사면 및 연약지반 구조물 기초의 성능기준 항목에 관한 연구
A study on Performance Contents of the Slope and Soft Clay Structures

양태선[1], Tae-Seon Yang, 구재동[2], Jai-Dong Koo, 김제경[3], Je-Kyung Kim

[1] 김포대학 건설정보과 부교수, Associate Professor, Dept. of Construction Information, Kimpo College
[2] 건설기술연구원 책임연구원, Chief Researcherr, Korean Institute of Construction Technology
[3] 경동기술공사 상무, Executive Manager, Kyoung Dong Engineering Co., Ltd.

SYNOPSIS : This paper describes the performance design requirements of the slope and soft clay structures to confirm several contents of foundations systems to change existing design code to new one in the construction market. The concepts of performance design explain systematical needs for specific performance guidelines.

Keywords : performance design, slope, soft clay, design concept

1. 서 론

지금까지 기초구조물의 성격은 대형 구조물의 기초에 속하는 얕은 기초나 깊은 기초의 개념으로 나타나고 있다. 이러한 얕은 기초나 깊은 기초 구조물에 대한 성능기준도 그동안의 성능관련 연구가 많지않아 충분하지 않으며 이에 대한 성능설계 관련 사항도 충분한 검토가 되어있지 않은 것이 현실이다. 더구나 지반구조물은 흙과 밀접한 관련이 있으며 흙과 관련된 구조물도 동일한 비중으로 연구가 되어야 하나 그러지 못한 실정이다. 우리나라는 산지 사면을 따른 강우시 산악지역의 산사태 발생으로 인하여 재산상의 손실과 인명피해를 발생하고 있다. 사면은 자연사면외에 특수한 목적을 달성하기 위한 인공사면의 경우 현실적인 사면 구조물의 중요성외에도 인접지역의 피해범위를 포함해야 하므로 이에 대한 연구도 필요한 실정이다. 더구나, 연약지반상에 설치되는 구조물의 규모는 연약지반의 심도가 깊을 수록 설계 및 유지관리상의 비용발생이 더 크게 영향을 미치게 되므로 구조물의 성능을 확보해야 하며 성능기준 확립의 필요성도 고려되고 있다.

그러므로, 기초구조물의 성능설계법에 대하여 국내에서도 적용할 수 있는 기준을 제시하여 보다 안정적이고 공용성을 확보하기 위하여 지반구조물의 한가지 종류인 사면구조물 및 연약지반상 기초구조물에 대한 성능 설계 기준이 필요하다. 구조물의 특성은 구조물 자체의 효율을 극대화기 위하여 구조물 시공전 설계단계에서부터 시공단계까지를 포함해야 하며 설계이전의 검토단계에서도 구조물의 기초가 경제성과 시공성 및 안정성을 확보하여 보다 혁신적인 설계가 될 수 있어야 한다.

이를 위하여 기초구조물 별 안정성과 침하평가를 고려한 성능설계, 기초구조물 별 노후정도 및 경제성을 고려한 성능설계 기준 구축, 기초구조물 별 목표성능을 고려한 설계시공 편람 작성, 기초구조물의 생애주기별 목표성능 표준화 방안에 대한 연구가 필요하다 하겠다.

특히, 국내 설계기준의 일반적으로 발주자가 요구하는 구조물의 기술적 조건을 충족시키려는 규정 및 사양중심으로 이루어져 있으며, 시설물별로 구성되어 있다. 선진국의 건설기술 기준체계와는 구조적으로 다르고, 세계적인 표준화 흐름과도 맞지 않다. 사면 구조물 및 연약지반 구조물의 성능설계관련 기준을 정하고 항목별 자료를 분석하여 하며 국내 기술기준으로 적용할 수 있도록 국내 건설기술자의 광범위한

판단을 통하여 제도화방안을 모색하여야 한다.

본 논문에서는 성능기준의 개념을 적용하기 위하여 일반적인 토목 구조물인 사면 구조물과 및 연약지반상에 설치된 구조물에 대하여 성능개념을 도입하는 경우 성능설계시 고려할 수 있는 성능기준 항목에 대하여 검토하였다.

2. 성능설계 고려사항

2.1 안정해석시 고려사항

사면 및 연약지반상 구조물의 해석에 적용되는 지반정수는 실내 및 현장의 측정값으로 결정되며 이러한 측정치는 다양한 종류의 실내 및 원위치시험으로부터 측정된 값으로 이에 대한 신뢰성있는 설계치의 적용이 필요하다. 특히, 사면파괴의 경우 강우발생시 지반의 지하수위 상승으로 인한 간극수압이 증가하여 사면의 파괴가 발생하므로 이에 대한 사면안정성을 확인하는 항목이 필요하다. 일반적으로 사면의 파괴 해석에 대하여 한계평형법을 사용하여 안정성을 해석하고자 할 때 확률강우강도 자료를 근거로 하여 사면파괴를 일으키는 지하수위의 영향을 파악할 수 있으며 이러한 강우의 침투가능성을 평가하여 지반의 전단강도를 분석하는 방법에 대한 고려가 필요하다.

연약지반상의 경우 상부구조물 재하에 따른 여러 가지 조건에 대한 고려가 필요하며 상재하중의 재하와 그 영향을 고려하여 현실적인 압밀 침하량을 분석하는 방법이 필요하다. 국내외 설계 및 시공 예에서 알 수 있는 바와 같이 압밀침하는 압축성을 나타내는 체적압축계수(m_v)뿐만 아니라 압밀속도를 결정하는 압밀계수(c_v)에도 지배된다. 따라서, 침하관측만으로는 현재의 압밀도가 몇 퍼센트인가를 알 수 없다. 그렇기 때문에 침하관측과 동시에 점토층의 간극수압을 측정하는데 간극수압의 감소는 압밀계수만에 의하여 지배되므로 유효한 관측방법이 된다. 침하판에 의한 침하량 관측치를 이용하여 압밀도를 평가하는 것은 압밀도가 60~80%일 경우는 불합리하다. 이는 예측된 값이 참값일 때 유효하며 장기적으로 발생될 잔류침하량을 추정하는 쌍곡선법등의 기법을 활용하여 압밀도를 평가하는 것은 심각한 오류가 될 수 있으므로 성능설계시 적용할 때는 주의가 요망된다.

2.2 성능 설계 분석시 고려사항

성능설계는 우선적으로 구조물 기초의 사용성이라고 하는 기능적인 면을 고려하였을 때 생각할 수 있다. 실제로 많은 사람들은 성능설계를 단순히 신뢰성 설계라는 관점으로만 파악하고 있는데 실제 성능설계 개념을 충분히 인지하지 못한 결과이다. 실제로 일본에서는 기초시설물에는 적용성을 검토하여 실행단계에 있으며 성토사면의 경우도 연구되고 있다. 또한, 도로나 철도의 성능설계기준에도 일부내용에 사면의 경우가 포함되어 있다. 그리고, 성능설계의 개념은 변형량의 개념으로 고려할 수 있으므로 성토로 이루어진 사면 구조물이나 연약지반상 구조물에 적용하는데 문제가 없다고 본다.

사면 및 연약지반상 구조물의 지반은 불확실성이 내포되어 있는 지반상태를 고려해야하며 지반정수는 실내 및 현장의 측정값을 신뢰성 분석을 통해 결정하여 설계에 적용할 수 있다. 특히, 지반정수의 불확실성, 해석심도 및 지반의 불확실성 등을 고려한 발생가능한 리스크를 분석해야 한다. 즉, 지반의 변동성 및 불확실성을 고려한 리스크 분석이 필요하며 사면 구조물 및 연약지반상 구조물의 공사 및 유지관리시 발생하는 모든 위험요소에 대한 분석이 필요하다. 이러한 경우에는 신뢰성 이론을 바탕으로 추론치와 설계치를 반영하여 계측치로 확인될 수 있는 방법이 필요하다. 설계 및 시공시 나타날 수 있는 항목을 분석하여 하나의 통합된 시스템으로 분석되어 최적의 공법이 선정될 수 있는 값을 나타낼 수 있는 성능설계 항목이 필요한 것이다.

3. 성능설계 항목 및 적용

3.1 설계자료 항목

이상기후에 따른 우기시 집중강우로 인해 예측하지 못한 사면의 파괴가 발생하고 있는 실정이다. 이러한 범위와 특성을 파악하기 위해서는 사면 관련 제반 자료들의 축적이 이루어져야 한다. 또한 안정성을 평가할 수 있는 각종 자료를 체계적으로 수집하고 효율적으로 DB화 한다면 사면의 성능설계 기준, 시공시 유의사항, 유지관리의 방법 등 사면 전반에 대해 적합한 성능기준이 작성될 수 있을 것이다. 수집될 자료는 붕괴가 발생되게 되었을 때 붕괴 규모를 결정하는 사면 자료, 붕괴 발생 원인에 관한 사면 지반현황 자료, 안정성 해석결과에 관한 자료, 사면의 보강 적용공법 자료, 사면지반의 실내시험 및 현장시험 결과 자료 , 계측자료 등이며 다음 표와 같다.

표 3.1 사면 구조물(토사 또는 암사면)

기본 항목	세부 항목 1	세부항목 2	해석 항목	적용 공법
사면높이, 사면 경사, 사면 길이	토층심도,지하수, 계곡부 상부 자연사면 경사	붕괴이력, 절리 외 불연속면, 토질 분류	RMR, 안정해석, 위험구간비율(면적비)	사면 보호공 인근 시설 보호공

연약지반상 구조물에 대하여도 마찬가지로 성능설계 항목의 예를 적용할 수 있다. 연약지반의 실내시험 및 현장시험의 결과를 적용하더라도 실제적인 성능설계 특성에서도 종합적인 분석이 필요한 구조물이다.

표 3.2 연약지반 구조물

기본 항목	세부 항목 1	세부항목 2	해석 항목	적용 공법
성토재하 높이	연약지반 심도, 지하수 위치	붕괴이력, 지층 상태, 토질 분류	침하 및 안정해석	표층처리 및 연약지반 개량공

표 3.3 계측 자료별 성능설계 반영 항목

구 분	사면 구조물	연약지반 구조물	성능설계 반영사항
표층부 변위	변위, 균열측정	표층 침하	지반의 침하분포 파악하여 불확실성 설정, 안전율(파괴확률산정), 피해비용(복구비) 평가하여 한계상태 분석
	표층부 기울기		
	표층부 이동		
지중 변위	지중 수평변위	층별 침하	안정성 및 사용성 평가하여 한계상태 분석
	지중 수직변위		
지하수위 및 수문	공극수압 측정	간극수압 측정	사회적 비용(유지관리비) 산출 및 상부구조물 피해 분석하여 구조물의 사용성, 안정성, 복구성 파악
	지하수위 측정	지하수위 측정	
	강우량 측정		
기 타	낙석방지		
	사면 감시용		

이 외에도 구조물 안정에 관련된 중요인자로 판단되는 요소를 추가하여 붕괴 예측에 정확성과 신뢰도를 높이고 중요인자에 대한 DB화 작업을 실시하여 성능설계에 반영할 수 있는 항목을 분석하도록 한다.

3.2 성능설계 적용 방법

사면 구조물이나 연약지반상 구조물의 경우 지반 안정성을 확보하기 위해서는 구조물의 안정성을 확보하기 위한 주요 지반정수에 대한 확률분석이 필요하며 이러한 지반정수의 불확실성과 구조물의 안전율과의 상관관계를 이용한 분석이 이루어져 한다. 또한, 사면구조물의 경우 절토사면과 같이 인공구조물의 경우 공사중 지하수 변동, 지진에 따른 영향으로 구조물의 상태가 변할 수 있다는 점에 유의한다. 또한, 연약지반상 구조물의 경우 구조물 완공후 유지관리기간 동안 지반의 추가 침하에 따른 상부 구조물의 손상정도에 따른 안정성, 복구성 및 사용성을 확보하기 위한 설계기준이 마련되어야 한다.

특히, 여러 가지 재하조건에 따른 침하상태에 대하여 상부 구조물의 침하에 의한 영향범위, 영향범위 내에서 구조물의 상태를 파악하여 손상정도가 구조물의 사용성에 영향을 미치는지 침하량이 구조물의 한계상태를 넘는 것인지 파악해야 한다. 이 경우 구조물의 복구비가 당초 시공비를 넘지않도록 한계상태 기준을 정하여 설계에 반영해야 한다. 구조물의 사용성, 안정성, 복구성을 확보하기 위한 사면 구조물 및 연약지반상 구조물의 한계상태를 반영할 수 있는 설계기준을 확보하기 위해서는 구조물의 피해가 최소화될 수 있는 상태가 유지될 수 있도록 피해가 발생할 수 있는 빈도에 대처할 수 있는 방법을 연구할 수 있는 항목에 적절히 대응해야 한다.

다음은 구조물의 상태분석을 통한 피해발생시 대처분석을 나타내는 표이다. 구조물의 피해가능성에 따른 피해정도를 고려하여 조치를 실시하하고 이러한 조치사항은 구조물의 사용성, 안전성, 복구성을 확보할 수 있는 설계법을 적용하도록 해야 한다.

표 3.3 구조물 피해발생에 따른 성능설계 기준 반영

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">구 분</th><th colspan="3">피해발생 가능성</th><th rowspan="2">비 고</th><th rowspan="2">성능설계
기준 반영</th></tr>
<tr><th>낮음</th><th>가능</th><th>높음</th></tr>
<tr><td rowspan="3">피해정도</td><td>적다</td><td>조치없음</td><td colspan="2">조치 고려</td><td>사용성 유지</td><td>기존설계법</td></tr>
<tr><td>중간</td><td colspan="2">조치 고려</td><td>조치 수립</td><td>사용성, 복구성 분포</td><td>기존설계+ 성능설계 반영</td></tr>
<tr><td>크다</td><td colspan="3">조치 수립</td><td>복구성, 안전성 확보</td><td>성능설계 반영</td></tr>
<tr><td colspan="2">경제성, 유지관리</td><td></td><td>유지관리</td><td>복구비 증대</td><td></td><td></td></tr>
</table>

사면 구조물이나 연약지반상 구조물의 성능설계는 피해정도나 균열, 침하량 등 수치적으로 나타낼 수 있는 항목이 있으나 대체적으로 정량적인 성능조사 항목을 고려하여 설계하는 것이 쉽지않다. 흙이나 암반으로 이루어진 흙구조물의 경우 도로설계 요령 등도 참조할 수 있으며 성토나 절토사면, 사면의 안정성 확보, 성토하중의 안정적인 재하단계, 성토재 품질, 기초처리, 시공시 성토속도 등 구조물의 안정과 관련된 설계시 고려사항외에 유지관리시에 발생되는 추가 사면보호공법, 추가 침하에 대한 대책등 변수가 많다. 정량적인 성능설계 규정이 만들어지기위해서는 현장 시공자나 설계자, 감리자가 성능설계 개념에 대한 교육이 철저해야 하며 설계기준을 발주자(사용자)중심에서 설계자가 직접 구조물의 성능에 따라 설계조건을 정하여 공학적인 판단을 실시하여 시설물의 유지관리 범위까지 달성할 수 있는 기준을 정하고 구조물의 사용조건에 따라서 사용성, 안전성, 복구성을 확보할 수 있어야 한다.

4. 결 론

성토나 절토사면, 사면의 안정성 확보, 성토하중의 안정적인 재하단계, 성토재 품질, 기초처리, 시공시 성토속도 등 구조물의 안정과 관련된 설계시 고려사항외에 유지관리시에 발생되는 추가 사면보호공법, 추가 침하에 대한 대책등 변수가 많다. 정량적인 성능설계 규정이 만들어지기위해서는 현장 시공자나 설계자, 감리자가 성능설계 개념에 대한 교육이 철저해야 하며 설계기준을 발주자(사용자)중심에서 설계자가 직접 구조물의 성능에 따라 설계조건을 정하여 공학적인 판단을 실시하여 시설물의 유지관리 범위까지 달성할 수 있는 기준을 정하고 구조물의 사용조건에 따라서 사용성, 안전성, 복구성을 확보할 수 있어야 한다.

감사의 글

이 논문은 건설교통R&D정책·인프라사업, "성능중심의 건설기준 표준화" 과제('06~'11) 연구결과의 일부입니다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원 (2008), 성능중심 건설기준 표준화, 2차년도 보고서, pp. 82~101
2. 김영남(2008), “선행재하공법을 이용한 연약지반 개량에 대한 소고”, 한국지반공학회 연약지반기술위원회 학술발표회, pp 20~23
3. 양태선, 구재동, 김제경(2007), “구조물 기초의 기준에 있어서 성능 설계의 경향과 적용”, 한국지반공학회 가을 학술발표회 초록집.
4. 양태선, 구재동, 김제경(2006), “국내 성능설계의 지반분야 적용성 검토 연구”, 한국구조물진단학회 가을 학술발표회 논문집