벽설치, 붕적층의 제거 및 격자형 블록에 의한 사면안정공법 등의 보완대책이 수립되었다.

*¹ 정희원, 동아대학교 공과대학 토목공학과 부교수

*² 정희원, 동아대학교 공과대학 토목공학과 강사

*³ 동아대학교 공과대학 자원공학과 교수

*⁴ 동아대학교 공과대학 자원공학과 부교수

*⁵ 정희원, 동아대학교 공과대학 토목공학과 석사과정

1. 서 론

부산시는 전체 면적의 70% 이상이 산지로서 매년 우기철에 산사태에 의하여 많은 피해를 입어왔다. 특히 동아대학교 승학 캠퍼스가 위치하고 있는 부산시 사하구 당리동 및 하단동 일대는 산사태의 위험지역으로 부산시가 지정한 곳이다.

1989년 8월에 내린 200mm/day 이상의 집중호우로 인하여 동아대 승학 캠퍼스는 많은 피해를 입었다. 따라서 학교 당국은 폭우로 인한 피해 복구 및 장차의 피해 방지를 위하여 산사태 위원회를 조직하였으며, 이 위원회는 1989년 10월부터 6개월 동안에 캠퍼스 전반에 걸쳐 조사 및 설계를 위한 임무를 수행하였다. 여기서는 각종 조사결과를 바탕으로 피해원인의 규명, 예측 및 대책에 대하여 기술하고자 한다.

1.1 피해현황

동아대학교 승학 캠퍼스는 1978년 말경에 공과대학 1, 2호관이 신축된 이래로 거의 매년 건물의 신축과 부지정리가 있었다. 1989년에 있었던 집중호우로 인하여 캠퍼스가 이전된 10년이래 최대의 피해를 입었으며, 그 피해상황은 그림 1과 같다.

공대 2호관 산사태 지역은 1981년 8월에 산사태가 발생하여 일차 복구된 곳으로 8년 후인 1989년에 재차 산사태가 일어났다. 이 산사태로 인하여 공과대학 3호관에 있는 기계 공작실이 일부 매몰되어 2억여원 이상의 피해를 입었다.

공대 1호관은 폭우 후에 외견상으로 피해를 크게 감지하기 어려운 곳이나, 호우 시에 건물 전면 좌측의 건물 기초 아래에서 많은 양의 용출수가 치솟아 축대가 부분적으로 손상을 입었고 또한 건물 지하실이 침수되었다. 이러한 원인에 의하여 건물이 부동침하하여 5층 건물의 전면 좌측부에 속하는 골조 및 벽체에 심한 균열을 야기시켰다.

공대 3호관 뒷편에 있는 도로 사면의 붕괴지는 붕괴가 발생하기 전에도 사면에서 소량의 유출수가 용출되던 곳으로, 이번 사태로 인하여 도로의

하부 사면이 거의 도로의 중심선까지 토사가 유실되어서 차량의 출입이 통제되었다.

학군단 주변의 경사지는 여러 곳의 얇은 활동과 넓은 면적에 걸쳐 인장균열이 발생하였다. 그 인장 균열은 1989년 8월 이후의 우수시에 약간씩 진행되어 현재는 50cm 이상의 침하와 10cm 이상의 균열 폭을 나타내고 있다.

그리고 위에서 소개한 이외에도 소규모의 사면 파괴가 여러 곳에서 발생하였다.

1.2 조사 및 연구범위

조사는 현황을 위한 측량과 지질도 작성을 위한 조사로 구분된다. 측량은 피해상황을 나타내기 위한 1:1200 축척의 현황측량과 지질도의 작성을 위한 50m 격자형 위치측량⁵⁾으로 구분하여 실시하였다. 그리고 지질조사는 야외간이 측량법, 시추조사⁴⁾와 병행하여 구조지질을 위한 지구 물리학적 탐사법을 실시하였다.

조사 결과에 의하여 피해원인의 규명 및 피해 예측을 수행하며, 그 결과에 의하여 현장여건에 부합되는 합리적이고 경제적인 보완공법을 수립하고자 하였다.

2. 지형 및 지질 특성

2.1 지질 조사

본 지역의 지질 특성을 파악하기 위하여 먼저 항공 사진에 의하여 선구조를 확인한 후 야외 간이 측량법, 지구 물리학적 탐사법 및 시추 탐사가 1990년 2월부터 2개월에 걸쳐 수행되었다.

야외 간이 측량법은 대학의 북쪽에서 쉽게 볼 수 있는 노두 위치를 실측하여 1:1200 축척인 지형도에 기재한 후, 주로 Stereograph를 활용하여 지하수 및 지표수의 이동 방향을 추적하기 위하여 절리계열과 이들이 만나는 선구조의 Plunge 방향을 찾는데 주력하였다.

지구 물리학적 탐사법은 지질 및 구조상태를 규명하기 위하여 총 13개 축선, 총 연장 3km의 축선에 대하여 Dipole-dipole법에 의한 전기비저항 탐사를 실시하였으며, 이들 축선중 총 연장 2.0km에 달하는 5개 축선에 대한 추가 정보를 얻기 위하여 저주파 전자 탐사(VLF)

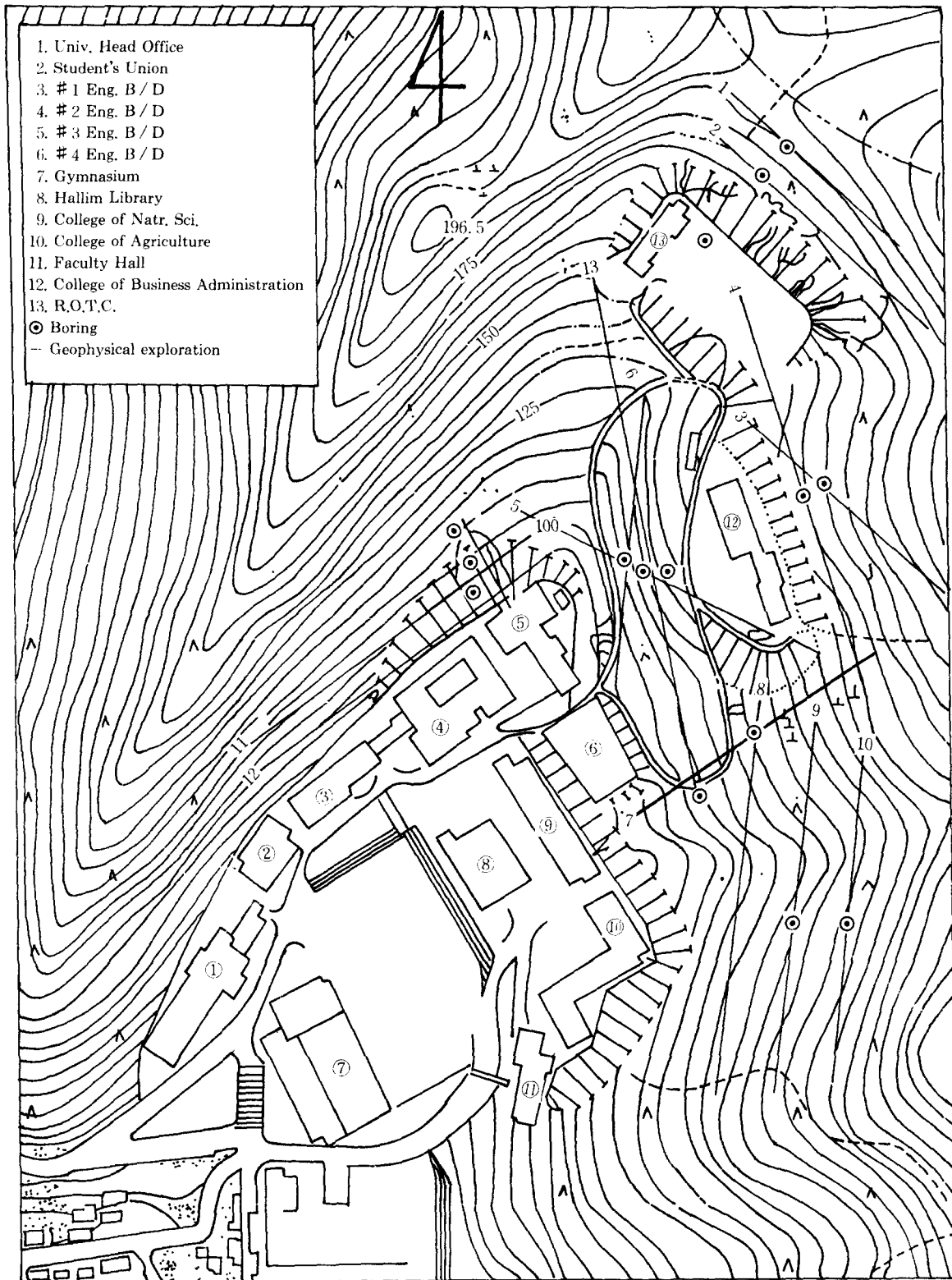


그림 1. 산사태 및 지하탐사 위치도

및 자력 탐사를 병행하여 실시하였고, 또한 교수 회관 뒷편의 4개 지점을 선정하여 전기 비저항 수직탐사를 수행하였다.²⁾

시추탐사는 토층, 암층의 확인 및 토층의 특성을 규명하기 위하여 표준관입시험을 겸한 일반 시추조사(wash boring)를 13공, 50m 이상의 깊이까지 암반 시추를 2공 수행하였다. 더불어

사면안정이 취약하다고 생각되는 부분에 대하여는 자연시료를 채취하여 실내에서 강도시험을 수행하였다.

2.2 지형 및 지질 개요³⁾

본 지역은 승학 캠퍼스 내의 지산역으로서 해발 약 40~185m에 이르는 경사도가 급한 지역

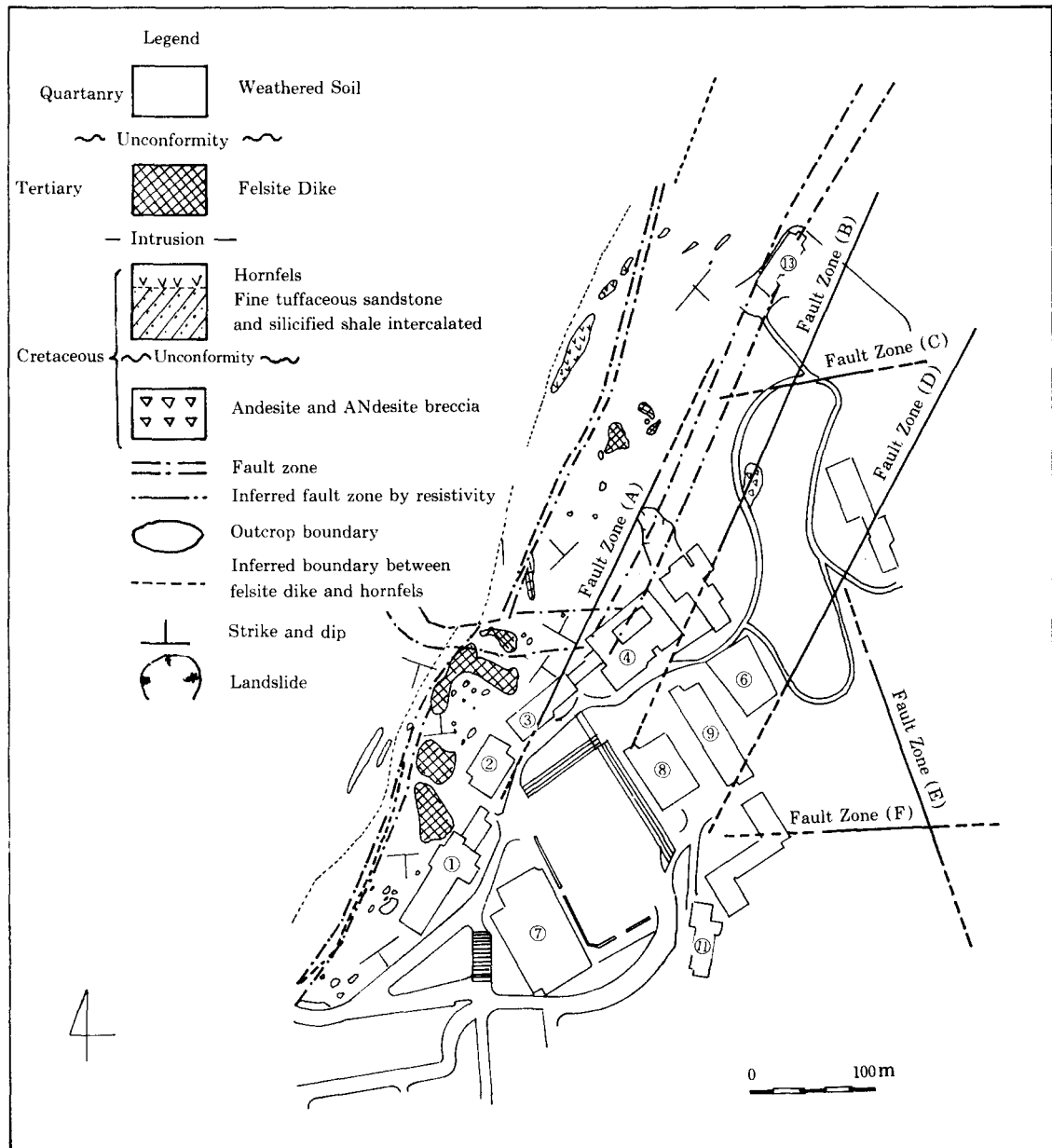


그림 2.1 승학캠퍼스의 지질도

에 해당한다.

이 지역의 지질은 하부로부터 안산암과 이를 정합으로 피복하는 암회색 응회질 사암 및 이를 관입한 규장암맥으로 구성한다. 응회질 사암은 규장암의 관입에 의하여 그 경계부에서 Hornfels 화하였다(그림 2.1 참조).

안산암은 경영대 뒷산과 승학산 일대에 넓게 분포하며, 부분적으로는 Lapilli 각력암의 양상을 띄우나 대체로 반상 안산암으로 구성되어 있다. 이 암석은 짙은 녹색 내지 회색을 띄우며 반정들은 흔히 녹색섬화하였다. 이 암석의 노두는 흔히 괴상이고 절리의 발달이 비교적 불량하나 규장암과의 경계 부근에서는 규장암의 세맥이 관입한 절리의 발달을 보이며 쉽게 풍화되어 두꺼운 토양층을 이루고 골짜기를 형성하였다.

응회질 사암은 층리가 잘 발달하였으나 규화되어 간극물이 매우 낫다. 본암은 하위의 안산암에 정합으로 피복하는데, 이와 같은 정합관계의 증거는 엄궁 산업도로 변에서 잘 나타난다. 이 암석의 분포 지역은 대학 본부, 공대 1, 2, 3호관 뒷편 능선의 서측 즉 엄궁 일대에 국한하며, 지층의 주향과 경사는 사면 하부에서는 대체로 N10°E~N10°W, 20°SW~20°NW를 이루지만 능선 부근에서는 주향의 변화는 없으나 경사는 40°~60°로 급경사이다. 이 암석은 규장암과의 접촉부에서 Hornfels화하여 층리 등의 구조를 잃고 괴상을 이룬다. Hornfels대의 두께는 일정하지 않으나 대체로 10~20m로 비교적 풍화에 강하여 능선을 형성한다.

규장암은 대학 본부 및 공대 1, 2, 3호관 뒷편 산사면에서 비교적 급한 절벽을 이루고 노두가 잘 발달되어 나타난다. 이 암석은 전기한 안산암과 응회질 사암을 N30°E 방향으로 뚫고 관입한 폭 약 50m의 암맥상을 이룬다. 학군단 훈련장에 나타난 이 암석과 안산암의 경계에서는 이 암석이 안산암내의 절리에 세맥으로 관입하여 있는 것이 확인되며, 전술한 바와 같이 이 암석과 응회질 사암간의 경계에서는 응회질 사암이 Hornfels화 하였다. 또한 응회질 사암의 암편이 규장암 내에 포획되어 있기도 한다.

풍화토 및 퇴적물은 응회질 사암분포 지역과 안산암 분포 지역에서 두껍게(15m 내외) 나타나

는데, 공대 3호관 뒷편 사면의 최근 사태지역에 나타난 지층단면은 이 지역에서 최소한 3회 이상의 붕괴가 반복 하였음을 보여 주고 있다.

2.3 구조 지질²⁾

캠퍼스 전반에 걸쳐 실시한 물리탐사 결과에서 그림 2.1과 같은 구조선을 예측할 수 있었다.

캠퍼스를 구성하고 있는 안산암질 화산암은 산성암맥의 관입으로 인하여 산성암맥(구조선 A)과 거의 나란한 방향(약 N25°E)과 이와 약 60도의 각도를 이루는 N80°E 내지 EW 방향 및 N15°E 방향으로 많은 구조선이 발달하고 있으며, 이들 구조선은 대체로 파쇄대를 형성하고 있다. 이들 파쇄대 상부는 거의 연직 방향으로 발달되어 있으나 구조선(D)의 경우는 심도가 깊어짐에 따라 북서방향의 경사가 점차 완만해져 지하 약 40m 지점에 이르러서는 거의 수평일 것으로 예상된다.

표토층의 심도는 최대 16m로 확인되며, 지표 가까운 곳에서는 파쇄대 주위가 풍화되어 두꺼운 표토층 내지는 풍화토를 형성하고 있으나, 심도가 깊은 곳에서는 거의 풍화를 받지 않은 것으로 보인다. 그리고 구조선(B)와 (C) 사이에 위치한 두께 약 30~40m의 암체는 주위에 파쇄대가 잘 발달 되어 파쇄대 면을 따라 미끄러져 내려올 수 있는 가능성을 배제할 수는 없으나, 심부에서는 거의 풍화를 받지 않았고 암체가 렌즈형이 아닌 점 등으로 미루어 볼 때 미끄러짐이 활발치는 않을 것으로 보인다.

(1) 단 층

이 지역의 주단층은 N30°E 방향의 수직 단층으로서, 폭 10m 내외의 미세한 수직 절리계열을 수반하여 단층대를 형성한다. 이 수직 단층은 또한 Hornfels화한 응회질 사암과 규장암의 경계를 이루기도 하는데, 이 단층은 규장암 관입 후에도 계속하여 활동하였음을 암시하고 있다.

이 지역의 또 다른 단층은 N62°W, 34°NE의 완경사 단층으로서 이 단층은 응회질 사암과 규장암을 꿰고 역시 10m 내외의 단층대를 형성하나 이 단층이 승학산에 분포하는 안산암까지를 절단하였는지는 확실하지 않다(그림 2.1).

(2) 절리계열

이 지역에 발달한 절리계열은 대체로 1) 주단층대를 형성하는 수직 절리계열, 2) 산 사면과 평행한 사면 절리계열, 3) 부단층대를 형성하는 경사 절리계열 및 4) Hornfels 암내에 발달하는 Block 절리계열로 구분할 수 있다.

주단층대를 형성하는 수직 절리계열은 규장암과 Hornfels 암의 경계를 이루며 약 10m의 폭을 가지고 잘 발달되어 있다. 이 절리계열은 대학 본부, 공대 1, 2, 3호관의 뒷편 능선에서는 대학쪽 사면에 위치하지만 학군단 방향의 연장선은 능선의 서측, 즉 엄궁 방향 사면에 위치하게 된다. 이 절리계열의 최상부는 지반고 200m에서 나타나며, 공대 1호관의 지반고는 100m임으로 그 낙차는 대체로 100m에 이른다. 이 절리계열의 전폭 10m 내에는 2~3cm 간격으로 미세한 절리가 잘 발달하여 지하수의 좋은 유통로가 될 수 있다. 그리고 이 절리에는 충전물이 거의 내재되어 있지 않았다.

사면 절리계열은 규장암 분포 지역의 거의 전부에서 잘 발달하지만, 특히 부단층의 하단을 형성하는 대학 본부와 학생회관 뒷산의 규장암 노두에서 잘 관찰된다. 사면 절리계열이 뚜렷이 발달한 대학 본부와 학생회관 뒷산에서 절리간의 간격이 조밀한(10~20cm) 구간은 표면에서 2m 정도의 심도까지로서 그 하부에서는 급격히 간격이 넓어지는(1m내외) 경향을 보인다. 또한 이 지역의 절리들을 측정하여 Stereograph로 절리계열에 교차하는 선구조를 알아본 결과 등을

종합하여 보면 부단층 하부에서는 지면에 가까운 사면 절리계 N46°E, 34°SE와 선구조 S15°W-S46°W, 11°-28°SE가 가장 우세하나 NW 방향으로 60° 경사하는 절리계와 N15°W 방향으로 68° plunge 하는 선구조의 발달도 비교적 양호한 편이다. 후자의 절리계와 선구조는 결국 주단층대에 형성된 대수층에까지 연결된다.

경사 절리계는 부단층대를 형성하여 부단층과 주향이 같거나 그와 유사한 주향을 가지며 경사는 대체로 30°~60°로 완만하다. 이 절리계열은 공대 1호관과 2호관 뒷편 산사면에서는 N62°W-N64°W의 주향과 34°NE-34°SW의 경사를 가지며 그 폭은 약 10m에 달한다. 이러한 증거는 그림 2.2와 같은 전기 탐사의 결과에서도 알 수 있다. 이 절리계열은 부단층 상반에서는 학군단 뒷편 사면에서도 쉽게 발견된다. 이 절리계열을 수반하는 부단층은 공대 1호관 뒷편 능선에서 Hornfels를 절단함으로써 주단층대를 형성하는 수직 절리계열에 직접 연결되어 있음이 확인된다. 또한 이 절리계열의 남동부는 공대 1호관과 2호관 사이를 관통한다.

부단층 상반에 발달한 절리계열은 사면 절리계열이 가장 우세하지만, 주단층 방향의 수직 절리계열과 부단층 방향의 경사 절리계열의 부수적인 발달도 양호하여 이 지역에서는 모든 절리계열이 부단층대에 직접 연결되어 있다.

Hornfels내에 발달하는 Block 절리계열은 절리간의 간격이 수m에 이를 수도 있을 정도로

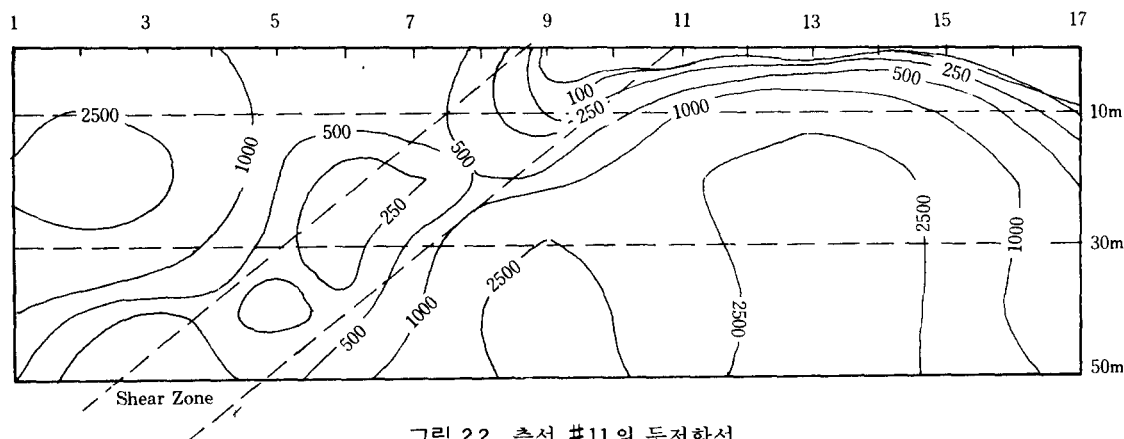


그림 2.2 측선 #11의 등저항선

크고 대체로 수직 및 수평 절리계열을 형성한다. 다만 부단층 상반에서는 부단층의 영향으로 경사 절리계열을 이루기도 하지만, 수직 및 수평 절리에 비하여 정도가 약한 편이다.

3. 피해의 조사 및 예측

3.1 공대 1호관의 지하수에 의한 피해

앞의 2, 3절에서 볼 수 있는 바와 같이 대학 본부, 공대 1, 2, 3호관 뒷편 산사면에서의 지하수의 이동은 1) 주단층대에서 형성된 수직 절리계열의 대수층, 2) 부단층대 하반에서 사면 절리 및 그에 유사한 선구조를 따라 흐르는 지표면 부근의 유동, 3) 부단층대의 경사 절리계열을 따라 부단층 주향 및 경사방향으로 흐르는 유동, 4) 부단층대 하반에서 주단층대 및 부단층대 방향으로 발달한 절리계열 및 선구조를 따라 흐르는 유동 등을 들 수 있다. 이들 모든 절리계열과 선구조는 지하에서 상호연결되어 있으므로 5) 우기에 모든 절리계열이 포화상태에 이르면 부단층대 상반에서는 주단층대 및 부단층대로부터 지하수를 공급받아 분수하는 artesian 유동을 할 것이다.

이와 같은 유동형태를 지역별로 보면 대학 본부 및 학생 회관 뒷편 산사면에서는 지표면 부근의 유동이 강력하고 표면 절리계열의 두께가 2m 내외로 얇으므로 사태의 위험은 없다 하겠다. 반면 공대 1, 2, 3호관 뒷편 산사태에서의 유동은 경사 절리계열을 따라 흐르는 유동을 비롯하여 부단층 상반에서 주단층 및 부단층에 공급하는 유동이 활발하게 될 것이다. 이와같은 유동은 절리계열이 불량한 Hornfels에 의하여 절단되므로 공대 1, 2, 3호관과 학군단 뒷편 사면 하부의 대부분의 지하수는 공대 1, 2, 3호관 뒷편 사면에서 부단층대에 형성된 경사 절리계열을 따라 공대 건물 방향으로 흐를 수밖에 없다. 그런데 부단층대의 경사 절리계열은 공대 1호관과 2호관 사이에 집중함으로(그림 2.1 참조) 우기에는 이곳에 지하수의 집중 유출이 일어난다. 이곳에서는 홍수기에 지하수가 절리계열을 포화시킴으로 인하여 artesian 유동을 하므로 모든 사면 하부의 절리계열에서는 지하수의 분수현상이

일어난다. 이 artesian 유동으로 인한 수압은 공대 1호관 부근에서 전기한 바와 같이 그 낙차가 100m에 이르므로 이론적으로 최대 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지의 압력으로 솟아 오르는 효과를 나타낸다. 물론 전기한 사면 절리와 그에 따른 선구조를 따라 흐르는 지표면으로의 유출과 부단층대의 경사 절리계열을 따라 흐르는 집중 유출로 인하여 수압은 항상 이론치보다 감소할 것이지만, 홍수기에 강우량이 상기의 유출량을 상회하여 지하수에 공급된다면 그 나머지의 지하수는 즉시 artesian 유동으로 상승류를 이룰 것이다.

이러한 요인으로 홍수시에 공대 1호관 좌측 전면부의 기초 아래에서 지하수가 다량으로 용출되어서 성토층인 기초지반의 유실과 아울러 건물 전면부에 있는 옹벽의 붕괴를 야기시켰다. 결과적으로, 건물 좌측 전면부의 침하로 이어져 건물의 뼈대 및 마감재의 균열이 발생하였을 것으로 사료된다.

3.2 공대 2호관 뒷산의 산사태

공대 2호관 뒷편 산사면의 사태는 최소한 3회에 걸쳐 일어났음이 파괴단면에 의하여 확인되었다." 이 지역에 이와 같이 집중하여 빈번히 사태가 일어나는 원인은 이 지역이 비교적 풍화에 연약하고 지하수의 분수로 인한 gravity sliding을 쉽게 하는 등에서 찾을 수 있다.

이 지역의 표토두께는 약 15m에 이르는데, 이는 공대 1호관으로부터 2, 3호관 방향으로 안산암과 규장암의 경계를 이루어 사면 상부의 규장암이 암석 노두를 형성하는 반면 사면 하부의 안산암은 풍화에 약하여 쉽게 흩으로 변한 것으로 보인다. 이 지역에서 암석의 풍화를 촉진한 또다른 이유는 이 지역이 부단층의 상반에 있어서 절리계열이 특히 잘 발달된 데도 원인이 있다.

위와 같은 두꺼운 퇴적물의 뚜껑은 그 하부의 암반에 잘 발달된 절리계열을 따라 홍수기에 분수하는 지하수에 의하여 위로 밀려 올려지고 $20^\circ \sim 30^\circ$ 에 달하는 이 지역의 사면경사도는 gravity sliding을 쉽게 하는 요인을 제공하는 것으로 생각되었다.

그림 1에서 공대 2호관 뒤의 붕괴사면을 나타

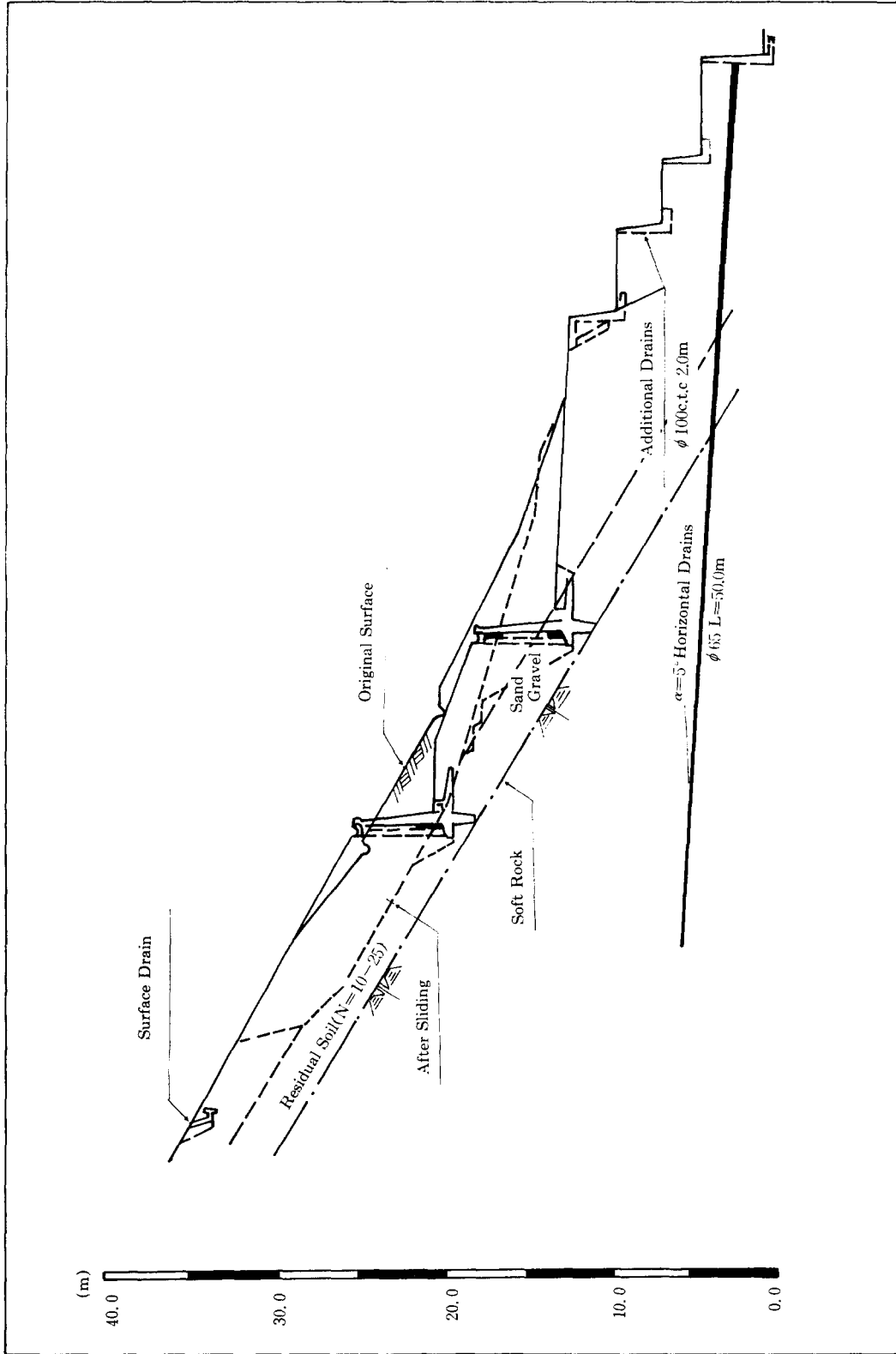


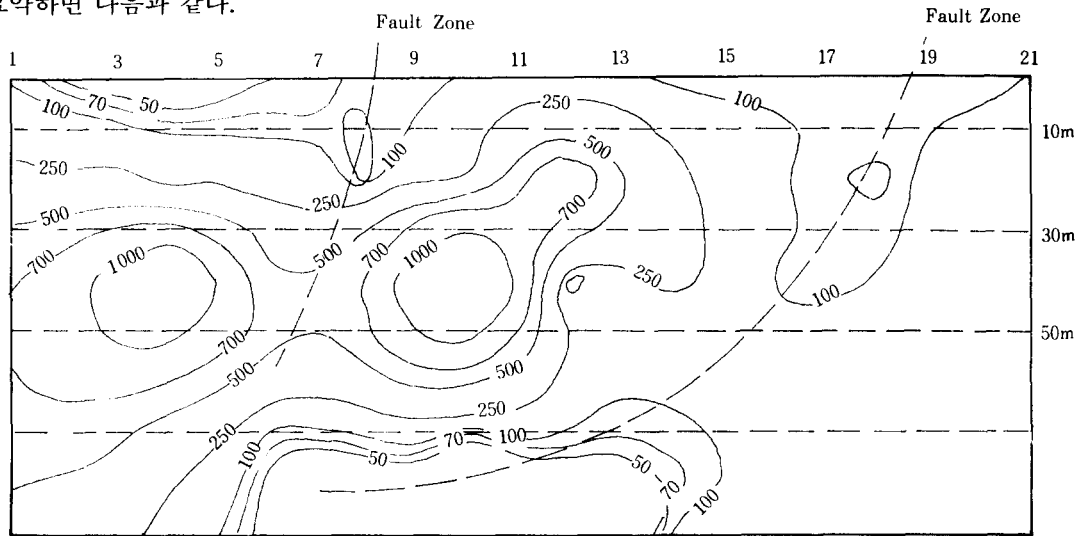
그림 3.1 공대 2호관 뒤의 옹벽 및 배수공법

면 A-A 단면에 대해 그리면 그림 3.1과 같다. 그림 3.1에서 볼 수 있는 붕괴단면에 대해 자갈이 상당량 협재된 붕괴층과 분수압에 의한 자중감소 효과를 대략적으로 가정하여 Janbu의 사면안정 해석법⁷⁾으로 간단히 계산한 결과 안전율은 약 0.7이었다.

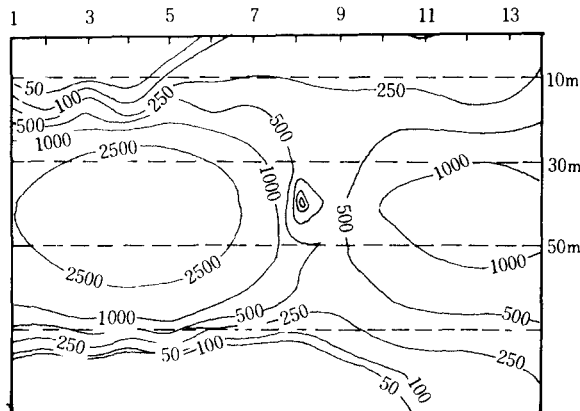
3.3 공대 3호관 뒤의 도로사면 붕괴

이곳은 사철동안 연속하여 사면에서 지하수가 다소 유출되던 곳이므로 대수층의 추정을 위하여 전기탐사와 시추조사를 수행하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

그림 3.2(a)에서 볼 수 있는 측선 #13에 대한 전기탐사 결과로부터 측선의 우측에 전기 비저항이 $100\Omega\text{-m}$ 이하인 심한 파쇄대가 $30\sim 40\text{m}$ 두께로 형성되어 있음을 알 수 있으며, 이 파쇄대는 그 경사가 북서쪽을 향하고 있어 파쇄대를 통하여 흐르는 지하수는 공대 3호관 뒷편의 절개지 쪽으로 향할 것으로 보인다. 또한 그림 3.2(b)에서 볼 수 있는 측선 #6에 대한 전기탐사 결과 사면 붕괴가 일어난 측점 9-13번 주위에는 지하 약 10m 정도까지 전기비저항이 약 $200\Omega\text{-m}$ 정도



(a) Line #13



(b) Line #6

의 연암층이 존재하며, 그 하부에는 비저항이 $500\Omega\text{-m}$ 이상인 경암층이 존재함을 알 수 있다. 이 결과를 종합하면 그림 3.3과 같은 지층구조로 나타낼 수 있었다. 여기서 전기탐사의 결과는 암석의 진비저항의 분포를 지표면(횡축)과 심도(종축)에 따라 2차원적으로 표시하였으며 횡축의 번호는 측점을 15m 마다, 종축의 단위는 지하 심도를 m로, 진비저항은 $\Omega\text{-m}$ 로 각각 표시하였다. 시추 결과와 비교하여 볼 때 비저항 $100\Omega\text{-m}$ 이내는 일반적으로 풍화대에, $100\sim 250\Omega\text{-m}$ 지층은 연암층에 그리고 $250\Omega\text{-m}$ 이상은 경암층과 대체로 일치하였다. 따라서, 그림 2.1에서 볼 수 있는 구조선(B)와 (C) 사이에 위치한 파쇄대를 통하여 우기시에 집중되었던 용출수로 인한

그림 3.2 측선 #13과 #6의 등저항선

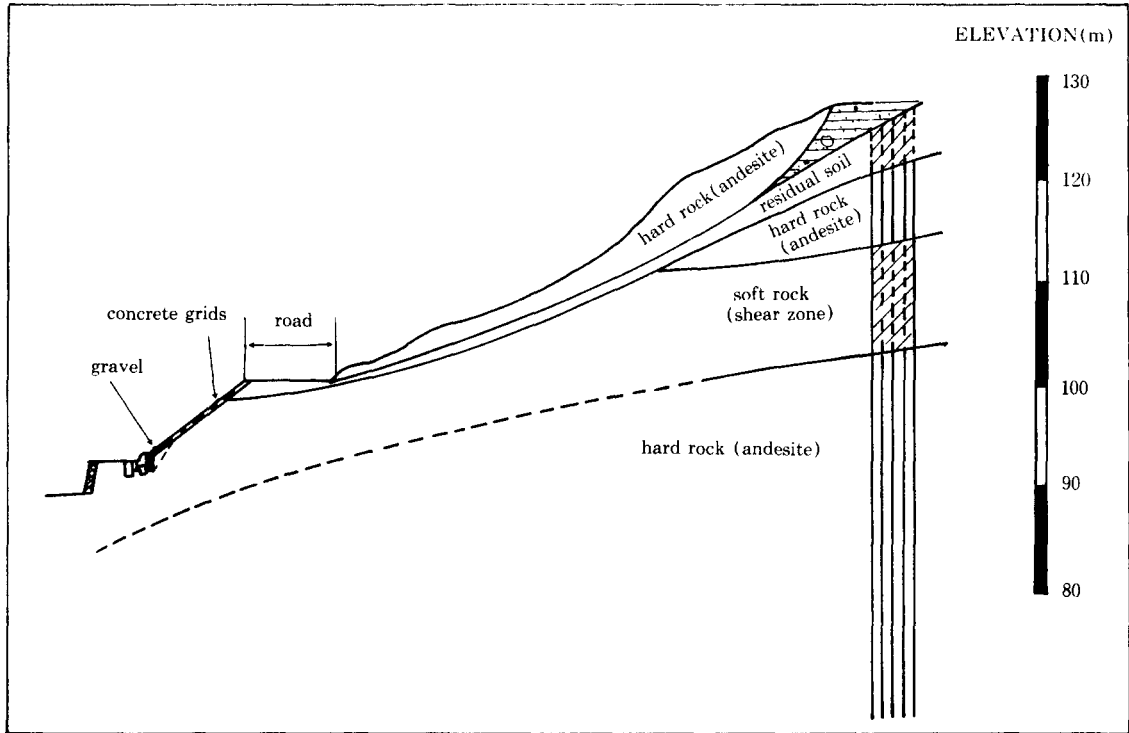


그림 3.3 도로사면을 위한 지표배수용 및 콘크리트 격자공

간극수압의 증가로써 소폭으로 성토된 도로의 일부 사면이 붕괴되었을 것으로 사료된다. 우기철에 파쇄대가 포화되었다고 가정하면 이론적으로 약 $3\sim 4\text{kg/cm}^2$ 의 간극수압이 도로 사면에 작용하게 된다. 이러한 간극수압은 도로 사면으로부터 2~4m 두께로 성토된 도로를 붕괴하기에 충분한 것으로 생각된다.

3.4 학군단 뒷산의 산사태

학군단 뒷산의 사면은 지표로부터 1.5~2.0m 두께의 자갈섞인 점토층인 붕적층이 연약한 상태로 쌓여있으며, 그 아래로 6.5~7.5m 두께의 풍화대인 점토층이 비교적 치밀하게 위치하며, 그 아래로 1.5~2.5m 두께의 풍화암이 균열이 약간 발달된 채로 연암 위에 위치하고 있다.

1989년 8월에 발생되었던 이 지역의 산사태로 미루어 보아 투수성이 좋은 약 1.5m 두께의 붕적층이 지하수의 흡수에 의하여 활동성이 좋아지는 안산암질 풍화토를 경계로 하여 사면활동을 하였

을 것으로 추정되고⁹⁾, 현재의 인장균열은 우수에 따라 균열폭이 약간씩 넓게 진행되고 있다고 판단할 수 있었다. 그림 3.4에서 얕은 깊이의 산사태를 보여주고 있음이 이를 입증하고 있다.



그림 3.4 학군단 지역의 산사태 현황

4. 피해 대책

4.1 공대 1호관 지하수의 대책³⁾

집중 호우시에 공대 1호관의 지하수 피해 및 공대 뒷산 사면의 안정을 위한 지하배수 공법으로 연직 배수정, 수평 배수공 및 터널 배수공 등을 고려하였다.⁷⁾

공대 1, 2, 3호관 건물은 모두 독립기초로 되어 있고 또한 지하수위가 비교적 높아 연직 배수정의 설치는 지하수위의 저하로 이어져 건물의 부등침하를 야기시킬 수가 있으므로 이 공법은 배제하였다.

그래서 기존의 지하수위를 변화시키지 않고 터널 배수공법보다 비교적 공사가 용이하며 경제적인 수평 배수 공법을 택하여 부단층대의 경사 절리계열이 집중된 3부분을 택하여 각 지점마다 3공씩, 직경 100mm, 50m 깊이까지 천공하여 다공관을 매설토록 하였다. 다공관은 $\phi 50\text{mm}$ PVC 관을 5° 경사로 매입하고, 출구의 토사부에서는 $\phi 80\text{mm}$ 다공관을 외각에 덧붙여서 2중관이 되도록 하였다. 여기서 관경은 이론적으로 산정하기 어려웠으므로 1차 시공후에 유출량의 여부에 따라 추가 조정토록 하였다.

한편으로, 부등침하로 야기된 공대 1호관의 안전은 더 이상의 침하가 발생되지 않을 경우엔 문제가 없을 것으로 판단되어서 균열이 있었던 뼈대 부분을 보완토록 하였다.

4.2 공대 1호관 뒷산의 노출된 암괴⁸⁾

공대 1호관 뒷편 사면에 노출된 암석 노두 중 그림 4.1에서 보인 한 암괴는 그 하부가 부단층에 수반하는 절리 계열에 의하여 절단되어 있어 (그림 4.2) 붕괴의 위험이 있는 노두이다. 따라서 낙석으로 사면 아래의 건물에 피해가 없도록 예방 조치한 후에 노두를 제거토록 하였다.

4.3 공대 2호관 뒷산의 파괴사면⁹⁾

이 산사태 부분의 복구 대책은 기하학적 조정법(퇴적물의 제거공법 등), 수리학적 공법, 물리학적 공법 및 역학적 공법으로 생각할 수 있다.



그림 4.1 공대1호관 뒷산의 노출암괴



그림 4.2 노출암괴 아래의 침식동굴

⁸⁾ 우선적으로 퇴적물의 제거공법을 생각하면, 사면 상부에 규장암의 노두가 노출되어 있으므로 사면의 흠을 제거하더라도 산사태의 위험은 거의 없을 것이나, 토량의 제거량이 막중하고 경관이 좋지 못할 것으로 생각되었다. 다음으로 가능한 공법은 수리학적 및 역학적 공법을 겸비한 공법, 즉 지표배수시설과 함께 옹벽을 설치하는 것이다.

배수시설은 호우시에 지하수의 분수현상에 대비하여 설치한 수평 배수공(4.1절 참조)과 하부 3단의 기존 옹벽에서 현재 배수공의 역할이 둔화되어 있으므로 추가 배수시설을 함으로써 그 영향을 배제할 수 있을 것으로 사료되었다. 또한 호우시 산지의 정상 부분으로부터 옹벽의 뒷채움 부분으로 유입되는 지표수를 처리하기

위하여 옹벽뒤 약 20m 위치에 U 관의 지표 배수공을 옹벽과 나란한 방향으로 설치토록 하였다.

옹벽은 높이 6m의 역T형이며, 지반이 비교적 양호한 풍화암 내지 풍화토에 기초가 놓이도록 설계하였다(그림 3.1 참조). 여기서 분수현상이 없는 것으로 가정할 때, Bishop의 사면해석법으로 계산한 결과 안전율은 약 1.30 이상 이었다.

4.4 공대 3호관 뒤의 붕괴된 도로사면에 대한 대책⁶⁾

앞의 3.3 절에서 언급한 바와 같이, 지표토와 경암 아래에 위치한 연암층인 파쇄대를 통하여 용출되는 지하수를 처리하기 위하여 사면에 필터와 함께 호박돌을 쌓고, 격자 블록으로 보호하였다. 그리고 사면 아래로 집적되는 지하수를 처리

하기 위하여 지하 배수시설을 설치하였다(그림 3.3 참조).

4.5 학군단 뒷산의 산사태⁴⁶⁾

이 지역은 넓은 면적에 걸쳐 인장균열이 발생하였으며, 우기에 점차 그 폭이 확대되어 진행되었으므로 학교당국이 심히 우려하였던 부분이었다.

지질조사 결과, 1.5m~2.0m 두께의 비교적 얇은 깊이에서 활동이 진행됨을 알았다. 따라서 산지의 상부에는 1.5m 높이의 옹벽을 설치하여 붕적층의 배수를 유도하고, 하부의 경사지는 부분적으로 얇은 활동을 하였거나 또는 진행중에 있는 붕적층 부분을 제거한 후, 지표 배수공의 설치 및 조경 격자블록으로 마감토록 하였다(그림 4.3).

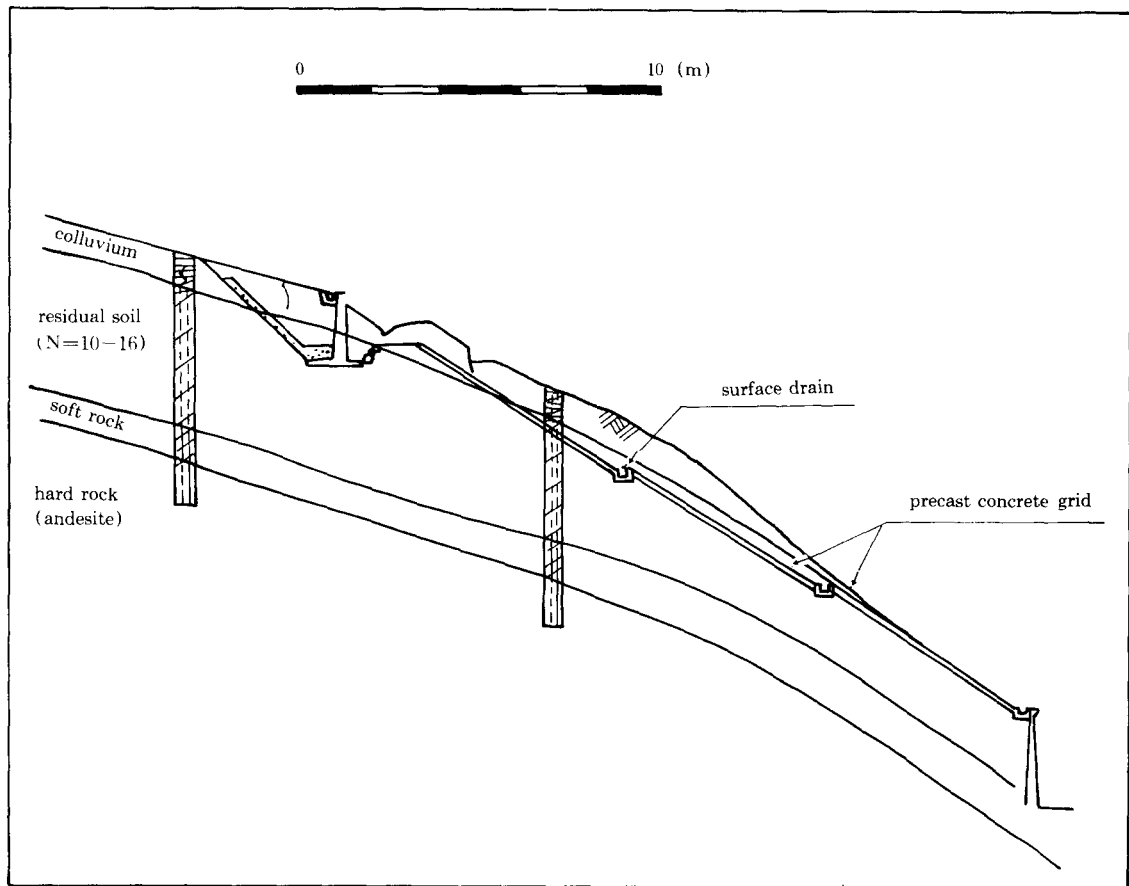


그림 4.3 학군단 지역의 보완대책 공법

5. 요약 및 결론

1989년 8월에 내린 집중호우로 인하여 많은 피해를 받았던 동아대학교 승학 캠퍼스에 대해 지질조사와 아울러 피해의 원인규명 및 예측, 보강대책을 연구 검토한 결과 다음을 얻을 수 있었다.

(1) 지구 물리학적 탐사법에 의하여 구조지질을 검토한 결과 파쇄대의 존재를 확인할 수 있었으나 대지조성을 위한 굴착으로 인한 단층이동의 유발 가능성은 희박할 것으로 사료되었다.

(2) 공대 1호관 전면의 지하수 용출은 이곳으로 집중되는 부단층대의 경사절리계열 때문인 것으로 확인할 수 있었으며, 그의 대책을 위하여 지하 수평배수공을 설치토록 하였다.

(3) 공대 2호관 뒷산의 사태는 과거 3번의 산사태가 있었던 연약한 붕적층과 하부 4단계 기존옹벽의 배수 불량으로 인한 지하수위 상승 때문인 것으로 생각되었다. 따라서 기존 옹벽에 대한 배수시설의 추가, 위 (2)에서 기술한 지하 배수공의 설치, 지표 배수시설 및 옹벽을 축조토록 하였다.

(4) 공대 3호관 뒤의 도로 붕괴는 우기시 파쇄대의 포화에 의한 간극수압의 증가에 따른 것으로 사료되어서 낮은 옹벽과 함께 지하 및 지표 배수 시설을 설치토록 하였다.

(5) 지질조사 과정에서 발견된 공대 1호관 뒷산의 노두는 그 하부가 부단층에 수반되는 절리계열에 의하여 절단되어 있어서 붕괴의 위험이 있으므로 제거토록 하였다.

(6) 학군단 뒷산의 붕괴 및 인장균열은 연약하고 투수성이 좋은 1.5~2.0m 두께의 붕적층 때문인 것으로 판단되어서 붕적층 제거, 표면 배수공과 격자블록 설치, 경사 상부의 배수공 및 옹벽을 설치토록 하였다.

참고문헌

1. 정성교외 6인, 사면의 안전진단 및 지질조사 보고서, 동아대학교 산사태 위원회, 1989, 38p.
 2. 정성교외 6인, 승학캠퍼스 물리탐사 보고서, 동아대학교 산사태 위원회, 1989, 70p.
 3. 정성교외 6인, 승학캠퍼스 지하수 처리 보고서, 동아대학교 산사태 위원회, 1989, 35p.
 4. 동남 기초 지질(주), 승학캠퍼스 지질조사 보고서, 동아대학교 산사태위원회, 1989, 35p.
 5. 박운용외 3인, 승학캠퍼스 위치측량 보고서, 동아대학교 산사태 위원회, 1989, 23p.
 6. 정성교외 6인, 승학캠퍼스 산사태 보강 설계도면, 동아대학교 산사태위원회, 1989, 27p.
 7. Schuster, R. L. & R. J. Krizek, Landslides: Analysis and Control, TRB Special Report 176, 1978, 235p.
 8. Fang, H. Y. & Cheng, H. K., "Landslide problems in tropical-urban environments and a case history," Analysis and Design of Building Foundations, edited by H.Y.Fang, Envoy Pub. Co., 1976, 835-848p.
 9. GCO, Geotechnical Manual for slopes, Geotechnical Control Office, Hong Kong, 1984, 295p.
- (접수일자 1990. 12. 31)