지반상태를 고려한 구조물 성능 평가 방향에 관한 연구
A Study on the Performance Evaluation considering Geotechnical Conditions

양태선[1], Tae-Seon Yang, 이규환[2], Kyu-Hwan Lee, 김제경[3], Je-Kyung Kim, 김병호[4], Byung-Ho Kim

[1] 김포대학 건설정보과 부교수,Assoc. Professor, Dept. of Construction Information, Kimpo College
[2] 건양대학교 건설시스템과 부교수, Assoc. Professor, Dept. of Civil Engineering, Konyang University
[3] 경동기술공사 상무, Executive Manager, Kyoung Dong Engineering Co., Ltd.
[4] 세광종합기술단 감리부 이사, Deputy director, Sekwangf Engineering & Consultants Co., Ltd.

SYNOPSIS : This paper shows that the method of validation on performance-based design is studied on geotechnical conditions. In the design of structure foundation are studied the evaluation items on this matter.

Keywords : geotecnhnical conditions, validation, performance design

1. 서 론

구조물기초에 필요한 성능 요구조건은 구조물의 안정성과 지지력을 확보할 수 있도록 구조물이 외력에 대하여 발휘될 수 있는 기능이다. 이 조건은 구조물의 목적에 맞는 각 항목에 대하여 구조물에 요구되는 기능을 말한다고 할 수 있다. 구조물의 설계 공용수명동안 작용하는 하중의 다양한 규모와 빈도에 대하여 적절한 신뢰수준내에서 안전성, 복구성과 사용성 등 모든 성능요구조건을 만족하게 되며, 설계 공용수명내에서 생길수 있는 피해를 막을 수 있도록 충분히 안전한 설계가 되어야 한다. 또한, 구조물은 발주자의 뜻에 의해 설계되고 정상적 기능이 발휘되어야 하며, 설계 공용수명동안 부여된 하중환경에서의 손상이 확실히 견딜만한 수준으로 제한되는 것이 구조물 기초의 목적에 중요한 항목이다. 구조물의 설계자나 시공자의 편리함 및 향후 복구시 또는 유지관리시의 목적에 따라 성능요구조건이 만들어질 수 있다.

이러한 요구성능과 안정성을 확인하기 위하여 설계시 필요조건인 지반정수의 결정, 시방조건 등이 신뢰성이 확보되는 값이 되어야 하며 성능설계 결과에 대하여는 그 결과에 대한 확인작업이 필요하다.

본 논문에서는 구조물의 설계는 지반상태를 고려하여 지반조사 및 조사결과의 평가절차가 중요하다. 그러므로, 구조물의 성능설계시 지반조사 내용을 반영한 지반상태의 평가방법을 검토하여 설계 및 시공시 적용하도록 검토하였다.

2. 성능설계 항목

2.1 성능설계시 고려사항

설계시점에서의 불확정 요인을 사전에 고려할 필요가 있으므로 사용기간중에 작용하는 외력의 변동 및 실제로 작용하는 외력과 설계하중과의 차이나 재료강도, 단면치수, 재료시험결과를 구조물에 적용할

때 포함되는 불확실성에 의한 부재 및 구조물 강도의 변화 등을 충분히 합리적으로 고려하여야 한다. 구조물 거동의 복잡성, 지반의 강도특성이나 여러 설계공법과 그 품질 등에 관한 통계 및 확률량, 상부구조의 기능에 대한 간접적 평가 등 수많은 과제를 극복하여야 한다.

구조물기초의 성능설계에 필요한 값으로는 지하수위, 표준관입시험의 N치 및 삼축압축시험에서 측정된 응력과 변형률 등 지반정수가 있다.

구조물 기초의 설계에 사용되는 신뢰성설계법은 설계의 과정에 포함되는 여러 설계변수들(구조 단면의 형상 및 재료특성, 현장조건의 지반특성, 설계하중의 강도 및 작용위치 등)의 불확실성을 다양한 통계적 기법을 통하여 설계하고자 하는 구조물의 요구성능이 포함되어 구조물이 파괴될 가능성을 허용치 이하로 하는 설계방법이다.

2.2 지반상태에 따른 조사항목

지반상태에 따른 구조물 기초의 요구성능을 만족하기 위해서 설정된 한계상태를 나타내는 설계용 한계값이 작용하는 하중에 대해서 산정된 설계용 응답값보다 큰 지 확인하는 절차를 계산한다. 이러한 값들은 지반상태에 따라 다르며 흙이나 암석의 경우로 대별된다. 신뢰할 수 있는 지반정수를 얻기 위해서는 유사한 지반 조건에서 실시한 시험들에 대한 문헌정보, 설계정수들의 편차 파악에 필요한 조사 및 시험의 수량, 관련 문헌의 값, 일반적인 경험치 및 지역적인 경험치, 정수 간의 상관관계, 현장 시험으로부터 얻은 결과와 실제 시공현장에서 측정한 계측 결과, 두 종류 이상의 시험을 했을 경우 얻은 결과들의 상관관계, 내진설계를 위한 동적특성치를 고려한다.

표 2.1 지반상태에 따른 조사항목 예

구 분	토사 지반	암반 지반
구성 요소	흙의 종류, 입도분포, 입자 형상, 재료의 불균질성, 포화도 혹은 함수비, 다짐도, 전단강도, 침하, 지지력등장비의 종류	간격, 방향성, 틈, 연속성, 치밀성,절리면 거칠기, 절리 틈새 채움, 강도, 지하수 특성, 블록의 크기
고려사항	응력수준과 변형형태 등, 흙의 구조 시간효과, 흡착수로 인한 강도 약화 동적 거동에 의한 약화, 지반구조물 설치 방법, 기능공의 숙련도의 영향	현장 초기응력, 수압, 암층 사이의 특성 변화 풍화 환경에서 다공질 연암의 연화현상, 용해도가 높은 암반에서 수로, 공동, 함몰공 점토광물이 함유된 팽창성 암반, RQD 응력 변화, 화학적 연화 등

표 2.2 지반 안정성 평가 항목

구분	평가 항목	안전성에 영향 외력
강우 및 유수	내침투	강우 및 유수의 침투
유수	내침식	유수에 의한 침투력
지진	내진	지진동에 의한 액상화, 관성력

2.3 설계 및 시공 시방의 조건

지반정보를 얻기 위하여 수행하는 조사 및 시험은 기존자료조사, 현장답사, 시험굴조사, 물리탐사, 사운딩, 시추조사, 원위치시험, 실내시험 등이 있다. 지반정보에는 지층의 구성상태 (매립토, 풍화토, 풍화암 등), 층별 상세정보, 표준관입시험 정보 등을 포함하고 있는 현장시험정보와 지반의 투수계수, 비중, 수

압시험 결과, 점착력과 내부마찰각, 각종 압축시험 결과 등을 포함하고 있는 실내시험정보 등이 있다.

성능설계 기준은 지반상태을 고려한 성능설계 기술의 규격에 관한 상세한 규정은 탈피하고 품질에 관한 요구사항을 명시하며, 지반조사 결과의 평가에 대한 구체적인 기술은 선택사항으로 하여 기술발전과 설계자의 창의력이 발휘될 수 있고 국제적인 시장개방에 적극적으로 대비할 수 있는 방향으로 국가 전체의 기술기준이 수립되어야 하는 것이다.

지반조사 결과를 고려하기 위한 성능설계 기준의 체계가 만들어져야 하며 설계기준과 항목에 대하여 통일이 되어야 한다. 국가 전체의 시스템을 고려하여 성능수준의 개념과 설정방법을 통일하여야 하며 당해 구조물과 시설물의 상호 관련성을 고려하여 지반조사 결과의 성능설계 수준과 지반조사 내용의 성능설계목표를 설정해야 할 것이다.

지반조사의 목적에 따라 지반의 공학적인 특성을 규명하여 설계자, 시공자, 감리 및 감독자에게 제공하여 안전하고 경제적인 성능설계 및 시공을 해야한다. 성능설계를 위한 지반조사의 구체적인 목적은 다음과 같다. 구조물 위치선정, 구조물 설계계산, 기초 혹은 토공설계(지하구조물 포함), 가설구조물 설계, 주위환경 영향평가(인접구조물, 지반조건 및 환경변화등), 시공계획, 관리 및 확인, 지반사고 및 그 대책 수립, 재료의 적합성, 매장량 결정, 장기성능 확인, 안전진단 및 평가(구조물, 자연사면, 관측), 유지관리(사고나 구조물 손상원인 규명 및 대책수립), 기타(설계의 확인, 연구목적, 환경영향평가, 법적분규 등)의 내용이 있으며 이러한 내용은 성능설계 개념에 포함되어야 한다.

3. 지반조사 결과에 따른 평가

지반조사 결과의 성능요구조건은 목표를 성취하기 위하여 구조물에 의해 제공되는데 필요한 기능이다. 이러한 성능요구조건을 만족할 수 있도록 지반조사 계획을 수립해야 한다. 설계 공용수명 동안 작용하는 하중의 다양한 규모와 빈도에 대하여, 구조물은 적절한 신뢰수준을 가지고 안전성, 보수성과 사용성 등 모든 성능요구조건을 만족하게 되며, 설계 공용수명 내내 모든 가능한 설계환경에서 거주자와 주민에 미치는 심각한 피해를 막을 수 있도록 충분히 안전하게 설계된다.

지반조사의 평가는 구조물의 위치, 규모, 하중조건을 결정할 수 있도록 물리탐사, 사운딩 및 시추조사를 포함하는 지반조사를 실시하며 시험을 통하여 기초지반의 공학적 특성이 평가되며 조사 빈도를 높여서 구체적인 지반특성치를 결정하여 설계에 활용한다. 실시설계 단계에서는 구조물 위치나 규모, 설계조건을 최종적으로 확정하기 위하여 시추, 사운딩, 시굴, 현장 및 실내시험 등의 정밀조사를 실시한다. 흐트러진 및 흐트러지지 않은 시료를 채취하여 실내시험을 실시하거나 현장시험을 실시하여 기초지반의 역학적 특성을 확정한다. 전 단계의 조사에서 부족한 점이 있으면 이 단계에서 정확한 지반정보가 얻어지도록 조사항목을 추가하며 특정한 구조물 인접지역 또는 연약파쇄대 등이 예상되는 지역에 대하여 조사빈도를 증가하여 정확한 지반정보를 얻도록 한다. 시공중 관찰되는 노출 지반의 상태를 분석하여 예기치 않았던 지반 변화나 시공 중의 계측결과가 이상치를 보일 경우 반드시 필요한 추가조사 및 시험을 실시한다. 특히, 터널등과 같이 대심도의 지하구조물에서는 설계단계에서 정밀조사를 수행하는 경우 조사경비가 너무 많이 소요되므로 시공중 수평보링 등에 의하여 정밀조사를 수행하고 설계를 보완한다.

성능설계 적용과 평가시 중요한 단계는 유지관리단계이다. 유지관리시 구조물에 이상이 발생하는 경우나 교각의 세굴, 인근지역의 개발에 따른 주변지반의 변화가 예상되는 경우 그 원인 규명과 보수·보강대책수립을 위하여 조사를 수행한다.

구조물은 중요도에 따라 다음과 같이 1등급, 2등급, 3등급으로 구분하여 지반조사를 시행하기도 한다. 지반 공학적으로 중요도 1등급에 포함되는 구조물은 대규모 구조물, 매우 큰 위험성을 내포한 구조물, 매우 다루기 힘든 지반 또는 하중조건, 지진 빈도가 높은 지역에서 시공되는 구조물 등이 있다. 2등급에 포함되는 구조물은 특별한 위험성이 없고 특수한 지반 및 재하 조건이 없는 일반적인 토목구조물, 건축

구조물의 기초를 말하며 다음의 구조물들이 포함된다. 3등급 구조물은 소규모이고 상대적으로 단순한 구조물 또는 이에 준하는 규모의 구조물로서 인명과 재산 손괴의 가능성이 적은 다음의 구조물이 포함된다.

성토구조물이나 구조물기초의 성능설계에 적용되는 지반조사 평가에 대해서는 설계 및 시공조건외에 유지관리시 발생되는 문제점에 대한 조사가 포함되어야 한다. 기존의 설계기준은 설계 및 시공조건에 치우쳐 설계조건을 분석하고 있으나 지반조건은 많은 시간이 경과하거나 자연조건에 의해서 다르게 변화할 수 있으므로 구조물의 안정성, 복구성, 사용성을 확보하는 항목을 포함하도록 한다.

기초지반의 특성을 파악해서 성토나 절토시 성토재료와 그 역학특성, 절토지반의 특성을 파악하고 성능조사 단계를 적용하여 설계 및 시공단계와 다른 유지관리시의 성능단계를 고려하여 강우나 지하수 침투등과 같은 추가 조사항목(요소기술)을 포함한다. 이러한 요소기술은 경험적인 면과 실험결과를 통합한 체계적인 조사결과의 통합으로 이루어져야 한다.

4. 결 론

지반조사 결과의 성능요구조건은 목표를 성취하기 위하여 구조물에 의해 제공되는데 필요한 기능이다. 이러한 성능요구조건을 만족할 수 있도록 지반조사 계획을 수립해야 한다. 설계 공용수명 동안 작용하는 하중의 다양한 규모와 빈도에 대하여, 구조물은 적절한 신뢰수준을 가지고 안전성, 보수성과 사용성 등 모든 성능요구조건을 만족하게 되며, 설계 공용수명 내내 모든 가능한 설계환경에서 거주자와 주민에 미치는 심각한 피해를 막을 수 있도록 충분히 안전하게 설계된다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 국토해양부 (2008), 구조물 기초 설계기준
2. 대한건축학회(2004), 건축기초구조설계지침, pp. 15~32