

Global Report

성능기반 내진교량설계를 위한 AASHTO 제안 지침

-요약문-

제1장 개요

제2장 문헌검토 및 종합

제3장 성능기반 내진설계를 위한 AASHTO
지침의 개발

제4장 AASHTO 지진지도 업데이트

제5장 결론 및 제안사항 연구

- 참고문헌

-요약문-

이 연구 보고서는 고속도로 교량의 성능기반내진설계를 위해 제안된 AASHTO 지침의 개발을 자세히 서술합니다. NCHRP 종합 440 : 성능기반 내진교량설계 (Marsh and Stringer 2013)에 제시된 작업에서 시작하여 주로 변형기반 공학 설계변수를 이용하여 2단계 지진위험 접근방안 하에서 교량의 성능 및 예상손상수준을 제어하는 성능기반 내진설계를 구현하는 방법론이 개발되었습니다. 방법론에는 원하는 성능, 지진위험 및 교량구조의 변수를 기반으로 한 분석 및 역량결정 요구사항이 포함되었습니다. 이용 가능한 성능자료의 제한으로 인해 제안된 지침은 완전히 확률적이지는 않습니다.

NCHRP 종합 440은 교량에 대한 성능기반내진설계(PBSD) 구현과 관련된 문제에 대한 심층적인 배경과 다른 기능이 구현에 접근하는 방법사례를 제공합니다. 이 보고서에서 성능기반 내진설계(PBSD)의 최근 구현을 검토하고 유사점을 요약했습니다. 성능기반 내진설계(PBSD) 이행 현황조사를 기반으로 AASHTO의 후원하에 구현을 위한 일련의 지침에 대한 방법론 개발이 시작되었습니다. 그 결과 다음과 같은 여러 핵심사항이 결정되었습니다.

- 특히 철근콘크리트기둥의 휨을 초과하는 지진저항시스템을 고려할 때 성능기반 내진설계(PBSD)를 완전히 확률적으로 구현할 수 있는 충분한 연구데이터가 현재까지 존재하지 않습니다.
- FHWA의 고속도로구조에 대한 지진개량 매뉴얼에 사용된 것과 일치하는 원하는 성능을 보장하기 위한 2단계 접근방식: Part 1— 교량 (Buckle et al. 2006)은 기존방법과 이행의 연속성을 유지하면서 성능수준의 강력한 제어를 제공합니다.
- 연성보다는 극한 변형율을 적용하는 것이 순차적으로 휨 변형을 넘어서는 철근콘크리트 기둥 시스템의 거동을 구현하는데 보다 나은 적용성을 제공해줄 것입니다.

정립된 이전 기준에 병행하여 AASHTO에 의해 채택하도록 제안된 지침의 형태로 고속도로 교량설계를 위해 성능기반 내진설계(PBSD)를 구현하는 방법론이 개발되었습니다. 이 지침은 운송시스템에서의 중요성을 기반으로 교량의 세 가지 주요범주를 설정하는 것으로 구성되며; 낮은 수준과 높은 수준의 지진 발생 모두에 대해 이러한 각 범주에 대한 성능목표를 수립하고; 설계자가 구조를 계획하는데 사용하는 공학설계 변수(EDP)에 성능목표를 시도하며; 성능수준으로 표시된 거동수준과 일치하는 분석 및 역량결정 요구사항을 나열합니다.

이러한 지침을 개발하는 과정에서, 지진분석 특히 비선형응답 이력분석에 자주 사용되는 감쇠 값이 과대평가되어 교량성능에 대한 에너지와 관련된 비 보존적 평가를 초래할 수 있음이 분명한해졌습니다. 이 문제에 대한 논의는 지침의 부록에 포함되어 있습니다.

이용 가능한 해석유형 중 직접변위 기반설계(DDBD)라고도 하는 대체구조 접근방식은 단일 자유도시스템으로서 합리적으로 접근할 수 있는 구조에 대한 성능기반 내진설계(PBSD)의 설계접근방식을 단순화할 수 있는 강력한 도구입니다. 이 지침은 이 방법이 최초로 공식 AASHTO 발행물에 포함되도록 제안된 것임을 나타냅니다. 부록 B는 이 방법을 상세히 설명합니다.

다양한 지진위험에 대한 단일기둥 연구와 특정 위험위치에 대한 상세한 기둥설계를 초래한 일련의 사례연구가 이 프로젝트의 일부로 수행되었습니다. 기둥연구의 결과, 내진 설계에 대한 탄성해석 접근방식을 뒷받침하는 "균등변위"규칙의 결함이 식별되었으며 제안된 AASHTO 지침의 부록 A에서 논의된 감쇠 문제와 관계가 있습니다. 이 문제를 탐구하기 위해 추가연구가 권장됩니다.

제1장 개요

1) 배경

지난 수십 년 동안 지진운동에 대한 설계가 능숙해짐에 따라서, 교량자산의 특정 하위집합 모집단에

대한 붕괴방지의 단일 성능목표가 소유주, 정책입안자 및 일반 대중의 사후 조건에 대한 기대치를 충족하지 못하는 경우가 점점 더 많아졌습니다. 이 때문에 기술적으로나 재정적으로 더 높은 수준의 내진성능을 달성할 수 있게 한 지진공학의 발전으로 인해 설계자와 소유주에게 어떤 증가된 성능수준을 고려해야 하는지 식별하는 방법, 일단 식별되면 설계절차를 통해 그 성능을 달성하는 방법에 대한 지침을 제공할 필요성이 확인되었습니다.

2) 연구 목표

이 연구의 두 가지 주요 목표는 최신 미국 지질조사 위험모델을 기반으로 한 상향된 AASHTO의 지진위험지도를 개발하고 성능기반 내진교량 설계를 위한 제안된 AASHTO 지침을 개발하는 것이었습니다.

제2장 문헌검토 및 종합

문헌검토 목적

미국의 기반시설에 대한 성능기반 내진설계(PBSD)는 새로운 연구, 설계 및 보수기술, 정의, 매년 발전하는 방법론이 포함된 개발 분야입니다. 종합 보고서, NCHRP 종합 440 : 성능기반 내진교량설계 (Marsh and Stringer 2013)는 그 시점까지 성능기반 내진설계(PBSD) 이해를 포착하기 위해 작성되었습니다. 이 종합 보고서는 2011년부터 2012년까지의 배경, 목표, 연구를 기술하고, 지식격차가 존재하는 영역을 포함하여 정보를 종합했습니다. 이 연구 보고서의 문헌검토는 NCHRP 종합 440의 작업 이후 개발된 새로운 정보에 초점을 맞추고 있습니다. 취지는 이 연구보고서가 교량설계를 위한 성능기반 내진설계(PBSD)를 구현하는 방법론을 개발하는 다음 과제를 촉진하는 것입니다.

NCHRP 종합 440의 성능기반 내진설계(PBSD) (2012-2016) 목표 종합

종합내용은 서로 다르지만 관련된 여러 영역에서 데이터를 수집했습니다. 여기서 NCHRP 종합 440으로 지칭되는 Marsh and Stringer (2013)는 이러한 작업의 기반을 설정했습니다. 연구 보고서 윤곽은 2012년 이후 NCHRP 종합 440 작업에 추가된 내용을 따릅니다. NCHRP 종합 (440)을 보충하기 위해 수집된 정보는 다음 주제를 포함하지만 이에 제한되지 않습니다.

- 내진 설계 및 관련 규제 골격 작업에 대한 공공 및 공학 기대치
- 지진 위험 분석
- 구조 분석 및 설계
- 손상 분석
- 손실 분석
- 교량에 대한 기구별 기준
- 프로젝트별 기준

이러한 영역에 대한 새 정보 또는 최신정보가 있는 경우, 요약에 포함됩니다. Marsh and Stringer (2013)는 또한 2012년 현재 성능기반 내진설계(PBSD)의 지식기반에서 해소해야 할 필요가 있는 격차를 확인했습니다. 성능기반 내진설계(PBSD)의 모든 측면에는 지식격차가 분명히 존재합니다. 그러나 성능기반 내진설계(PBSD)를 구현하기 위해 해소해야 하는 핵심 지식격차는 해소됩니다.

- 지진위험예측과 관련된 격차
- 구조분석과 관련된 격차
- 피해예측과 관련된 격차
- 성능과 관련된 격차
- 손실예측과 관련된 격차
- 규제감독 및 교육과 관련된 격차
- 의사결정과 관련된 격차

이러한 지식격차는 이 연구보고서에서 다소 채워졌지만, 대부분에 있어서 이러한 영역은 성능기반 내진

설계(PBSD) 지침기준의 개발을 더욱 발전시키기 위해 여전히 추가개발이 필요한 핵심개념입니다.

제3장 성능기반 내진설계를 위한 AASHTO 지침의 개발

목표

성능기반 내진설계(PBSD)의 동기는 지진발생시 교량의 성능에 영향을 미칠 수 있는 더 나은 방법을 교량 소유자와 설계자에게 제공하는 것입니다. AASHTO 지침기준의 현재조항은 단일 위험수준에서의 생명 안전의 성능수준만을 제공합니다. 사고 후 복구에 대한 교량의 중요성, 폐쇄로 인한 경제적 영향, 지진 후 보수 또는 교체비용 등을 포함하는 여러 가지 이유로 소유자는 다양한 지진 위험수준에서 교량 성능 목표를 지정하기 위한 더 많은 선택이 필요하며 설계자는 이러한 목표를 신뢰할 수 있는 방식으로 달성하는 방법에 대한 지침이 필요합니다. 이 두 가지 요구사항을 충족하는 것이 성능기반 내진설계(PBSD)의 목표입니다.

완전한 성능기반 내진설계(PBSD)를 통해 소유자와 설계자는 공학기반 변형, 회전 및 변위를 극복하는 측정기준을 사용하여 정보에 입각한 결정을 내릴 수 있습니다. 이러한 측정기준은 직간접적 손실, 건설 비용, 수리비용 및 가동 중지시간 추정을 포함하여 대중과 이해관계자에 대한 영향과 위험성에 근거합니다.

완전한 성능기반 내진설계(PBSD)의 목표를 달성하려면 설계자는 다음을 특성화 할 수 있어야 합니다.

1. 지역의 지질 및 지형, 지반변동설정으로 인한 잠재적인 지반운동 범위에 대한 현장의 지진위험
2. 이 반응에 대한 교량의 구조적 응답
3. 비선형 및 비탄성일 수 있는 이러한 운동으로 인한 교량의 잠재적 손상
4. 시간, 정부기관 자원, 지역경제 또는 인명피해 측면에서 손실가능성

설계자가 지진 지반진동에서 손실에 대한 구조적 응답을 통해 거동할 수 있는 능력으로 잠재적 손실한 계상태를 달성하기 위해 제공해야 하는 구조적 저항수준에 대한 결정을 내릴 수 있습니다. 비 지진하중과 마찬가지로, 완전한 확률적 방식으로 하중재하에서 손실까지 절차를 특성화하는 것이 이상적입니다. 그러나 성능기반 내진설계(PBSD)를 확률적으로 처리할 수 있을 만큼 최신기술과 실행상태가 아직 충분히 발전되지 않았기 때문에 이 프로젝트에서는 결정론적 방법이 사용되었습니다. 마찬가지로 공학 설계 변수(EDP)를 건설 및 보수비용, 가동중지 시간 및 부상과 같은 손실측정 기준에 연결하는 기술상태가 미성숙하여 성능기반 내진설계(PBSD)를 달성하기 위해 설명된 방법론에 포함되지 않았습니다. 그럼에도 불구하고 바라는 성능범위에 대해 개선된 공학설계 변수(EDP)를 도입하는 것은 성능기반 내진설계(PBSD)구현을 향한 중요한 진전입니다. 그러나 완전한 성능기반 내진설계(PBSD)는 현재 도달 할 수 없습니다.

몇몇 소유주와 기관은 이 보고서에 사용된 것보다 확률적 방법을 더 완벽하게 적용할 수 있는 고급 지식과 기술을 보유하고 있을 수 있지만 연구팀은 이 문서가 모든 교량유형에 국가적으로 적용되어야 한다는 것을 인식하고 있습니다. 모든 교량, 하부구조 및 기초유형에 대해 구조설계 및 손상평가 기술이 균등하게 발전되지 않은 것은 사실입니다. 확실히, 철근콘크리트 하부구조 설계 및 평가는 작업내용으로 볼 수 있듯이 Caltrans가 현재 최신 내진설계 기준으로 진보한 가장 완벽한 방법론으로 가장 폭넓게 사용되며 완전한 확률설계에 가장 가까운 유형입니다. 그러나 완전한 확률론적 방법론은 전국적으로 배포할 전반적인 준비가 되어있지 않습니다.

제4장 AASHTO 지진지도 업데이트

배경 정보

AASHTO LRFD 교량설계기준 및 LRFD 지진교량 설계를 위한 AASHTO 지침기준의 최신버전은 현재

구식으로 간주되는 2002년 미국지질조사 지진위험 모델링작업을 기반으로 한 지도를 사용합니다. 두 가지 기준에 자세히 설명된 것처럼 두 버전 모두 그림 27에 설명된 대로 모든 위치에 대한 설계스펙트럼을 개발하기 위하여 0.0 초 (PGA의 경우), 0.2 초 및 1.0 초로 3개로 도시된 가속으로 지정된 표준스펙트럼 모양 및 위치계수를 사용합니다. 이 단계에서 작업의 원래 범위는 지진위험에 대한 토질의 영향을 설명하기 위해 새 지도에 대한 2014년 미국지질조사국 위험모델과 2015년 NEHRP 위치요소의 사용을 기반으로 했습니다. 그러나 이 접근방식과 관련된 몇 가지 문제가 있습니다. 새로운 위험 모델인 2018년 모델은 미국지질조사국에 의해 개발되었으며 지진위험에 대한 최고의 이해를 나타냅니다.

전국의 위치효과에 대한 더 나은 이해를 바탕으로 2015년 NEHRP 위치계수의 적용에는 이전 위치계수보다 위치별 지반반응 분석이 필요한 위치가 더 많이 포함될 수 있습니다. 특히, 상향된 NEHRP 계수는 위치분류 D 및 E에서 더 높은 스펙트럼가속을 위한 위치별 분석성과 위치분류 F에 대한 위치별 분석을 수행하기 위한 이전 요구사항을 필요로 합니다.

2018년 위험모델은 현재 지식상태를 사용하며 2014년 작업 이후 지진위험 모델링에서 발생한 상당한 발전을 포함합니다. 이러한 발전은 앞으로 나아갈 길을 결정하기 전에 AASHTO의 고려가 필요한 2018년 위험모델에 대한 접근방식에서 상당한 차이를 포함합니다.

여기에는 아래와 같은 사항이 포함됩니다.

- 3개의 스펙트럼주기가 아닌 0 ~ 10 초의 다중주기 스펙트럼(22 개주기)이 제공됩니다. 이를 통해 미리 결정된 스펙트럼모양에 대한 입력이 아닌 도시된 값을 직접 적용할 수 있습니다.
- 토질효과는 상부 30미터(V_s30)에서 시간평균 전단파 속도를 입력하여 모델링에 직접 포함되어 적절하게 수정된 스펙트럼이 제공됩니다. 기존 위치분류 A에서 E는 추가 위치분류 BC, CD 및 DE 3 개와 위치분류 F를 포함하여 총 8개로 더욱 세분화 됩니다.
- 이러한 효과에 의해 영향을 받는 주요영역에 대해 깊은 퇴적분지 효과가 포함됩니다. 이것은 태평양 북서부와 남부 캘리포니아에서 특히 중요합니다.
- 상향된 감쇠모델은 미국 중부 및 동부에서 특히 중요한 NGA-East 창작물의 결과를 사용하는 것이 포함됩니다.

AASHTO기준에서 상향된 맵핑을 구현하기 위해 세 가지 주요 옵션이 조사되었습니다.

첫 번째 옵션은 범위에 따라 진행하고 2014년 맵핑한 자료 및 2015년 NEHRP 위치요소를 활용하는 것입니다. 여기에는 위치별 지반응답분석에 대한 추가 요구사항이 포함됩니다. 두 번째 옵션은 2018년 도시자료를 활용하되 3주기 스펙트럼 구성과 2015년 NEHRP 위치등급을 기반으로 별도의 토질계수를 구분하는 것입니다. 세 번째 옵션은 다중주기스펙트럼 및 맵핑 자료에 내장된 토질효과와 함께 2018년 자료를 활용하는 것입니다.

각 옵션은 다음과 같이 표현됩니다.

옵션 1 - 2014년 위험모델 3주기 스펙트럼

옵션 2 - 2018년 위험모델 3주기 스펙트럼

옵션 3 - 2018년 위험모델 다주기 스펙트럼

제5장 결론 및 제안사항 연구

1) 결론

이전 장에서는 성능기반 지진교량 설계를 위한 제안된 AASHTO 지침의 개발에 대해 자세히 설명했습니다.

NCHRP 종합 440에 포함된 작업 이후의 개발에 초점을 맞춘 포괄적인 문헌검토가 수행되었습니다. 이러한 결과를 바탕으로 세 가지 주요 성능수준과 두 가지 지진 위험수준을 사용하여 성능기반 내진설계(PBSD)를 구현하는 방법론이 개발되었습니다. 방법론의 핵심은 설계변수를 원하는 성능수준에 결합하

고 주로 구조부재의 변형제한을 기반으로 하는 공학설계변수(EDP) 모집입니다. 필요한 분석방법 및 역량 결정방법의 강력한 모체가 원하는 성능수준과 일치하도록 지정됩니다. 추정된 감쇠수준과 성능기반 내진설계(PBSD)와 일치하는 지진분석 및 설계를 위한 직접변위 기반설계(DDBD)방법에 대한 자세한 지침을 제공하기 위해 부록이 포함되어 있습니다. 지침이 철근콘크리트 교량기둥의 설계에 어떻게 적용될 수 있는지를 보여주는 사례연구가 부록에 포함되어 있습니다.

2) 연구 제안

제안된 AASHTO 지침을 작성하는 동안 탄성해석 결과와 대안적 구조해석법 사용결과 간에 상당한 차이가 있음이 분명했습니다. 차이의 주요 원인은 등변 위 가정의 원래 개발에 사용된 감쇠추정치로 생각됩니다. 이 문제를 해결하려면 추가연구가 필요하므로 연구가 적극 권장됩니다. 이 지침에 구현된 접근 방식은 완전히 확률적이지 않습니다. 원하는 성능수준과 그에 따른 손실추정치 간의 연계는 아직 이루어지지 않았습니다. 철근콘크리트 기둥을 이용하는 지진저항시스템에 대해 이러한 연관을 만들기 위한 충분한 연구가 존재하지만 기둥설계의 상대적으로 좁은 등급에만 해당되며 비탄성 범위의 지진운동에 저항하는데 사용될 수 있는 다른 요소에는 해당되지 않습니다. 완전한 확률적 성능기반 내진설계(PBSD)를 개발하기 위해서는 이 분야에서 더 많은 연구가 필요합니다.

3) 부록

NCHRP 연구 보고서 949에서 검색하면 TRB 웹 사이트 www.trb.org에서 두 개의 부록을 볼 수 있습니다. 부록의 제목은 부록 A : SDOF(단자유도) 기둥 조사 표본 계산 및 결과 그리고 부록 B : 위험 비교입니다.

<원문제목> Proposed AASHTO Guidelines for Performance-Based Seismic Bridge Design

<원문출처> National Academy of Sciences(TRANSPORTATION RESEARCH BOARD)