

Global Report

수정된 정적 및 동적 수축 세굴 분석

1. - 요약문 -
2. 제1장 소개 및 연구접근
3. 제2장 결과물
4. 제3장 실험실 시험설정 및 시험계획
5. 제4장 정적 실험실 시험결과
6. 제5장 동적 실험실 시험결과
7. 제6장 강성-바닥 실험실 테스트 결과
8. 제7장 전산응용
9. 제8장 수정된 수축 세굴 분석: 평가, 결과
및 적용
10. 제9장 관찰, 결론 및 제안 연구

개요

교량 하부에 흐르는 수로는 일반적으로 자연하천을 좁히거나 수축시켜 물이 수축된 영역을 통해 흐르게 하여 수로를 통과하는 흐름의 속도와 난류 운동에너지의 크기를 증가시킵니다. 이러한 증가로 인해 수로경계가 침식되면 수축된 부분이 세굴 될 수 있습니다. 수축세굴을 추정하기 위한 기존절차는 수축된 수로가 측면침식에 저항하는 제방과 함께 선형으로 직선이고 단면이 직사각형인 비교적 단순화된 상황을 가정합니다. 또한 일반적으로 균질한 비 점착성 퇴적물로 형성되어 있다고 가정합니다. 수축된 수로에서 발생하는 수직침식 또는 세굴을 일반적으로 "수축세굴"이라고 합니다.

수로수축을 따라 동적 및 정적 세굴이 발생할 수 있습니다. 전자의 세굴조건은 총적하천의 주 수로에서 흔히 발생하는 반면 후자의 조건은 범람원 수축이나 범람원에 위치한 relief bridge에 더 일반적입니다. 정적세굴의 경우, 지배적인 원리는 세굴이 평형상태에 도달할 때 수축단면의 세굴깊이가 임계바닥 전단 응력 또는 평균유속의 발생에 대응된다는 것입니다. 동적 수축세굴의 제한조건은 상류의 접근흐름 (approach flow)구간과 수축구간 사이의 퇴적물 이동의 연속성입니다.

기존 방정식은 50년 전에 Laursen(1960; 동적 수축세굴)과 Laursen(1963; 정적 수축세굴)에 의해 개발된 접근방식을 사용하는 퇴적물 이동이론을 기반으로 합니다. 두 방정식은 세굴이 전적으로 수축효과에 기인하고 국부적 효과는 무시할 수 있다고 가정하며(즉, 수축이 수리학적으로 "긴") 둘 다 세굴이 발생한 후 수축된 단면의 흐름 깊이(y_2)를 산출합니다. 수축세굴에 대한 초기작업에서는 실제 수축세굴 깊이의 추정을 위해 고려해야 하는 세굴깊이에 영향을 줄 수 있는 추가요소를 고려하지 않았습니다.

목표

이 연구의 목적은 다양한 수축비를 포함하여 광범위한 수리조건을 포함하는 위험기반 교량설계에 사용하기에 적합한 동적 및 정적 수축세굴 방정식을 개발하는 것입니다. 단일 비 응집성 퇴적물 크기가 대형실험실 수로에서 조사되었습니다. 이 연구의 주요 기여 중 하나는 이 분야의 이전 연구자들이 사용할 수 없었던 포괄적인 예측기술을 사용하여 동적 및 정적 상태에 대한 수축세굴 데이터베이스를 개발한 것입니다. 구체적으로, 이 연구의 목적과 관련된 다음 요소에 대해 다루었습니다.

- 수축율의 정의
- 기존자료 모집단 및 접근방식의 한계/적용 가능성 요약
- 전산 동수역학(CFD)과 물리적 모델링 같은 다중 모델링 기술
- 하상의 수리력 감쇠
- 신규교량 대 기존교량의 적용 가능성
- 다른 세굴구성요소와의 관계
- 1차원(1D) 및 2차원(2D) 모델링 기법에 적용가능성
- 교량도달범위에서 수축세굴을 추정하기 위한 새로운 패러다임 개발
- 기존 및 제안된 분석방법의 통계적 신뢰성평가

연구 접근법

NCHRP 프로젝트 24-47에 대한 연구 접근방식에는 (1) 개수로 흐름수축의 수리현상에 대한 근본적인

재분석, (2) 사용 가능한 실험실 및 현장자료를 참조하여 기존 수축세굴 방정식평가, (3) 광범위한 정적 및 동적 수축세굴에 대한 보다 신뢰할 수 있는 자료를 개발하기 위한 실험실 시험, (4) 실험실 시험결과를 보완하기 위한 컴퓨터 모델링, (5) 기존 수축세굴 방정식의 수정, (6) 수정된 응용방정식을 교량 도달거리에서 수축된 흐름의 일반적인 현장사례로 변경하고 결과를 기존 방정식에서 얻은 추정치와 비교 (7) 이하 연구에서 개발된 실험실 데이터베이스를 사용하여 기존 및 권장분석 접근방식의 신뢰성 평가를 포함합니다.

연구 성과평가

이 연구에서 관심 있는 개수로 수축은 교량횡단에서 하천과 관련된 수축이었습니다. 더욱이, 수축은 초기에 폭이 균일한 수로에 중첩되도록 취해졌습니다. 이 배열은 하나의 주수로가 있고 범람원이 없는 하천에서 교량을 건너는 것을 나타냅니다. 이 연구에는 상당한 범람원이 있는 수로(즉, 복합수로)가 포함되지 않았습니다.

중요한 고려사항은 수축세굴의 깊이를 측정해야 하는 주요 위치를 정의하는 것이었습니다. 분석은 해당 위치가 **vena-contracta**(오리피스처럼 유체가 넓은 유로에서 급격하게 작은 수문을 지날 때 유체의 단면이 유체의 관성 때문에 수문의 단면보다 작은 단면으로 수축해서 유출하는 현상을 가리킨다. 축류의 단면적을 수문의 단면적으로 나눈 값을 축류계수라고 칭하며 오리피스 계산식에서 유량계수의 보정계수이다.)에 있음을 나타냅니다. 세굴은 세굴이 수축입구의 형태에 크게 영향을 받는 수축모서리에서도 발생합니다. 모든 측정에 대한 추가적인 복잡한 요소는 변동성(느슨한)바닥 또는 경계가 있는 수축된 수로의 변형 가능한 거칠기(조도)였습니다. 조사된 실험실조건의 경우, 바닥이 여울 및 사구 지층(bedform: 유동총과 유동총의 경계면에서 발생하는 특징으로 유동총에 의해 유동총 재료가 이동한 결과입니다.)구조가 발달할 때 수축된 수로를 따라 바닥 조도가 다양했습니다.

수축된 범위의 흐름특성을 설명하기 위해서는 개수로 수리현상에 대한 자세한 검사와 설명이 필요했습니다. 이러한 설명은 모든 이전 연구에서 누락되었습니다(즉, 이전 연구에서는 수축된 수로를 따라 세굴과 관련된 수압흐름의 복잡성을 적절하게 식별하지 못했습니다). 수축된 수로를 따른 임계흐름의 경우 통제단면은 수축된 도달범위의 하류 끝에 위치합니다. 결과적으로, 수축세굴은 수축된 수로입구의 흐름 깊이보다는 수축 아래의 흐름깊이와 관련이 있습니다. 수축된 수로에 대한 접근흐름은 균일하지 않으며 점진적으로 변화하는 흐름(역류) 수면형의 형태를 가정합니다. 수축된 수로의 나머지 부분에 따른 수면 종단 형은 실험에서 점변류 흐름 종단수면 형과 일치했습니다.

수축된 수로(예: 교량-수로 교차점)에 대한 접근지역 또는 그 근처에서 측정된 흐름깊이의 식으로 수축에 대한 접근흐름을 정의하는 것이 편리하지만, 이 지역의 유체흐름 깊이는 수축된 수로에 의해 생성된 배수수면 종단수면 형 내에 있다는 것을 인지하는 것이 중요합니다. 수축세굴 연구에서 발표된 자료모집단은 세굴이 발생하기 전에 수축된 단면의 흐름깊이를 측정하지 않았습니다. 자료모집단을 평가하려면 이 값을 계산하거나 추정해야 했습니다. 발표된 연구 중 하나를 제외한 모든 연구에서는 세굴 이전의 수축된 단면의 흐름깊이가 접근단면의 흐름깊이와 동일하다고 가정하여 수축에서 상류배수곡선 및 수압감소의 중요성을 무시했습니다. 또한, 대부분의 이전 연구는 정적조건에서 수행되었습니다.

수축된 수로로 들어가는 흐름은 vena-contracta를 형성하며, 이에 의해 수축된 흐름의 실제 너비는 수

축된 수로의 기하학적 너비보다 작습니다. 수축입구 내 vena-contracta 영역의 세굴깊이는 수축된 수로를 따라 가장 깊은 세굴을 발생시킵니다(입구 모서리의 세굴 제외). 수축 입구의 모서리 세굴은 수축 폭보다 교대효과의 영향을 더 많이 받을 수 있는 반면 짧은 수축 세그먼트의 vena-contracta 영역의 세굴은 수축효과와 더 직접적으로 관련됩니다.

수로실험에서 얻은 측정 자료로부터 회귀방정식을 개발하여 하류 측 수축보정계수 권장치 K_v 를 추정했습니다. 이 방정식은 측정된 수로자료와 잘 일치했습니다. 수축세굴의 깊이를 추정하기 위해 FHWA에서 널리 사용되는 수리공학회람 No. 18(HEC-18) 방정식은 하류 측의 최소너비 추정을 위한 계수를 포함하도록 조정되었습니다(Arneson et al. 2012). (HEC-18 방정식에 대한 모든 참조는 Arneson et al. 2012의 방정식과 관련됩니다.) 수축세굴의 정적 및 동적조건에 사용된 HEC-18 방정식을 조정했으며 조정된 방정식은 vena-contracta 수축영역에서 측정된 수축세굴깊이와 잘 일치하는 결과를 산출했습니다. 또한, NCHRP Project 24-20("교대에서 교량세굴깊이 추정.")에 따라 교대세굴을 산정하기 위한 기준으로 사용되는 정적 및 동적 수축세굴식의 형태를 적용하는 것으로 조정하였습니다. 방정식은 NCHRP 프로젝트 24-20 최종보고서 초안(Ettema et al. 2010)에서 찾을 수 있습니다. (참고: 이 방정식을 NCHRP 프로젝트 24-20 방정식이라고 합니다.) 다시, 조정된 방정식은 vena-contracta 영역에서 측정된 수축세굴의 깊이와 잘 일치하는 결과를 산출했습니다.

이러한 수정 식은 비 점착성 퇴적물로 이루어진 수로에서 동적 및 정적 수축세굴을 모두 추정할 때 사용하는 것이 좋으며, 폭-깊이 비 및 진입조건은 본 연구에서 사용한 것과 유사합니다. 그 동안 이러한 기준을 충족하지 않는 교량의 경우 기존 모범사례 모델링 방법(예: Robinson et al. 2019 참조)과 NCHRP 프로젝트 24-20 수축세굴 방정식을 적용하는 것이 좋습니다.

이 연구는 또한 NCHRP 프로젝트 24-34 "교량 세굴예측을 위한 위험기반 접근"에 따라 개발된 기술을 사용하여 기존 및 제안된 수축세굴 방정식의 통계적 신뢰성을 평가했습니다. 결과는 상류 세굴 전 수리조건을 입력으로 사용하고 이 연구 프로젝트 중에 개발된 vena-contracta 수축 보정계수 K_v 를 적용하면 표준 HEC-18 및 NCHRP 프로젝트 24-20 방정식과 비교하여 과소예측의 수를 상당히 줄일 수 있음을 나타냅니다. 이 접근방식은 세굴 후 수축세굴 흐름깊이의 평형추정치와 약간 과소예측이 되더라도 합리적입니다. 또한 수축세굴 예측의 신뢰도가 크게 높아졌습니다. 수정된 NCHRP 프로젝트 24-20 수축 세굴 방정식은 HEC-18에서 직접 파생된 방정식보다 변동성이 적고 더 보수적입니다.

재 정리

이 연구는 포괄적인 물리적 모델 연구결과를 사용하여 HEC-18 및 NCHRP 프로젝트 24-20 수축세굴 예측방법의 신뢰성을 정량화합니다. 이 연구는 또한 이전 연구에서 고려되지 않은 새로운 패러다임을 사용하여 특정 조건범위에 대한 수축세굴 예측의 신뢰성을 향상시키기 위한 수정을 제안합니다. 이 연구에서 도출된 일반적인 결론은 수축세굴의 본질적으로 복잡한 특성(이동성, 비 응집성 바닥에서 불균일하고 불안정한 흐름 포함)이 수축 세굴깊이의 대략적인 추정으로 이어진다는 것입니다. 그러나 신뢰성 고려사항은 수축세굴 추정치의 변동성에 대한 지침을 제공하고 실무자가 직접 사용하는 수축세굴에 대한 개선된 평가기술을 위한 방법을 제안합니다.

제1장 소개 및 연구접근

1.1 범위 및 연구목적

1.1.1 배경

교량수로는 일반적으로 자연수로를 좁히거나 수축시켜 물이 수축된 영역을 통해 흐르게 하여 수로를 통과하는 흐름의 속도 및 난류 운동에너지의 크기를 증가시킵니다. 이러한 증가로 인해 수로경계가 침식되면 수축된 부분이 세굴 될 수 있습니다. 교량교대가 수로로 잠식하거나 교량의 교대배면 성토부가 수로의 인접한 범람원을 가로질러 길이가 연장될 때 흐름의 상당한 수축이 발생할 수 있습니다. 교각의 존재는 교량 하부에 흐르는 수로 흐름의 수축효과를 악화시킬 수 있습니다.

수축세굴을 추정하기 위한 기존 절차는 수축된 수로가 측면침식에 저항하는 제방과 정렬이 직선이고 단면이 직사각형인 비교적 단순화된 상황을 가정합니다. 또한 일반적으로 바닥이 균일한 비 응집성 퇴적물로 형성되어 있다고 가정합니다. 수축된 수로에서 발생하는 수직침식 또는 세굴은 일반적으로 "수축세굴"이라고 합니다(Arneson et al. 2012). 직선형, 직사각형, 총적수로의 가정은 내식성 제방이 있는 교량부지에서 약간의 국부곡률이 있는 비교적 넓은 수로에 대해 합리적입니다.

수로 수축을 따라 동적 및 정적 세굴이 발생할 수 있습니다. 전자의 세굴조건은 일반적으로 총적하천의 주요 수로에서 발생하는 반면 후자의 조건은 범람원 수축 또는 범람원에 위치한 (relief bridge)교량에서 더 일반적입니다. 정적세굴의 경우, 지배적인 원리는 세굴이 평형상태에 도달할 때 수축단면의 세굴깊이가 임계바닥 전단응력 또는 평균유속의 발생에 해당한다는 것입니다. 동적 수축세굴의 제한조건은 상류 접근유동구간과 수축구간 사이의 퇴적물 이동의 연속성입니다. 동적상태에서 추가 고려사항(일반적으로 이전 연구에서 검토됨)은 접근방식 및 수축된 수로에서 다양한 바닥형상 지형의 역할입니다.

1.2 연구 접근법

1.2.1 개요

이 프로젝트의 연구접근방식은 대부분의 교량수로에서 예상되는 수로지형 형태, 교량접근방식 및 흐름 수축상황의 구성범위를 고려하여 개선된 수축세굴 방정식을 생성하기 위한 10가지 작업 모 집단으로 구성되었습니다. 수정된 방정식과 이를 뒷받침하는 분석은 절 1.1.2에 나열된 8가지 주요 요소를 다루고 다른 요소가 교량기초에 대한 수축세굴 추정에 불확실성을 어떻게 기여할 수 있는지 나타냅니다. 이러한 요인에는 현재 간과되고 있는 교량-수로 침식의 지반 공학적 측면, 수치 및 실험실 모델의 현재 속성 및 한계, 세굴에 대한 기존 자료모집단의 결함, 복잡한 세굴상황을 해결하기 위한 실험실 및 수치 방법의 공동사용이 포함됩니다. 교량수로의 세굴과 관련된 NCHRP 동반 프로젝트를 위해 이전에 개발된 평가 및 권장사항도 고려되었습니다.

제2장 결과물

2.1 현재 관행검토

2.1.1 개요

현재 관행에 대한 이 검토는 교량수로에서 수축세굴과 관련된 흐름 및 세굴과정을 설명하고 이러한 과정에 대해 알려진 내용을 요약하고 기존자료 소스를 식별하며 교량수로에서 수축세굴을 정확하게 추정

하기 위해 알아야 할 사항을 결정합니다. 이 검토는 다음과 같이 구성됩니다.

1. 수축을 통한 흐름 및 퇴적물 수송특성을 식별합니다.
2. 기존자료를 평가하고 비교를 위해 수축세굴을 추정하기 위한 기존방정식을 요약합니다.
3. 수축세굴에 관한 중요한 자료와 지식격차를 식별합니다.

수축세굴에 대한 이전 방정식은 상대적으로 단순화된 흐름수축모델을 사용하며 고려해야 할 세굴깊이에 영향을 미칠 수 있는 여러 요인을 고려하지 않습니다(1.1절의 논의 참조). 특히 문헌에는 초기 흐름억제에 대한 관찰 및 분석이 부족합니다. 여러 텍스트와 논문(예: Wu and Molinas 2005)은 수축된 수로의 흐름억제에 대해 설명합니다. 수축세굴에 대한 대부분의 기존 실험실 시험은 흐름억제 상태의 대상이었습니다. 흐름 억제된 흐름조건은 흐름이 수축된 범위의 임계깊이를 통과하도록 강제하는 한계를 초과하여 수로 폭을 수축함으로써 발생합니다. 전이흐름상태는 상류흐름이 아 임계이고 하류흐름이 초임계가 된 후 수리학적 점프가 뒤따르는 결과를 낳습니다(Wu and Molinas 2005). 이 조건은 사용 가능한 많은 자료 모집단의 분석에서 고려되지 않았습니다.

2.3 정적 및 동적 수축세굴에 대한 현장 자료평가

2.3.1 개요

다음 절에서는 교량수로에서 수축세굴과 관련된 현장자료의 범위와 품질을 평가합니다. 수축세굴에 대한 이전 현장연구는 표 2-5에 나와 있습니다. 수축세굴에 관한 현장자료는 극히 적으며 이러한 자료의 대부분은 교량교대의 영향을 포함합니다. 현장자료의 가장 포괄적인 소스는 교량위치에서 수축세굴 관찰에 초점을 맞춘 상당히 광범위한 단면을 포함하는 국립 교량세굴 데이터베이스(NBSD)입니다. 이와 관련하여 Benedict(2003), Benedict and Caldwell(2015), Benedict et al. (2007b, 2006)은 수축세굴의 존재를 포함하는 교대세굴에 관한 현장자료의 주요 편집을 제공합니다.

제3장 실험실 시험설정 및 시험계획

3.1 개요

2장에 요약된 바와 같이, 실험실 및 수치적용은 현재 적절하게 이해되거나 공식화되지 않은 수축세굴의 우선순위 측면에 중점을 둡니다. 실험실 시험은 NCHRP 프로젝트 24-34(섹션 2.2.2 참조)와 이 연구의 문헌 및 자료평가 단계에서 발견된 초기조사의 결함을 제거하도록 설계되었습니다. 예를 들어, NCHRP 프로젝트 24-34는 여러 초기 수축세굴 연구가 이러한 연구로 인한 자료모집단의 유용성을 저하시키는 실험설계의 결함으로 인해 어려움을 겪었음을 발견했습니다. 문헌 및 자료검토에 따르면 이전 자료의 대부분은 세굴의 짧은 수축과 긴 수축 깊이가 혼합되어 있으며 어떤 경우에는 어떤 세굴깊이가 문서화되었는지 명확하지 않습니다.

수치실험은 특히 접근수로와 좁은 수로 하류사이의 수축연결을 통해 수축기하학이 흐름영역에 어떻게 영향을 미치는지에 중점을 두고 실험실 모델링을 보강하도록 설계되었습니다. 실험실 실험은 Colorado State University(CSU)의 8피트 너비, 200피트 길이의 퇴적물 재순환 수로를 사용하여 수행되었습니다. 각 구성의 유속범위에서 미세한 모래퇴적물의 크기에 대해 수축단면의 다양한 기하학적 구성을 조사했습니다. 비 침식성(강성) 바닥시험도 수행되었습니다.

3.2 시험설정

이 절에서는 시험설정, 시험프로그램, 사용된 기기배열 및 실험실 시험프로그램 동안 수행한 측정에 대해 설명합니다. 그림 3-1은 수축세굴을 조사하는데 사용할 수 있는 관련 기하학적 정보 및 수리조건의 개략도입니다. 1D 수치모델 HEC-RAS를 사용하여 시험설정을 통한 흐름의 수리형상을 확인했습니다. 시험설정은 그림 3-2와 같이 CSU에서 8피트 너비의 수로를 사용했습니다. 설정에는 약 85피트 길이의 좁은 수로로 축소되는 25피트 길이의 접근수로가 포함되었습니다. 그림 3-1의 수축각도(각도 α 로 설정된 테이퍼 벽으로 표시)는 모든 시험에서 45°로 유지되었습니다.

그림 3-1의 설정은 그림 2-1(a)에 개략적으로 표시된 배치와 유사하게 짧은 수축범위와 긴 수축범위를 나타내고 수로가 전체 너비로 반환된 범위가 뒤따릅니다. 이 설정은 단기 및 장기 수축세굴조건과 두 조건 간의 관계를 포함합니다. 또한 이 설정을 통해 필요에 따라 두 조건 간의 전환을 변경할 수 있습니다. 초기 일련의 시험실행은 25%의 심한 수축비율 B2/B1에서 완료되었습니다. 두 번째 일련의 실행은 50%의 중간 수축률로 이루어졌고 최종 일련의 시험은 정적 및 동적 조건 모두에 대해 75%의 약한 수축률로 완료되었습니다. 강성바닥(비침식성) 시험도 모래층 대신 합판바닥을 사용하여 심한 수축률로 수행되었습니다.

흐름은 모든 시험실행에 대해 수로를 통해 재순환되었습니다. 수축된 부분의 하류에서 퇴적물 트랩이 모래를 포획하고 퇴적물이 없는 물은 재순환 집수지로 되돌려졌습니다. 활성바닥 시험을 위해 스크류 오거와 이동식 분전반이 장착된 호퍼를 사용하여 상류 접근도달범위에 침전물을 공급했습니다. 수로의 메인 펌프의 유량은 시험에 필요한 유량범위에 충분했습니다.

3.3 자료측정 및 계측

실험실 시험에는 다음 측정값이 포함되었습니다.

- (a) 수축세굴이 발생하기 전의 흐름깊이, y_1 에 대한 비율곡선
- (b) 선택된 시험 동안의 수면 종단형상
- (c) 선택한 시험 중 점 속도측정
- (d) 수축하는 흐름장의 주요 특징이 묘사되었으며
- (e) 바닥높이의 시간적 변화
- (f) 평형수심측정을 측정했으며
- (g) 흐름 장 시각화 등을 측정했습니다.

3.4 실험실 시험계획

프로젝트의 2단계 동안 다음과 같은 실험실 수로실험이 수행되었습니다. 실험은 절 2.2에서 확인된 주요 지식격차를 해결했습니다. 실험프로그램은 수축세굴의 다음 조건에 초점을 맞췄습니다.

- (a) 정적 수축세굴
- (b) 동적 수축세굴
- (c) 수축범위의 강성경계부분 수리현상
- (d) 짧은 수축 및 긴 수축 세굴깊이의 비교 및 접근과 출구수로에서 정상흐름깊이와의 추가비교

3.5 1D 유압 모델 보정절차

HEC-RAS를 사용하여 모든 정적, 동적 및 강성바닥시험에 대한 포괄적인 보정을 수행했습니다. 합판에

대한 Manning의 n 값을 결정하는데 강성바닥 연속물이 사용되었으며 결과 평균은 0.013이었습니다. 이 값은 정적과 동적 조건 모두에서 모래바닥시험에 대한 벽 거칠기에 사용되었습니다.

제4장 정적 실험실 시험결과

4.1 심한 수축률

처음에 CSU의 8피트 너비 실내수로에서 4개의 정적 수축세굴 시험이 수행되었습니다. 이 시험의 경우 수축된 단면은 폭 2피트 x 길이 85피트로 수축비율 $B2/B1 = 2/8 = 0.25$ 를 제공했습니다. 45°의 날개 벽은 접근단면에서 수축된 도달범위로 유체 흐름을 전환했습니다.

각 시험에 대한 명명규정은 퇴적물 운송조건, 수축비율 및 속도비율에 대한 정보를 제공합니다. 예를 들어, 시험 CW_0.25-0.55는 수축비 $B2/B1$ 이 0.25이고 속도비 $Vn1/Vc$ 가 0.55인 정적시험을 나타냅니다. 여기서 $Vn1$ 은 정상흐름깊이, Vc 는 퇴적물수송을 위한 임계속도입니다.

고운 모래는 d50 입자 크기가 0.26mm이고 비중이 2.68(4회 측정의 평균)이었고 d50 입자이동에 대한 임계속도 및 전단응력은 표준 HEC-18 방정식에서 다음과 같이 추정됩니다.

$$Vc = 0.90\text{ft/s}(0.27\text{m/s})(4.1)$$

$$\tau_c = 0.0040\text{lb/ft}^2(0.19\text{Pa})(4.2)$$

심한 수축률에서 수행된 시험은 표 4-1에 나와 있습니다.

각 시험 전에 바닥은 0.00피트의 기준고도에서 완벽하게 평평했습니다. 각 시험이 시작될 때 물이 수로로 점차 유입되고 목표유출에 도달하고 흐름이 안정될 때까지 유출구 설정이 조정되었습니다.

4.2 적당한 수축률

심한 수축비 시험이 완료된 후 수로는 새로운 수축비 $B2/B1 = 0.50$ 으로 재구성되었습니다. 새로운 수축단면의 너비는 4피트였습니다. 중요한 시공 고려사항에는 입구모서리의 형성, 벽과 벽 패널 사이의 접합부 및 바닥에 대한 벽 밀봉에 대한 특별한 주의가 포함되었습니다. 필터구조는 모래바닥 아래에 부분적으로 측벽 위로 배치되었습니다.

CSU의 8피트 폭 실내수로에서 3개의 정적수축세굴 시험이 수축된 단면 폭 4피트 x 길이 85피트로 수행되어 수축비 $B2/B1 = 4/8\text{피트} = 0.50$ 을 제공했습니다. 45°의 날개벽은 8피트 너비의 접근단면에서 이전 일련의 시험에 사용된 것과 동일한 입구각도인 수축된 범위로 흐름을 전환합니다.

각 시험에 대한 명명규칙은 기존에 설정한 것과 동일하며, 퇴적물 이송조건, 수축률 및 접근속도비율에 대한 정보를 제공합니다. 예를 들어, 시험 CW_0.50-0.55는 수축비율이 0.50이고 속도비율이 0.55인 정적시험을 나타냅니다. $Vn1$ 은 정상흐름깊이와 관련된 상류 8피트 너비 접근수로에서 가정된 속도이고 Vc 는 퇴적물수송을 위한 임계속도입니다.

중간수축비로 실시한 정적시험을 표 4-4에 정리하였습니다. 각 시험 전에 바닥은 0.00피트의 기준고도에서 완벽하게 평평했습니다. 각 시험이 시작될 때 물이 점차적으로 수로로 유입되었습니다. 유출구 설

정 및 펌프방출은 목표유출에 도달할 때까지 조정되었으며, 흐름은 안정적이고 유출구(y2 유출구)의 흐름깊이는 7인치(0.58피트)였습니다. 이 과정은 약 30분에서 45분이 소요되었으며, 이때부터 자료수집이 시작되었습니다.

4.3 약한 수축률

중간 수축비 시험이 완료된 후 수로는 새로운 수축비 $B2/B1 = 0.75$ 로 재구성되었습니다. 새로운 수축 단면의 너비는 6피트였습니다. CSU의 8피트 폭 실내수로에서 3개의 정적수축세굴 시험이 수축된 단면 폭 6피트 x 길이 85피트로 수행되어 수축비 $B2/B1 = 6/8\text{피트} = 0.75$ 가 되었습니다. 45°의 날개벽은 8 피트 너비의 접근단면에서 수축된 도달범위로 흐름을 전환합니다. 이는 이전 일련의 시험에 사용된 것과 동일한 입구각도입니다.

각 시험에 대한 명명규칙은 기존에 설정한 것과 동일하며, 퇴적물 이송조건, 수축률 및 접근속도비율에 대한 정보를 제공합니다. 예를 들어, 시험 CW_0.75-0.75는 수축비율이 0.75이고 속도비율이 0.75인 정적시험을 나타냅니다. $Vn1$ 은 정상 흐름깊이와 관련된 상류 8피트 너비 접근수로에서 가정된 속도이고 Vc 는 퇴적물수송을 위한 임계속도입니다.

완만한 수축률로 수행한 정적시험은 표 4-6에 요약되어 있습니다. 각 시험 전에 바닥은 0.00피트의 기준고도에서 완벽하게 평평했습니다. 각 시험이 시작될 때 물이 점차적으로 수로로 유입되었습니다. 유출구 설정 및 펌프방출은 목표유출에 도달할 때까지 조정되었으며, 흐름은 안정적이고 유출구(y2 유출구)의 흐름깊이는 7인치(0.58피트)였습니다. 이 과정은 약 30분에서 45분이 소요되었으며, 이때부터 자료수집이 시작되었습니다.

제5장 동적 실험실 시험결과

정의에 따르면, 동적 바닥조건은 상류접근범위에서 수축된 단면으로 퇴적물이 공급되어야 합니다. CSU 수로에서 0.26mm 모래를 동원할 수 있을 만큼 충분히 높은 배출구에서 펌프유량을 설정하여 8피트 너비 접근범위의 동적조건을 달성했습니다. 오거가 장착된 침전물 호퍼와 이동식 분배 판에 의해 각 시험기간 동안 연속침전물 공급이 제공되었습니다.

퇴적물공급 속도는 퇴적물배출을 물 배출과 관련시키는데 있어서, Guy et al.에 의해 개발된 등급곡선에서 결정되었습니다.(1966) 이 곡선은 연구팀의 연구에서 사용하는 것과 동일한 8피트 수로와 본질적으로 동일한 모래(0.27mm 대 0.26mm)를 사용하여 개발되었습니다.

그림 5-1은 퇴적물수송 등급곡선을 보여주며, 바닥퇴적물 수송을 추정하기 위해 잘 알려진 두 가지 방법을 사용하여 제안된 평가곡선을 비교하기 위해 포함합니다.

- 수정된 로센(Madden 1993)
- Yang(1973), HEC-RAS에서 사용가능

Guy et al.의 자료와 관련된 곡선. (1966)은 고운모래가 퇴적물배출을 느리게 하는 빠르게 발달한 기반 형태(여울 및 사구)를 포함하기 때문에 더 낮은 운송속도로 시작합니다. 물의 배출이 증가함에 따라 퇴적물의 배출은 나열된 두 가지 방법에 표시된 것보다 더 빠르게 증가합니다.

5.1 심한 수축률

심한 수축률에서 동적시험은 수행되지 않았습니다. 이 수축률 도달범위에서 동적조건을 생성하는데 필요한 유출은 수축입구에서 심하게 폐색된 흐름과 수로 벽의 넘침(도수)을 초래했을 것입니다.

5.2 적당한 수축률

4개의 동적 수축세굴 시험은 수축비율 $B2/B1 = 4/8 = 0.50$ 을 제공하는 4피트 너비 x 85피트 길이의 수축단면이 있는 CSU의 8피트 너비 실내수로에서 수행되었습니다. 45°의 날개벽은 8피트 너비의 접근단면에서 수축된 도달범위로 흐름을 전환하며, 모든 정적시험에 사용되는 동일한 입구각도입니다. 그림 5-2의 (a)와 (b)는 동적시험 전후의 사진입니다. 동적시험의 경우 바닥형태는 수축단면 자체뿐만 아니라 수축상류의 접근단면에서 개발됩니다.

동적조건에서 평형세굴조건은 각 시험을 시작한 후 약 7시간 후에 CSU 8피트 수로에서 달성되는 것으로 결정되었습니다. 중간 수축률에서 실시한 동적시험은 표 5-1에 요약되어 있습니다. 각각의 동적시험 전에 바닥은 0.00피트의 기준고도에서 완벽하게 평평해졌습니다. 각 시험이 시작될 때 물이 점차적으로 수로로 유입되었습니다. 유출구 설정 및 펌프유출은 목표유출에 도달할 때까지 조정되었으며, 흐름은 안정적이고 유출구(y2 유출구)의 흐름깊이는 7인치(0.58피트)였습니다.

5.3 약한 수축비율

5개의 동적수축세굴 시험은 수축비율 $B2/B1 = 6/8 = 0.75$ 를 제공하는 6피트 너비 x 85피트 길이의 수축단면이 있는 CSU의 8피트 너비 실내수로에서 수행되었습니다. 45°의 날개벽은 8피트 너비의 접근단면에서 수축된 도달범위로 흐름을 전환하며, 모든 정적시험에 사용되는 동일한 입구각도입니다. 그림 5-9는 약간의 수축률을 동적상태에서 시험한 후의 사진입니다. 동적시험의 경우 바닥형태는 수축단면 자체뿐만 아니라 수축상류의 접근단면에서 개발됩니다.

동적조건에서 평형세굴조건은 각 시험을 시작한 후 약 7시간 후에 CSU 8피트 수로에서 달성되는 것으로 결정되었습니다. 약간의 수축률로 수행된 동적시험은 표 5-3에 요약되어 있습니다.

각각의 동적시험 전에 바닥은 0.00피트의 기준고도에서 완벽하게 평평해졌습니다. 각 시험이 시작될 때 물이 점차적으로 수로로 유입되었습니다. 유출구 설정 및 펌프유출은 목표유출에 도달할 때까지 조정되었으며, 흐름은 안정적이고 유출구(y2 유출구)의 흐름깊이는 7인치(0.58피트)였습니다. 이 과정은 약 30분에서 45분이 소요되었으며, 이때부터 자료수집이 시작되었습니다.

제6장 강성-바닥 실험실 테스트 결과

6.1 개요

강성 수축비에 대한 동적 테스트는 다루어지지 않았습니다. CSU의 8피트 수로에서 수축비 $B2/B1 = 0.25$ (심한 수축)에서 일련의 강성바닥 시험을 수행하여 복잡한 세굴효과 없이 수축수리현상을 더 잘 정의했습니다. 이 시험을 위해 수로의 바닥과 벽은 합판으로 구성되었으며 일련의 흐름이 심한 수축비율로 실행되었습니다.

모든 강성바닥(합판) 시험의 경우, 접근범위의 두 단면을 따라 미리 결정된 지점에서 ADV(음향 도플러 속도측정) 측정이 이루어졌고 수축입구 부근의 여섯 개 이상의 단면이 추가되었습니다. 각 단면에서 측정지점은 측면치수에서 밀접하게 떨어져 있어 국부흐름장의 상세한 그림을 얻었습니다.

V_x , V_y 및 V_z 속도성분은 각 위치에서 약 25초 동안 40Hz의 주파수에서 6/10 유속으로 기록되었습니다. 따라서 각 측정위치에서 각 속도구성요소(세로, 가로 및 세로)에 대해 약 1,000개의 판독 값이 있습니다. 각 지점에서 평균 및 평균제곱근(RMS) 속도를 계산하면 각 위치에서 난류강도를 결정할 수 있습니다.

6.2 심한 수축비에서의 강성바닥 시험

진행 중인 일반적인 강성바닥시험의 사진이 그림 6-1(a) 및 (b)에 나와 있습니다. 심한 수축률에서 수행된 강성바닥시험은 표 6-1에 요약되어 있습니다. 수축비율, 속도비율, 유출 및 유출구 설정은 심한 수축비율에서 정적시험에 사용된 것과 동일합니다. 상세사항은 원문을 참조하시기 바랍니다.

제7장 전산응용

7.1 개요

실험실 실험의 설계와 실험결과와 진단해석은 컴퓨터 모델링을 사용하여 지원 및 확장되었습니다. 절 3.5에서 언급한 바와 같이 1D 수치모델 HEC RAS는 시험설정을 통해 유체흐름의 수리현상을 확인하는데 사용되었습니다(즉, 설정을 구성하는 두 수로단면의 길이 적절성을 확인하고, 수축의 상류와 수축에서 접근수로에 대한 깊이 등급곡선)

2D 깊이 평균 수치모델링도 개방수로수축을 통한 흐름의 여러 중요한 측면에 대한 통찰력을 제공하는 데 사용되었습니다. 복잡한 흐름영역(예: 수축입구)에 대해서도 3D 수치모델링에서 자세한 진단통찰력을 얻었습니다. 따라서 계산모델링은 세굴흐름장의 복잡성과 세굴깊이에 대한 수로기하학 및 정렬의 영향에 대한 통찰력을 제공했습니다.

이 연구에서는 원래 미국 내무부 매립국(Lai 2008)에서 개발하고 FHWA(Robinson et al. 2019)에서 채택한 모델인 SRH-2D를 사용했습니다. 이 모델은 깊이 평균된 St. Venant 방정식을 풀기 위해 연성 메쉬, 유한 체적 수치알고리즘을 구현합니다. SRH 모델을 구현하고 관리하기 위해 지표수 모델링시스템(SMS) 인터페이스가 사용되었습니다.

이 연구는 Flow Science, Inc.에서 만든 민간개발 및 지원수치모델인 FLOW-3D라는 3D 수치모델을 사용했습니다. 기본 FLOW-3D 모델은 VOF(Volume of Fluid) 방법과 구조화된 그리드 계산 메시 내에서 명시적 가변시간단계 솔버를 사용하여 Navier-Stokes 방정식을 구현합니다. 또한 고유한 FAVOR™ (Fractional Area Volume Obstacle Representation) 방법을 사용하여 지형과 흐름방해물을 표현합니다.

7.2 응용

수축세굴의 수리현상을 분석할 때 기술자가 세굴 전 상태를 모델링하는 방법을 이해하는 것이 중요합니다. 따라서 이전 장에서 두 개의 수로실험을 수치적으로 모델링했습니다. 이 노력을 위해 4장의 심한

수축비(CW_0.25-0.75)에서 하나의 정적시험과 5장의 중간 수축비에서 하나의 동적시험(LB_0.50-2.0)이 선택되었습니다.

관찰된 시험자료에 대한 수치모델의 보정은 실험실 세굴결과에 대한 사전 이해 없이 이러한 수로실험이 실무자에게 어떻게 나타나는지에 대한 귀중한 통찰력(실무자의 관점에서)을 제공합니다. 둘째, 이러한 수로실험의 수치적 모델링은 세굴 전 수리조건에 관한 귀중한 정보를 제공합니다. 이러한 조건은 시험의 초기단계에서 실험실 수로의 세굴에 의해 빠르게 변경되므로 실험적으로 문서화하기가 어렵습니다.

HEC-18의 현재 지침은 정적과 동적 조건 모두에 대한 세굴을 두 가지 흐름깊이 간의 차이로 추정합니다.

$$y_{s2} = -y_0 \quad (0.7.1)$$

여기서 y_s 는 예상 세굴깊이이며, y_2 는 세굴이 발생한 후 수축된 단면의 예측된 흐름깊이이고, y_0 는 세굴 이전의 수축된 단면의 흐름깊이입니다. 또한, 동적세굴의 경우, 흐름깊이 y_2 는 세굴 이전 상류점근구간의 흐름깊이 y_1 의 함수입니다. 2장에서 언급했듯이 y_1 은 수축세굴이 발생함에 따라 시험과정에서 변경됩니다.

7.3 정적수축에 대한 보정

Scour Test CW_0.25-0.75 Test CW_0.25-0.75에 대한 조건은 표 7-2에 요약되어 있습니다.

7.4 활성바닥 수축에 대한 보정

세굴시험 LB_0.50-2.0시험 LB_0.50 2.0에 대한 조건은 표 7-3에 요약되어 있습니다.

7.5 결과

시험 CW_0.25-0.75 및 LB_0.50-2.0에 대한 세굴 전 및 세굴 후 조건의 수치적 모델링은 긴 수축범위에서 세굴로 인한 수축상류의 수리조건에 상당한 변화가 있음을 보여줍니다. 1D, 2D 및 3D 수치모델의 결과 간에 좋은 일치가 발견되었습니다. 이것은 종단수면 형과 단면평균속도가 우려되는 변수인 경우 1D 모델의 가정으로 긴 수축문제의 일반적인 수리현상을 안정적으로 모델링할 수 있음을 확인합니다.

이전 조사(Zey 2017)에 따르면 수축상류의 흐름조건은 긴 수축범위 내에서 세굴과정과 독립적이지 않습니다. Table 7-4와 7-5는 각각 Test CW_0.25-0.75와 LB_0.50-2.0에 대한 상류점근구간(10번 지점)에서 관찰된 수심과 속도변화를 요약한 것입니다. 이러한 결과는 세굴 전 유압이 세굴 후 조건과 크게 다르다는 것을 보여줍니다. 실무자는 세굴을 예측할 수 있는 사전 세굴수리현상에만 접근할 수 있다는 점을 고려하는 것이 중요합니다.

7.6 3D 흐름 시각화

그림 7-15는 시험 LB_0.50-2.0의 유선형 흐름 시각화를 나타냅니다. 그림은 FLOW-3D CFD 소프트웨어, 실험실 흐름경계조건 및 세굴 후 LiDAR 자료모집단을 사용하여 생성되었습니다. 각 유선형은 이미지의 왼쪽 상단에서 수축으로 그리고 이미지의 오른쪽 하단을 통해 나가는 흐름의 경로를 따릅니다. 유선은 속도크기에 따라 색상이 지정됩니다. 이 세굴 후 바닥조건에 대해 CFD 모델은 표면 근처의 흐름이 최소 측면편향을 겪는 반면, 바닥근처의 흐름은 수축에 들어갈 때 벽에서 수로중심으로 확장되는 영

역에서 방향이 바뀝니다. 이 고도로 방향 전환된 흐름이 수축을 통해 이동함에 따라 가장 심한 세굴영역(및 감소된 속도)으로 아래쪽으로 밀어 넣습니다. 그런 다음 흐름이 수로의 중심을 향해 이동함에 따라 표면을 향해 상승하기 시작하여 가속됩니다.

그림 7-16 및 7-17은 FLOW-3D CFD 소프트웨어를 사용하여 실험실 흐름 경계조건, 세굴 전 조건 및 세굴 후 LiDAR 자료모집단을 사용하여 생성되었습니다. 두 그림 모두 속도크기를 색상으로 표시하고 세로 중심선 단면, 수로바닥의 평면도 및 수면의 평면도를 제공합니다. 두 그림을 비교하면 세굴 전 조건에서 부드럽고 예측 가능한 수직속도 종단형상이 기반형태와 세굴이 중요한 역할을 하는 세굴 후 조건에서 훨씬 더 다양한 패턴으로 변경된다는 것이 분명합니다. 마찬가지로 수축바닥의 평면도가 그림 7-16에서 그림 7-17로 크게 바뀌고 바닥의 형태가 바뀝니다. 두 그림 모두에서 바닥과 수표면 평면은 세굴이 발생한 후 더 낮은 속도와 함께 세굴 전후 조건 사이의 수축 변화의 좁은 수로 속도를 보여줍니다.

주 교통부와 해당 컨설턴트가 일반적으로 사용할 수 있는 수치모델은 대규모 난류구조, 흐름 내의 난류구조 대류 및 바닥형상 거칠기의 공간적 변동성을 포함하는 복잡한 흐름 상황을 정확하게 묘사하는 능력이 제한적이라는 점에 유의해야 합니다. 이러한 모델에 의해 생성된 결과는 고유한 한계를 충분히 인식하고 해석해야 합니다.

제8장 수정된 수축 세굴 분석: 평가, 결과 및 적용

8.1 개요

2장에서 설명한 흐름수축의 기본사항을 고려하여 이 장은 4장에서 7장에 제공된 실험실 및 계산 분석과 수축세굴 방정식에 대한 제안된 수정사항 사이의 가교역할을 제공합니다. 절 8.2는 이전 장의 결과에 대한 평가를 제공합니다. 그런 다음 절 8.3에서는 기존 HEC-18 및 NCHRP 프로젝트 24-20(Ettema et al. 2010) 정적 및 동적 수축세굴 방정식에 대한 제안된 수정사항을 제시합니다. 절 8.4는 수정된 방정식을 교량 특정현장 사례에 적용하고 그 결과를 기존 방정식에서 얻은 세굴추정치와 비교합니다. 8.5 절에서는 기존방정식의 신뢰도와 기존방정식의 신뢰도를 비교하여 수정된 방정식의 신뢰도를 평가합니다(Lagasse et al. 2013). 마지막으로 절 8.6은 본 연구결과의 실행계획을 제시하고 절 8.7은 연구결과의 구현을 용이하게 하기 위해 별도의 결과물로 준비된 독립형 교육매뉴얼(NCHRP 웹 전용문서 294)을 설명합니다. NCHRP 웹 전용문서 294는 TRB 웹사이트(www.trb.org)에서 "NCHRP Project 24-47"을 검색하여 찾을 수 있습니다. 상세한 내용은 원문의 내용을 참조하시기 바랍니다.

제9장 관찰, 결론 및 제안 연구

9.1 관찰

교량수로는 일반적으로 자연수로를 좁히거나 수축시켜 물이 수축된 영역을 통해 흐르게 하여 수로를 통과하는 흐름의 속도 및 난류운동 에너지의 크기를 증가시킵니다. 이러한 증가로 인해 수로경계가 침식되면 수축된 부분이 세굴 될 수 있습니다. 수축세굴을 추정하기 위한 기존 절차는 수축된 수로가 측면 침식에 저항하는 제방과 정렬이 직선이고 단면이 직사각형인 비교적 단순화된 상황을 가정합니다. 또한 일반적으로 바닥이 균일하지 않은 응집성퇴적물로 형성되어 있다고 가정합니다. 수축된 수로에서 발생

하는 수직침식 또는 세굴을 일반적으로 수축세굴이라고 합니다.

수로수축을 따라 동적 및 정적세굴이 발생할 수 있습니다. 전자의 세굴조건은 총적하천의 주요 수로에서 일반적으로 발생하는 반면 후자의 조건은 범람원수축 또는 범람원에 위치한 (relief bridge)교량에서 더 일반적입니다. 정적세굴의 경우 지배적인 원리는 세굴이 평형상태에 도달할 때 수축단면의 세굴깊이가 임계바닥 전단응력 또는 평균유속의 발생에 해당한다는 것입니다. 동적수축세굴의 제한조건은 상류 접근유동구간과 수축구간 사이의 퇴적물 이동의 연속성입니다. 동적상태(이전 연구에서 일반적으로 간과됨)에서 추가고려사항은 접근방식 및 수축된 수로에서 다양한 바닥형태의 역할입니다.

기존 방정식은 50년 이상 전에 Laursen(1960; 동적수축세굴)과 Laursen(1963; 정적수축세굴)이 개발한 접근방식을 사용하는 퇴적물 수송이론을 기반으로 합니다. 두 방정식 모두 세굴이 오로지 수축효과에 기인하고 국부적 효과는 무시할 수 있고(즉, 수축이 수리학적으로 길다는) 가정하고, 둘 다 세굴이 발생한 후 수축된 단면의 흐름깊이(y_2)를 해결합니다. 수축세굴에 대한 초기 작업에서는 이 보고서에 설명된 실제 수축세굴깊이의 추정을 위해 고려해야 하는 세굴깊이에 영향을 미칠 수 있는 추가요소를 고려하지 않았습니다. NCHRP 프로젝트 24-47, "수정된 정적 및 동적 수축세굴 분석"에 대한 연구접근방식에는 다음이 포함되었습니다.

- 개수로 흐름수축의 수리학적 기초 재분석
- 사용 가능한 실험실 및 현장자료를 참조하여 기존 수축세굴 방정식 평가
- 정적과 동적 수축세굴에 대한 보다 신뢰할 수 있는 자료를 개발하기 위한 광범위한 실험실 시험
- 실험실 시험결과를 보완하기 위한 전산 모델링
- 기존 수축세굴방정식 수정제안
- 수정된 방정식을 교량도달범위에서 수축된 흐름의 일반적인 현장사례에 적용하고 기존 방정식에서 얻은 추정치와 결과비교
- 이 연구에서 개발된 실험실 자료원 사용하여 기존 및 권장분석 접근방식의 신뢰성 평가

이 연구는 수축으로 들어가는 흐름에 의해 형성된 유하단면을 따라 수축세굴의 가장 깊은 영역(입구 모서리를 포함하지 않음)이 발생했음을 보여주었습니다. 따라서 이 보고서는 이 영역에 초점을 맞추고 수축의 나머지 부분을 수축의 긴 부분으로 참조합니다. 대부분의 교량횡단은 이 보고서가 단기수축이라고 부르는 지역에 있습니다. 많은 요인이 수축세굴의 추정에 불확실성을 제공하지만 절 8.5의 불확실성 분석은 세굴깊이추정을 위해 제안된 방법과 기존방법의 비교로 제한되었습니다. 불확실성의 다른 원인은 추가 연구주제로 남아 있습니다.

9.2 결론

이 절에서는 본 연구의 수로실험 및 관련분석에서 도출된 주요 결론을 요약합니다. 절 9.3은 추가연구를 위한 권장사항을 제공합니다.

이 연구에서 관심 있는 개수로 수축은 교량횡단에서 하천과 관련된 수축이었습니다. 대부분의 수로횡단의 경우 교량은 수축의 짧은 부분 바로 근처에 있습니다. 더욱이, 수축은 초기에 폭이 균일한 수로에 중첩되도록 취해졌습니다. 이 배열은 하나의 주수로가 있고 범람원이 없는 강에서 다리를 건너는 것을 나타냅니다. 이 연구에는 상당한 범람원이 있는 수로(즉, 복합수로)는 포함되지 않았습니다. 주요결론 내

용을 참고하시려면 원문의 내용을 참고하시기 바랍니다.

9.3 추가 연구를 위한 제안

이 최신 수정된 수축세굴의 수리학적 분석결과는 추가조사를 위한 주제에 대한 일련의 권장사항으로 이어집니다.

1. vena-contracta coefficient, K_v 의 값은 다른 입구모양, 특히 교량교대(예: 유출-통로 또는 수직 벽 교대)의 전형적인 모양에 대해 결정되어야 하며, 이는 일반적으로 교량-수로 교차점의 입구를 형성합니다. 1D 및 2D 수치모델은 수축입구에서 흐름분리영역을 정확하게 예측하지 못하기 때문에 K_v 값을 추정하려면 추가 실험연구가 필요합니다.
2. vena-contracta 계수 K_v 의 적용을 개선하고 적용을 일반화하기 위해서는 추가연구가 필요합니다. 보정된 CFD 모델링은 이러한 연구를 지원합니다.
3. 불균일하고 거친 퇴적물로 구성된 지층에 대해서는 추가적인 연구가 필요합니다. 이러한 바닥은 보호바닥을 개발할 수 있습니다. 비교적 균일한 0.26mm 모래를 사용한 현재 수로실험은 수축세굴(및 모서리 세굴)이 보호효과에 얼마나 민감한지를 평가하지 않았습니다.
4. 본 연구에서 사용된 것보다 더 큰 전단응력 비 범위에 대해 실험을 수행해야 합니다. 이러한 실험은 본 연구에서 평가된 개념적 경향을 확인하거나 수정하기 위해 필요합니다.
5. 교각의 존재로 인한 수축세굴에 대한 영향을 조사해야 합니다. 교각은 vena-contracta 부분을 수정하고 이 부분에서 현재 설명되지 않은 추가 난류를 생성합니다.
6. 수축된 범위에서 부유퇴적물 하중 대 상하중의 상대적 영향에 대한 연구가 필요합니다.
7. 교량수로 수축 시 지반세굴저항 및 지반공학문제를 조사해야 합니다. 이 연구의 결과는 응집성 물질과 침식 가능한 기반암의 세굴평가를 수용하기 위해 일반화되어야 합니다.
8. 교량수로 수축 시 진입조건 및 받음각(스큐)의 영향을 평가하기 위해 추가실험 또는 컴퓨터 조사가 필요합니다.
9. 세굴 후 흐름깊이로부터 수축세굴을 계산하기 위한 기준으로 하류 흐름깊이를 사용하는 것의 적합성을 평가하려면 추가적인 실험 또는 컴퓨터 조사가 필요합니다.
10. 힘 감소개념(절 8.2.6에 소개됨)의 적용에 대한 추가연구는 널리 등급이 매겨지거나 점착력이 있는 지반재료가 있는 교량과 다양한 침식성을 갖는 토양층에 기초한 교량에 대한 세굴과정에 대한 우리의 이해를 향상시킬 것입니다(항목 3 및 7). 이 연구에서 개발된 것을 포함하여 기존의 세굴 예측방법은 이러한 더 복잡한 조건에 적용되지 않을 수 있습니다.

<원문제목> Revised Clear-Water and Live-Bed Contraction Scour Analysis

<원문출처> Transportation Research Board. 500 Fifth St. NW, Washington, D.C. 20001