

트랜치 굴착시 토석붕괴 방지시설에 대한 검토

2002.12.31

영산
남안
대전
대보
건
학
연구
교원

건설분야 - 연구자료
연구원 2002
S-RD-I-2002

Occupational Safety and Health
Research Institute

OSHRI

2002 연구보고서

트렌치 굴착시 토석붕괴 방지시설에
대한 검토

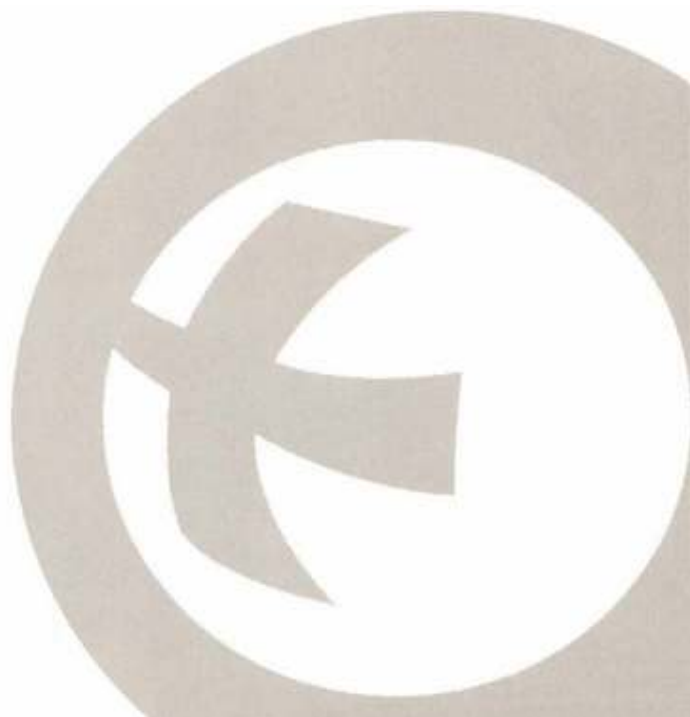
Preventing Techniques of Landslide
Soil-Rock in Trench Excavation



한국산업안전공단
산업안전보건연구원



영남대학교



건설분야 - 연구자료
연구원 2002
S-RD-I-2002

트랜치 굴착시 토석붕괴 방지시설에 대한 검토

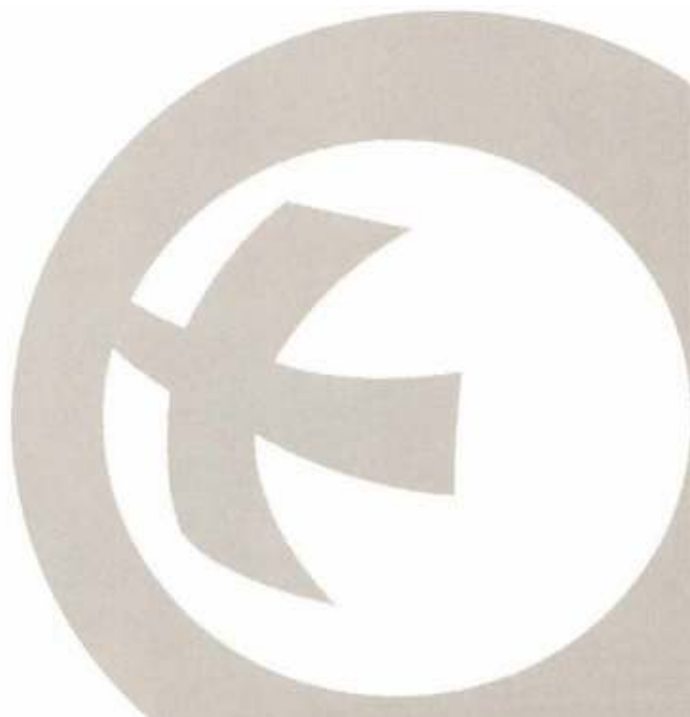
Preventing Techniques of Landslide Soil-Rock in Trench Excavation



한국산업안전공단
산업안전보건연구원



영남대학교



제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

한국산업안전공단 산업안전보건연구원의 2002년도 건설안전분야 위탁연구과제로 수행한 『트랜치 굴착시 토석붕괴 방지시설에 대한 검토』의 최종 보고서를 제출합니다.

2002년 11월 일

위탁연구기관 : 영남대학교 방재연구소

연구 책임자 : 책임연구원 지 홍 기

공동 연구자 : 김희덕 (경일대학교 조교수, 공학박사)

허창환 (충주대학교 강사, 공학박사)

연구 보조원 : 송시훈 (경산대학교 강사, 박사과정)

이영민 (포항1대학 겸임교수, 박사과정)

임기석 (영남이공대학 강사, 박사과정)

요 약 문

1. 과제명 : 트랜치 굴착시 토석붕괴 방지시설에 대한 검토

2. 연구기간 : 2002년 7월 24일 ~ 2002년 11월 23일

3. 연구자

가. 연구책임자 : 책임연구원 지 홍 기

나. 공동연구자

김희덕 : 경일대학교 조교수, 공학박사

허창환 : 충주대학교 강사, 공학박사

다. 연구보조원

송시훈 : 경산대학교 강사, 박사과정 수료

이영민 : 포항1대학 겸임교수, 박사과정 수료

임기석 : 영남이공대학 강사, 박사과정 수료

4. 연구 목적

하천, 저지대 및 급경사지역 주변의 건설현장에서 트랜치 굴착과 토석의 붕괴방지 시설은 지반의 역학적 특성과 지지구조의 역학적인 기능을 정확히 파악해야 하고 사용 지지구조물 및 재료의 선택은 지반의 지질조건에 따라 달라지므로 그 기준을 정하는 것은 매우 중요한 문제이다. 그러나 이러한 트랜치 주변의 지반구조와 트랜치 크기 그리고 트랜치 붕괴방지용 간이 흙막이의 구조와 부재의 역학적 안정성 등을 체계화시켜 현

장여건에 적합한 토석붕괴 방지시설을 도입할 수 있는 기준과 근거가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 건설현장에서 트랜치를 굴착할 때, 흔히 발생하기 쉬운 토석붕괴를 방지하기 위하여 섬유강화 플라스틱(Fiberglass Reinforced Plastics : FRP)과 같이 내구성, 내식성, 강도, 일시적인 충격이나 압력에 대한 복원력과 기능성이 우수하고 철의 1/5, 알루미늄의 3/5 정도로 경량화된 소재(제품)를 이용한 간이 흙막이 부재의 제작과 사용가능성을 검토하여 현장에서 실제 안전하게 사용할 수 있는 공법과 시설의 기준을 정하는데 목적이 있다.

5. 연구범위와 내용

가. 연구배경

본 연구에서 취급하고자 하는 트랜치의 토석붕괴 재해는 우리나라 건설현장에서 발생하는 재해 중에서 중대재해로 분류되어 있으며, 건설현장의 책임자, 설계자 및 발주기관에서는 그 예방대책에 각별한 관심, 공법의 보장, 사용자재의 품질개량 등에 비중을 두어 재해율을 낮추기 위해서 노력해오고 있다. 그럼에도 불구하고 토사 또는 암반의 붕괴사고는 늘어만 가고 있는 실정이다.

따라서 토석의 붕괴재해는 건설현장에서 지반굴착, 산악지 절성토, 터널 굴착 등을 포함한 토사와 암반 붕괴재해를 중심으로 빈발하고 있으므로 이들 현장에서 토석의 붕괴원인, 조치와 예방대책, 중대재해 사례 등을 분석하여 안전관리자, 시공책임자, 작업자에게 굴토공사에 있어서 안전계획 수립 및 안전조치상의 사전예방을 할 수 있는 구체적이고 체계적인 연구가 필요하게 되었다.

나. 연구범위

트렌치 굴착시 토석붕괴 위험에 대한 공사전 사전평가와 공사중 유지관리상의 안전성을 확보하기 위하여 토석붕괴 방지구조를 검토하고 토석붕괴 방지시설 구조의 접합방법의 적정성 검토 및 흙막이 구조체의 역학적 거동과 규격의 표준화를 검토하기 위해서

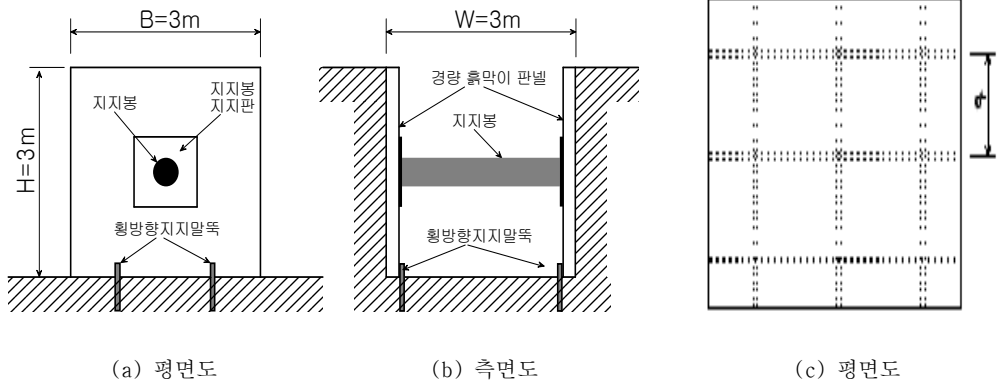
- 1) 흙막이 부재의 적정성 검토
- 2) 흙막이 구조의 구조적 안정성 검토
- 3) 흙막이 구조의 경제성 및 실용성 평가

등이며, 이를 위해서 토석붕괴를 방지할 수 있는 토석붕괴방지 구조물의 부재 및 가설물의 안정성을 검토 연구한다.

다. 연구내용

건설현장의 트렌치 굴착시에 기존의 토석붕괴 방지시설 공법은 흙막이 벽체공법과 흙막이 지지공법으로 구분하고 있으며, 또한 기존 토공 가시설 흙막이의 해체과정에서 발생하는 문제점은 ① 흙막이 벽의 갑작스런 응력 불균형 발생, ② 해체시에 발생하는 위험성, ③ 구조체와 상호 간섭에 의한 시공의 어려움, ④ 자재의 손실(손상), ⑤ 해체에 소요되는 공사기간의 과다 등이 있다.

따라서 본 연구과제는 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 하천, 저지대 및 급경사지역 주변의 건설현장에서 트렌치를 굴착할 때, 흔히 발생하기 쉬운 토석붕괴 방지구조(판넬 및 지지구조)의 검토, 토석붕괴 방지구조(판넬 및 지지구조) 접합방법의 적정성 검토 및 흙막이 구조체의 역학적 거동과 규격의 표준화 검토를 연구하여 실무에 활용토록 한다.



[그림] 경량 흙막이구조체의 단면형상

(1) 토석붕괴 방지구조(판넬 및 지지구조)의 검토

(가) 위험도 사전평가 검토

- 1) 트렌치 주변의 지반(지질) 조사
- 2) 트렌치 주변지역의 배수위 분석
- 3) 트렌치 절개부의 붕괴 위험 평가
- 4) 트렌치 흙막이 구조의 안전도 평가

(나) 안전관리기법 검토

- 1) 트렌치 내부의 양·배수 검토
- 2) 트렌치 주변지역의 배수 검토
- 3) 트렌치 흙막이 부재의 적정성 검토
- 4) 트렌치 흙막이 구조의 접합부의 안정성 검토

(2) 토석붕괴방지 시설구조의 접합방법의 적정성 검토

(가) 흙막이 부재의 적용성 검토

- 1) 기존 재료의 검토
- 2) 재료(부재)의 경량화 검토
- 3) 재료의 배수성 및 기능성 검토
- 4) 재료(토질)의 역학적 성능 검토

(나) 흙막이 구조의 역학적 안정성 검토

- 1) 경량 흙막이 구조체의 형상
- 2) 경량 흙막이 구조체의 채원 및 단면특성
- 3) 적용 토질상수 및 토압

(3) 흙막이 구조체의 역학적 거동 및 규격의 표준화 검토

(가) 경량 흙막이 구조체의 역학적 거동검토

(나) 흙막이 구조체의 안정성 검토

6. 활용계획

건설현장을 설치할 준비단계에서는 본 연구결과에서 제시하는 현장 안전 관리 지침서를 현장에 비치하여 사전평가를 수행하는데 활용할 수 있으며, 건설현장의 장기간 유지관리에 있어서도 본 연구에서 수행한 유지관리기준을 근거로 수시로 점검함으로써 현장의 안전관리에 활용할 수 있음.

7. 연구개요

본 연구에서는 트랜치 굴착시 토석붕괴 방지시설에 대한 시공상의 안전성과 시공성, 그리고 작업성에 주안점을 두어 재료의 경량화 및 구조체의 표준화를 시도하였다. 즉, 위험도 사전평가와 안전관리기법을 검토하고 흙막이 부재의 적용성과 흙막이 구조의 역학적 안정성을 검토하였으며, 이들 결과로 부터 흙막이 구조체의 역학적 거동메카니즘 규명과 규격의 표준화를 위해서 경량흙막이 구조체의 구조안전성과 구조해석을 MIDAS/CIVIL, Ver. 5.4.0 범용구조해석 프로그램으로 수행하였는 바, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(가) 토석붕괴 방지구조의 위험도 사전평가를 위한 트랜치 주변의 배수위 분석과 배수체계를 수립하고 절개지 토석붕괴 유형을 분류하였으며, 흙막이 주변의 안전도를 평가하는 절차를 제시하였다.

(나) 트랜치 굴착지 주변의 배수계통과 트랜치 내부의 양·배수 방식을 체계화시키고 트랜치 흙막이 경량부재의 역학적 특성을 조사하여 제시하고 이를 구조체로 접합할때의 적정성과 안정성을 검토하는 과정을 체계화시켰다.

(다) 토석붕괴 방지시설에 사용할 수 있는 기존부재의 대체재료로서 불포화 폴리에스텔 수지와 유리섬유를 조합한 강화합성수지(FRP)의 역학적 성능을 검토하고 그 결과로부터 초경량재로서의 성형성과 부재로서의 사용성을 제시하였다.

(라) 흙막이 구조의 역학적 타당성과 토질역학적 조건을 고려한 신소

재 활용성을 확보하기 위하여 흙막이 부재의 역학적 성능과 부재에 작용하는 토압정수를 제시하였으며, 흙막이 구조체의 해석이론과 방법을 제시하였다.

(마) 흙막이 구조체의 경량화를 위한 강화합성수지(FRP)를 대상으로 흙막이판 구조체의 형상과 제원 및 경량 재료의 재료역학적 우수성을 제시하였다.

(바) 흙막이 판에 작용하는 토질정수와 토압분포를 검토하고 부재의 단면해석과 구조체의 안정성을 범용프로그램(MIDAS.CIVIL. Ver. 5.4.9)에 의해서 수행하여 부재의 각 부에 대한 안정성을 확인할 수 있는 해석결과를 제시하였다.

(사) 강화합성수지(FRP)를 사용한 경량판넬 부재의 지질구조가 사질토, 연질점성토 및 경질점성토인 조건을 대상으로 구조해석 결과, 지하수위 조건에 따라서 판넬의 역학적(휨모멘트, 전단력, 축응력)특성이 변화하고 있었으며, 역학적 해석결과가 허용응력 범위에 있음을 알 수 있어 이는 경량판넬이 트랜치 굴착시에 흙막이 구조로서 유용성을 알 수 있었다.

전기한 결론에 제시된 내용이 이론적으로 분석되고 해석되었으므로 실제에의 적용성을 확보하기 위해서는 일정한 축척의 모형을 제작하여 실제 하중을 재하시켜 역학적 변형을 확인할 필요가 있으며, 재료의 선택, 가설 구조물의 구성 및 부재의 변형 등에 관련된 실측이 필요할 것으로 판단된다. 따라서 흙막이 판넬의 표준화 및 실용화를 위해서는 다음과 같은 과정이 필요할 것으로 판단된다.

(가) 실제 현장에서 트랜치 굴착시 토석붕괴과정을 모형실험을 통하여 관찰하고 토석붕괴 메카니즘을 규명할 필요가 있다.

(나) 흙막이 판넬의 다양한 경량재와 안전한 구조체를 실물 크기 혹은 축소모형을 제작하여 실제에 적용하고 흙막이 구조체의 제작(조립)과 해체에 있어서의 작업성을 확인할 필요가 있다.

(다) 흙막이 판넬의 모형실험을 통한 경량구조물의 역학적 성능규명과 실제 현장에서의 실험을 실시하여 실제에서 적용상의 확장범위를 제시해야 한다.

8. 중심어

트랜치, 토석붕괴, 흙막이 부재, 흙막이 가설구조, 경량 흙막이, 강화합성수지(FRP), 경량판넬

차 례

요 약 문	i
제 1 장 서 론	1
1. 서 언	1
2. 연구의 목적	2
3. 연구범위와 내용	2
가. 연구배경	2
나. 연구범위	3
다. 연구내용	4
제 2 장 토석붕괴 방지구조(판넬 및 지지구조)의 검토	8
1. 위험도 사전평가 검토	8
가. 트랜치 주변의 지반(지질) 조사	10
나. 트랜치 주변지역의 배수위 분석	13
다. 트랜치 절개부의 붕괴위험 평가	14
라. 트랜치 흙막이 구조의 안전도 평가	17
2. 안전관리기법 검토	21
가. 트랜치 내부의 양배수 검토	21
나. 트랜치 주변지역의 배수검토	24
다. 트랜치 흙막이 부재의 적정성 검토	25
라. 트랜치 흙막이 구조의 접합부 안정성 검토	31

제 3 장 토석붕괴 방지시설 구조의 접합방법의 적정성 검토	35
1. 흙막이 부재의 적용성 검토	35
가. 기존 재료의 검토	35
나. 재료(부재)의 경량화 검토	41
다. 재료의 배수성 및 기능성 검토	43
라. 재료(토질)의 역학적 성능 및 검토	44
2. 흙막이 구조의 역학적 안정성 검토	46
가. 경량흙막이 구조체의 형상	46
나. 경량 흙막이 구조체의 제원 및 단면특성	47
제 4 장 흙막이 구조체의 역학적 거동 및 규격의 표준화 검토	53
1. 경량 흙막이 구조체의 역학적 거동검토	53
2. 흙막이 구조체의 안정성 검토	55
가. 경량판넬의 안정성 검토	55
나. 지지봉의 안정성 검토	66
제 5 장 결론 및 건의	70
1. 결 론	70
2. 건 의	72
참고문헌	73
부 록	74

표 차 례

<표 2-1> 흙막이용 가설강재 SS41 및 용접부와 접합용 강재	62
<표 2-2> 강시판의 허용응력도	92
<표 2-3> PC강재의 허용인장응력도	93
<표 2-4> 목재의 허용응력도	13
<표 3-1(a)> SS 패널의 규격(틀 본체)	63
<표 3-1(b)> SS 패널의 규격(수평 버팀대)	73
<표 3-1(c)> SS 패널의 규격(종형)	73
<표 3-2(a)> 슈퍼 패널의 규격(패널)	104
<표 3-2(b)> 슈퍼 패널의 규격(수평버팀대)	114
<표 3-3> 토질의 역학적 특성	54
<표 3-4> FRP와 각종 구조재료의 기계적 성질	84
<표 3-5> 토질상수	25
<표 4-1> 경량판넬의 구조해석 결과	55
<표 4-2> 지지봉의 해석결과	66
<표 4-3> 대상 기둥의 모드별 좌굴하중	96

그 립 차 례

[그림 1-1] 경량 흙막이구조체의 단면형상	4
[그림 1-2] 경량판넬의 세부형상	5
[그림 2-1] 토석붕괴 위험도의 사전평가 절차	9
[그림 2-2] 굴착부 자연지반 붕괴형태	61
[그림 2-3] 굴착상단 및 천단부 상재하중에 의한 붕괴형태	61
[그림 2-4] 트랜치 흙막이 구조도	91
[그림 2-5] 흙막이 구조체의 구조해석 및 안전도 평가과정	102
[그림 2-6] 응력의 방향	82
[그림 2-7] 재해발생 개요도	23
[그림 2-8] 허빙현상 개요도와 구조도	33
[그림 3-1] SS 패널	63
[그림 3-2] 스피드 패널	83
[그림 3-3] 스피드 패널의 시공방법	93
[그림 3-4] 슈퍼 패널	104
[그림 3-5] 경량 흙막이구조체의 단면형상	24
[그림 3-6] 경량패널의 세부형상	24
[그림 3-7] 버팀대로 받친 사질토	34
[그림 3-8] 지주로 받친 사질토에 작용하는 토압	44
[그림 3-9] 버팀대에 걸리는 하중의 계산	44
[그림 3-10] 경량 흙막이구조체의 단면형상	64
[그림 3-11] 경량판넬의 세부형상	74

[그림 3-12] 버팀굴착시의 토압분포 모델	05
[그림 4-1] 흙막이 구조체의 모델링 및 외력	45
[그림 4-2] 평판의 좌표계와 단면력의 부호규약	55
[그림 4-3] 단위길이당 리브의 등가단면적	65
[그림 4-4] 지하수위 및 토질의 변화에 따른 M_{xx} 의 변화	16
[그림 4-5] 지하수위 및 토질의 변화에 따른 M_{yy} 의 변화	16
[그림 4-6] 지하수위 및 토질의 변화에 따른 V_{xx} 의 변화	26
[그림 4-7] 지하수위 및 토질의 변화에 따른 V_{yy} 의 변화	36
[그림 4-8] 지하수위 및 토질의 변화에 따른 최대변위의 변화	56
[그림 4-9] 지하수위 및 토질의 변화에 따른 지지말뚝의 반력 변화	66
[그림 4-10] 지하수위 및 토질의 변화에 따른 지지봉의 축하중 변화	76

제 1 장 서 론

1. 서 언

건설공사 현장에서 발생하는 중대재해는 크게 추락재해, 붕괴재해 및 중기재해로 나눌 수 있는데, 그 중에서 붕괴재해는 토사붕괴, 암반붕괴, 타설 콘크리트 붕괴, 철골붕괴 등이 있다. 특히, 이 중에서 토사붕괴는 굴착규모가 클 경우에는 비교적 완벽한 사전준비와 붕괴방지에 필요한 설계기준과 재료의 선택이 일반적으로 표준화되어 있다. 그러나 상수관, 하수관, 가스관 및 전력·통신선 관로 등을 도로 혹은 공공용지에 신속히 매설하고 되메우기 할 경우에는 토사의 붕괴를 막기 위한 가설공사의 구조물 설계 및 시공방법 표준화되어 있지 않아서 건설현장에서는 토석붕락 사고가 빈발하고 있다. 특히, 굴착 규모(깊이와 폭)가 작고 신속한 매설이 요구되는 현장에서는 주로 가설흙막이 구조를 사용하고 이들 가설구조물은 해체·이설을 반복하는 가설구조물로서의 특징을 지니고 있다.

건설현장에서 트랜치 굴착은 흙막이 가설구조물에 의해서 진행이 되기 때문에 해체와 이동(재조립)이 용이해야 하고 가설구조물의 자중이 적어야 하는 요건이 필요로 하다. 뿐만 아니라 가설구조물 내에서는 관로 매설 등의 작업이 진행되어야 하므로 가능한 충분한 작업공간이 필요하다. 따라서 트랜치 굴착시에 사용되는 흙막이 가설구조물은 경량재료로서 조립과 해체가 용이하고 충분한 작업공간을 확보할 수 있는 구조가 되어야 한다.

2. 연구의 목적

하천, 저지대 및 급경사지역 주변의 건설현장에서 트랜치 굴착과 토석의 붕괴방지 시설은 지반의 역학적 특성과 지지구조의 역학적인 기능을 정확히 파악해야 하고 사용 지지구조물 및 재료의 선택은 지반의 지질조건에 따라 달라지므로 그 기준을 정하는 것은 매우 중요한 문제이다. 그러나 이러한 트랜치 주변의 지반구조와 트랜치 크기 그리고 트랜치 붕괴방지용 간이 흙막이의 구조와 부재의 역학적 안정성 등을 체계화시켜 현장여건에 적합한 토석붕괴 방지사설을 도입할 수 있는 기준과 근거가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 건설현장에서 트랜치를 굴착할 때, 흔히 발생하기 쉬운 토석붕괴를 방지하기 위하여 섬유강화 플라스틱(Fiberglass Reinforced Plastics : FRP)과 같이 내구성, 내식성, 강도, 일시적인 충격이나 압력에 대한 복원력과 기능성이 우수하고 철의 1/5, 알루미늄의 3/5 정도로 경량화된 소재(제품)를 이용한 간이 흙막이 부재의 제작과 사용가능성을 검토하여 현장에서 실제 안전하게 사용할 수 있는 공법과 시설의 기준을 정하는데 목적이 있다.

3. 연구범위와 내용

가. 연구배경

본 연구에서 취급하고자 하는 트랜치의 토석붕괴 재해는 우리나라 건설현장에서 발생하는 재해 중에서 중대재해로 분류되어 있으며, 건설현장의

책임자, 설계자 및 발주기관에서는 그 예방대책에 각별한 관심, 공법의 보장, 사용자재의 품질개량 등에 비중을 두어 재해율을 낮추기 위해서 노력해오고 있다. 그럼에도 불구하고 토사 또는 암반의 붕괴사고는 늘어만 가고 있는 실정이다.

따라서 토석의 붕괴재해는 건설현장에서 지반굴착, 산악지 절성토, 터널 굴착 등을 포함한 토사와 암반 붕괴재해를 중심으로 빈발하고 있으므로 이들 현장에서 토석의 붕괴원인, 조치와 예방대책, 중대재해 사례 등을 분석하여 안전관리자, 시공책임자, 작업자에게 굴토공사에 있어서 안전계획 수립 및 안전조치상의 사전예방을 할 수 있는 구체적이고 체계적인 연구가 필요하게 되었다.

나. 연구범위

트렌치 굴착시 토석붕괴 위험에 대한 공사전 사전평가와 공사중 유지관리상의 안전성을 확보하기 위하여 토석붕괴 방지구조를 검토하고 토석붕괴 방지시설 구조의 접합방법의 적정성 검토 및 흙막이 구조체의 역학적 거동과 규격의 표준화를 검토하기 위해서

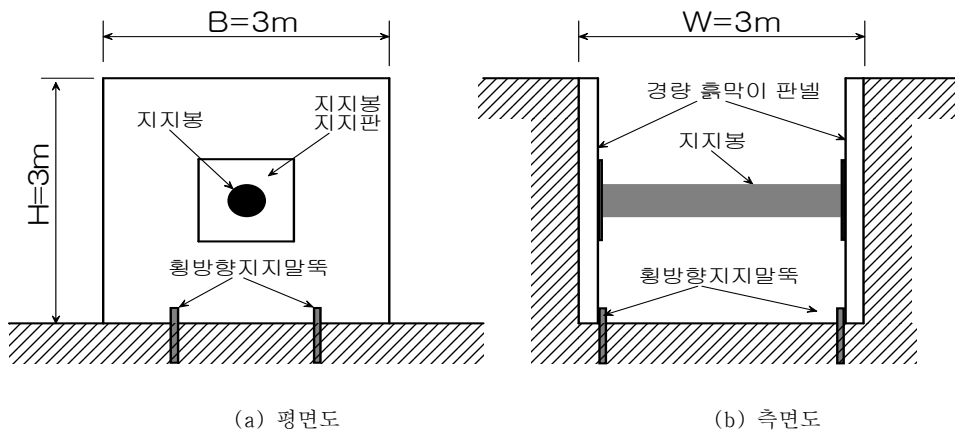
- 1) 흙막이 부재의 적정성 검토
- 2) 흙막이 구조의 구조적 안정성 검토
- 3) 흙막이 구조의 경제성 및 실용성 평가

등이며, 이를 위해서 토석붕괴를 방지할 수 있는 토석붕괴방지 구조물의 부재 및 가설물의 안정성을 검토 연구한다.

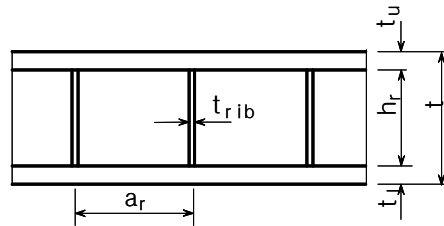
다. 연구내용

건설현장의 트랜치 굴착시에 기존의 토석붕괴 방지시설 공법은 흙막이 벽체공법과 흙막이 지지공법으로 구분하고 있으며, 또한 기존 토공 가시설 흙막이의 해체과정에서 발생하는 문제점은 ① 흙막이 벽의 갑작스런 응력 불균형 발생, ② 해체시에 발생하는 위험성, ③ 구조체와 상호 간섭에 의한 시공의 어려움, ④ 자재의 손실(손상), ⑤ 해체에 소요되는 공사기간의 과다 등이 있다.

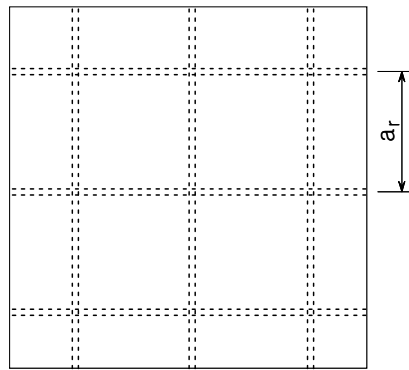
따라서 본 연구과제는 [그림1-1] 및 [그림1-2]에서 볼 수 있는 바와 같이 하천, 저지대 및 급경사지역 주변의 건설현장에서 트랜치를 굴착할 때, 흔히 발생하기 쉬운 토석붕괴 방지구조(판넬 및 지지구조)의 검토, 토석붕괴 방지구조(판넬 및 지지구조) 접합방법의 적정성 검토 및 흙막이 구조체의 역학적 거동과 규격의 표준화 검토를 연구하여 실무에 활용토록 한다.



[그림 1-1] 경량 흙막이구조체의 단면형상



(a) 단면도



(b) 평면도

[그림 1-2] 경량판넬의 세부형상

(1) 토석붕괴 방지구조(판넬 및 지지구조)의 검토

트렌치 굴착시 토석붕괴 위험을 사전에 평가하고 공사완료 때까지 트렌치 내의 토사붕괴를 억제하는 구조(판넬 및 지지구조)를 안전하게 관리할 수 있는 방안을 검토하기 위하여 위험도 사전평가 검토와 안전관리기법의 검토가 필요하다.

(가) 위험도 사전평가 검토

- 1) 트렌치 주변의 지반(지질) 조사
- 2) 트렌치 주변지역의 배수위 분석
- 3) 트렌치 절개부의 붕괴 위험 평가
- 4) 트렌치 흙막이 구조의 안전도 평가

(나) 안전관리기법 검토

- 1) 트렌치 내부의 양·배수 검토
- 2) 트렌치 주변지역의 배수 검토
- 3) 트렌치 흙막이 부재의 적정성 검토
- 4) 트렌치 흙막이 구조의 접합부의 안정성 검토

(2) 토석붕괴방지 시설구조의 접합방법의 적정성 검토

트렌치 굴착시 토석붕괴를 효율적으로 방지할 수 있는 시설구조의 접합방법을 검토하고 시설 제작에 필요한 구조체의 안정성을 검토하기 위하여 흙막이 부재의 적용성 검토, 흙막이 구조의 역학적 안정성 검토가 필요하다.

(가) 흙막이 부재의 적용성 검토

- 1) 기존 재료의 검토
- 2) 재료(부재)의 경량화 검토
- 3) 재료의 배수성 및 기능성 검토
- 4) 재료(토질)의 역학적 성능 검토

(나) 흙막이 구조의 역학적 안정성 검토

- 1) 경량 흙막이 구조체의 형상
- 2) 경량 흙막이 구조체의 체원 및 단면특성
- 3) 적용 토질상수 및 토압

(3) 흙막이 구조체의 역학적 거동 및 규격의 표준화 검토

(가) 경량 흙막이 구조체의 역학적 거동검토

(나) 흙막이 구조체의 안정성 검토

제 2 장 토석붕괴 방지구조(판넬 및 지지구조)의 검토

토석붕괴 방지지설은 공사중에 사용되며, 시공조건 및 주변환경을 충분히 고려해서 조사, 설계, 시공하는 것이 중요하다. 토석붕괴 방지지설의 검토에는 위험도 사전평가 검토, 안전관리기법 검토로 크게 나눌 수 있다.

또한 안전관리 기법의 검토에는 트랜치 내부의 양·배수 검토, 트랜치 주변지역의 배수검토, 트랜치 흠막이 부재의 적정성 검토, 트랜치 흠막이 구조의 접합부 안정성 검토를 들 수 있다.

1. 위험도 사전평가 검토

위험도 사전평가에는 트랜치 주변의 지반(지질)조사, 트랜치 주변지역의 배수위 분석 및 주변 구조물의 영향을 들 수 있는데, 건설공사에서 발생되는 산업재해를 분석하여 보면 공사의 시공계획 단계부터 대책이 미흡하여 유발된 재해가 많다. 따라서 공사에 관계되는 공법, 기계설비 등 해당 공사를 진행하는 도중에 위험성이 나타날 수 있는가를 설계단계 또는 시공단계에서 정성적, 정량적으로 평가하고 그 대책을 수립해야 한다.

산업재해가 점차 사회문제로까지 대두되는 현시점에서 공사관리에 앞서 경제성이나 품질에 대한 고려와 함께 공사 중의 안전대책에 충실할 필요가 있다. 특히, 신기술, 신공법 또는 새로운 원재료를 사용하는 공사, 터널 공사, 대규모 굴착공사, 교량공사 등 기술을 요하는 공사에서는 이와 같은 위험도의 사전평가가 더욱 필요하다.

첫째, 기초자료의 수집으로 안전성을 평가하기 위한 기초자료를 충분히

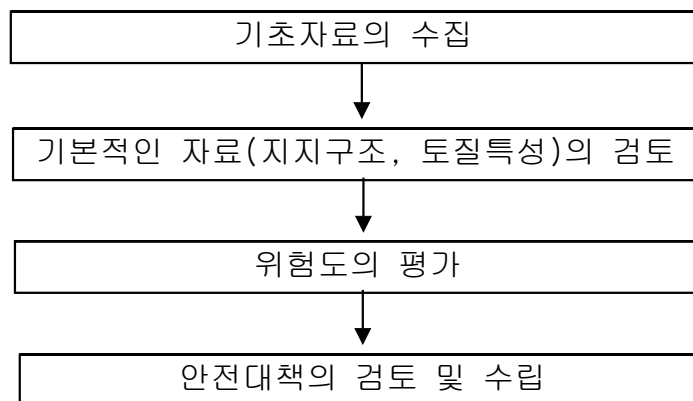
수집하고 자료의 분석으로 얻어진 정보를 토대로 안전대책을 검토한다.

둘째, 기본적인 자료의 검토로부터 시공에 있어서 필요한 안전을 확보하는데 적절한 기본적 대책이 강구되어 있는가를 확인한다.

셋째, 위험도의 평가로서 기본적인 자료에 대한 적절한 대책이 확인된 후에 당해 공사에 따르는 특수한 재해 중복 또는 빈발 가능성이 높은 것에 대해서는 시공 도중에 위험성이 있는가를 평가한다.

넷째, 안전대책의 검토로서 특정재해에 대해서는 위험도의 평가에 따라 위험성 정도로 안전대책을 검토하고 시공계획서에 충분히 고려되었는가를 확인한다.

이와 같은 특정 재해 중에서 위험도 평가에서 특히 위험도가 높다고 판단된 곳에 대해서는 기본적인 자료에서 검토한 적절한 대책이 수립되었는가를 반복 확인하고 위험도 평가를 [그림 2-1]과 같이 설정하여 토석붕괴 위험도를 사전에 평가해 나간다.



[그림 2-1] 토석붕괴 위험도의 사전평가 절차

가. 트렌치 주변의 지반(지질) 조사

트렌치 굴착시에 특히 토압에 대응하는 흙막이에 필요한 지반(지질) 조사에서는 지표 가까이 있는 지층의 역학적 성질, 지하수의 높이, 용수량 등이 중요한 조사사항이 된다. 특히, 연약지반 등에서의 굴착시에는 지질, 토질의 역학적 특성을 파악하는데 필요한 조사와 유사한 지반에서의 시공 사례를 조사해서 참고로 하는 등 세심한 조사가 필요하다.

(1) 굴착깊이가 3m 이하인 경우

일반적으로 트렌치의 굴착깊이가 얇을 경우에는 토질·지하수위 등의 조사가 소홀해지기 쉽고 흙막이 가설구조물 재료와 구조의 역학적인 검토가 생략되는 경우가 많다. 그러나 지질 및 지층구조가 약하고 지하수위가 작업공간에 걸쳐 있을 경우에는 비록 깊이가 얇은 구조물일지라도 다음과 같은 사전에 조사항목, 조사방법 및 토질·재료실험 등이 엄격히 고려되어야 한다.

(가) 조사사항

트렌치 굴착시 사전 조사사항으로는 지형 및 지질상태, 지하수위 분포에 따른 지질의 함수와 동결상태 그리고 지하매설물 유무 등을 조사해야 한다.

- 1) 지형, 지질 및 지층의 상태
- 2) 함수상태, 지하수·지표수 분포상태, 동결 유무
- 3) 지반의 지하수위 상태
- 4) 매설물 유무와 상태

(나) 조사방법

트렌치 굴착시에 전기한 사전 조사항목의 상태는 조건을 사전에 파악하기 위해서는 관련자료의 수집, 답사, 시굴, 각종 시험 및 탐사 등 검토하고 조사항목의 정밀한 상태를 파악할 수 있는 조사방법 또는 공법을 선정해야 한다.

- 1) 현장부근의 자료수집 : 지형도, 지질도, 기상자료, 기존 구조물의 공사 기록
- 2) 현장답사 : 표토상태, 노출암석, 하천의 상태, 지형, 지질, 주변지역의 구조물 상태 관찰
- 3) 시굴 : 지면에서 2~3m 굴착하여 지층구조를 직접관찰
- 4) 지내력시험 : 지층에 표준관입시험을 실시하여 지반강도 결정
- 5) 보링시험 : 지층에 보정을 실시하여 시료를 채취하고 지층의 상태를 확인
- 6) 탄성파탐사 : 탄성과 속도로 지하의 지질상태를 추정

(다) 토질실험

트렌치 굴착에서 가장 중요한 부분은 역시 지층을 구성하고 있는 흙의 물리적·역학적 성질이다. 그러므로 흙의 각종성질을 파악하기 위한 정밀한 시험방법과 필요한 시험을 선정하여 실시해야 한다.

- 1) 흙의 분류(물리)시험 : 함수량, 습윤밀도, 흙입자의 밀도, 상대밀도, 액성소성 한계 측정
- 2) 흙의 역학적 성질실험 : 전단시험, 압밀시험, 투수시험, 다짐시험, CBR 시험

(2) 굴착깊이가 3m 이상인 경우

굴착깊이가 깊은 경우는 일반적으로 구조물의 기초터파기와 지하구조물 터파기가 있으며, 지하철 또는 지하구조물 설치하는 경우에는 비교적 넓고 깊은 지하 또는 지표하에서 장기간에 걸쳐서 가시설물이 설치되고 작업기간도 길어지는 경우가 많다. 따라서 이런 경우에는 작업안전을 위한 사전준비가 완벽해야 하고 각종 규정과 법규 등을 통해서 완벽한 시공을 유도해오고 있으며, 다음과 같은 내용들이 사전조치 사항으로 고려되고 있다.

- (가) 원칙적으로, 굴착면적 $2,000 m^2$ 당 1개소, 각 개소간의 거리 $200 m$ 를 초과하지 않는 범위내에서 보링을 실시하고, 각 층의 자료를 채취해서 물리적 시험 실시
- (나) 하천부근의 하상 등 국부적으로 불량토질이 예상되는 지점에 대해서는 전기한 기준 이상으로 코어·보링을 실시
- (다) 코어·보링을 한 각 지점간은 사운딩 등에 의해 보충조사를 실시하고, 지반의 변화를 면밀하게 관찰
- (라) 굴착예정 지점에서의 코어·보링이 교통, 기타문제 등으로 불가능한 경우에는 가능한 가까운 장소에서 보링을 실시하고, 굴착예정 지점에는 사운딩 등 간단한 조사를 통해서 추정
- (마) 양 지점에 현저한 토질의 차이가 있다고 생각되는 경우에도 다시 보충조사를 실시해서 양 지점간의 변화를 명백히 규명
- (바) 불량지반에서는 시판의 말뚝깊이의 증가, 바닥버팀대의 설치 등 적절한 조치를 강구하고 동시에 공정과 공법에 대해서도 안전이 확보될 수 있도록 배려

나. 트랜치 주변지역의 배수위 분석

토석붕괴 방지시설로 지지된 굴착지점의 전면이 수위변동에 의하여 침투압이 작용하여 불균형 압력분포가 발생한다. 불균형 압력분포는 유선망을 이용하여 결정할 수 있는데 균일한 지반조건에 대한 불균형 압력분포는 대략 사다리꼴 형상으로 나타내며, 물의 흐름이 상류측으로 발생하는 경우 상향 침투압으로 인하여 토석붕괴 방지시설의 전면에서 흙의 유효단위중량은 평균동수경사에 의해서 감소하게 된다. 결과적으로 토석붕괴 방지시설 전면에서 흙의 수동저항은 감소하게 되며, 수위변동에 따른 상세한 조사 분석이 필요하다.

(1) 배수위 관련 상세지도와 대장 작성

트랜치 주변지역이 저지대이거나 평탄지역일 경우에는 배수가 어렵고 특히, 하천과 인접해 있을 경우에는 지하수위가 하천수위에 직접적인 영향을 받게 되므로 트랜치 주변지역의 하천수계도와 배수체계도의 구성 및 하천의 규모와 유황 및 이수활동 등과 관련된 내용들을 사전에 파악하여 작성해 둘 필요가 있다.

(가) 주변지역의 하천수계 구성도

(나) 주변지역의 배수체계 구성도

(다) 주변지역의 하천규모, 유황, 이수활동

(2) 저지대·연약지반의 배수관련 사항을 정밀조사

트랜치 굴착지역이 저지대이고 연약지반일 경우에는 배수와 관련한 사항을 특별히 고려해야 하며, 지하수위의 변동과 저지대의 침수시간을 조사하고 이를 신속히 배수시킬 수 있는 방안을 마련해야 한다.

- (가) 주변지역의 연약지반 분포와 심도
- (나) 트랜치 깊이와 하천수위
- (다) 지하수위 변동
- (라) 침수심/침수시간
- (마) 배수/지하수위 저감방법 결정

(3) 트랜치 작업주변의 배수계통도 및 배수계획서 작성

트랜치 작업주변의 원활한 배수체계를 수립하고 신속한 배수 및 지하수위 저감을 위해서는 주변하천의 수위와 지하수위 기록들을 사전에 검토해야 하며, 효과적인 지하수위 저감을 내수 배재시스템의 사전계획과 배수계통도의 작성이 선행되어야 한다.

- (가) 트랜치 주변지역의 하천수위 측정
- (나) 트랜치 주변지역의 지하수위 측정
- (다) 트랜치 주변지역의 내수배제 계획
- (라) 트랜치 주변지역의 지하수위 저감계획

다. 트랜치 절개부의 붕괴위험 평가

트랜치 절개부의 붕괴는 지질구조와 지하수위 조건에 따라 그 형태가

달라지며, 절개부가 붕괴되는 경우는 크게 트랜치(도랑) 굴착시 절개부 붕괴와 토류벽 붕괴로 나눌 수 있다.

(1) 트랜치(도랑) 굴착붕괴

트랜치 굴착시 절개부의 붕괴형태는 [그림2-2]의 자연지반 붕괴형태와 [그림2-3]의 굴착상단 및 천단부 상재하중에 의한 붕괴형태에 의해서 붕괴가 일어나며, 시공목적, 시공기준, 시공방식 등을 조사해보면 다음과 같다.

(가) 시공목적 : 상수도관로 매설

하수도관로 매설

GAS관로 매설

전선·통신관로 매설

(나) 시공기준 : 트랜치 제원 - 굴착폭, 굴착깊이, 굴착길이, 트랜치 절개 기간

(다) 시공방식 : 기계굴착 방식

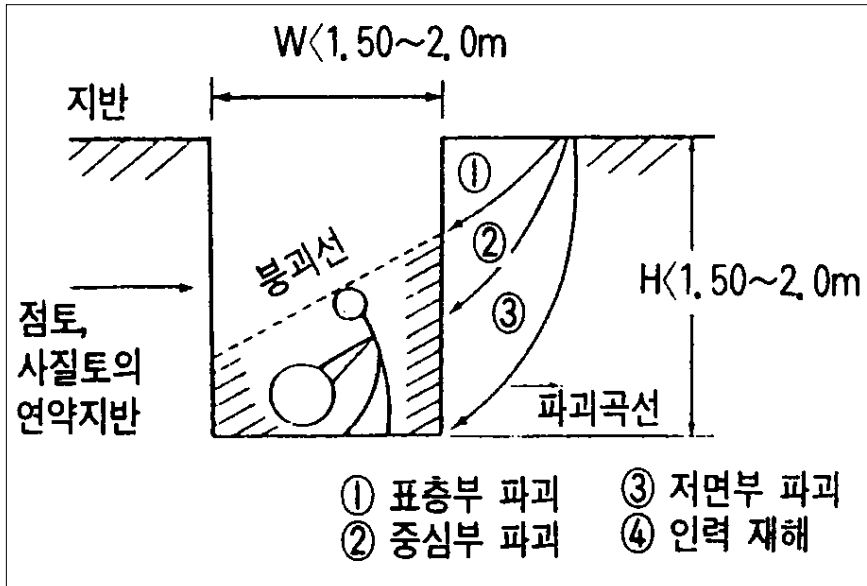
인력굴착 방식

(라) 붕괴형태

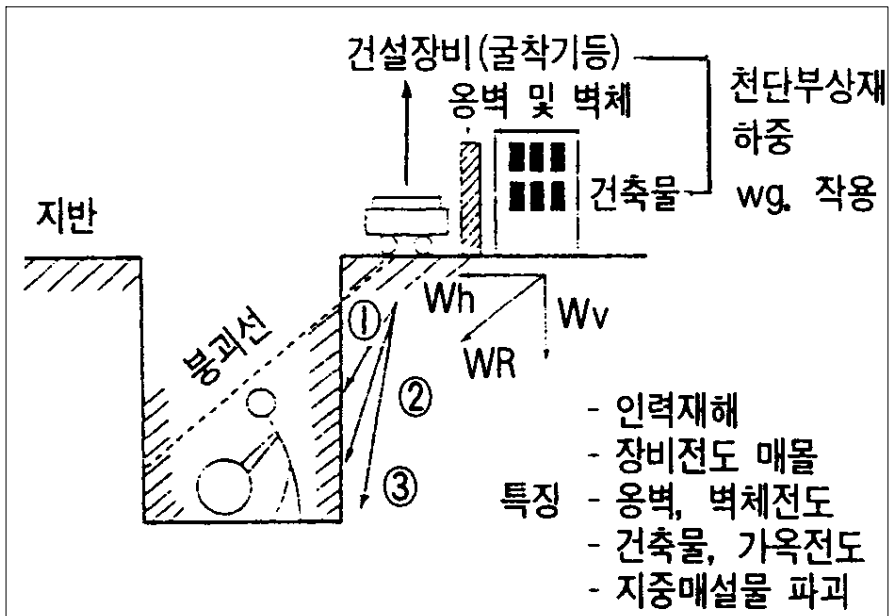
- 자연지반 붕괴 : 표층부 파괴, 중심부 파괴, 저면부 파괴

- 상재하중에 의한 붕괴 : 차량·건설장비의 재하

진동·인위적인 하중 재하



[그림 2-2] 굴착부 자연지반 붕괴형태



[그림 2-3] 굴착상단 및 천단부 상재하중에 의한 붕괴형태

(2) 토류벽 붕괴

자립식 흙막이 형식의 토류벽은 H-형강, 어스앵카 등의 구조로 굴착 단면의 파괴를 방지하기 위하여 설치하는 흙막이 구조이며, 토류벽의 파괴유형과 붕괴 재해의특성은 다음과 같다.

(가) 붕괴유형

- 버팀보 + 토류판 구조 붕괴
- 어스앵카(Earth Anchor) 구조 붕괴
- 차수벽 구조 붕괴(CIP, SCW, SGR, LW)
- 역타공법 벽체붕괴(TOP DOWN)

(나) 붕괴재해 특성

- 작업원 사망, 장비전도 매몰, 주변 지형 변화, 건축물·지중매설물 파괴, 도로, 기타구조물, 전도 및 매몰.
- 지하용출수 및 우수처리 미흡으로 토류벽 배면 토압증가로 붕괴
- 설계 사전조사 미흡으로 토류벽 검토 미비
- 가시설 토류벽 구조 결함 및 시공불량

라. 트랜치 흙막이 구조의 안전도 평가

(1) 흙막이 구조의 안정성

흙막이 구조의 안정성은 굴착깊이, 지하수위 및 상재하중에 따른 토류판의 2방향 단면력을 범용 구조해석프로그램을 사용하여 해석(토류판은 2

차원 평판요소로 모델링)하였다. 대상 토류판의 내하력을 산정하여 휨, 전단 및 합성작용에 대한 안전율을 계산하여 안정성을 검토하였으며, 좌우 패널을 연결하는 지지봉의 탄성좌굴해석을 수행하였다. 또한 지지봉의 압축응력 및 휨응력을 해석하여 안정성 검토 (지지부는 하부의 토압이 상부의 토압에 비해 크기 때문에 축력과 휨모멘트가 작용)등 모든 해석은 MIDAS/CIVIL ver 5.4.0을 이용하여 수행하였다.

(2) 트랜치 흙막이 구조의 안전도 평가

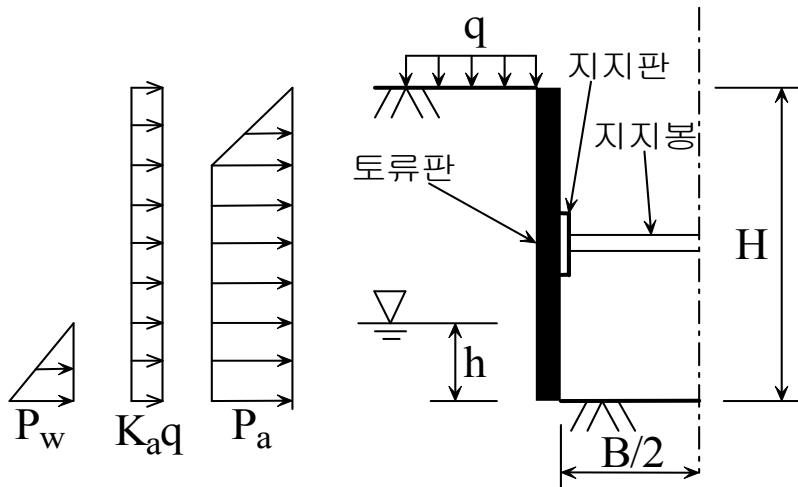
트랜치 흙막이 구조체의 안전도평가는 흙막이 구조에 작용하는 외력조건, 구조해석시의 가정조건, 재료와 허용응력 및 흙막이 구조체의 구조해석 등으로 나눌 수 있으며, 흙막이 구조체에 작용하는 외력은 [그림 2-4]와 같고 흙막이 구조체의 구조해석 및 안전도 평가정은 [그림 2-5]와 같다.

(가) 외력조건

- 토압(P_a) : 버팀굴착시의 Peck의 토압분포도 사용
- 상재하중에 의한 토압 ($K_a q$) : 건설장비, 굴착된 토사 등
- 수압 : 지하수위에 의한 하중

(나) 해석시 가정 조건

- 상재하중, 토압계수 및 지하수위 : 좌우 대칭으로 취급
- 구조체의 거동 : 탄성거동으로 가정



[그림 2-4] 트랜치 흙막이 구조도

(다) 재료 및 허용응력

－ 재료 : 토류판 - 경량소재 (강화합성수지, FRP)

지지판, 지지봉 - 강재(SM 490)

－ 허용응력, 탄성계수 : 토류판 - 인장강도 3000kgf/cm^2 을 사용

지지판, 지지봉, 연결구조 - 현행 설계기준 적용.

(라) 흙막이 구조체 구조해석

－ 모델링 : 토류판을 강재 지지판으로 지지된 2차원 평판으로 모델링

－ 구조해석방법

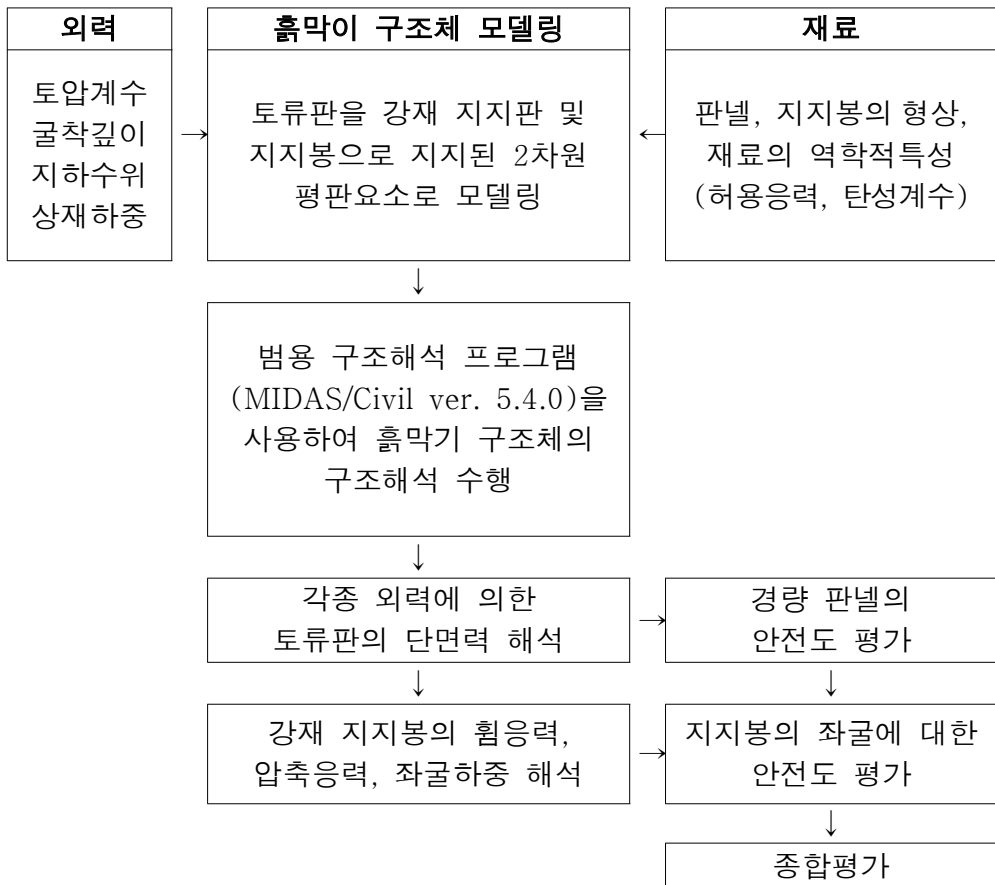
프로그램 : MIDAS/Civil

토류판의 2차원 단면력 (휨, 전단)

지지봉의 좌굴해석 : 휨-압축

- 토류판의 안전도 평가 : 흙막이 판넬의 휨모멘트, 전단력 검토
2방향 단면력의 합성작용에 대한 검토
- 지지붕의 안전도 평가 : 지지붕의 휨응력, 압축응력 검토
합성응력에 대한 검토
지지붕의 좌굴해석

(마) 구조해석 프로세스



[그림 2-5] 흙막이 구조체의 구조해석 및 안전도 평가과정

2. 안전관리기법 검토

흙막이 구조체의 안전관리를 위해서는 트랜치 내부와 주변의 양·배수 검토, 트랜치 흙막이 부재의 적정성과 접합부 안정성 검토에 관한 기법을 검토해보면 다음과 같다.

가. 트랜치 내부의 양·배수 검토

트랜치 내부의 지하수 침투는 토석붕괴의 주요 원인이 되며, 이를 사전에 배수시키기 위해서는 사전에 지형특성에 맞는 배수계획과 굴착부에 유입되는 유량을 산출하고 이를 신속하게 배제시킬 수 있는 배수계획의 수립이 필요하다.

(1) 배수계획

실제 현장에서의 굴착공사는 많은 양의 유출수로 인해서 공사장 내부의 수위저하가 곤란하거나 주변의 침하로 인하여 인접한 우물의 유량이 줄어들거나 하여 굴착을 중단해야 하는 경우가 있다. 따라서 지하수위 이하에서의 굴착공사에서는 지하수를 어떻게 처리해야 하느냐에 따라 공사의 난이도가 좌우되고 공사기간과 공사비 및 안전성에 큰 영향을 미친다. 지하수의 처리는 굴착공사에 있어서 안전시공, 재해방지 및 주변에 대한 영향에 큰 관계가 있다. 만약 지하수에 대한 검토가 불충분했다던가 지하수의 처리를 잘 못할 경우에는 흙막이 구조의 붕괴, 터파기 공사장 내부로의 토사유입에 의한 지반함몰을 유발시키며, 만약 피압수가 있는 경우에는 지지층이 되는 굴착바닥면을 교란시켜 지지력을 감소시키는 원인이 될 수

있다. 또 주변에 대해서는 수위저하에 의한 지반침하나 건물의 침하, 우물의 고갈, 인근건물의 지지력 저하, 공공매설물의 침하로 인한 피해 등이 일어날 가능성이 있다.

따라서 지하수의 유출이 예상되는 지반에서의 굴착공사를 설계할 경우에는 사전에 지하수와 주변에 대한 조사를 충분히 실시해서 지하수의 처리계획과 구체적인 배수공법 또는 차수공법에 대해서 주변에 미치는 영향을 신중히 검토해야 한다.

(2) 굴착단면내의 유입수량 산출

일반적으로, 굴착을 행하는 경우 기존의 지하수면은 굴착공정에 따라 점진적으로 강하되며, 지하구조체가 축조되어 되메움을 완료하고 양수작업을 종료하게 되면, 다시 주변의 지하수위 면까지 복원되는 것이 일반적이다. 지하수위면의 변화는 굴착면이 낮아지므로 인해 인접지반내의 당초 지하수위면과 수위차가 발생되고 이 수위차에 의해서 지반내 유로를 통해 현장으로 물의 흐름이 발생하기 때문이다.

유입수량은 여러 가지 조건이 현장과 꼭 일치되지 않은 경우가 많으며 더욱이 계절에 따라 지하수위가 변화하기 때문에 정확한 수량은 계산하기 곤란하다. 또한 수위관측공에 의해서 지하수위 강하곡선이 확인되지 않은 상황에서는 가정치를 적용하며 적용공식 역시 일반적인 Darcy 공식을 이용한다.

(3) 우수기 배수계획

우수기에 발생하는 홍수류는 트랜치 구조의 안전에 있어서 매우 불안전

한 조건이 되며, 이와 같이 우수기에는 비상근무체제 뿐만 아니라 펌프(양수기)운영과 배수로설치 등이 전제되어야 한다.

(가) 배수관련 부서의 비상근무체제 확보

(나) 배수용 펌프(양수기) 운영

- 위급상황 대처 및 펌프 유지관리를 위하여 펌프작동원을 상시 배치(가급적 자동펌프 사용)
- 트랜치 양측면에 배수용 수로를 설치하고 낮은 지점에 집수정을 설치하여 배수(배수된 물은 기존의 맨홀이나 배수로까지 연결시켜 완전배수)
- 긴급상황(폭우) 발생시 예비펌프 투입

(다) 배수로 설치

- 현장도로(차량 및 건설기계 작동지역)의 토사유실 및 우수침투를 방지할 수 있도록 적절한 횡구배를 설치하고, 좌우측에 측구(배수로)를 설치
- 토양성분이 불량한 지역은 치환조치 등을 통하여 충분한 지반지지력을 사전에 확보
- 예상되는 강우강도에 충분한 배수시설을 확보하고, 정기점검·보수 및 유지를 통해 배수시설 기능을 원활하게 유지
- 가설전선의 절연피복 등은 수시로 점검하고, 전선은 침수되지 않도록 설치

나. 트랜치 주변지역의 배수검토

트랜치 주변지역에 하천, 우수거 등이 위치해 있을 경우에는 하천의 계획홍수위, 최대홍수위, 평수위, 저수위 등을 사전에 조사하고 이들 주변의 하천수위가 트랜치 주변지역의 지하수위 상승에 따른 영향을 검토하여 배수계획을 수립한다.

(1) 배수계획 검토

- (가) 내수 배제방식 조사
- (나) 자연 배수시에는 외수위 상승(배수)의 영향을 감쇠시키는 시설유무 검토
- (다) 강제 배수시에는 배수펌프 용량 및 운영규정 등을 검토

(2) 외곽 유입수 및 현장내 표면수처리

- (가) 외부 유입수를 받는 배수로의 입구에는 스크린과 침사지를 설치하고, 날개벽이 미시공되었을 경우에는 가마니쌓기 등으로 날개벽을 설치하여 토사유입을 방지
- (나) 구조물 기초주변에 대한 토사유실 및 침수방지를 위한 가배수로 설치
- (다) 가배수로는 기매설된 배수관 및 관거와 연결하여 배수를 유도 하되 연결부에는 토사유입방지를 위한 맨홀, 침사지 등을 설치
- (라) 외곽 최대 유입수량은 구릉지, 구배가 완만한 산지 : 20년 빈도 구배가 급한 산지 : 20 ~ 50년빈도 강우강도가 적용된 합리식으

로 산출후 용량의 가배수로 및 암거를 설치

- (마) 일최대 강우량, 시간최대 강우량 등의 강우강도에 관한 자료는
인접지역의 홍수통제소, 측후소 등을 통하여 최신자료를 수집

(3) 배수로정비

- (가) 현장이 위치한 지역의 강우강도를 감안하여 충분한 배수시설
을 확보하고, 정기점검·유지·보수를 통하여 기능을 원활하게
유지
- (나) 가배수로 설치시에는 기존 수로의 충분한 용량을 고려
- (다) 가배수로는 가급적 최대경사선 방향으로 연결하여 단면의 통
수효율이 극대화가 되도록 사다리꼴 형상을 유지
- (라) 가배수로 연결부에는 토사유입방지를 위한 맨홀, 침사지 등을 설치

다. 트렌치 흙막이 부재의 적정성 검토

가설구조물에 사용하는 토목재료는 강재, 볼트·타이롯·강관·PC강재 및
목재등이 있으며, 이들 재료의 허용응력을 검토하여 흙막이 부재로서의
적정성을 확인한다.

(1) 강재

흙막이용 부재로 사용되는 강재는 주로SS41 이 널리 사용되고 있으며,
이 강재의 허용응력, 연작과 수평방향의 좌굴응력은 다음과 같다.

- (가) 흙막이용 강재 SS41의 허용응력도 :

- 건설용 강재는 인장, 압축 보증항복점강도 :

$$\sigma_y = 2,400 \text{ kg/cm}^2$$

- 허용응력도로서는 『도로교시방서』(도로협회)에 제시된 허용응력도의 값의 1.5배 채택

<표 2-1> 흙막이용 가설강재 SS41 및 용접부와 접합용 강재

구 분	응 력 도	
허용응력 인장응력도	2,100 kg/cm ²	
허용축방향 응력도 l : 부재의 길이(m) r : 부재의 총단면 2차반경(m)	$\frac{l}{r} \leq 20$	2,100 kg/cm ²
	$20 < \frac{l}{r} < 93$	$1,400 - 8.4 \left(\frac{l}{r} - 20 \right) \times 1.5 \text{ kg/cm}^2$
	$\frac{l}{r} \geq 93$	$\frac{12,000,000}{6,700 + \frac{l}{r^2}} \times 1.5 \text{ kg/cm}^2$
허용휨인장응력도	2,100 kg/cm ²	
허용휨압축응력도 l : 프랜지 고정점간 거리 (cm) b : 압축프랜지폭(cm)	$\frac{l}{b} \leq 4.5$	2,100 kg/cm ²
	$4.5 < \frac{l}{b} \leq 30$	$(1,400 - 24 \left(\frac{l}{b} - 4.5 \right) \times 1.5 \text{ kg/cm}^2$
허용전단응력도	1,200 kg/cm ²	
볼트의 허용전단응력도	1,300 kg/cm ²	
볼트의 허용지압응력도	3,000 kg/cm ²	
공장용 접부는 모재와 같은 값을 이용하며, 현장용 접부는 그 중 80%로 한다.		

(나) 강재의 연직방향 좌굴응력도

강재의 축방향과 휨방향 응력도의 관계식은 [그림 2-6]의 응력방향을 기준으로 했을 때, 다음 식(2-1)과 같다.

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_{cax}} + \frac{\sigma_{bc}}{\sigma_{ba0}(1 - \sigma_c/\sigma_{eax})} \leq 1 \quad (2-1)$$

(다) 강재의 수평방향 좌굴응력도

강재의 축방향과 휨방향 응력도의 관계식은 [그림 2-6]의 응력방향을 기준으로 했을 때, 다음 식(2-2)와 같다.

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_{cay}} + \frac{\sigma_{bc}}{\sigma_{bax}(1 - \sigma_c/\sigma_{eax})} \leq 1 \quad (2-2)$$

여기서, σ_c : 축방향 압축응력도

σ_{bc} : 휨압축응력도

σ_{cax} : X축(강축)에 관한 허용축방향 압축응력도

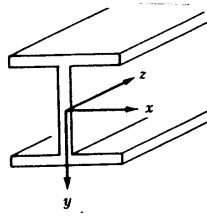
σ_{cay} : Y축(약축)에 관한 허용축방향 압축응력도

σ_{ba0} : 허용휨압축응력도의 상한치 $2,100 \text{ kg/cm}^2$

σ_{bax} : x축(강축)에 관한 허용휨압축응력도

σ_{eax} : x축(강축)에 관한 오일러 좌굴에 대한 허용응력도

$$\sigma_{eax} = \frac{12,000,000}{6,700 + (1/r_X)^2} \times 1.5 \text{ kg/cm}^2$$



[그림 2-6] 응력의 방향

(2) 볼트·타이롯·강관

강재SS41 의 가공품으로 사용되는 볼트(SS41재),타이롯(SS41재), 강관 (JIS G 3444) 및 강시판(2종)의 허용응력도는 다음과 같다.

(가) 볼트(SS41재)

- 허용전단응력도 $1,300\text{ kg/cm}^2$
- 허용지압응력도 $2,900\text{ kg/cm}^2$

(나) 타이롯(SS41재)

- 허용인장응력도 $1,400\text{ kg/cm}^2$

(다) 강관(JIS G 3444)

- 허용인장응력도

1종	STK30	$2,700\text{ kg/cm}^2$
2종	STK41	$3,600\text{ kg/cm}^2$
3종	STK51	$4,600\text{ kg/cm}^2$
4종	STK50	$4,700\text{ kg/cm}^2$

5종 STK55 4,900kg/cm²

(라) 강시판(2종) : $\sigma_{ck} = 3,000\text{kg/cm}^2$

- 강시판 모재(base mental)의 허용응력도 : 2종(SY30)

<표 2-2> 강시판의 허용응력도

(단위: kgf/cm²)

구 분	응 력 도	
강시판 모재의 허용응력도	SY30	경량강시판
허용휨인장응력도	2,700	2,100
허용휨압축응력도	2,700	2,100
현장 용접부의 허용응력도		
① 타립전에 시판을 뒀어서 양호한 시공		
조		
건으로 용접이 가능할 경우		
맞대기 용접 허용휨인장응력도	2,200	1,700
맞대기 용접 허용휨압축응력도	2,200	1,700
필렛용접 허용전단응력도	1,300	1,000
② 현장타입용접의 경우		
맞대기 용접 허용휨인장응력도	1,400	1,100
맞대기 용접 허용휨압축응력도	1,400	1,100
필렛용접 허용전단응력도	800	600

- 강시판 3종(SY40)의 강재는 휨인장, 휨압축 모두 3,600 kg/cm²를 이용
- 건립전에 시판을 옆으로 하여 하향자세의 양호한 용접일 경우는 모재의 80%
- 현장건립용접은 접속된 시판을 연직으로 건립한 상태의 이음용접일 경우는 현장용접부의 허용응력도 모재의 50% 정도

(3) PC강재

어스앵커에 사용되는 PC강재의 허용응력도는 인장응력도(σ_{us})와 항복점응력도(σ_{ys})중 적은 값을 채택한다.

<표 2-3> PC강재의 허용인장응력도

적 용 범 위	허용인장응력도
프리스트레싱 중	$0.80\sigma_{us}$ 또는 $0.90\sigma_{ys}$
프리스트레싱 직후	$0.70\sigma_{us}$ 또는 $0.85\sigma_{ys}$
사 용 상 태	$0.60\sigma_{us}$ 또는 $0.75\sigma_{ys}$

σ_{us} : PC강재의 인장강도 (kgf/cm²)

σ_{ys} : PC강재의 항복점응력도 (kgf/cm²)

(4) 목재

흙막이판에 주로 사용되는 목재의 종류에 따른 압축, 인장, 휨 및 전단응력도는 <표 2-4>와 같다.

<표 2-4> 목재의 허용응력도

목 재 의 종 류		하 용 응 력 도		
		압 축	인장, 휨	전 단
침 엽 수	적송, 흑송, 낙엽송, 노송나무 잎, 노송나무, 솔송나무, 미송, 미노송나무	120	135	10.5
	삼나무, 단풍나무, 가문비나무, 분비나무, 미노송나무, 미술송나무	90	105	7.5
활 엽 수	떡갈나무	135	195	21
	밤나무, 졸참나무, 너도밤나무, 느티나무	105	150	15
	라왕	105	135	9

라. 트랜치 흙막이 구조의 접합부 안정성 검토

트랜치 흙막이 구조의 접합부 안정성을 확보하기 위해서는 버팀보·토류판 구조붕괴, 히빙(Heaving)과 보일링(Boiling) 발생 및 토류벽 구조의 붕괴 등의 메카니즘을 이해하고 이에 대응할 수 있는 안정성을 확보해야 한다.

(1) 버팀보 · 토류판 구조붕괴

버팀보와 토류판의 붕괴는 버팀보의 설치불량, 사보강재의 설치불량, 배수처리 불량 및 장비작업 불량 등으로 나눌 수 있다.

- (가) 붕괴재해 원인 : - 띠장 설치 불량
- 설치간격 불량

- 굴토후 작업지연

- 굴착깊이 과다

(나) 버팀보 설치 불량 : - 재질불량

- 설치 경과시간 과다

- 설치간격 및 선형시공 불량

- 설치위치의 편심

(다) 사보강재 설치 불량 : - 재질불량

- 설치 경과시간 과다

- 좌굴응력 보강구조 불량

- 볼트, 너트 조임 불량

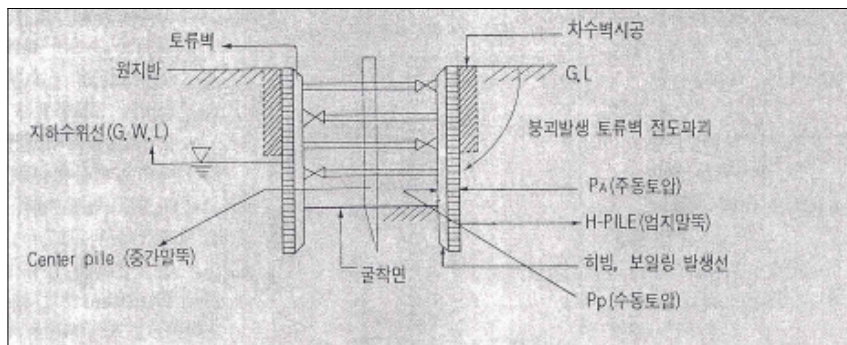
(라) 배수처리 불량 :

- 배면토압 증대의 원인은 상재하중의 과중 및 침투수압증가(강우·배수)

- 내부 굴착단면내의 배수처리 불량시

(마) 장비작업 불량

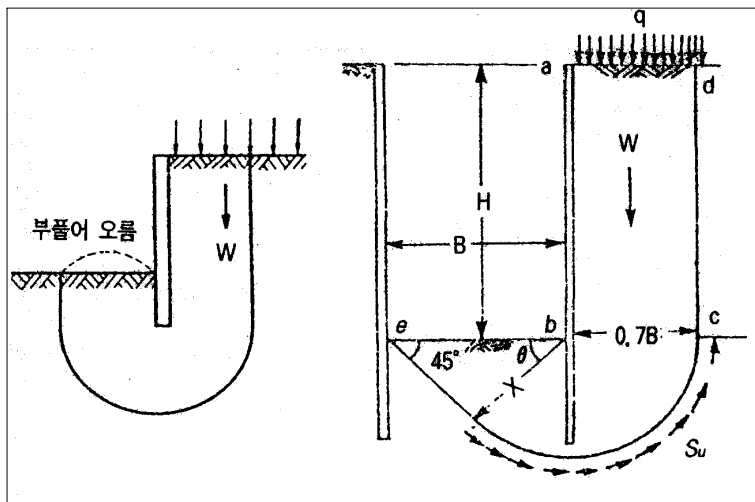
- 버팀보 구조의 굴토작업시 포크레인 등의 붐(Boom)에 의한 강재 타격, 파손시 토류벽 붕괴발생



[그림 2-7] 재해발생 개요도

(2) 히빙(Heaving), 보일링(Boiling) 발생

히빙현상은 연약한 점토지반을 굴착할 때, 굴착배면의 토석 중량이 굴착면 이하의 지반 지지력보다 크게 되어 지반내의 흙이 미끄러져 굴착저면이 부풀어 오르는 현상이며, 이를 개략적으로 나타내면 [그림 2-8]과 같다. 이에 대한 안정성검토 방법은 여러 가지가 있으나 2가지로 크게 나눌 수 있다. 첫째는 지지력에 입각한 Terzaghi-Peck의 방법, Tschebotarioff의 방법, Bjerrum-Eide의 방법이 있으며, 둘째는 모멘트 균형에 의한 검토방법이 있다.



[그림 2-8] 히빙현상 개요도와 구조도

(3) 토류벽 구조붕괴

토류벽에 변위가 발생하는 원인은 토류벽의 휨, 버팀대의 탄소성변형,

버팀대 설치의 시간적 지체(단계별 설치), 토류벽 근입깊이의 부족 등을 들 수 있다.

토류벽의 휨은 버팀대의 변형과 일체로 나타낸다. 휨량은 굴착시 최하단 버팀대 위치에서 굴착밀면 가상 지지점까지의 거리와 토류벽체의 강성 그리고 지반조건에 따라 다르게 된다. 버팀대의 압축변형으로서는 자체의 탄성적 변형 및 좌굴에 의한 변형과 토류벽 사이의 연결부에 의한 변형이 있다. 탄성적 좌굴에 의한 변형은 온도응력을 포함한 설계응력으로부터 정확하게 추정할 수 있으나 후자는 시공상의 배려에 좌우되므로 연결부를 가능한 밀착시켜야 한다. 버팀대 가설시 시간적 지체로 일어나는 토류벽의 변형에는 지나치게 깊게 굴착하여 일어나는 경우와 설치를 지연시켜 일어나는 두 가지 경우가 있다. 지나치게 깊게 굴착하여 일어나는 경우는 지점사이가 크게 벌어져 큰 변형이 발생하며, 설치를 지연시킴으로써 일어나는 경우는 지반의 크리프 특성에 따라 다르지만 버팀대의 실측기록에 의하면 점성토 지반에서는 4~8일 정도, 모래지반에 있어서는 2~3일 정도 이후에 버팀대의 반력이 최대가 되는 것으로 알려져 있다. 따라서 버팀대는 가급적 조기에 설치하는 것이 바람직하고 굴착규모가 큰 경우에는 공구를 분활할 필요가 있다.

토류벽의 근입깊이가 부족하면 근입부가 이동 변형되어 하부지반을 활동, 회전시키거나 토류벽의 변형을 크게 한다. 이 영향은 비교적 광범위하고 그 량도 크다. 한편 지하수위가 높은 모래질 지반에서는 보일링에 대한 영향을 사전에 검토해야 하는데 근입깊이의 영향이 매우 크다.

제 3 장 토석붕괴 방지시설 구조의 접합방법의 적정성 검토

트렌치 굴착시 토석붕괴를 효율적으로 방지할 수 있는 시설구조의 접합방법을 검토하고 시설제작에 필요한 구조체의 안정성을 확보하기 위하여 흙막이 부재의 적용성 검토와 흙막이 시설제작에 필요한 구조체의 안정성을 확보하기 위하여 흙막이 부재의 적용성 검토와 흙막이 구조의 역학적 안정성을 검토하도록 하였다.

1. 흙막이 부재의 적용성 검토

일반적으로 가설구조물로서 흙막이 부재의 적용성은 기존재료의 문제점을 기초로 보재의 경량화, 배수경, 기능성 및 역학적 성능 등의 물리·역학적 성질이 중요한 문제이다. 따라서 부재의 물리·역학적 성질에 기초를 둔 각각의 성능을 검토해보면 다음과 같다.

가. 기존 재료의 검토

토석붕괴 방지 가설구조로서 외국에서 많이 쓰이고 있는 SS 패널, 스피드 패널 및 슈퍼 패널의 특징을 조사해보면 다음과 같다.

(1) SS 패널

SS 패널은 틀 본체에 알루미늄제 중형 패널을 집어넣은 간이 흙막이로

서 시공방법은 [그림 3-1]과 같이 틀 본체와 중형패널을 별개로 하여 틀 본체를 도랑내에 설치한 후 중형 패널을 집어넣는다. 틀 본체에 중형패널을 볼트로 고정하여 일체형으로 한 후 도랑내에 설치한다. 틀 본체에 중형패널을 조립하여 도랑내에 설치를 하고 틀 본체와 중형패널을 연동시켜 뽑아내기가 용이하도록 한다. SS 패널의 규격은 <표 3-1(a) ~ (c)>와 같다.



[그림 3-1] SS 패널

<표 3-1(a)> SS 패널의 규격(틀 본체)

틀 본체(단측)				
형식	2단 연결복기부			패널의 수량
	길이(m)	중량(kg)	높이(m)	
18형	1.8	109.2	1.38	6
21형	2.1	124.4		7
30형	3.0	188.7		10

<표 3-1(b)> SS 패널의 규격(수평 버팀대)

수평버팀대			
형 식	신축길이	중량	적용굴착폭
40 형	41 ~ 61	17.0	73 ~ 93
60 형	61 ~ 93	15.0	93 ~ 125
80 형	81 ~ 113	16.2	113 ~ 145
100 형	101 ~ 133	17.4	133 ~ 165
120 형	121 ~ 153	18.6	153 ~ 185
140 형	141 ~ 173	19.8	173 ~ 205
160 형	161 ~ 193	21.0	193 ~ 225

<표 3-1(c)> SS 패널의 규격(중형)

중형 패널		
형식	길이 (m)	중량(kg)
20 형	2.0	9.80
25 형	2.5	12.25
30 형	3.0	14.70

(2) 스피드 패널

스피드 패널은 [그림 3-2]와 같이 3m까지의 굴착깊이에서 패널의 이음이 필요없이 내부 패널이 외부패널의 내측을따라 이동하면서 토류벽을 형성한다. 패널부재는 알루미늄제 트렌치시트를 사용하였기 때문에 초경량이다.

먼저, 외부와 내부의 패널이 단순한 일체구조가 되어 있어서 높은 작업 효율을 얻을 수 있으며, 시공방법은 [그림 3-3]과 같이 조립한 패널전체를 굴착한 구멍에 넣고 패널의 중앙 부분을 누르면서 1.7 m 깊이까지 굴착

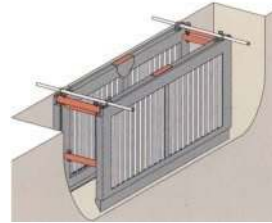
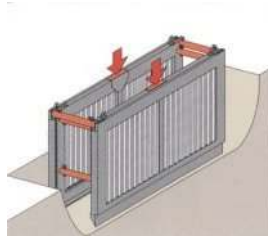
한다.

다음으로, 외부 패널에 행거 파일을 삽입하고 지반에 고정시키며, 내부 패널을 누르면서 바닥위치까지 굴착한다. 배관 작업후 완료된 후에는 되 메우기를 하면서 내부패널을 뽑아 올린다. 내부패널이 그라운드에 도달하면 외부 패널도 동시에 뽑혀져 올라오는 구조를 가진다.

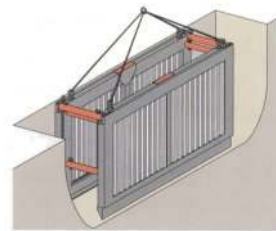
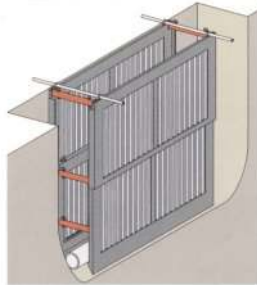
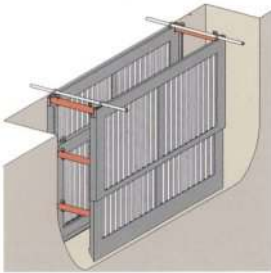
따라서 [그림 3-3]은 앞에서 설명한 바와 같이 스피드 패널의 시공과정을 도시하였으며, 시공과정을 6단계로 나누어 도식적으로 표현하고 있다.



[그림 3-2] 스피드 패널



- ① 조립한 패널전체를 미 리 굴착한 구멍에 집 어넣는다 ② 화살표부분을 누르면 서 1.7m깊이까지 굴 착한다. ③ 바깥 패널에 행거 파이 프를 삽입하고 GL에 고정시킨다.



- ④ 내부패널을 누르면서 ⑤ 배관작업 종료후, 되메 ⑥ 내부 패널이 GL에 도 바닥위치까지 굴 착 우기하면서 내부 패널 달하면 외부 패널도 동 한다 을 뽑아 올린다. 시에 뽑혀져 올라온다.

[그림 3-3] 스피드 패널의 시공방법

(3) 슈퍼 패널

슈퍼패널은 [그림 3-4]와 같이 토압에 대한 안전성이 뛰어나고 구조계 산과 실험에 의해서 안정성이 우수한 것으로 확인되어 있으며, 백호, 크레 인만으로 굴착, 삽입, 판매설, 되메우기, 뽑기까지 반복할 수 있다. 또한 알루미늄 합금을 사용하여 경량화를 꾀하였기 때문에 좁은 장소에서 위력

을 발휘하여 작업의 속도가 매우 빠르다. 백호, 크레인만으로도 시공이 가능하므로 다른 대형장비가 불필요하고 제품의 갯수가 적기 때문에 조립이 쉽고 유지보수가 용이하다. 그리고 운반의 경제성도 우수하고 인력과 공기가 대폭 절감될 수 있는 특징을 가지고 있으며, 그 규격은 <표 3-2(a)> 및 <표 3-2(b)>와 같다.



[그림 3-4] 슈퍼 패널

<표 3-2(a)> 슈퍼 패널의 규격(패널)

품명	형식	길이	높이	질량	품명	형식	길이	높이	질량
기본 패널	E3020	3,000	2,020	327	이음 패널	3010	3,000	1,020	163
	E3015		1,520	269		3005		520	104
	E2020	2,000	2,020	246		2010	2,000	1,020	116
	E2015		1,520	198		2005		520	76

<표 3-2(b)> 슈퍼 패널의 규격(수평버팀대)

품명	형식	길이	굴착폭	질량	품명		길이	질량	
수평버팀 대	40	380	700	3.5	① 패널프로텍터		3,000	52.4	
수평버팀 대	50	480	800	4.5			2,000	39.8	
	60	580	900	5.5	② 전도방지 스탠드		2,100	53.8	
	70	680	1,000	6.5	③ 수평버팀대부착 브라켓		-	3.2	
	80	780	1,100	7.5	수평 부재 옵션	④조정계축		305	3.4
	90	880	1,200	8.5		⑤조정계축용 칼라		50	0.5
	120	1,180	1,500	11.5				100	1.0
	140	1,380	1,700	13.5		⑥중간계축		210	2.6
	160	1,580	1,900	15.5		⑦수평버팀대 자키		550 ~ 750	19.8

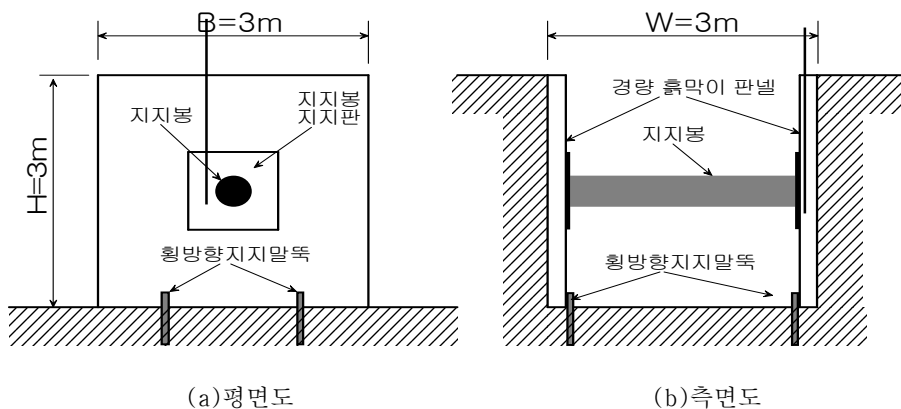
* 수평버팀대에 조정축을 붙이면 각 마디에 3단계(+105mm+155mm+205mm) 신장이 가능하다.

* 전도방지 스탠드의 질량은 1대당.

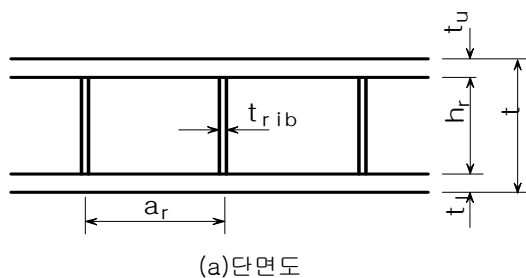
* 수평버팀대 부착 브라켓의 질량은 1개당

나. 재료(부재)의 경량화 검토

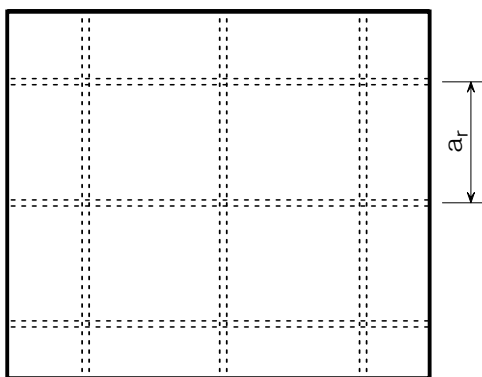
본 연구에서는 건설현장에서 트랜치를 굴착할 때, 흔히 발생하기 쉬운 토석붕괴를 방지하기 위해서 철의 1/5, 알루미늄의 3/5 정도의 중량으로 경량화되어 작업성이 뛰어난 섬유강화 플라스틱(Fiberclass Reinforced Plastics : FRP)를 사용하여 [그림 3-5]와 [그림 3-6]과 같은 구조와 형상을 가진 토석붕괴 방지시설에 대한 검토를 실시하였다.



[그림 3-5] 경량 흙막이구조체의 단면형상



(a)단면도

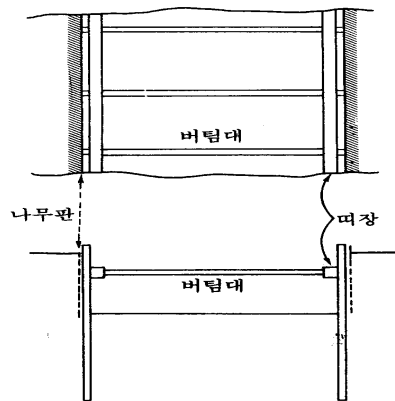


(b)평면도

[그림 3-6] 경량패널의 세부형상

다. 재료의 배수성 및 기능성 검토

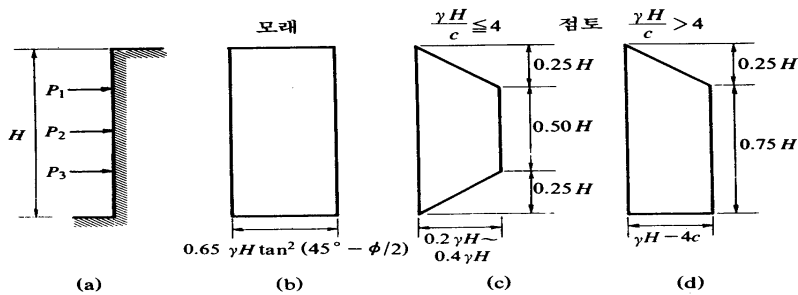
지하철이나 빌딩의 지하실을 만들기 위하여 굴토할 때에는 일시적으로 흙을 지지하도록 하기 위해서 [그림 3-7]에 나타난 흙막이 구조물을 사용하여 널막뚝이나 H형강 말뚝을 두줄로 박고 그 사이에 있는 흙을 굴착한다. H형강 말뚝을 박은 다음에 굴토가 진행됨에 따라 나무판자를 말뚝사이에 끼우는데, 토압은 앞부리 끝을 중심으로 회전하는 옹벽과는 구분하여 삼각형으로 분포하지 않고 대략 포물선 모양을 한다는 것이 측정 결과에 의하여 밝혀졌다[Terzaghi, 1943]. 흙막이벽에 작용하는 전체 토압은 옹벽에 작용한다고 본 주동토압보다 더 크다. 이러한 흙막이벽을 설계할 목적으로 토압의 크기와 분포를 계산하는 방법으로 Peck 등(1974)이 제안한 점토와 사질토에 대한 토압분포를 나타내는 방법에 의하면 사질토에 있어서 전체 토압은 $0.65 K_{Ay} H^2$ 이 되므로 옹벽에 작용하는 주동토압 $0.5 K_{Ay} H^2$ 에 비해 30% 정도 더 크다.



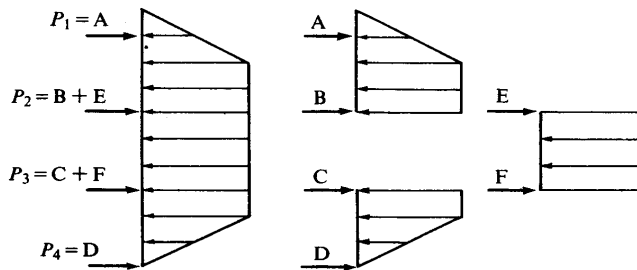
[그림 3-7] 버팀대로 만든 사질토

지주에 작용하는 하중은 [그림 3-8]에 보인 것처럼 간단히 계산된다. 토압분포를 [그림 3-8]에 따라 가정하며, 지주를 대는 위치를 [그림 3-9]와

같이 끊어 단순보를 만든다. 각 단순보의 지점에 작용하는 반력을 구하고 단순보의 지점이 겹치는 곳은 각 단순보의 반력을 합하여 반력에 저항할 수 있도록 설계한다. 띠장은 수평방향으로 인접한 지점사이의 보로 생각하여 모멘트가 저항할 수 있게 설계하면 된다.



[그림 3-8] 지주로 받친 사질토에 작용하는 토압



[그림 3-9] 버팀대에 걸리는 하중의 계산

라. 재료(토질)의 역학적 성능 및 검토

굴착하고자 하는 현장에 대한 토질의 역학적 검토는 지질 및 토질조사를 기초로 한 자료를 이용하여 <표 3-3>을 참고하여 검토한다.

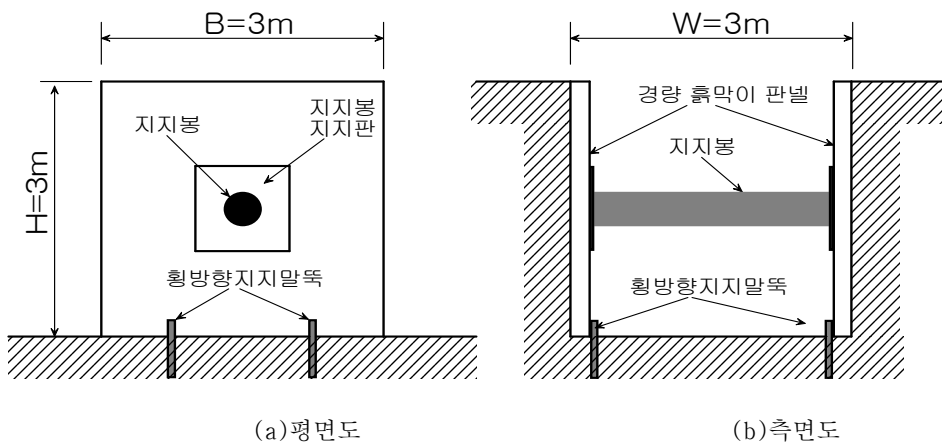
<표 3-3> 토질의 역학적 특성

흙분류의 대표명	분류 기호	다졌을 때의 투수성	다지고 포화 되었을때의 전단 강도	다지고 포화 되었을때 의 압축성	건설재료로 서의 작업성	기초	
						투수가중 요한 경우	투수가 중요하지 않은 경우
입도。분포가 양호한 자갈, 자갈-모래의 혼합토, 세립분이 거의 없음	GW	투수	매우우수	무시	매우우수	-	1
입도분포가 불량한 자갈, 자갈-모래의 혼합토, 세립분이 거의 없음	GP	높은투수	우수	무시	우수	-	3
실트질 자갈, 입도분포가 불량한 자갈-모래-점토의 혼합토	GM	반투수~불투수	우수	무시	우수	1	4
점토질 자갈, 입도분포가 불량한 자갈-모래-점토의 혼합토	GC	불투수	우수~양호	매우낮음	우수	2	6
입도분포가 양호한 모래, 자갈질 모래, 세립분이 거의 없음	SW	투수	매우우수	무시	매우우수	-	2
입도분포가 불량한 모래, 자갈질 모래, 세립분이 거의 없음	SP	투수	우수	매우낮음	양호	-	5
실트질 모래, 입도분포가 불량한 모래-실트혼합토	SM	반투수~불투수	우수	낮음	양호	3	7
점토질 모래, 입도분포가 불량한 모래-점토 혼합토	SC	불투수	우수~양호	낮음	우수	4	8
유기질 실트와 매우 가는 모래, 양분, 약간의 소성르 갖는 실트질 또는 점토질 세립모래	ML	반투수~불투수	양호	중간	양호	6	9
낮은 내지중간소성의 무기질 점토, 자갈질 점토, 모래질 점토, 실트질 점토, lean clay	CL	불투수	양호	중간	우수~양호	5	10
낮은 소성일 유기질 실트와 유기질 실트-점토	CL	반투수~불투수	불량	중간	양호	7	11
무기질 실트, 운모성 또는 규조성의 세립모래질 또는 실트질 흙, 탄성실트(elastic silts)	MH	반투수~불투수	양호~불량	높음	불량	8	12
높은 소성의 무기질 점토, fat clay	CH	불투수	불량	높음	불량	9	13
중간내지 높은 소성의 무기질 점토	OH	불투수	불량	높음	불량	10	14
Peat 및 다른 고유기질토	Pt	-	-	-	-	-	-

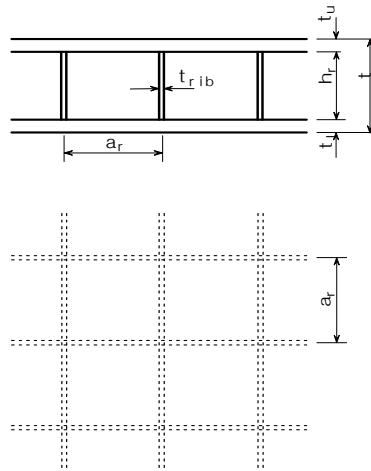
2. 흙막이 구조의 역학적 안정성 검토

가. 경량흙막이 구조체의 형상

본 연구에서 대상으로 하고 있는 흙막이 구조체는 위 [그림 3-10]과 같이 FRP재질의 흙막이용 경량판넬과 횡방향 강재 지지봉으로 구성되어 있다. 지지봉은 연결판과 일체로 용접되어 볼트 또는 적당한 연결장치를 사용하여 경량판넬의 중앙부에서 접합된다. 또한, 토압으로 인한 판넬하부의 over-turning을 방지하기 위하여 2개의 지지말뚝을 설치하여 토압으로 인한 하부 횡방향 변위를 구속하였다. FRP판넬은 위의 [그림 3-11]과 같이 내부에 가로세로 2방향 리브를 가진 중공구조로 하여 중량을 최소화하였다.



[그림 3-10] 경량 흙막이구조체의 단면형상



(b) 평면도

[그림 3-11] 경량판넬의 세부형상

나. 경량 흙막이 구조체의 제원 및 단면특성

(1) 섬유강화 플라스틱(FRP)의 허용응력

구조재료용 FRP는 불포화 폴리에스테르수지와 유리섬유를 조합한 것으로 최근에 들어 고분자재료의 연구발전과 제조기술의 발달에 힘입어 초고강도의 FRP제품이 등장하고 있으나, 본 연구에서는 FRP의 인장강도를 3,000kgf/cm로 가상하고, 일반적인 강재의 휨허용응력은 인장강도의 1/3 수준인 점을 감안하여, 아래와 같이 허용휨압축과 인장응력을 정하였다. 또, 허용전단응력은 허용휨압축과 인장응력의 1/2을 취하였다.

(가) FRP의 허용응력

(a) 단면도

- FRP의 허용 휨압축·인장응력 : $f_{ba} = 1000 \text{ kgf/cm}^2$
- FRP의 허용 전단응력 : $v_a = 500 \text{ kgf/cm}^2$

(나) FRP의 특징

- 내부식성이 우수하며, 가볍고 강하다.
- ION 용출이 전무하며, 접착성이 강해 타재료와의 접착이 양호하다.
- 성형, 착색, 설계, 가공이 자유롭고 현지 시공이 용이하다.
- 전기절연성 및 내열, 내후성이 좋아 수명이 반영구적이다.
- 외관이 미려하여 치장이 불필요하다
- 하자발생시 그 수리가 간단하고 흔적이 거의 남지 않는다.

<표 3-4> FRP와 각종 구조재료의 기계적 성질

재 료		인장강도 (kgf/mm ²)	압축강도 (kgf/mm ²)	휨강도 (kgf/mm ²)	전단강도 (kgf/mm ²)	탄성계수 (kgf/mm ²)	샤르피 충격계수 (kgf/mm ²)	비중	용도
금속 재료	구조용강 SS41	42.0	-	-	-	21,000	1,500	7.8	주구 조체
	알루미늄합금 24S-T	47.0	-	-	28.0	7,000	200 ~ 290	2.8	
	알루미늄합금 52S-0	19.0	-	-	12.7	7,000	830	2.8	
FRP	고급유리직포	33.0	28.0	50.0	8 ~ 10	2,000	130	1.8	부구 조체
	로빙직포	27.3	16.7	23.5	16.3	2,000	-	1.8	
	평직직포	20.0	15.0	26.0	8 ~ 10	1,600	100	1.7	
	유리매트	10.0	10.0	14 ~ 18	8 ~ 10	1,600	100	1.6	
플라 스틱	불포화 폴리에스테르	4.1	15.8	11.5	6.6	380	3.1	1.12	구조
	경질염화비닐수지	6.0	10.0	10.0	4.0	300	3.0	1.40	부속
	아크릴수지	7.2	10.0	10.0	4.4	280	3.0	1.40	부분

(2) 대상구조물의 제원 및 단면특성

본 연구에서 채택된 경량 흙막이 구조체를 구성하고 있는 부재의 제원과 단면치수는 다음과 같다.

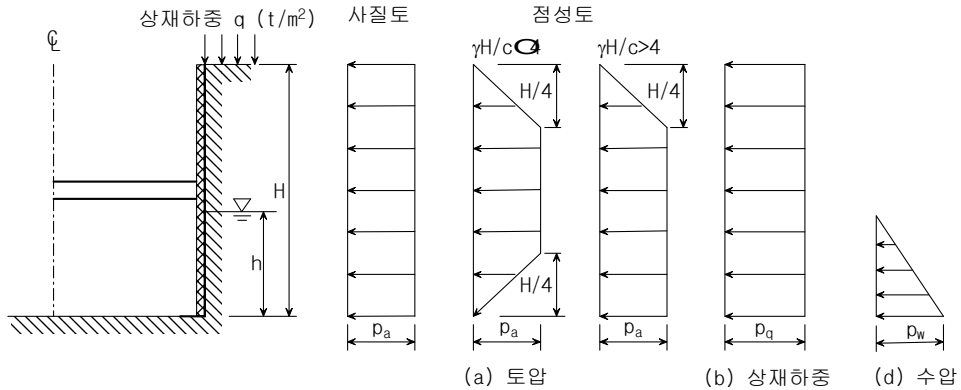
(가) 경량판넬단면의 단면치수

- 경량판넬의 높이 : $H = 3 \text{ m}$
- 경량판넬의 전체 두께 : $t = 15 \text{ cm}$
- 상·하부판넬의 두께 : $t_u = t_l = 1 \text{ cm}$
- 리브의 두께 : $t_{rib} = 0.5 \text{ cm}$
- 리브의 높이 : $h_r = 13 \text{ cm}$
- 리브의 간격 : $a_r = 20 \text{ cm}$
- 재질 : 강화합성수지 (FRP)
- 단위중량 : $\gamma_{steel} = 1.8 \text{ t/m}^3$
- 경량판넬의 중량 : $W_{fl} = (0.01+0.01) \times 3 \times 3 \times 1.8 = 0.324 \text{ ton}$
 $W_{rib} = \{(0.005 \times 0.13) \times 3 \times 300 / 20\} \times 2 \times 1.8 = 0.105 \text{ ton}$
 $W = W_{fl} + W_{rib} = 0.429 \text{ ton} = 429 \text{ kgf}$

(나) 지지봉의 단면치수

- 지지봉의 길이 : $L_s = 270 \text{ cm}$ (굴착폭 3 m)
- 지지봉의 단면 : 직경 $\phi=100 \text{ mm}$, 두께 $t=10 \text{ mm}$ 의 원형 강관 파이프
- 지지봉의 재질 : SM 490
- 단면적 : $A=28.27 \text{ cm}^2$
- 단위중량 : $\gamma_{steel} = 7.85 \text{ t/m}^3$
- 중량 : 59.9 kgf

(3) 버팀굴착부의 설계를 위한 토압분포



[그림 3-12] 버팀굴착시의 토압분포 모델

(가) 토압

- 사질토지반 : $p_a = 0.65\gamma HK_a$

단, K_a 는 Rankine의 주동토압계수로서 $K_a = \tan^2(45 - \phi/2)$ 이다.

- 점성토 :

$$1) \frac{\gamma H}{c} \leq 4 \text{ (단단한 점토지반)} : p_a = (0.2 \sim 0.4)\gamma H$$

(평균값 : $0.3\gamma H$)

$$2) \frac{\gamma H}{c} > 4 \text{ (연약 ~ 중간점토지반)} : p_a = \max \left\{ \begin{array}{l} \gamma H - 4c \\ 0.3\gamma H \end{array} \right\}$$

여기서, γ 는 흙의 단위중량, c 는 비배수 점착력, H 는 흙막이 벽의 높이, h 는 지하수위이다. 또한 지하수위(h)가 존재하는 경우, 위식의 흙의 단위중량(γ)는 아래의 평균 단위중량 γ_{av} 를 사용한다.

$$\gamma_{av} = \frac{\gamma(H-h) + \gamma'h}{H} \quad (3-1)$$

여기서, γ' 는 흙의 포화상태 단위중량(γ_{sat})에서 물의 단위중량(γ_w)을 뺀 유효단위중량으로서 다음과 같다.

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (3-2)$$

(나) 상재하중

$$p_q = K_a q \quad (3-3)$$

(다) 수압

$$p_w = \gamma_w h \quad (3-4)$$

(4) 적용 토질상수 및 토압

본 연구에서는 흙막이 구조체의 뒷채움흙을 사질토, 연질점성토 및 경질점성토의 3종류를 채택하였으며, 토질상수는 각종 문헌을 참조하여 아래 <표 3-5>와 같이 정하였다. 또한, 지하수위는 $h=0m$, 구조체높이(H)에 대하여 $h=\frac{1}{4}H$, $\frac{1}{2}H$, $\frac{3}{4}H$ 및 H 등의 5개 경우를 채택하여, 전체 15개 경

우에 대하여 구조해석을 수행하기로 한다. 단, 상재하중 q 는 충격을 포함한 값으로 한다.

<표 3-5> 토질상수

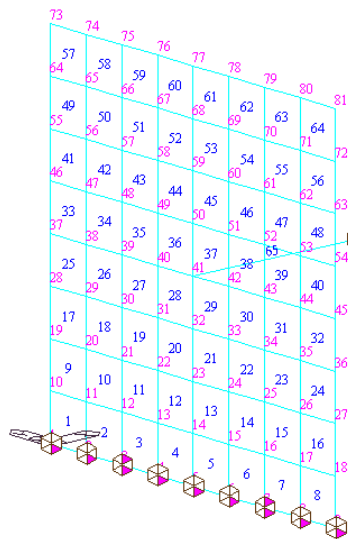
토질상수		사질토(SP)	연질 점성토(ML)	경질 점성토(CL)
단위중량 (t/m^3)	γ	1.9	1.6	1.8
	γ_{sat}	2.1	1.9	2.1
	$\gamma' = \gamma_{sat} - 1$	1.1	0.9	1.1
내부마찰각 ϕ		30°	20°	25°
점착력 c (t/m^2)		-	1.0	4
주동토압계수 K_a		0.333	0.490	0.405
상재하중 q (t/m^2)		1.0	1.0	1.0
$\gamma H/c$		-	4.8 (>4)	1.35 (<4)
$h = 0$	γ_{av} (t/m^2)	1.9	1.6	1.8
	p_a (t/m^2)	1.233	1.440	1.620
	p_q (t/m^2)	0.333	0.490	0.405
	p_w (t/m^2)	0	0	0
$h = H/4$	γ_{av} (t/m^2)	1.70	1.425	1.625
	p_a (t/m^2)	1.104	1.283	1.453
	p_q (t/m^2)	0.333	0.490	0.405
	p_w (t/m^2)	0.75	0.75	0.75
$h = H/2$	γ_{av} (t/m^2)	1.50	1.25	1.45
	p_a (t/m^2)	0.974	1.125	1.305
	p_q (t/m^2)	0.333	0.490	0.405
	p_w (t/m^2)	1.5	1.5	1.5
$h = 3H/4$	γ_{av} (t/m^2)	1.30	1.075	1.275
	p_a (t/m^2)	0.844	0.968	1.148
	p_q (t/m^2)	0.333	0.490	0.405
	p_w (t/m^2)	2.25	2.25	2.25
$h = H$	γ_{av} (t/m^2)	1.1	0.9	1.1
	p_a (t/m^2)	0.714	0.810	0.99
	p_q (t/m^2)	0.333	0.490	0.405
	p_w (t/m^2)	3.0	3.0	3.0

제 4 장 흙막이 구조체의 역학적 거동 및 규격의 표준화 검토

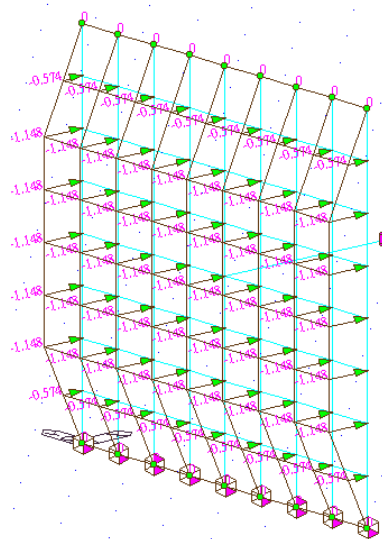
1. 경량 흙막이 구조체의 역학적 거동검토

본 연구에서는 해석에있어서 범용구조해석 프로그램인 MIDAS/CIVIL ver.5.4.0을 사용하였으며, 흙막이 구조체를 8×8 개의 판(plate) 요소로 분할하여 [그림 4-1]과 같이 모델링하였다. 여기서, 설계과정상의 효율성을 제고하기 위하여 본 구조계산시의 plate의 단면은 실제 형상과는 다른 두께 50mm 충신판으로 모델링하였다. 실제와 다른 변형에 대한 문제는 후처리과정에서 실제단면의 단면 2차모멘트를 사용하여 환산하는 것으로 대처하기로 한다. 지지봉은 평판 중앙 절점인 41 절점에 연결하였으며, 다른 단(절점 82)은 모든 변위를 구속하였다. 흙막이 구조체 하부에서 모든 절점(절점 1-9)의 Z 방향의 변위를 구속하였고, 절점 3과 7에서는 X방향의 변위를 구속하였다. 외력으로서 전술한 상재하중, 토압 및 수압을 각 해석 case별로 달리 입력하여 판요소의 단위길이당 휨모멘트, 전단력, 축방향력 및 반력을 구하였다. 아래 그림은 모델링과 입력된 외력의 예로서 경질점토(CL)의 지하수위 $h = \frac{1}{3}H$ 에 대한 것이다.

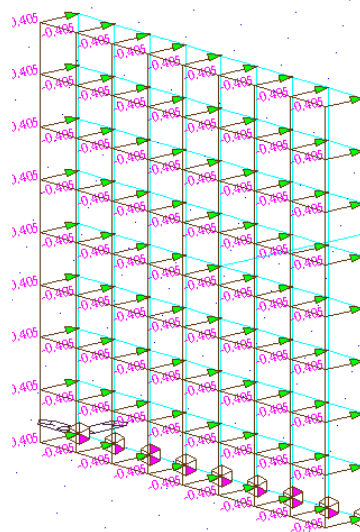
또한<부록>에는 각 Caseqf로 해석한 결과로부터 반력, 변위, 휨모멘트, 전단력을 [그림 4-2]와 같이 표현하였으며, 평판요소의 좌표계 및 단면력의 정의와 부호규약은 [그림 4-2]와 같이 표현하였다.



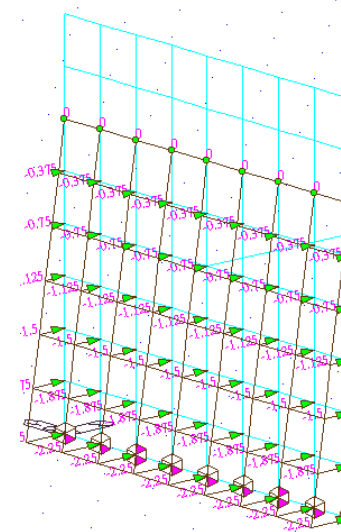
(a) 흙막이 구조체 모델링



(b) 토압(CL)

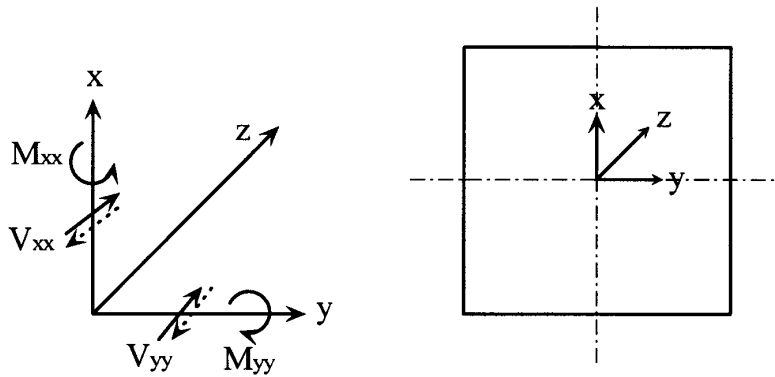


(c) 상재하중 ($q=1\text{t/m}$, $K_a=0.405$)



(d) 수압 (지하수위 $h=\frac{3}{4}H$)

[그림 4-1] 흙막이 구조체의 모델링 및 외력



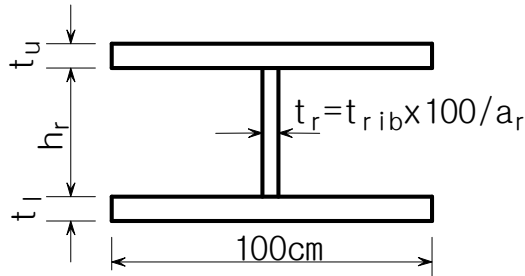
[그림 4-2] 평판의 좌표계와 단면력의 부호규약

2. 흙막이 구조체의 안정성 검토

가. 경량판넬의 안정성 검토

(1) 경량판넬의 단면상수 및 내하력

상기 판이론에 의해 해석된 판넬의 단면력은 단위길이당 단면력으로 주어지므로, 본 연구에서 채용된 판넬의 단위길이당 단면상수를 아래와 같이 구하였다. 여기서, FRP 리브의 면적은 계산의 편의를 도모하기 위하여 아래 [그림 4-3]과 같이 등가단면적으로 환산하였다.



[그림 4-3] 단위길이당 리브의 등가단면적

- 단위길이당 단면2차모멘트 : $I_{yy} = I_{xx} = 10,274 \text{ cm}^4/\text{m}$
- 단위길이당 단면계수 : $S_{yy} = S_{xx} = 1,370 \text{ cm}^3/\text{m}$
- 단위길이당 허용휨모멘트 : $M_a = (M_{ya}=M_{xa}) = f_{ba}S_{yy}$
 $= 1,000 \times 1,370 \times 10^{-5} = 13.70 \text{ ton}\cdot\text{m}/\text{m}$
- 단위길이당 복부의 면적 : $A_w = t_r \times h_r = (0.5 \times 100 / 20) \times 12 = 30 \text{ cm}^2/\text{m}$
- 단위길이당 허용 전단력 : $V_a (=V_{ya}=V_{xa}) = \tau_a A_w = 500 \times 30 \times 10^{-3}$
 $= 15 \text{ ton}/\text{m}$

(2) 2축 휨에 대한 안정성 검토

2축 휨을 받는 단면의 휨응력은 각 축에 대한 휨응력의 중첩으로 생각할 수 있으며, 안정조건은 아래와 같다.

$$f_b = \frac{M_{xx}}{I_x} y + \frac{M_{yy}}{I_y} x \leq f_{ba} \quad (4-1)$$

구조해석 결과 x 및 y방향의 최대휨모멘트는 단면 중앙에서 동시에 발생하고, 대상단면의 2차모멘트 및 상·하연 거리가 x 및 y축에서 동일하므로 상기 식을 아래와 같이 변환할 수 있다.

$$(f_b \frac{I}{y} = M) = M_{xx} + M_{yy} \leq (f_{ba} \frac{I}{y} = M_a) \quad (4-2)$$

따라서 본 연구에서는 휨에 대한 안전율을 아래와 같이 정의한다.

$$F.S._M = \frac{M_a}{M_{xx} + M_{yy}} \geq 1.0$$

전절에서 해석된 결과로부터 도출한 단위길이당 최대모멘트로부터 휨에 대한 안전율을 구하여 아래 <표 4-1>에 case별로 정리하였다. 지하수위가 상승할수록 안전율이 감소하는 경향을 보이고 있으며, 전체 해석 case에서 안전계수가 모두 1.0을 초과함을 알 수 있다. 최저값으로서는 경질점성토(CL)의 지하수위 3m일 때, $F.S._M = 1.08$ 이다.

<표 4-1> 경량판넬의 구조해석 결과

(a) 사질토의 해석결과

	SP (h=0)	SP(h= $\frac{1}{4}$ H)	SP(h= $\frac{1}{2}$ H)	SP(h= $\frac{3}{4}$ H)	SP(h=H)
M _{xx} (t·m/m)	-4.89	-4.55	-4.49	-5.01	-6.40
M _{yy} (t·m/m)	-4.88	-4.52	-4.33	-4.59	-5.84
M _a (t·m/m)	13.70				
F.S. _M	1.40	1.51	1.55	1.43	1.12
V _{xx} (t/m)	5.16	4.79	4.72	5.27	6.75
	-5.16	-4.79	-4.72	-5.27	-6.75
V _{yy} (t/m)	4.97	4.63	4.69	5.01	6.64
	-5.35	-4.94	-4.72	-5.25	-6.43
V _a (t/m)	15.0				
F.S. _V	1.43	1.54	1.59	1.43	1.12
δ _x (m)	0.143	0.131	0.118	0.114	0.143
δ _e (m)	0.0145	0.0133	0.0120	0.0116	0.0145
R _{pile} (t)	-0.021	-0.371	-1.141	-1.912	-2.267

(b)연질 점성토의 해석결과

	ML (h=0)	ML(h= $\frac{1}{4}$ H)	ML(h= $\frac{1}{2}$ H)	ML(h= $\frac{3}{4}$ H)	ML(h=H)
M _{xx} (t·m/m)	-4.98	-4.66	-4.64	-5.18	-6.60
M _{yy} (t·m/m)	-4.70	-4.38	-4.26	-4.58	-5.88
M _a (t·m/m)	13.70				
F.S. _M	1.41	1.52	1.54	1.40	1.10
V _{xx} (t/m)	5.27	4.93	4.89	5.47	6.97
	-5.27	-4.93	-4.89	-5.47	-6.97
V _{yy} (t/m)	5.03	4.72	4.82	5.40	6.83
	-5.26	-4.90	-4.73	-5.07	-6.55
V _a (t/m)	15.0				
F.S. _V	1.42	1.53	1.54	1.42	1.09
δ _x (m)	0.124	0.115	0.105	0.105	0.137
δ _e (m)	0.0126	0.0117	0.0106	0.0106	0.0139
R _{pile} (t)	-0.629	-0.969	-1.665	-2.364	-2.645

(c) 경질 점성토의 해석결과

	CL (h=0)	CL(h= $\frac{1}{4}$ H)	CL(h= $\frac{1}{2}$ H)	CL(h= $\frac{3}{4}$ H)	CL(h=H)
M _{xx} (t·m/m)	-5.03	-4.70	-4.71	-5.26	-6.69
M _{yy} (t·m/m)	-4.76	-4.43	-4.33	-4.66	-5.97
M _a (t·m/m)	13.70				
F.S. _M	1.40	1.50	1.52	1.38	1.08
V _{xx} (t/m)	5.33	4.97	4.97	5.56	7.08
	-5.33	-4.97	-4.97	-5.56	-7.08
V _{yy} (t/m)	5.02	4.72	4.85	5.45	6.89
	-5.35	-4.97	-4.83	-5.19	-6.67
V _a (t/m)	15.0				
F.S. _V	1.40	1.51	1.52	1.36	1.07
δ _x (m)	0.127	0.118	0.108	0.108	0.140
δ _e (m)	0.0129	0.0120	0.0110	0.0110	0.0142
R _{pile} (t)	-0.018	-0.368	-1.138	-1.911	-2.266

(3) 2축 전단에 대한 안정성 검토

동일한 방법으로 전단에 대해서도 아래와 같은 안전율을 정의할 수 있다.

$$F.S._V = \frac{V_a}{V_{xx} + V_{yy}} \leq 1.0 \quad (4-3)$$

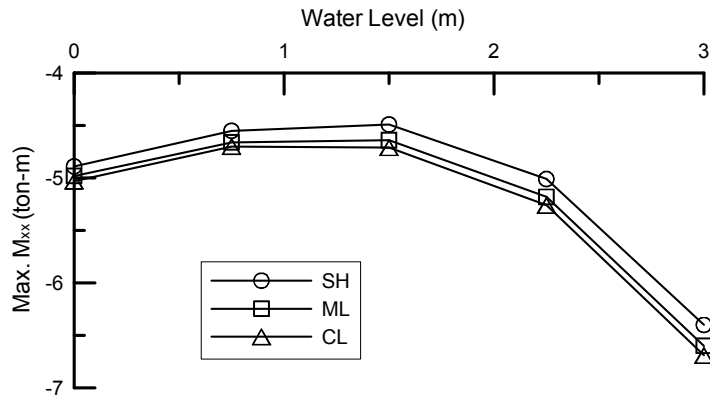
한편 전단의 경우는 동일한 위치에서 x축과 y축에 대한 최대전단력이 발생하지 않았으나, 안전측으로 위치에 관계없이 최대전단력의 절대값을 합산하여 안전계수를 구하였다. 전단력의 경우도 지하수위 상승과 함께 전단력값이 크짐을 알 수 있고, 안전율의 최저값은 휨모멘트와 동일하게 CL의 지하수위 3m일 때, 1.07로 나타났다. 위치에 관계없이 최대전단력의

절대값을 합산한 점을 고려할 때, 실제로는 이 값을 상당히 상회하는 값이 될 것이라 유추할 수 있다.

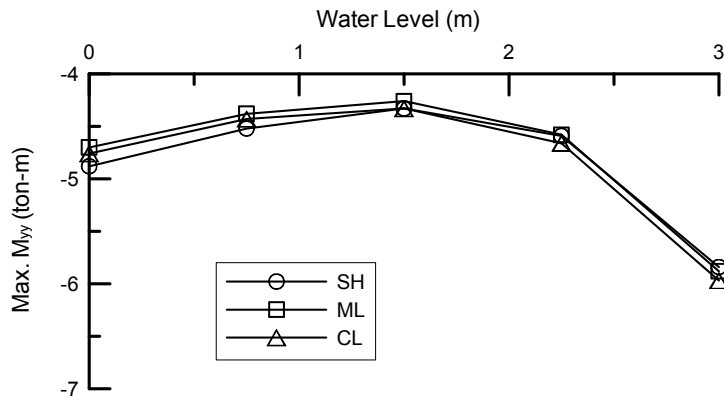
(4) 지하수위(h)변화에 따른 단면력 특성

<부록>의 평면 모멘트도로부터, M_{xx} 는 외력이 횡적으로 변화없는 좌우대칭이므로 지하수위에 관계없이 좌우대칭인 단면력을 보이고 있음을 알 있고, M_{yy} 는 지하수위가 높아질수록 하부의 모멘트가 (-)에서 (+)로 전환되어 증가하고 이는 횡방향 지지말뚝의 구속효과라고 판단된다. 또, x 및 y방향의 최대 모멘트는 평판의 중심에서 발생하고 [그림 4-4] 및 [그림 4-5]로부터 지하수위가 $h=0$ 에서 $1/2H$ 까지는 조금 감소하는 경향이 나타나지만, $h=3/4H$ 부터는 급격히 증가하여 모든 case의 M_{xx} , M_{yy} 의 최대값이 지하수위가 $h=H$ 일 때 발생한다.

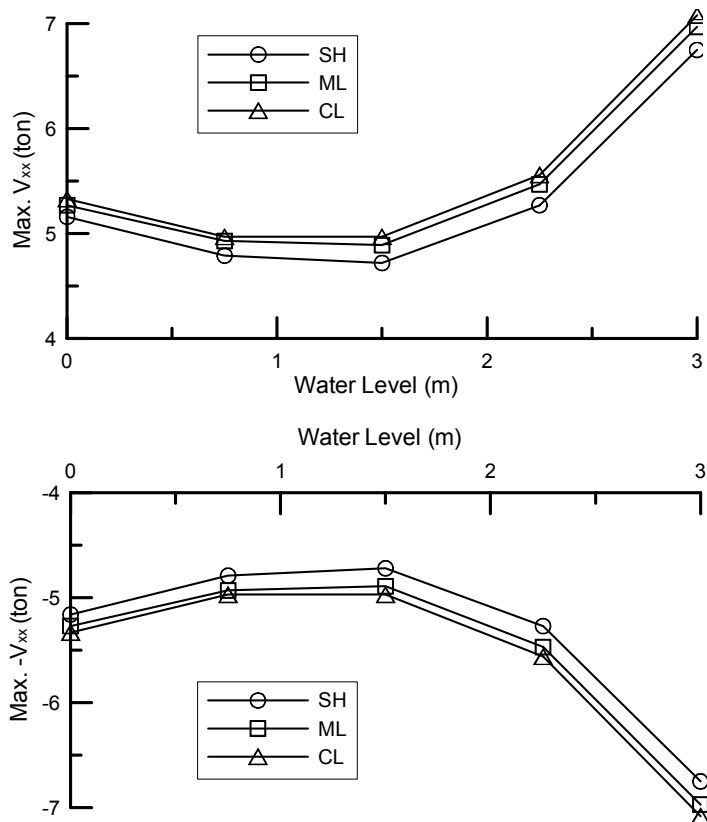
한편 평면 전단력도에서, V_{xx} 및 V_{yy} 는 각각 x축 및 y축에 대하여 역대칭적인 관계를 가짐을 알 수 있다. V_{xx} 의 경우, 지하수위의 변화와 관계없이 최대값은 중앙 단면($x = 0$)의 $y=\pm 1/4B$ 에서 발생하며, 지하수위가 증가할수록 지지말뚝의 하부의 V_{xx} 의 절대값이 증가하는 경향을 보여주고 있다. V_{yy} 의 최대값 발생점은 중앙단면($y = 0$)의 $x=\pm 1/4H$ 이며, V_{xx} 와 같이 지하수위가 증가함에 따라 하부 전단력이 증가하였다. 전단력 V_{xx} 및 V_{yy} 의 절대값은 [그림 4-6]에서부터 모멘트의 경우와 동일하게 지하수위가 $h=1/2H$ 부터 H 에 이르는 동안 급격히 증가하여 모든 case에서 $h=H$ 일 때, 최대값을 보였다.



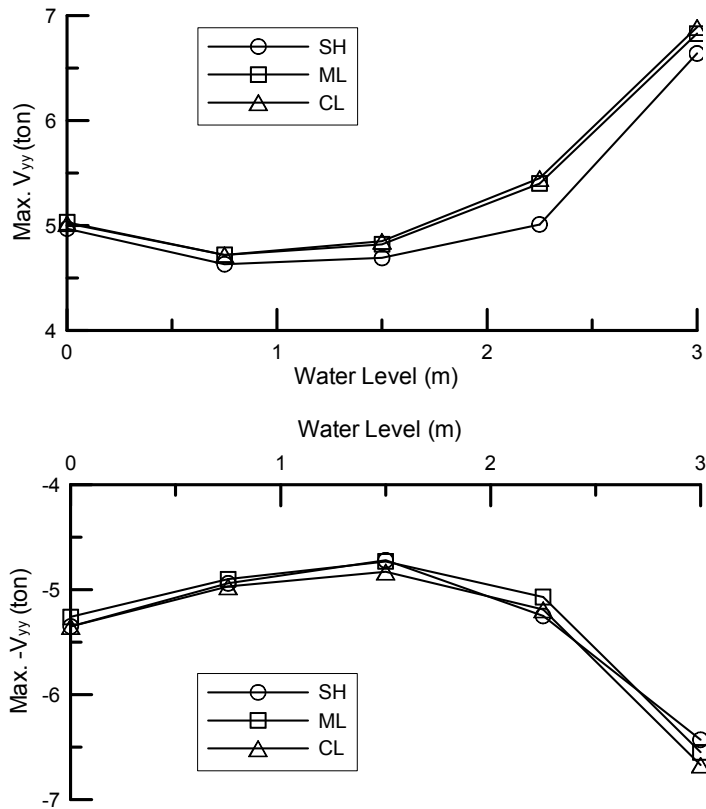
[그림 4-4] 지하수위 및 토질의 변화에 따른 M_{xx} 의 변화



[그림 4-5] 지하수위 및 토질의 변화에 따른 M_{yy} 의 변화



[그림 4-6] 지하수위 및 토질의 변화에 따른 V_{xx} 의 변화



[그림 4-7] 지하수위 및 토질의 변화에 따른 V_{yy} 의 변화

(5) 토질의 변화에 따른 단면력 특성

[그림 4-4] 및 [그림 4-5]로부터 토질의 변화에 따라 M_{xx} 의 최대값은 사질토→연질점성토→경질점성토의 순으로 증가하는 반면, M_{yy} 는 토질의 변화에 두드러진 변화가 없음을 알 수 있다. 전단력의 경우도 모멘트 M_{xx} 와 동일하게 [그림 4-6] 및 [그림 4-7]에서 절대값의 최대치가 사질토→연질점성토→경질점성토의 순으로 증가함을 알 수 있다. 한편, 단면력의

분포도는 <부록>으로부터 토질의 변화에는 크게 영향을 받지 않고 유사한 분포를 나타냄을 알 수 있다.

(6) 경량판넬의 횡변위 고찰

FRP의 탄성계수는 강재의 약 1/10 정도인 $2 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 이므로 강재에 비해 변위가 크게 나타날 것으로 판단되었으나, 하부 over-turning방지용 말뚝을 설치한 영향으로 상부변위가 상당히 줄어들었다.

범용구조해석 프로그램 MIDAS/CIVIL의 모델링에서 판넬을 두께 5cm의 충실판으로 하여 단면력을 산정하였으므로 실제 변위는 단면2차모멘트의 비를 사용하여 다음과 같이 환산할 수 있다.

$$\delta_e = \frac{I_{model}}{I_{actual}} \delta_x = \frac{1041.7}{10274} \delta_x = \frac{\delta_x}{9.86} \quad (4-4)$$

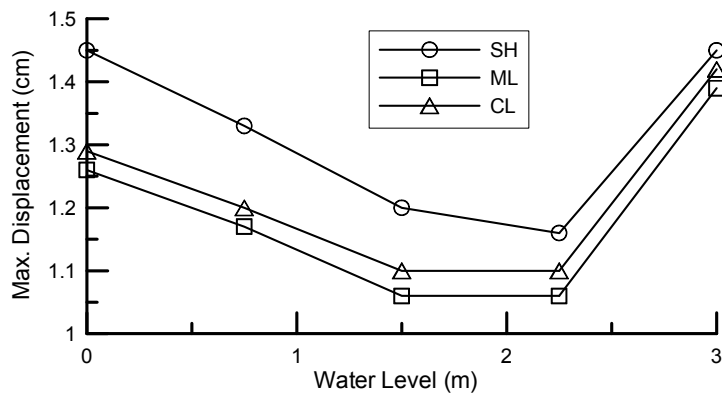
구조용 FRP에 대한 허용처짐량에 대한 규정은 아직 제정된 것이 없으나, 환산한 변위의 최대값은 상부에서 1.45cm로서, $\delta_{max}/H = 1/207$ 정도인 점을 미루어 유연성이 풍부한 FRP의 특성상 무리가 없는 것으로 사료된다.

또한 [그림 4-8]로부터 지하수위변화에 따라 수평변위는 $h=3/4H$ 까지는 감소하는 경향을 보이나 $h = H$ 로 증가와 함께 급격히 증가하여 최대값을 보임을 알 수 있다. 단면력의 경우와는 달리 사질토(SH)의 경우가 가장 큰 변위가 발행하였으며, 그 다음은 경질점성토와 연질점성토 순이었다.

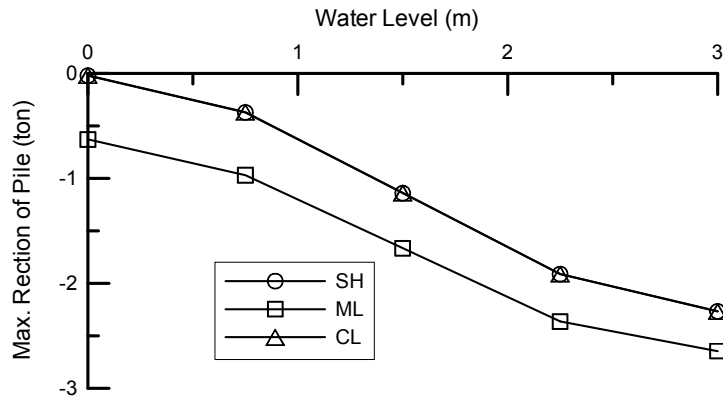
(7) 횡방향지지말뚝의 지지력

경량관넬의 면내방향으로 설치된 2개의 지지말뚝에 대하여 요구되는 횡방향지지력을 평가하기 위하여 절점 3, 7의 반력(R_x)을 구하여 각 case별로 아래 <표 4-1>에 나타내었다. 최고값은 연질 점성토 지하수위 $h=H$ 일 때가 2.267ton이므로 횡방향 지지말뚝은 안전율을 고려하여 3ton이상의 지지력을 가지도록 설계하여 설치토록 한다.

또한 [그림 4-9]에서 지하수위가 증가할수록 말뚝의 지지력은 증가하고 토압분포의 특성으로 인하여 연질점성토(ML)의 지지력이 가장 큰 것을 알 수 있다. 사질토와 경질점성토의 변위는 거의 유사하였다.



[그림 4-8] 지하수위 및 토질의 변화에 따른 최대변위의 변화



[그림 4-9] 지하수위 및 토질의 변화에 따른 지지말뚝의 반력 변화

나. 지지봉의 안정성 검토

(1) 해석결과

상기 경량판넬의 2차원 평판해석 결과로부터 각 case별로 지지봉에 작용하는 축방향력과 휨모멘트를 <표 4-2>에 정리하였다. 또한 지하수 및 토질의 변화에 따른 축하중의 변화를 [그림 4-10]에 나타냈으며, 이 그림으로부터 축하중 크기는 경질점성토, 연질점성토, 사질토 순이고, 지하수위가 0에서 1/2H까지 증가함에 따라 축하중은 약간 감소하는 경향을 보였고 1/2H에서 H로 증가함에 따라 급격히 축하중이 증가함을 볼 수 있다.

<표 4-2> 지지봉의 해석결과

(a) 사질토

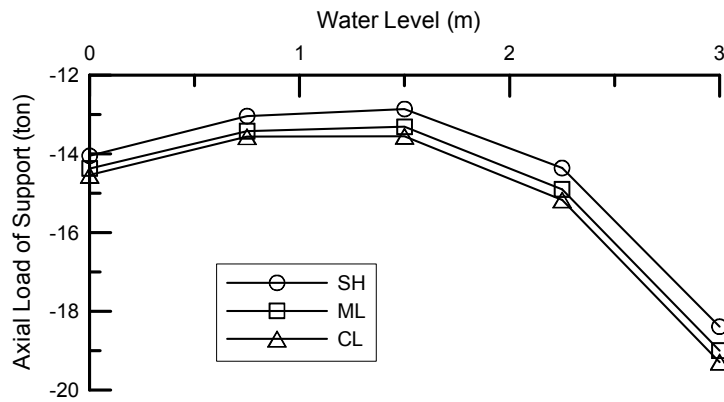
	SP (h=0)	SP(h=1/4)	SP(h=1/2)	SP(h=3/4)	SP(h=H)
R_x	-14.05	-13.04	-12.86	-14.36	-18.39
M_y	0.0326	0.0294	0.0244	0.0210	0.0266

(b) 연질 점성토

	ML (h=0)	ML (h=1/4)	ML (h=1/2)	ML (h=3/4)	ML (h=H)
R_x	-14.37	-13.42	-13.31	-14.90	-19.00
M_y	0.0263	0.0240	0.020	0.0175	0.0241

(c) 경질 점성토

	CL (h=0)	CL (h=1/4)	CL (h=1/2)	CL (h=3/4)	CL (h=H)
R_x	-14.54	-13.56	-13.55	-15.17	-19.29
M_y	0.0278	0.0253	0.0212	0.0186	0.0251



[그림 4-10] 지하수위 및 토질의 변화에 따른 지지봉의 축하중 변화

(2) 채용단면

· 지지봉단면 : 직경 $\phi=100\text{mm}$, 두께 $t=10\text{mm}$ 의 원형 파이프

$$\text{단면적 } A=28.27\text{cm}^2$$

$$\text{단면 2차모멘트 } I=289.3\text{cm}^4, \text{ 회전반경 } r=3.20\text{cm}$$

- 지지봉의 재질 : SM490
- 지지조건 : 양단힌지 (K=1)
- 기둥길이 : L=2.7m (좌우측 경량판넬 0.3m)
- 설계력 : $M_d = 0.03\text{t}\cdot\text{m}$, $P_d = 20\text{t}$
- 허용압축응력 (도설 3.3.21, 3.13.3)

$$f_{ca} = f_{cag} \frac{f_{cal}}{f_{cao}} = 990 \times \frac{1890}{1900} = 984.8 \text{kgf/cm}^2$$

$$f_{cag} = \frac{12,000,000}{5000 + \lambda^2} = \frac{12,000,000}{5000 + 84.38^2} = 990 \text{kgf/cm}^2$$

$$f_{cal} = 1,900 - 6.1 \left(\frac{R}{\alpha t} - 40 \right) = 1890 \text{kgf/cm}^2$$

$$f_{cao} = 1,900 \text{kgf/cm}^2$$

$$\lambda = KL/r = 1 \times 270 / 3.2 = 84 > 70 \therefore \text{장주}$$

$$\phi = \frac{f_1 - f_2}{f_1} = 2, \quad \alpha = 1 + \frac{\phi}{10} = 1.2, \quad \frac{R}{\alpha t} = \frac{5}{1.2 \times 0.1} = 41.7$$

- 허용휨응력

$$f_{ba} = 1,900 \text{kgf/cm}^2$$

- 허용전단응력

$$v_a = 1,100 - 0.044 (R/t)^2 = 1,100 - 0.044 (5/0.1)^2 = 990 \text{kgf/cm}^2$$

- 지지봉단면 : 직경 $\phi=100\text{mm}$, 두께 $t=10\text{mm}$ 의 원형 파이프

$$\text{단면적 } A=28.27\text{cm}^2, \text{ 단면 2차모멘트 } I=289.3\text{cm}^4$$

$$\text{회전반경 } r=3.20\text{cm}$$

- 지지봉의 재질 : SM490
- 지지조건 : 양단힌지 (K=1)
- 기둥길이 : L=2.7m (좌우측 경량판넬 0.3m)
- 설계력 : $M_d = 0.03t \cdot m$, $P_d = 20t$
- 허용압축응력

$$\lambda = KL/r = 1 \times 270 / 3.2 = 84 > 76 \therefore \text{장주}$$

$$f_{ca} = \frac{12,000,000}{5000 + \lambda^2} = \frac{12,000,000}{5000 + 84.38^2} = 990 \text{ kgf/cm}^2$$

- 허용휨응력

$$f_{ba} = 1,900 \text{ kgf/cm}^2$$

(3) 좌굴해석

기둥을 27요소로 분할하여 MIDAS/CIVIL을 사용하여 좌굴해석 향한 결과를 아래 <표 4-3>에 나타냈다. 1차모드의 좌굴하중이 81 t이므로 탄성좌굴에 대하여 약 4배정도의 안전율을 가지고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 모멘트를 추가로 받는 기둥의 경우, 좌굴하중이 감소하는 경향이 있으나, 설계축력에 비하여 좌굴하중 상당히 크므로 전혀 문제시되지 않을 것으로 판단된다.

<표 4-3> 대상 기둥의 모드별 좌굴하중

Mode	좌굴하중 (ton)
1	81.805567
2	320.313119
3	696.075145
4	1180.554338
5	1740.735621

제 5 장 결론 및 건의

1. 결 론

지금까지 트랜치 굴착시 토석붕괴 방지시설에 대한 시공상의 안전성과 시공성, 그리고 작업성에 주안점을 두어 재료의 경량화 및 구조체의 표준화를 시도하였다. 즉, 위험도 사전평가와 안전관리기법을 검토하고 흙막이 부재의 적용성과 흙막이 구조의 역학적 안정성을 검토하였으며, 이들 결과로 부터 흙막이 구조체의 역학적 거동메카니즘 규명과 규격의 표준화를 위해서 경량흙막이 구조체의 구조안전성과 구조해석을 MIDAS/CIVIL. Ver. 5.4.0 범용구조해석 프로그램으로 수행하였는 바, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(가) 토석붕괴 방지구조의 위험도 사전평가를 위한 트랜치 주변의 배수위 분석과 배수체계를 수립하고 절개지 토석붕괴 유형을 분류하였으며, 흙막이 주변의 안전도를 평가하는 절차를 제시하였다.

(나) 트랜치 굴착지 주변의 배수계통과 트랜치 내부의 양·배수 방식을 체계화시키고 트랜치 흙막이 경량부재의 역학적 특성을 조사하여 제시하고 이를 구조체로 접합할때의 적정성과 안정성을 검토하는 과정을 체계화시켰다.

(다) 토석붕괴 방지시설에 사용할 수 있는 기존부재의 대체재료로서 불포화 폴리에스텔 수지와 유리섬유를 조합한 강화합성수지(FRP)의 역학

적 성능을 검토하고 그 결과로부터 초경량재 로서의 성형성과 부재로서의 사용성을 제시하였다.

(라) 흙막이 구조의 역학적 타당성과 토질역학적 조건을 고려한 신소재 활용성을 확보하기 위하여 흙막이 부재의 역학적 성능과 부재에 작용하는 토압정수를 제시하였으며, 흙막이 구조체의 해석이론과 방법을 제시하였다.

(마) 흙막이 구조체의 경량화를 위한 강화합성수지(FRP)를 대상으로 흙막이판 구조체의 형상과 제원 및 경량 재료의 재료역학적 우수성을 제시하였다.

(바) 흙막이 판에 작용하는 토질정수와 토압분포를 검토하고 부재의 단면해석과 구조체의 안정성을 범용프로그램(MIDAS.CIVIL. Ver. 5.4.9)에 의해서 수행하여 부재의 각 부에 대한 안정성을 확인할 수 있는 해석결과를 제시하였다.

(사) 강화합성수지(FRP)를 사용한 경량판넬 부재의 지질구조가 사질토, 연질점성토 및 경질점성토인 조건을 대상으로 구조해석 결과, 지하수위 조건에 따라서 판넬의 역학적(휨모멘트, 전단력, 축응력)특성이 변화하고 있었으며, 역학적 해석결과가 허용응력 범위에 있음을 알 수 있어 이는 경량판넬이 트랜치 굴착시에 흙막이 구조로서 유용성을 알 수 있었다.

2. 건 의

전기한 결론에 제시된 내용이 이론적으로 분석되고 해석되었으므로 실제에의 적용성을 확보하기 위해서는 일정한 축척의 모형을 제작하여 실제 하중을 재하시켜 역학적 변형을 확인할 필요가 있으며, 재료의 선택, 가설 구조물의 구성 및 부재의 변형 등에 관련된 실측이 필요할 것으로 판단된다. 따라서 흙막이 판넬의 표준화 및 실용화를 위해서는 다음과 같은 과정이 필요할 것으로 판단된다.

(가) 실제 현장에서 트랜치 굴착시 토석붕괴과정을 모형실험을 통하여 관찰하고 토석붕괴 메카니즘을 규명할 필요가 있다.

(나) 흙막이 판넬의 다양한 경량재와 안전한 구조체를 실물 크기 혹은 축소모형을 제작하여 실제에 적용하고 흙막이 구조체의 제작(조립)과 해체에 있어서의 작업성을 확인할 필요가 있다.

(다) 흙막이 판넬의 모형실험을 통한 경량구조물의 역학적 성능규명과 실제 현장에서의 실험을 실시하여 실제에서 적용상의 확장범위를 제시해야 한다.

참고문헌

1. 마이다스아이티, “마이다스로 배우는 구조역학”, 2001.
2. 김수일, 김명모, 신은철 공역, “다스의 기초공학”, 교보문고, 2001.
3. 한국도로교통협회, “도로교설계기준”, 2000.
4. 가설구조물위원회, “토압을 받는 구조물의 설계와 시공”, 탐구문화사, 1997.
5. 건설교통부, “도로교설계기준 해설(하부구조편)”, 2001.
6. 하수도가설구조물설계연구회, “하수도공사 사설구조물의 설계법과 계산례”, 탐구문화사, 1994.
7. 가설구조물위원회, “가설구조물의 설계법과 실예”, 탐구문화사, 1992.
8. 한국지반공학회, “굴착 및 흙막이 공법”. 구미서관, 1997.
9. 전성기, “토류구조물설계 실무편람”, 과학기술, 1998.

부 록

I. 경량판넬 구조해석 결과

1. 사질토(SL)

지하수위 $h = 0$

지하수위 $h = 1/4H$

지하수위 $h = 2/4H$

지하수위 $h = 3/4H$

지하수위 $h = 4/4H$

2. 연질점성토(ML)

지하수위 $h = 0$

지하수위 $h = 1/4H$

지하수위 $h = 2/4H$

지하수위 $h = 3/4H$

지하수위 $h = 4/4H$

3. 경질점성토(CL)

지하수위 $h = 0$

지하수위 $h = 1/4H$

지하수위 $h = 2/4H$

지하수위 $h = 3/4H$

지하수위 $h = 4/4H$

II. 지지붕 구조해석 결과

지지붕의 모델링

변위응답 해석결과

축방향력 해석결과

전단력 해석결과

휨모멘트 해석결과

축방향응력 해석결과

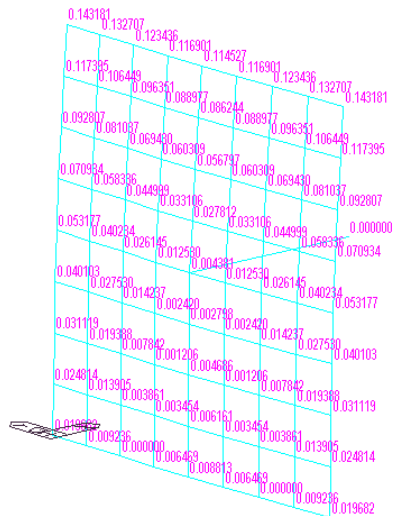
전단응력 해석결과

휨응력 해석결과

<경량판넬 구조해석 결과>

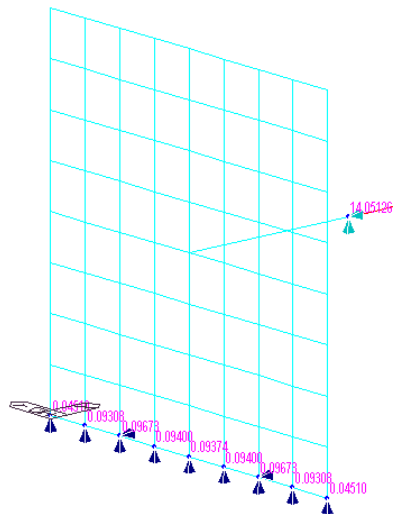
1. 사질토

1) 지하수위 $h=0\text{m}$



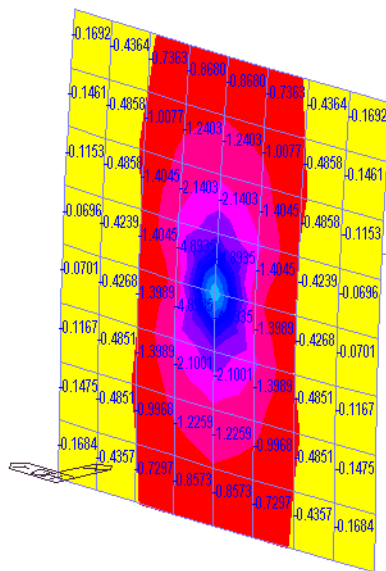
(a) 수평 변위

MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
DEFORMED SHAPE	
RESULTANT	
X-DIR=	1.432E-001
NODE=	73
Y-DIR=	9.403E-007
NODE=	1
Z-DIR=	-3.760E-006
NODE=	78
COMB.=	1.432E-001
NODE=	73
SCALE FACTOR=	1.048E+000
CB: Comb	
FILE: S-0-4	
UNIT: m	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	Y: 0.729
Z: 0.259	



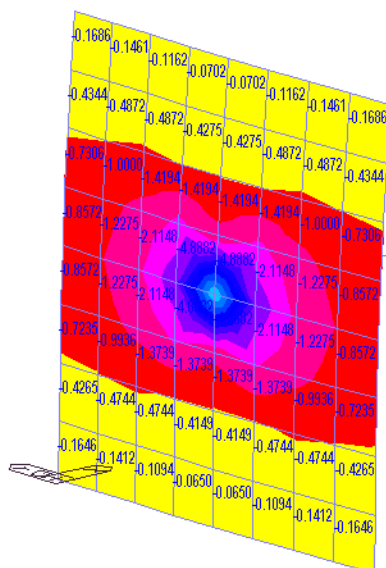
(b) 지점반력

MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
REACTION FORCE	
FORCE-XYZ	
MAX. REACTION	
NODE=	82
FX:	-1.4051E+001
FY:	0.0000E+000
FZ:	6.5967E-002
FCYZ:	1.4051E+001
CB: Comb	
FILE: S-0-4	
UNIT: tonf	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	Y: 0.729
Z: 0.259	



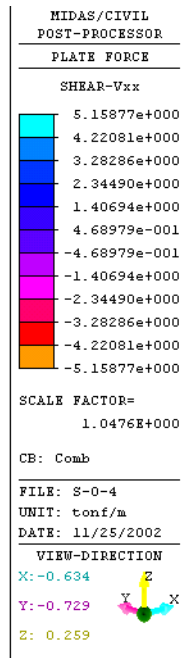
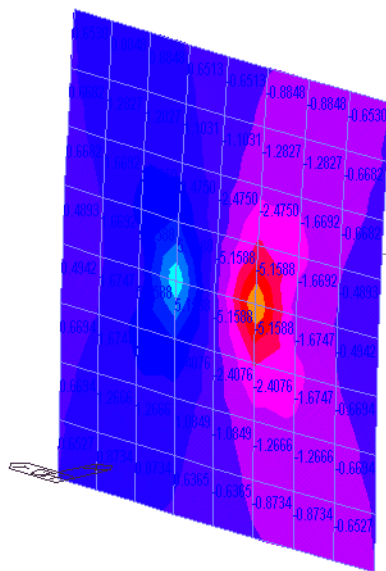
MIDAS/CIVIL
POST-PROCESSOR
PLATE FORCE
MOMENT-Mxx
1.41809e-003
-4.43574e-001
-8.88566e-001
-1.33356e+000
-1.77855e+000
-2.22354e+000
-2.66853e+000
-3.11353e+000
-3.55852e+000
-4.00351e+000
-4.44850e+000
-4.89349e+000
SCALE FACTOR=
1.0476E+000
CB: Comb
FILE: S-0-4
UNIT: tonf' m/m
DATE: 11/25/2002
VIEW-DIRECTION
X: -0.634
Y: -0.729
Z: 0.259

(c) x축모멘트 M_{xx}

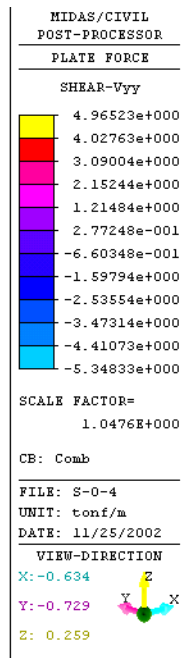
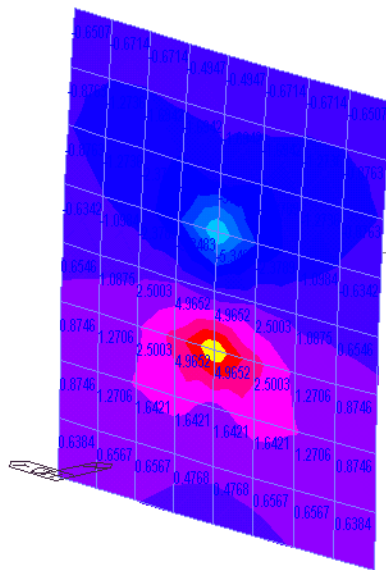


MIDAS/CIVIL
POST-PROCESSOR
PLATE FORCE
MOMENT-Myy
1.50861e-003
-4.43010e-001
-8.87529e-001
-1.33205e+000
-1.77657e+000
-2.22109e+000
-2.66560e+000
-3.11012e+000
-3.55464e+000
-3.99916e+000
-4.44368e+000
-4.88820e+000
SCALE FACTOR=
1.0476E+000
CB: Comb
FILE: S-0-4
UNIT: tonf' m/m
DATE: 11/25/2002
VIEW-DIRECTION
X: -0.634
Y: -0.729
Z: 0.259

(d) y축 모멘트 M_{yy}

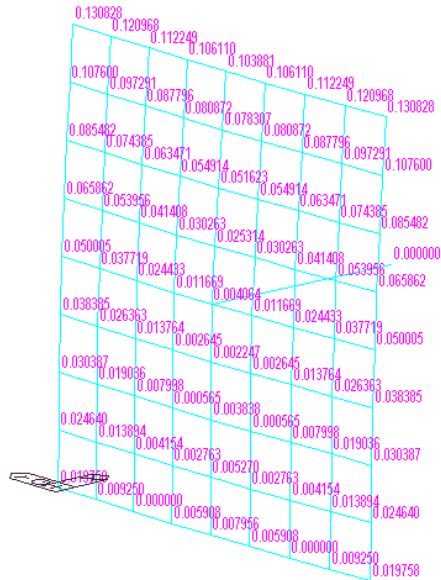


(e) x축 전단력 V_{xx}

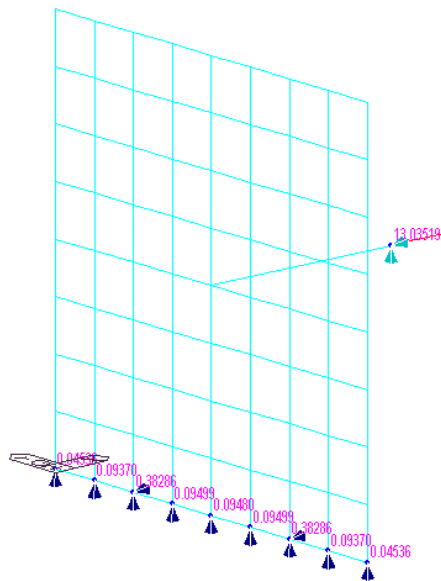


(f) y축 전단력 V_{yy}

2) 지하수위 $h=4H$



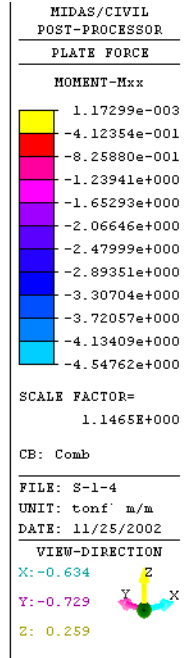
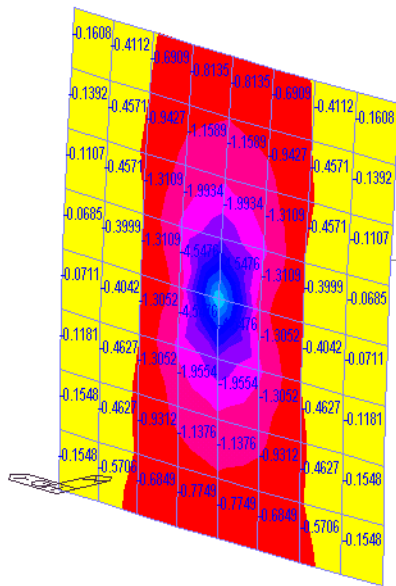
(a) 수평 변위



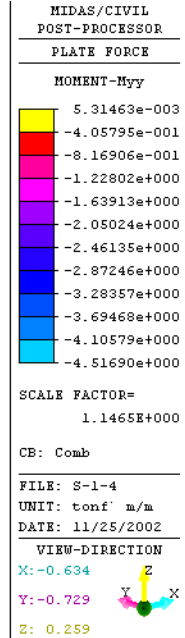
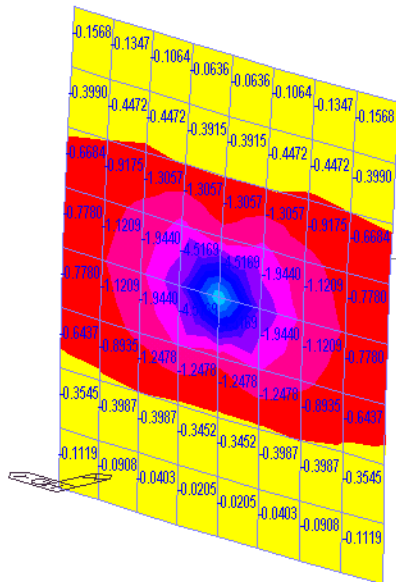
(b) 지점반력

MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
DEFORMED SHAPE	
RESULTANT	
X-DIR=	1.308E-001
NODE=	73
Y-DIR=	9.553E-007
NODE=	1
Z-DIR=	-3.798E-006
NODE=	77
COMB.=	1.308E-001
NODE=	73
SCALE FACTOR=	1.147E+000
CB: Comb	
FILE: S-1-4	
UNIT: m	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	Y: -0.729
Z: 0.259	

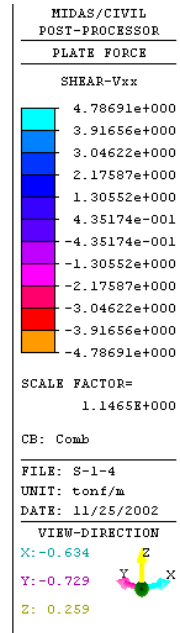
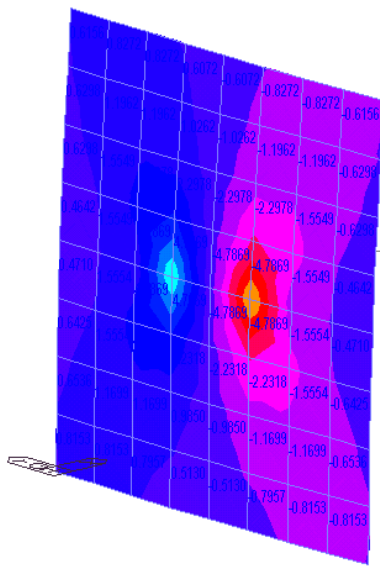
MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
REACTION FORCE	
FORCE-XYZ	
MAX. REACTION	
NODE=	82
FX=	-1.3035E+001
FY=	0.0000E+000
FZ=	5.9496E-002
FXYZ=	1.3035E+001
CB: Comb	
FILE: S-1-4	
UNIT: tonf	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	Y: -0.729
Z: 0.259	



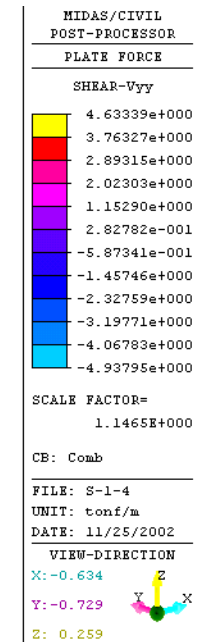
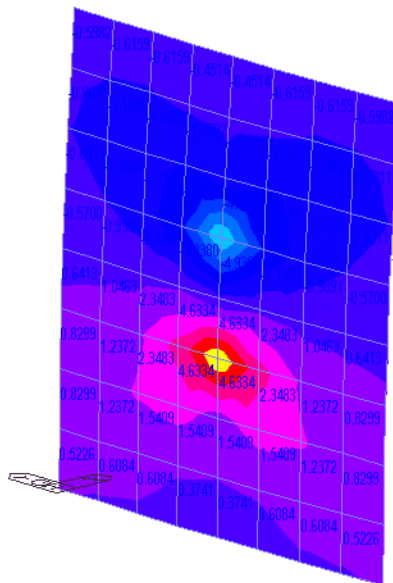
(c) x축모멘트 M_{xx}



(d) y축 모멘트 M_{yy}

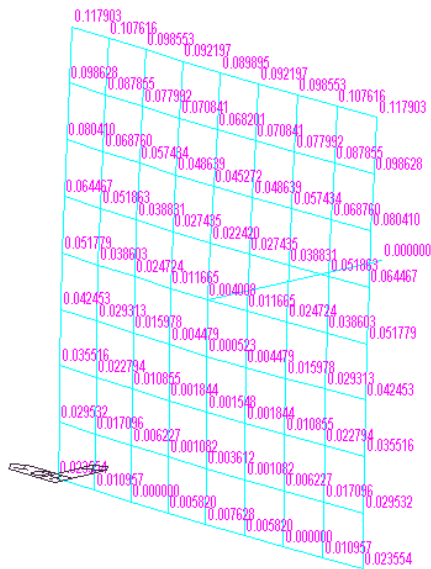


(e) x축 전단력 V_{xx}

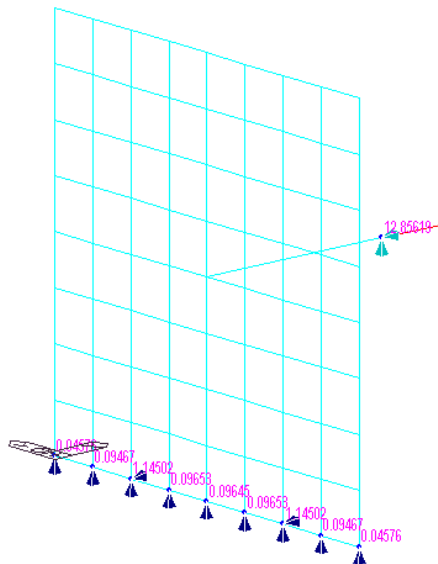


(f) y축 전단력 V_{yy}

3) 지하수위 $h=\frac{1}{2}H$



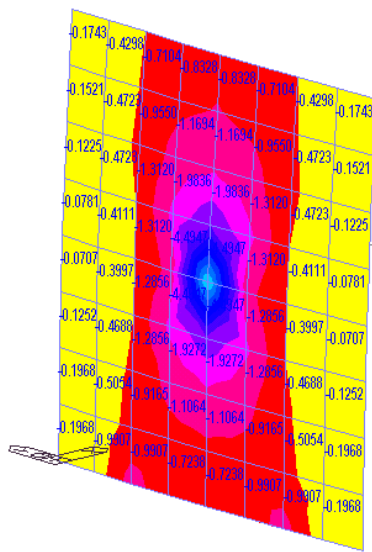
(a) 수평 변위



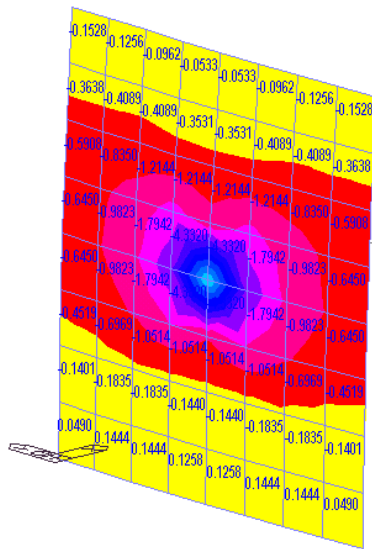
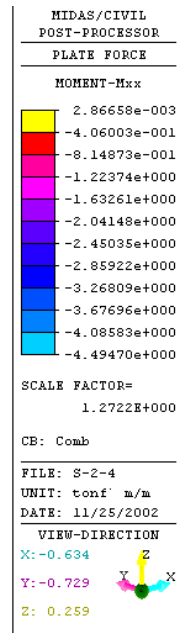
(b) 지점반력

MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR DEFORMED SHAPE
RESULTANT
X-DIR= 1.179E-001
NODE= 73
Y-DIR= 9.784E-007
NODE= 1
Z-DIR= -3.860E-006
NODE= 77
COMB.= 1.179E-001
NODE= 73
SCALE FACTOR=
1.272E+000
CB: Comb
FILE: S-2-4
UNIT: m
DATE: 11/25/2002
VIEW-DIRECTION
X: -0.634
Y: -0.729
Z: 0.259

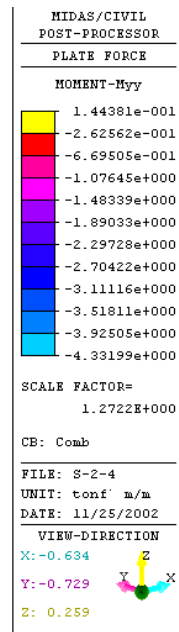
MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR REACTION FORCE
FORCE-XYZ
MAX. REACTION
NODE= 82
FX: -1.2856E+001
FY: 0.0000E+000
FZ: 4.9510E-002
FXYZ: 1.2856E+001
CB: Comb
FILE: S-2-4
UNIT: tonf
DATE: 11/25/2002
VIEW-DIRECTION
X: -0.634
Y: -0.729
Z: 0.259

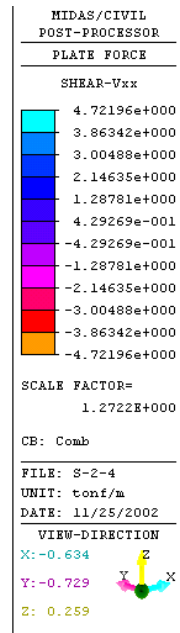
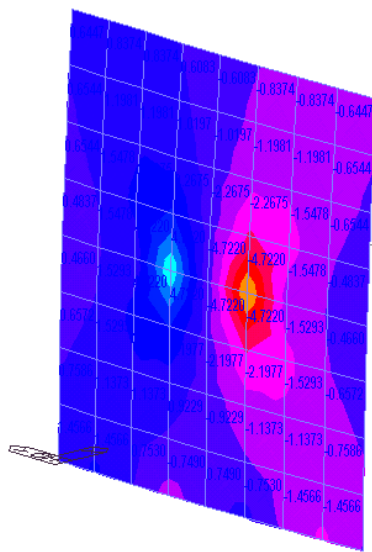


(c) x축모멘트 M_{xx}

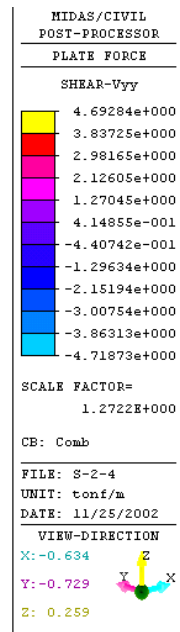
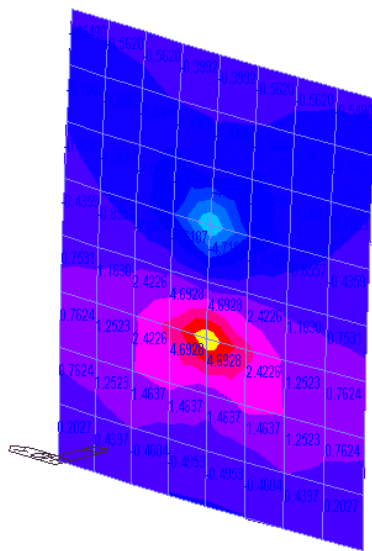


(d) y축 모멘트 M_{yy}



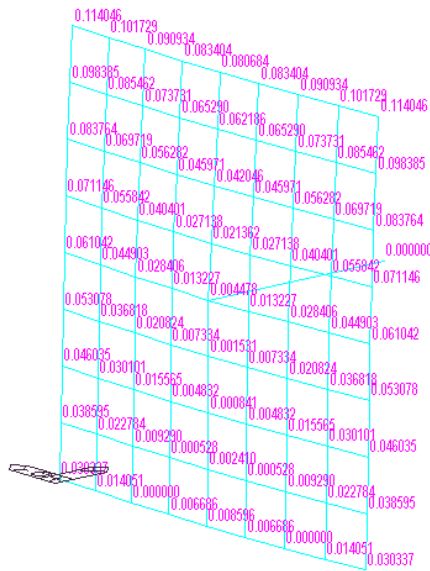


(e) x축 전단력 V_{xx}



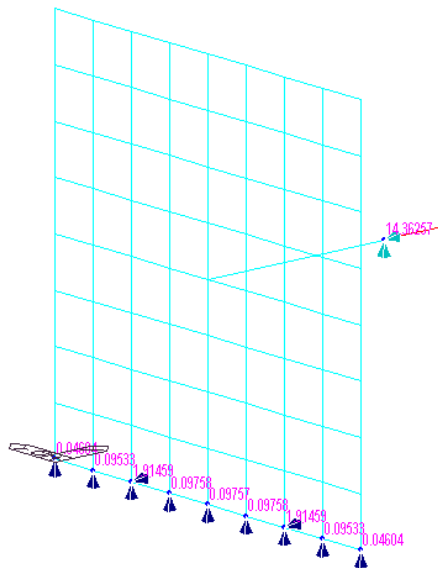
(f) y축 전단력 V_{yy}

4) 지하수위 $h=\frac{3}{4}H$



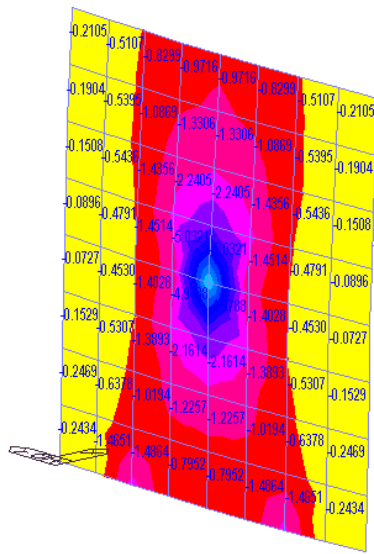
(a) 수평 변위

MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
DEFORMED SHAPE	
RESULTANT	
X-DIR=	1.140E-001
NODE=	73
Y-DIR=	9.942E-007
NODE=	1
Z-DIR=	-3.902E-006
NODE=	77
COMB.=	1.140E-001
NODE=	73
SCALE FACTOR=	1.315E+000
CB: Comb	
FILE: S-3-4	
UNIT: m	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	
Y: -0.729	
Z: 0.259	

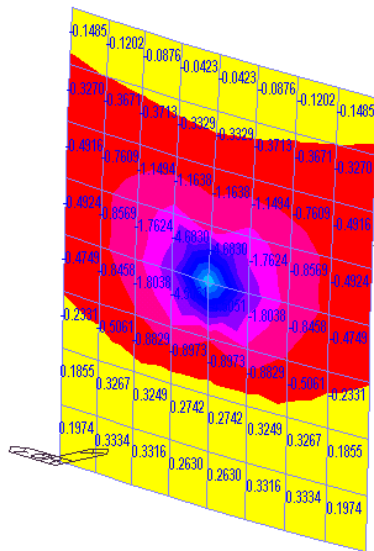
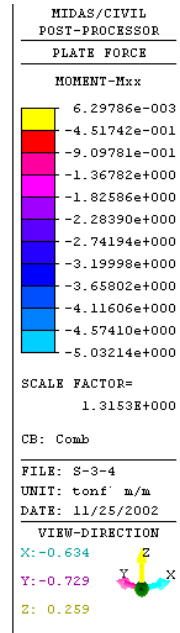


(b) 지점반력

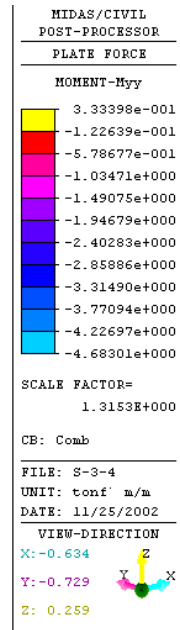
MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
REACTION FORCE	
FORCE-XYZ	
MAX. REACTION	
NODE=	82
FX=	-1.4363E+001
FY=	0.0000E+000
FZ=	4.2705E-002
FXYZ=	1.4363E+001
CB: Comb	
FILE: S-3-4	
UNIT: tonf	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	
Y: -0.729	
Z: 0.259	

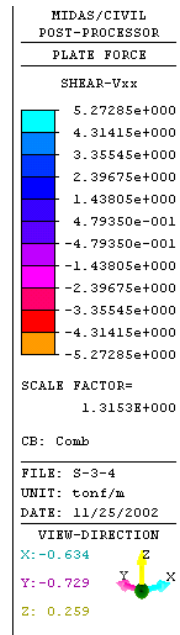
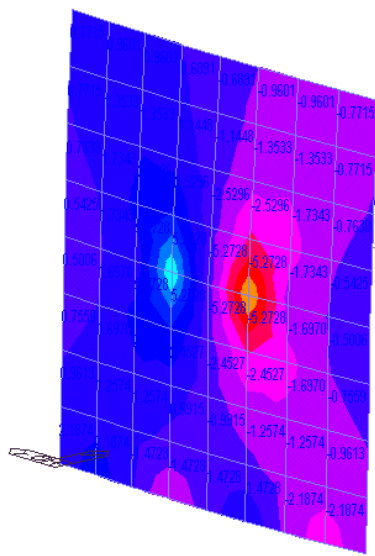


(c) x축 모멘트 M_{xx}

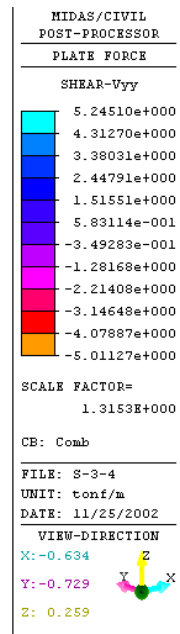
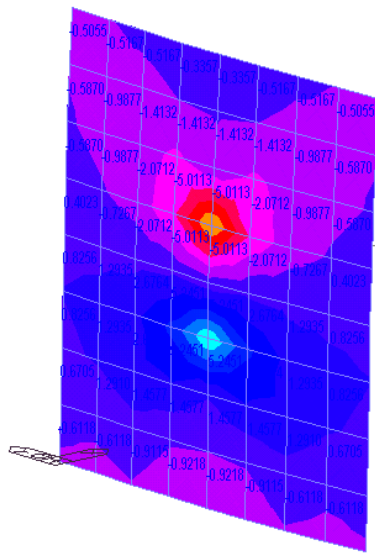


(d) y축 모멘트 M_{yy}



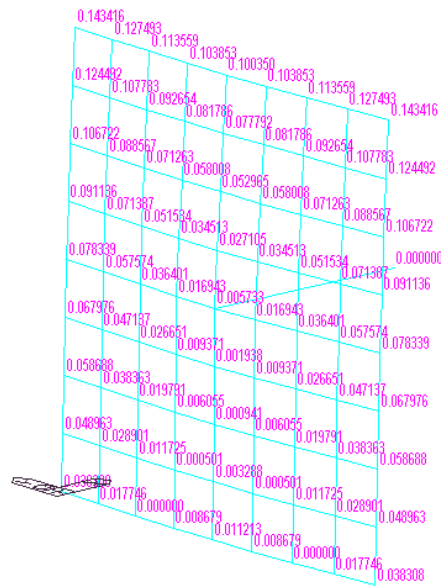


(e) x축 전단력 V_{xx}



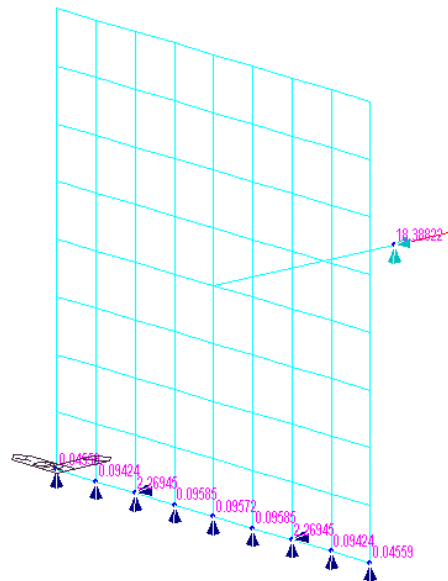
(f) y축 전단력 V_{yy}

5) 지하수위 $h=H$



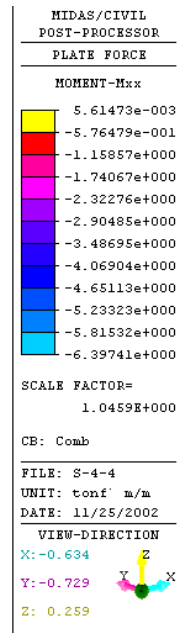
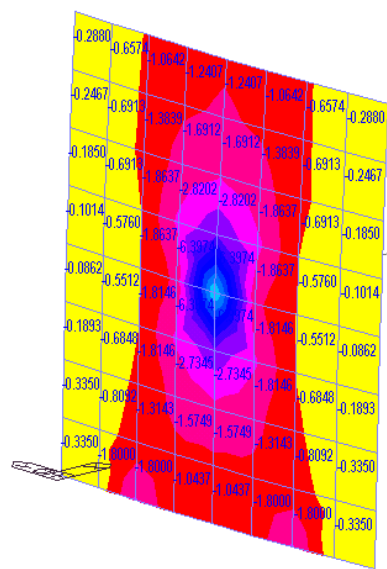
(a) 수평 변위

MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
DEFORMED SHAPE	
RESULTANT	
X-DIR=	1.434E-001
NODE=	73
Y-DIR=	9.682E-007
NODE=	1
Z-DIR=	-3.833E-006
NODE=	77
COMB.=	1.434E-001
NODE=	73
SCALE FACTOR=	1.046E+000
CB: Comb	
FILE: S-4-4	
UNIT: m	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	
Y: -0.729	
Z: 0.259	

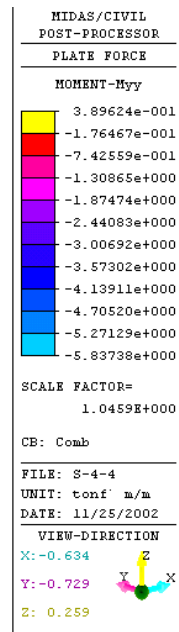
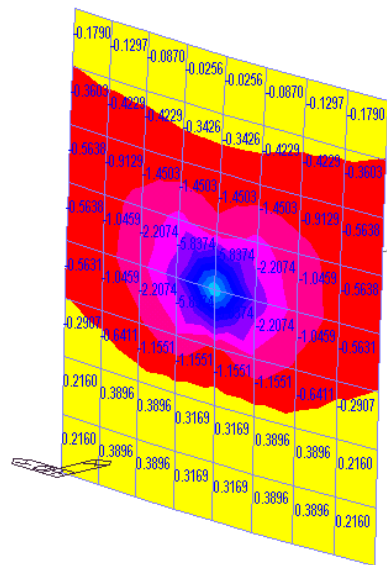


(b) 지점반력

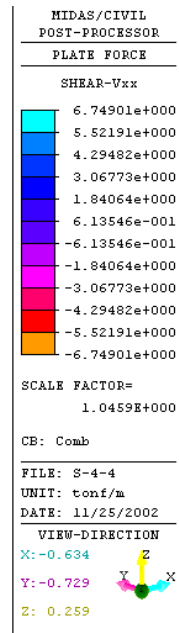
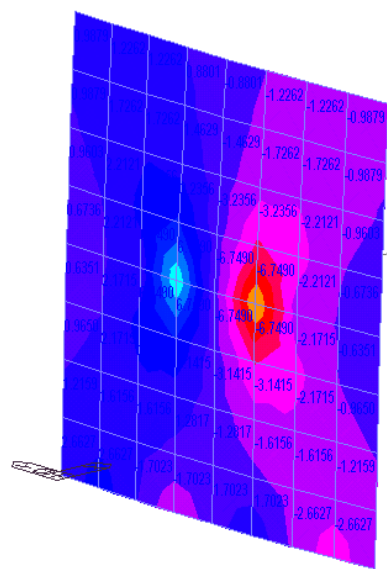
MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
REACTION FORCE	
FORCE-XYZ	
MAX. REACTION	
NODE=	82
FX=	-1.8388E+001
FY=	0.0000E+000
FZ=	5.3930E-002
FXYZ=	1.8388E+001
CB: Comb	
FILE: S-4-4	
UNIT: tonf	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	
Y: -0.729	
Z: 0.259	



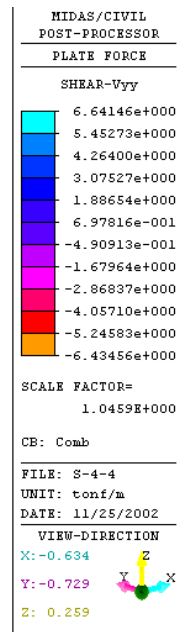
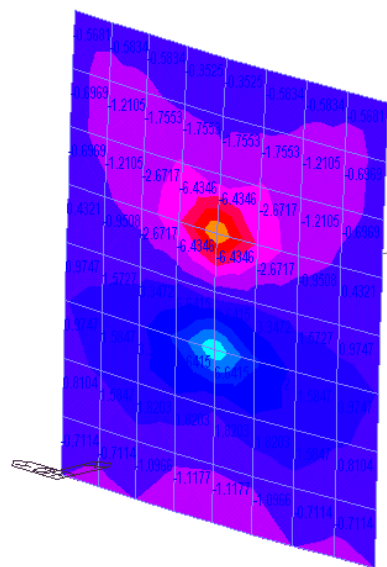
(c) x축모멘트 M_{xx}



(d) y축 모멘트 M_{yy}



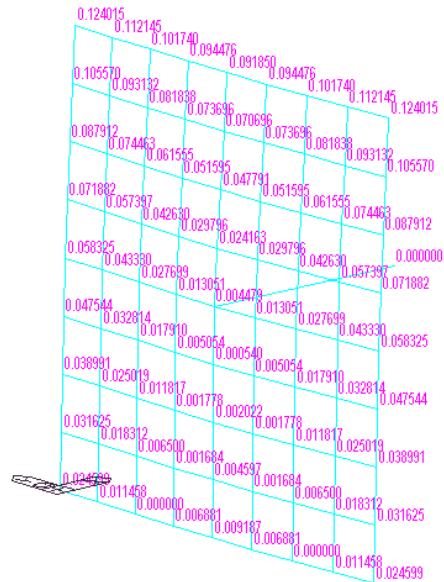
(e) x축 전단력 V_{xx}



(f) y축 전단력 V_{yy}

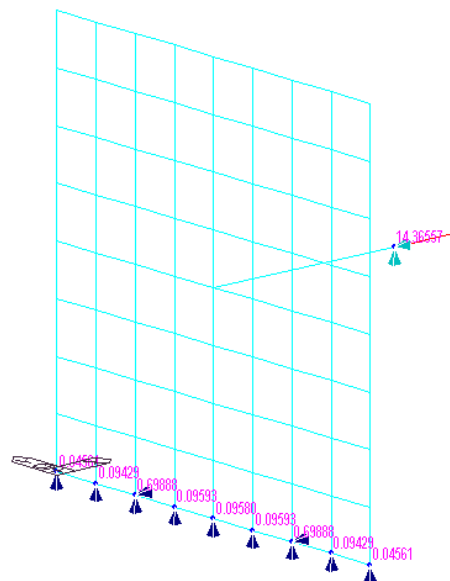
2. 연질 점성토 (ML)

1) 지하수위 $h=0\text{m}$



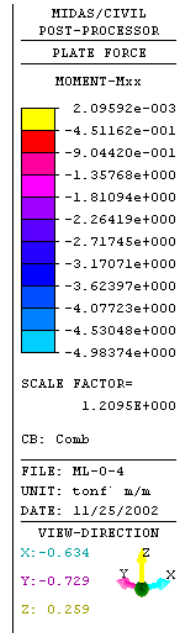
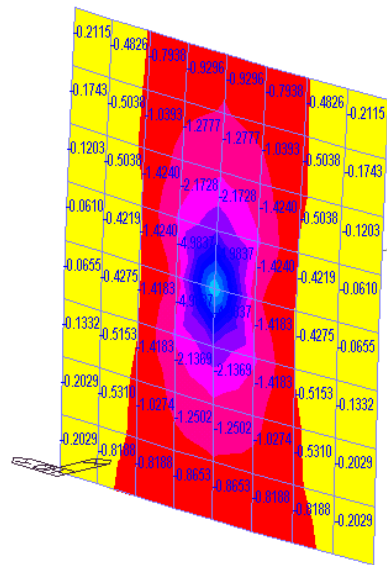
(a) 수평 변위

MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR		
DEFORMED SHAPE		
RESULTANT		
X-DIR=	1.240E-001	
NODE=	73	
Y-DIR=	9.693E-007	
NODE=	1	
Z-DIR=	-3.836E-006	
NODE=	77	
COMB.=	1.240E-001	
NODE=	73	
SCALE FACTOR=	1.210E+000	
CE: Comb		
FILE: ML-0-4		
UNIT: m		
DATE: 11/25/2002		
VIEW-DIRECTION		
X: -0.634	Y: -0.729	Z: 0.259

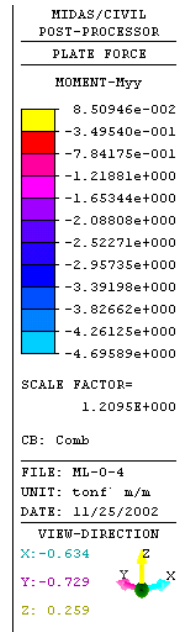
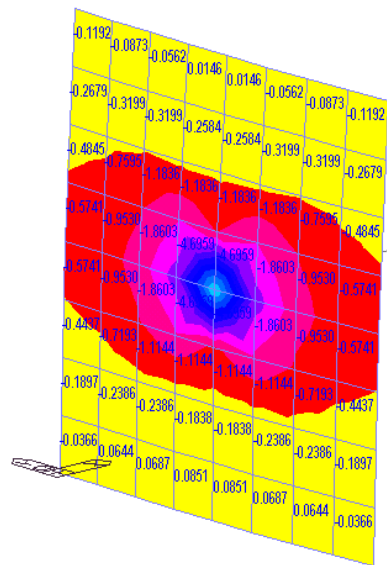


(b) 지점반력

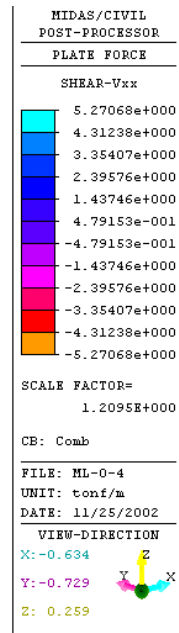
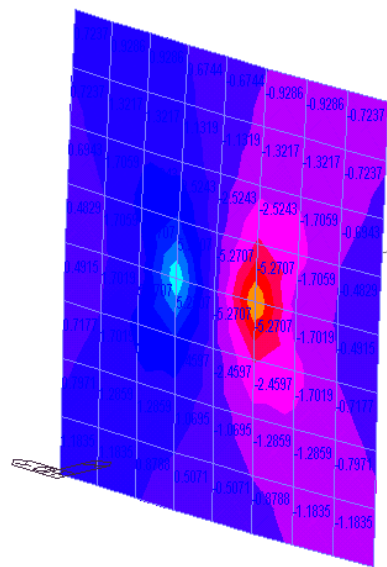
MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
REACTION FORCE	
FORCE-XYZ	
MAX. REACTION	
NODE=	82
FX=	-1.4365E+001
FY=	0.0000E+000
FZ=	5.3429E-002
FXYZ=	1.4366E+001
CB: Comb	
FILE: ML-0-4	
UNIT: tonf	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	Z
Y: -0.729	
Z: 0.259	



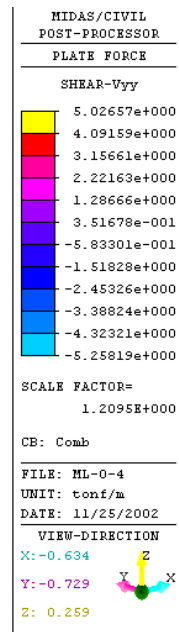
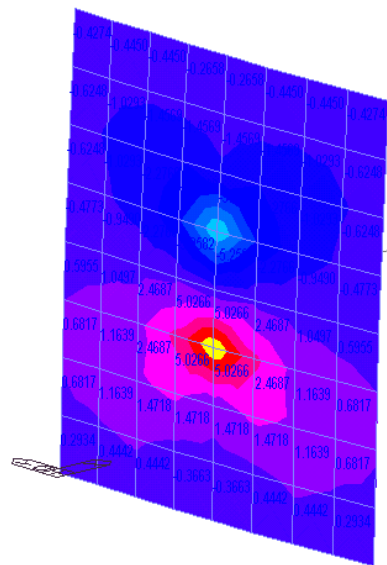
(c) x축 모멘트 M_{xx}



(d) y축 모멘트 M_{yy}

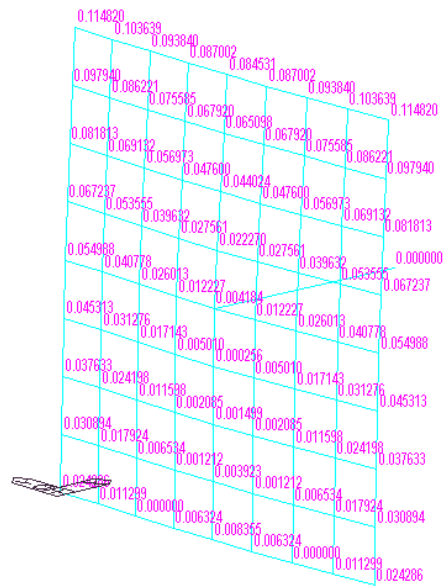


(e) x축 전단력 V_{xx}



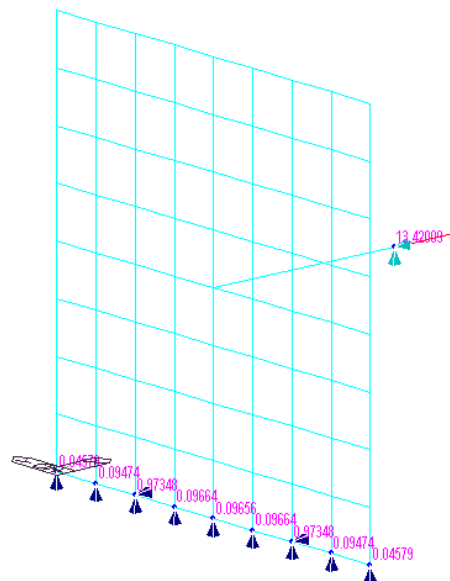
(f) y축 전단력 V_{yy}

2) 지하수위 $h=\frac{1}{4}H$



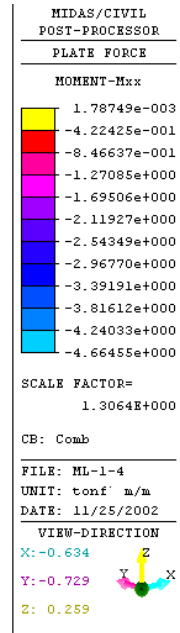
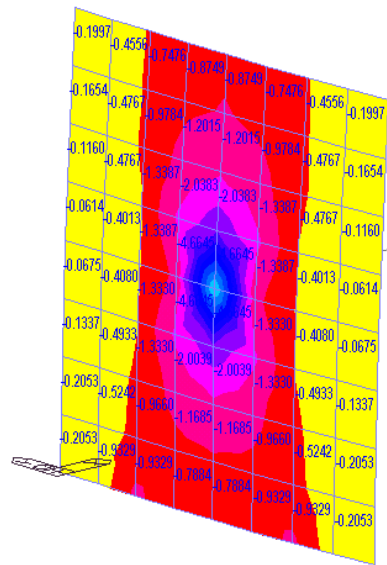
(a) 수평 변위

MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
DEFORMED SHAPE	
RESULTANT	
X-DIR=	1.148E-001
NODE=	73
Y-DIR=	9.800E-007
NODE=	1
Z-DIR=	-3.865E-006
NODE=	77
COMB.=	1.148E-001
NODE=	73
SCALE FACTOR=	1.306E+000
CB: Comb	
FILE: ML-1-4	
UNIT: m	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	
Y: -0.729	
Z: 0.259	

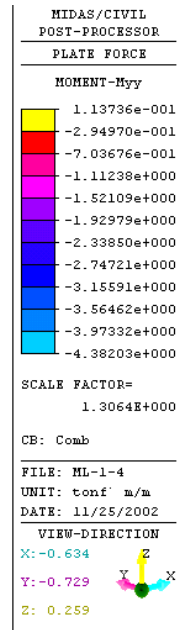
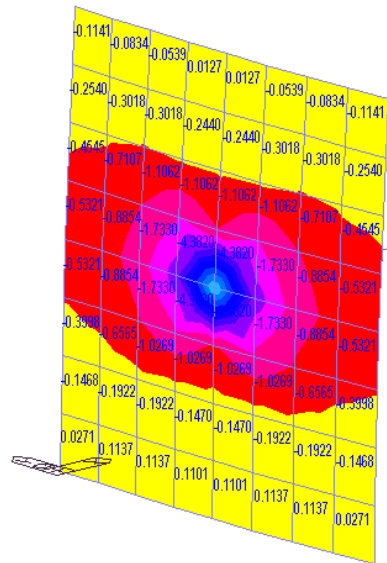


(b) 지점반력

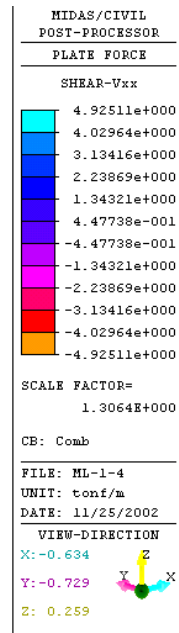
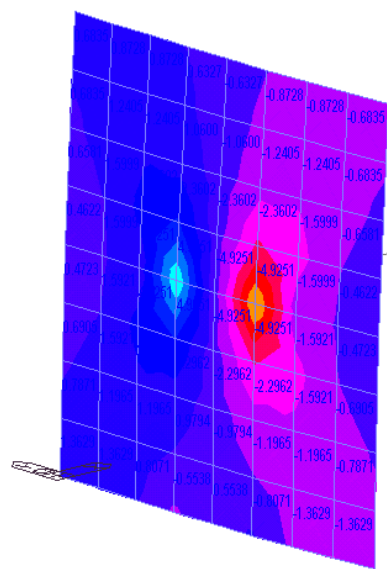
MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
REACTION FORCE	
FORCE-XYZ	
MAX. REACTION	
NODE=	82
FX:	-1.3420E+001
FY:	0.0000E+000
FZ:	4.8808E-002
FXYZ:	1.3420E+001
CB: Comb	
FILE: ML-1-4	
UNIT: tonf	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	
Y: -0.729	
Z: 0.259	



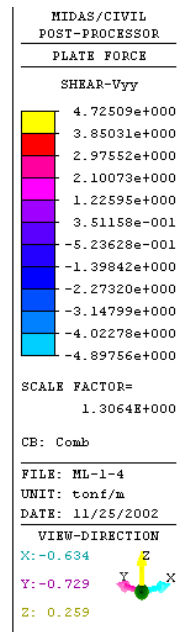
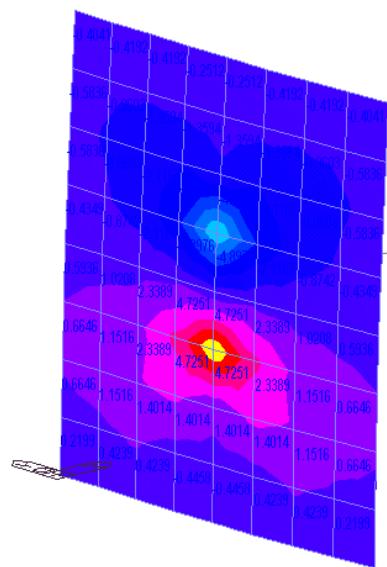
(c) x축모멘트 M_{xx}



(d) y축 모멘트 M_{yy}

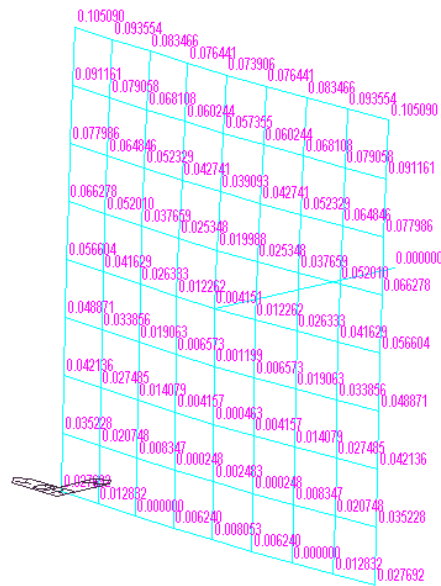


(e) x축 전단력 V_{xx}



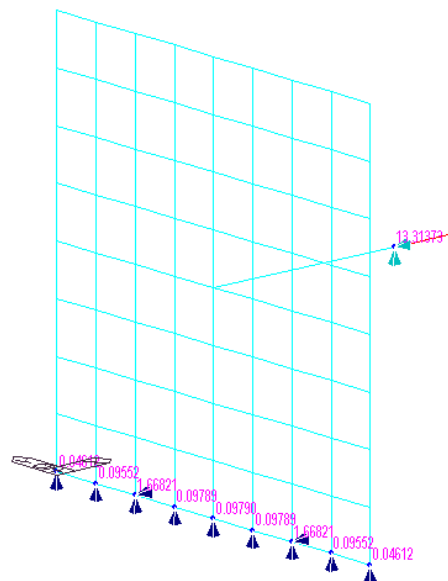
(f) y축 전단력 V_{yy}

3) 지하수위 $h=\frac{1}{2}H$



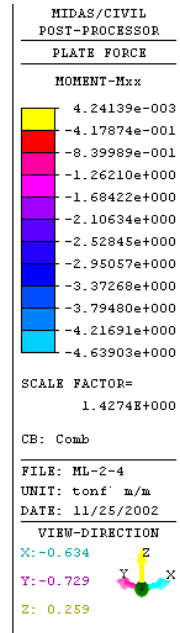
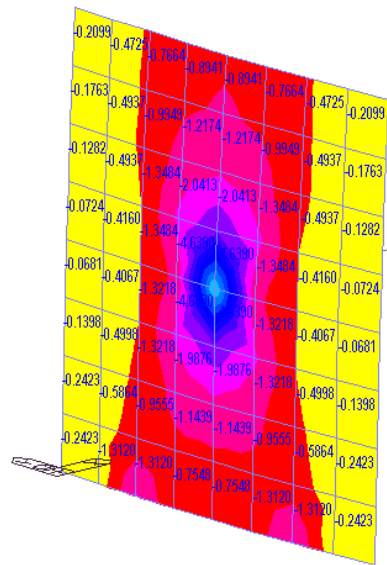
(a) 수평 변위

MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
DEFORMED SHAPE	
RESULTANT	
X-DIR=	1.051E-001
NODE=	73
Y-DIR=	9.988E-007
NODE=	1
Z-DIR=	-3.915E-006
NODE=	77
COMB.=	1.051E-001
NODE=	73
SCALE FACTOR=	1.427E+000
CB: Comb	
FILE: ML-2-4	
UNIT: m	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	
Y: -0.729	
Z: 0.259	

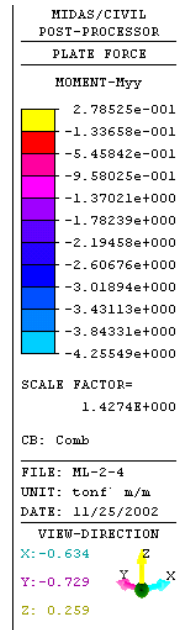
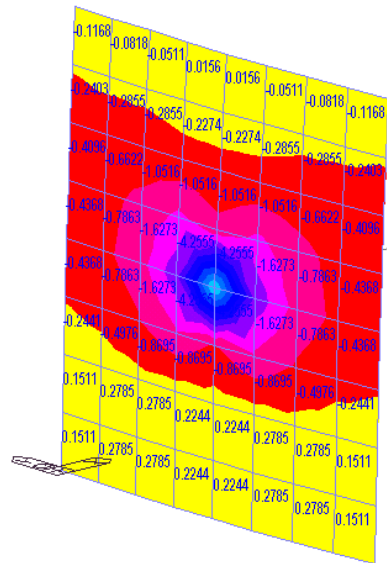


(b) 지점반력

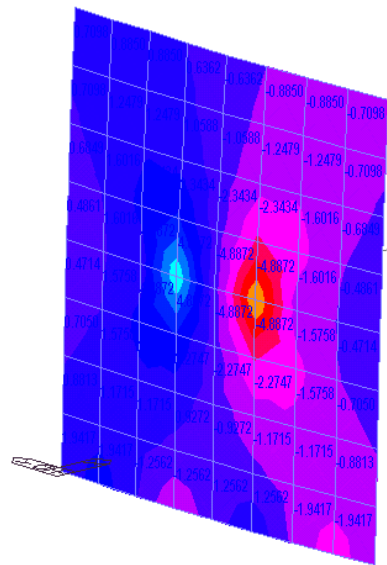
MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
REACTION FORCE	
FORCE-XYZ	
MAX. REACTION	
NODE=	82
FX:	-1.3314E+001
FY:	0.0000E+000
FZ:	4.0690E-002
FXYZ:	1.3314E+001
CB: Comb	
FILE: ML-2-4	
UNIT: tonf	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	
Y: -0.729	
Z: 0.259	



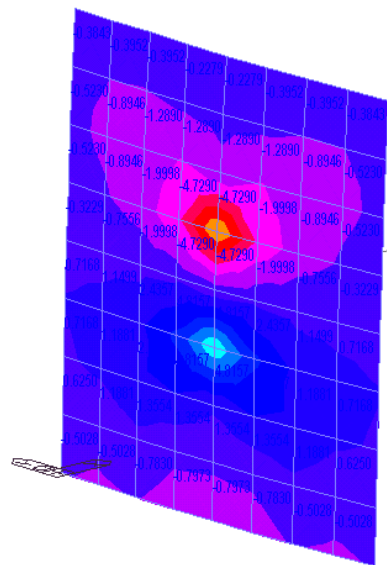
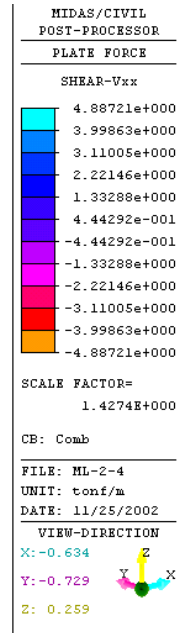
(c) x축모멘트 M_{xx}



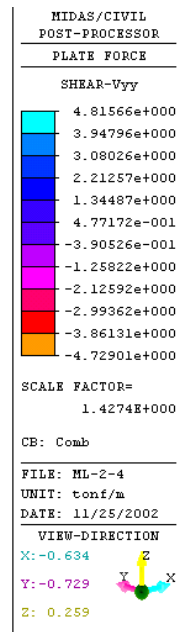
(d) y축 모멘트 M_{yy}



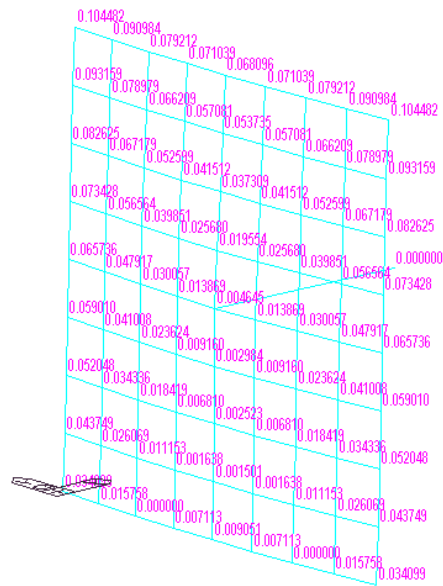
(e) x축 전단력 V_{xx}



(f) y축 전단력 V_{yy}

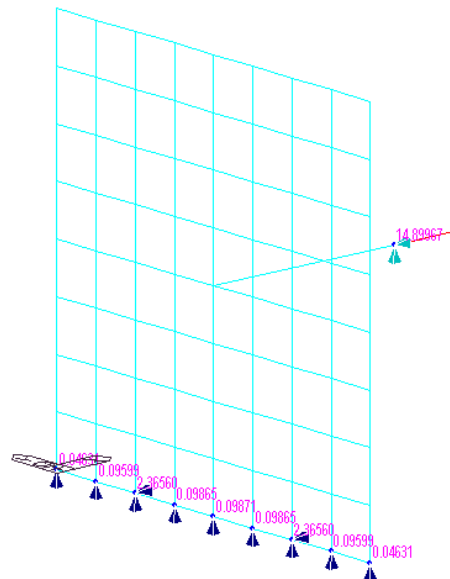


4) 지하수위 $h=\frac{3}{4}H$



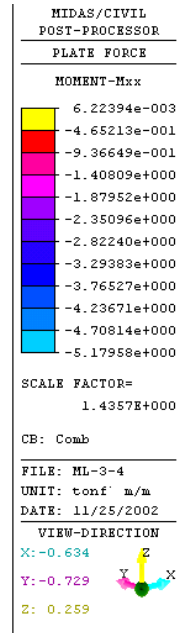
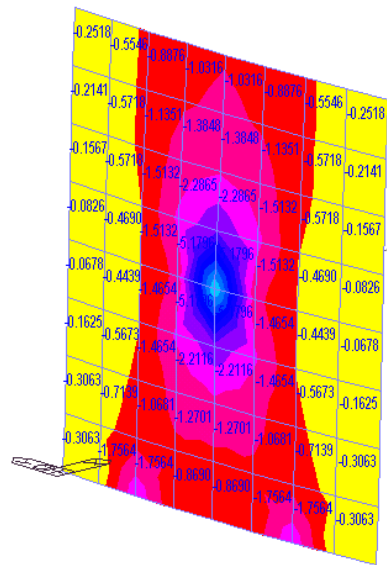
(a) 수평 변위

MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
DEFORMED SHAPE	
RESULTANT	
X-DIR=	1.045E-001
NODE=	73
Y-DIR=	1.010E-006
NODE=	1
Z-DIR=	-3.945E-006
NODE=	77
COMB.=	1.045E-001
NODE=	73
SCALE FACTOR=	1.436E+000
CB: Comb	
FILE: ML-3-4	
UNIT: m	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	
Y: -0.729	
Z: 0.259	

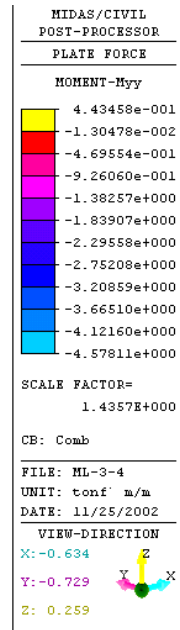
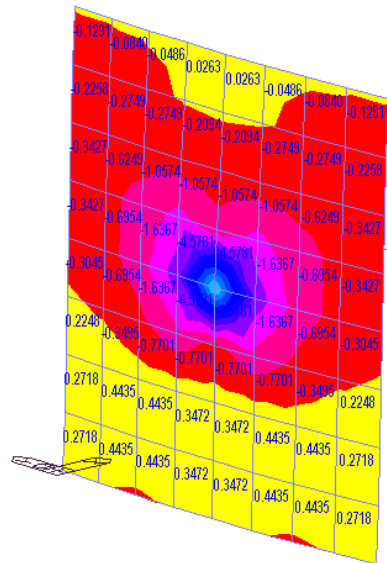


(b) 지점반력

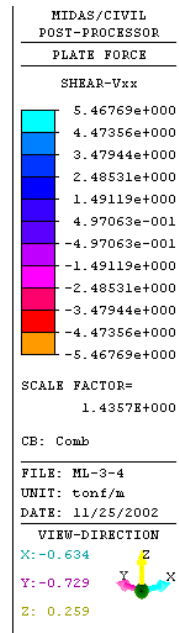
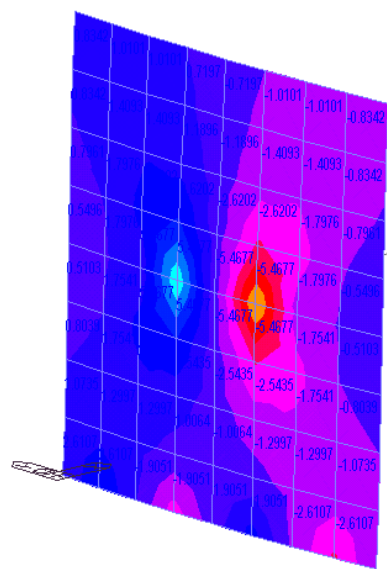
MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
REACTION FORCE	
FORCE-XYZ	
MAX. REACTION	
NODE=	82
FX=	-1.4900E+001
FY=	0.0000E+000
FZ=	3.5775E-002
FXYZ=	1.4900E+001
CB: Comb	
FILE: ML-3-4	
UNIT: tonf	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	
Y: -0.729	
Z: 0.259	



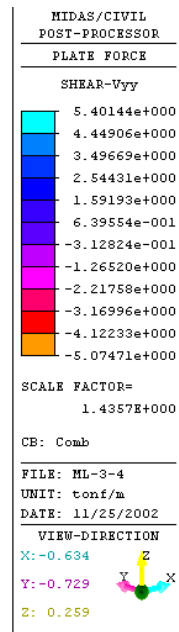
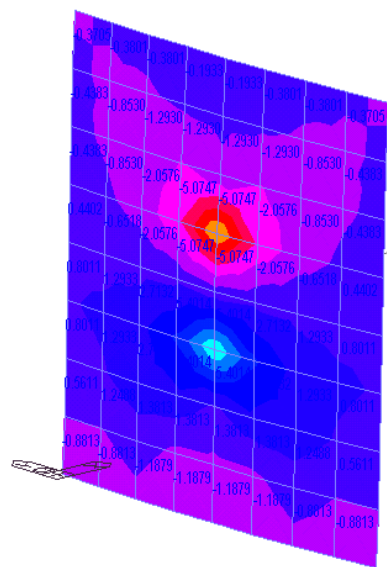
(c) x축모멘트 M_{xx}



(d) y축 모멘트 M_{yy}

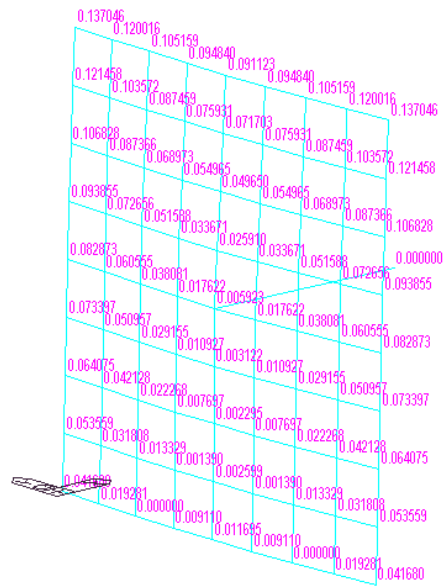


(e) x축 전단력 V_{xx}



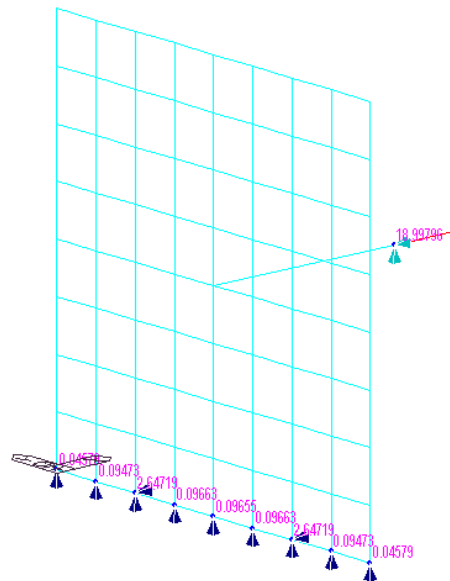
(f) y축 전단력 V_{yy}

5) 지하수위 $h=H$



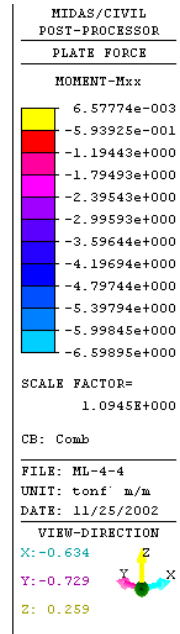
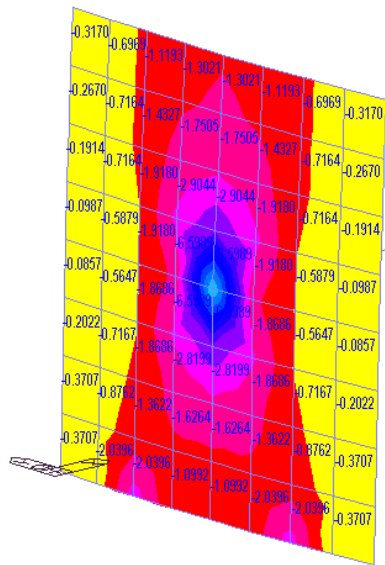
(a) 수평 변위

MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR DEFORMED SHAPE
RESULTANT
X-DIR= 1.370E-001
NODE= 73
Y-DIR= 9.799E-007
NODE= 1
Z-DIR= -3.864E-006
NODE= 77
COMB.= 1.370E-001
NODE= 73
SCALE FACTOR=
1.095E+000
CB: Comb
FILE: ML-4-4
UNIT: m
DATE: 11/25/2002
VIEW-DIRECTION
X: -0.634
Y: -0.729
Z: 0.259

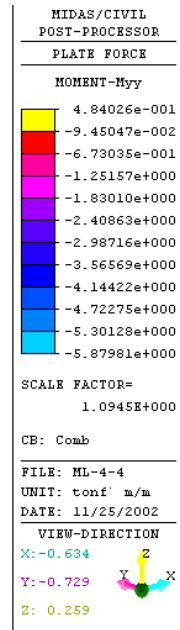
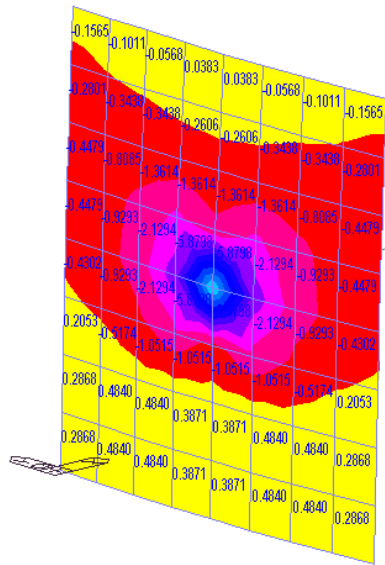


(b) 지점반력

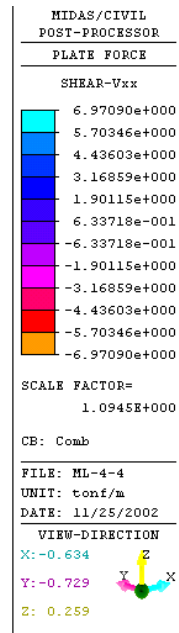
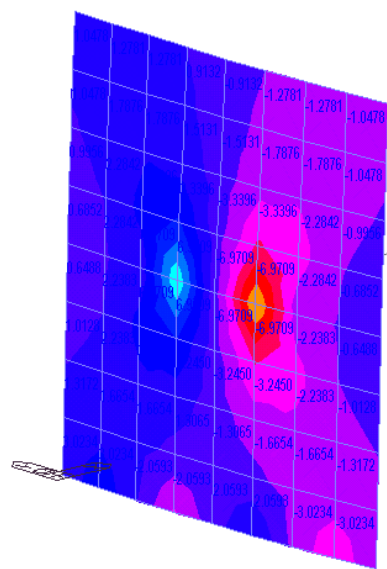
MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR REACTION FORCE
FORCE-XYZ
MAX. REACTION
NODE= 82
FX: -1.8998E+001
FY: 0.0000E+000
FZ: 4.8868E-002
FXYZ: 1.8998E+001
CB: Comb
FILE: ML-4-4
UNIT: tonf
DATE: 11/25/2002
VIEW-DIRECTION
X: -0.634
Y: -0.729
Z: 0.259



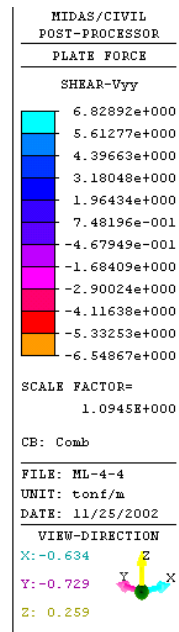
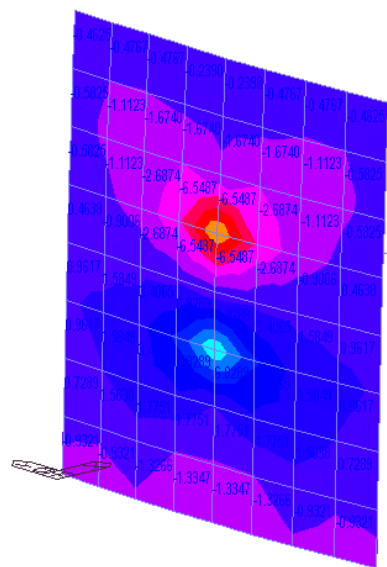
(c) x축모멘트 M_{xx}



(d) y축 모멘트 M_{yy}



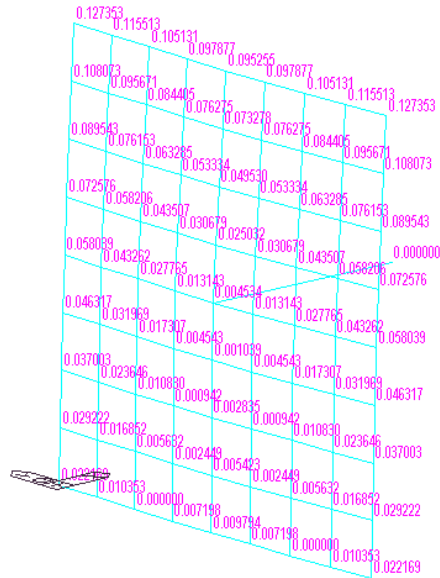
(e) x축 전단력 V_{xx}



(f) y축 전단력 V_{yy}

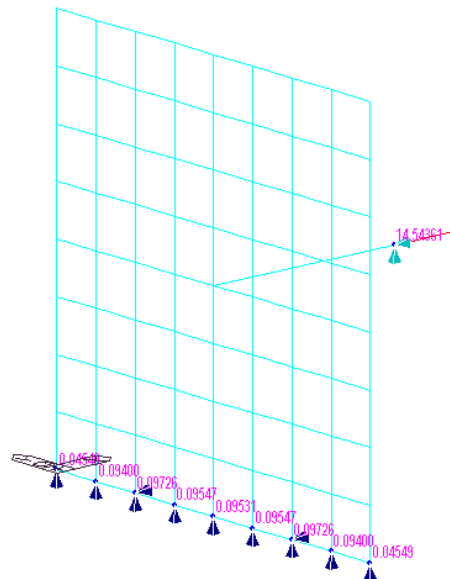
3. 경질 점성토(CL)

1) 지하수위 $h=0\text{m}$



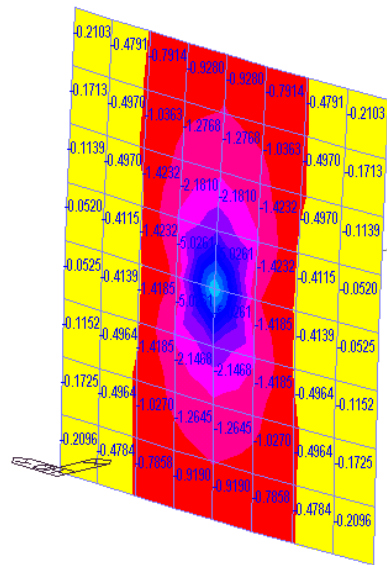
(a) 수평 변위

MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
DEFORMED SHAPE	
RESULTANT	
X-DIR=	1.274E-001
NODE=	73
Y-DIR=	9.625E-007
NODE=	1
Z-DIR=	-3.818E-006
NODE=	77
COMB.=	1.274E-001
NODE=	73
SCALE FACTOR=	1.178E+000
CB: Comb	
FILE: CL-O-4	
UNIT: m	
DATE: 11/26/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	Z
Y: -0.729	Y
Z: 0.259	X

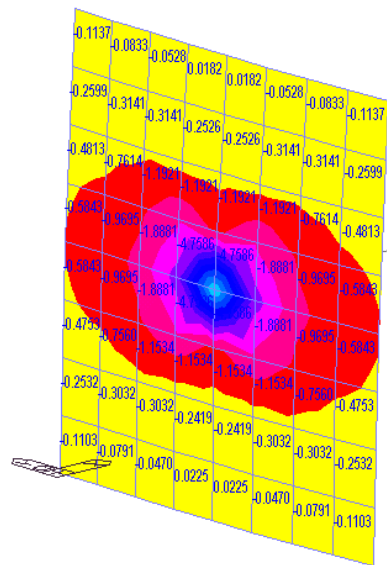
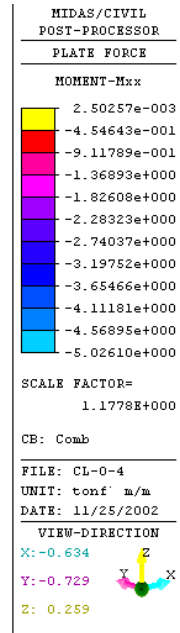


(b) 지점반력

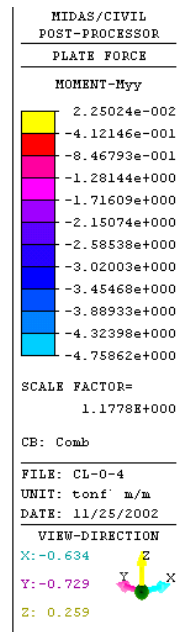
MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
REACTION FORCE	
FORCE-XYZ	
MAX. REACTION	
NODE=	82
FX=	-1.4544E+001
FY=	0.0000E+000
FZ=	5.6387E-002
FXYZ=	1.4544E+001
CB: Comb	
FILE: CL-O-4	
UNIT: tonf	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	Z
Y: -0.729	Y
Z: 0.259	X

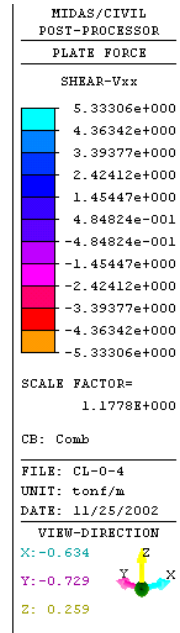
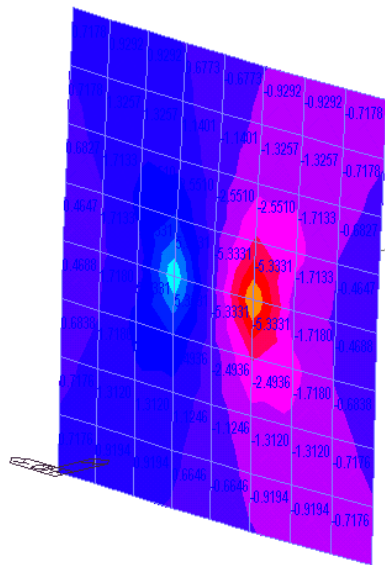


(c) x축모멘트 M_{xx}

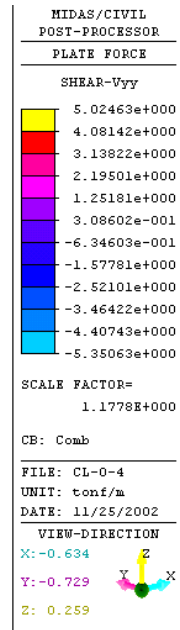
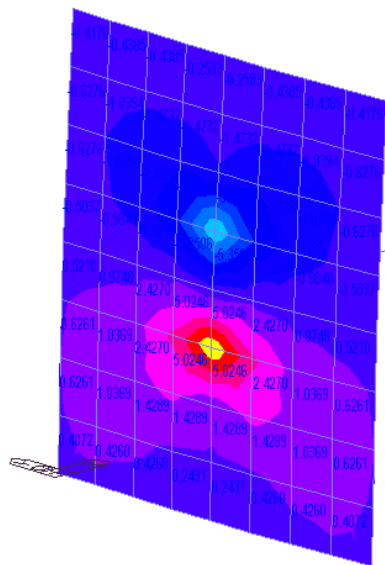


(d) y축 모멘트 M_{yy}



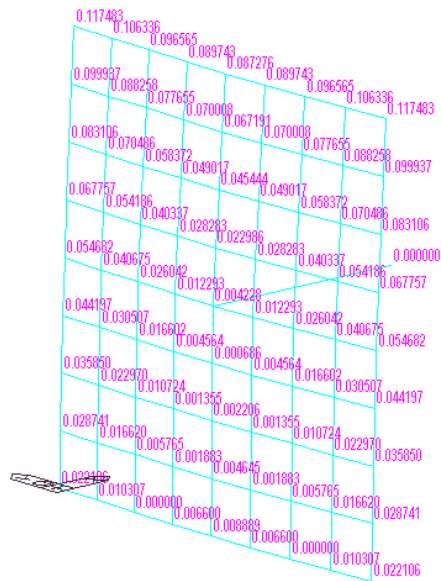


(e) x축 전단력 V_{xx}



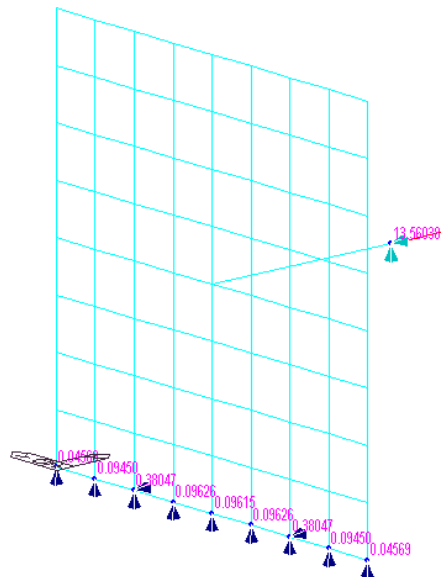
(f) y축 전단력 V_{yy}

2) 지하수위 $h=4H$



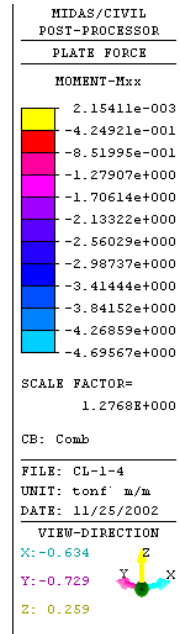
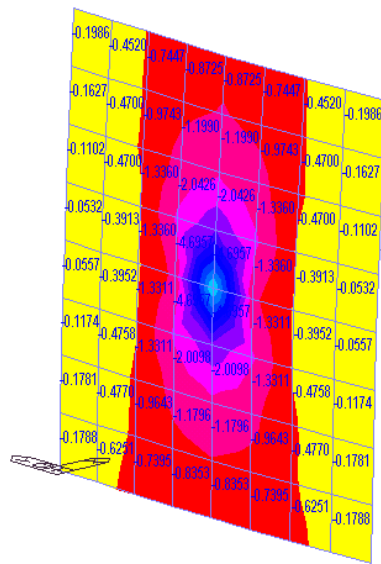
(a) 수평 변위

MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
DEFORMED SHAPE	
RESULTANT	
X-DIR=	1.175E-001
NODE=	73
Y-DIR=	9.743E-007
NODE=	1
Z-DIR=	-3.849E-006
NODE=	77
COMB.=	1.175E-001
NODE=	73
SCALE FACTOR=	1.277E+000
CB: Comb	
FILE: CL-1-4	
UNIT: m	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	
Y: -0.729	
Z: 0.259	

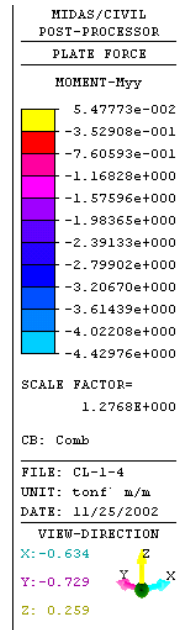
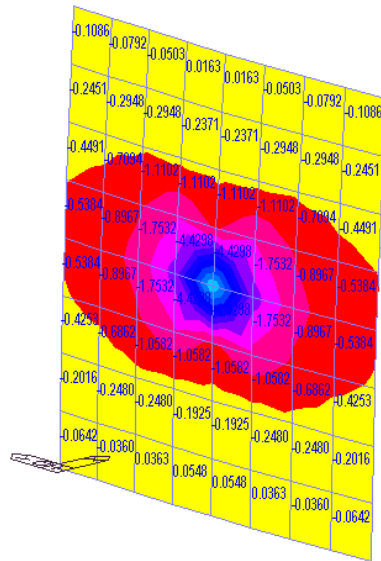


(b) 지점반력

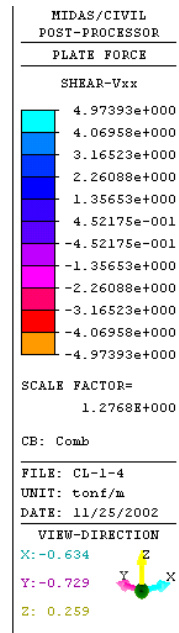
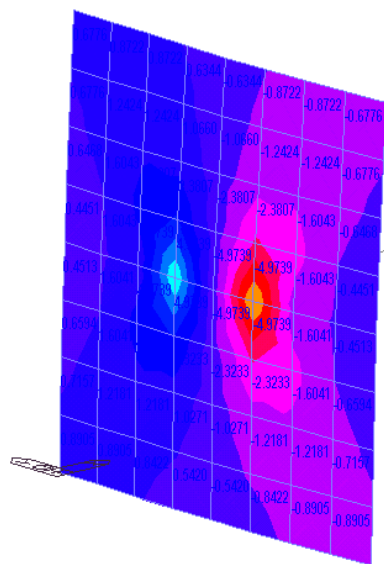
MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
REACTION FORCE	
FORCE-XYZ	
MAX. REACTION	
NODE=	82
FX:	-1.3560E+001
FY:	0.0000E+000
FZ:	5.1288E-002
FXYZ:	1.3560E+001
CB: Comb	
FILE: CL-1-4	
UNIT: tonf	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	
Y: -0.729	
Z: 0.259	



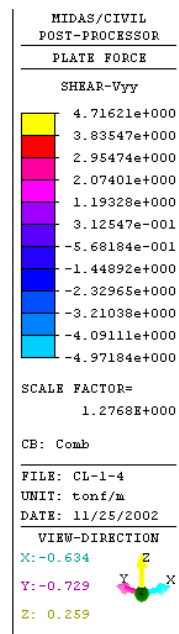
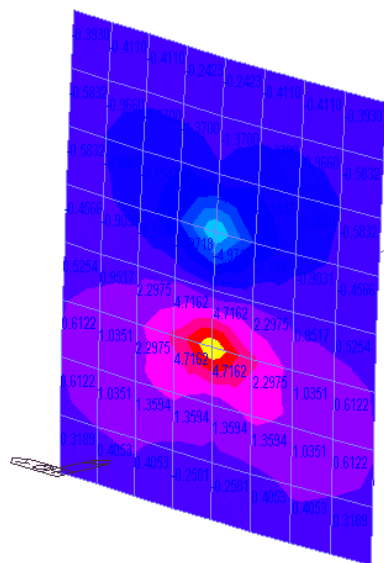
(c) x축모멘트 M_{xx}



(d) y축 모멘트 M_{yy}

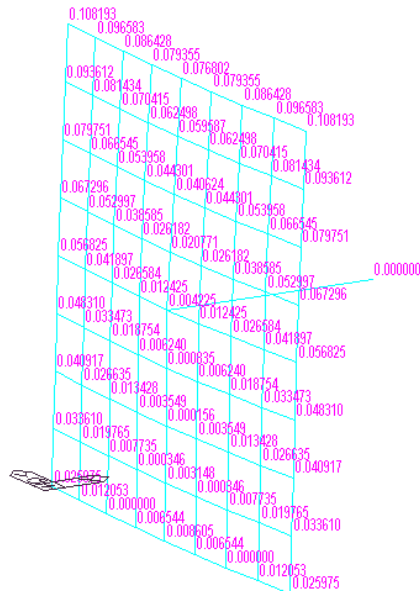


(e) x축 전단력 V_{xx}



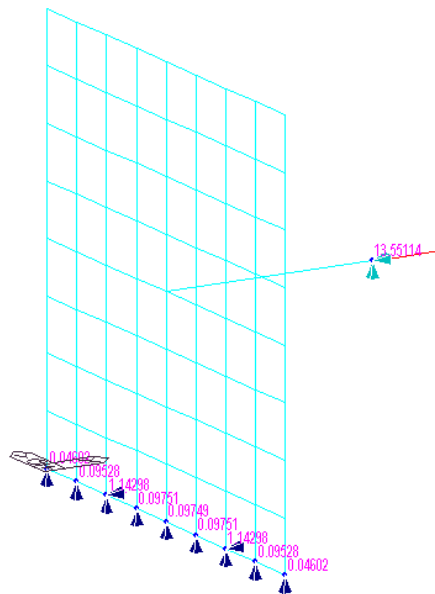
(f) y축 전단력 V_{yy}

3) 지하수위 $h=\frac{1}{2}H$



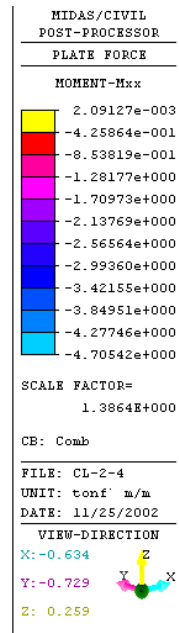
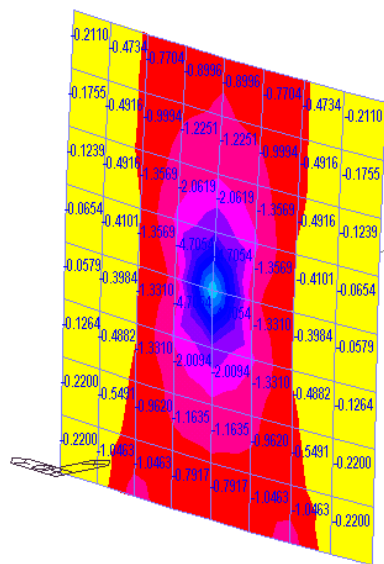
(a) 수평 변위

MIDAS/CIVIL	
POST-PROCESSOR	
DEFORMED SHAPE	
RESULTANT	
X-DIR=	1.082E-001
NODE=	73
Y-DIR=	9.931E-007
NODE=	1
Z-DIR=	-3.900E-006
NODE=	77
COMB.=	1.082E-001
NODE=	73
SCALE FACTOR=	1.386E+000
CB: Comb	
FILE: CL-2-4	
UNIT: m	
DATE: 12/09/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.483	Y: -0.837
Z: 0.259	

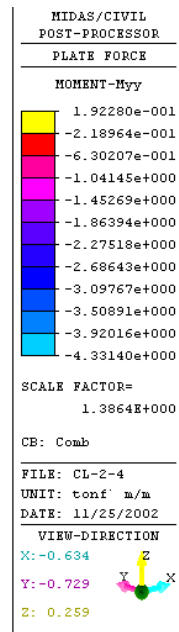
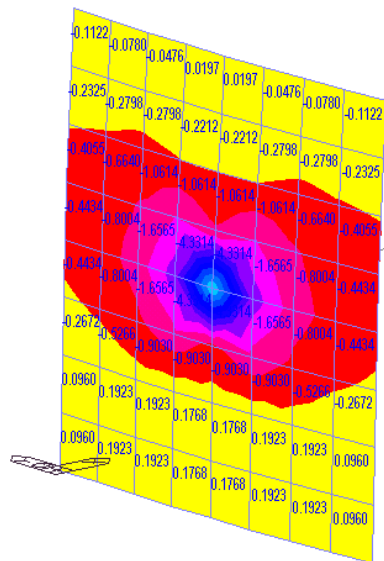


(b) 지점반력

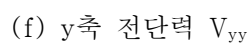
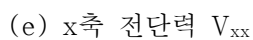
MIDAS/CIVIL	
POST-PROCESSOR	
REACTION FORCE	
FORCE-XYZ	
MAX. REACTION	
NODE=	82
FX=	-1.3551E+001
FY=	0.0000E+000
FZ=	4.3164E-002
FXYZ=	1.3551E+001
CB: Comb	
FILE: CL-2-4	
UNIT: tonf	
DATE: 12/09/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.483	Y: -0.837
Z: 0.259	



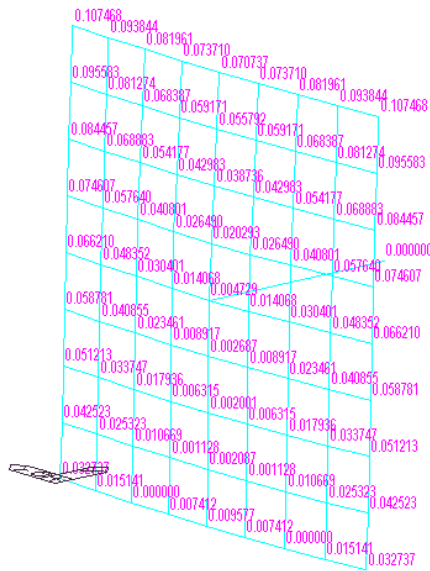
(c) x축모멘트 M_{xx}



(d) y축 모멘트 M_{yy}

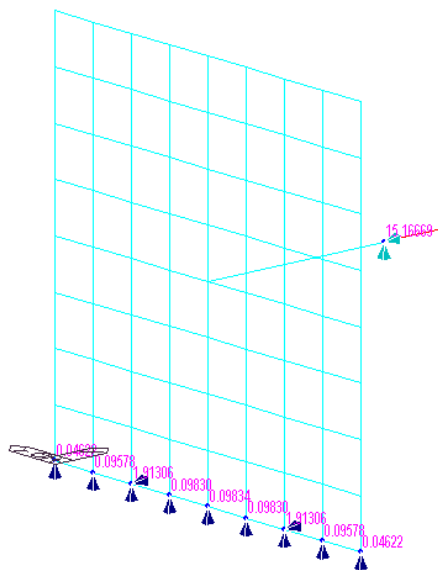


4) 지하수위 $h=\frac{3}{4}H$



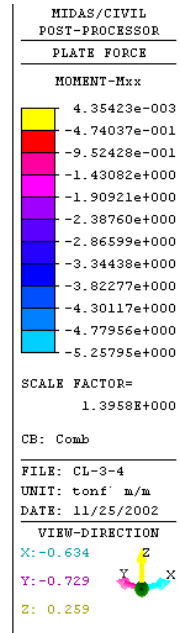
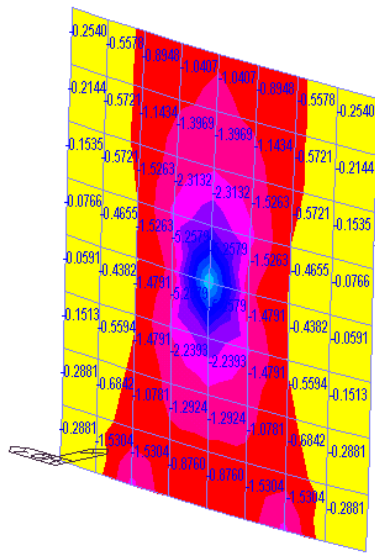
(a) 수평 변위

MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
DEFORMED SHAPE	
RESULTANT	
X-DIR=	1.075E-001
NODE=	73
Y-DIR=	1.005E-006
NODE=	1
Z-DIR=	-3.931E-006
NODE=	77
COMB.=	1.075E-001
NODE=	73
SCALE FACTOR=	1.396E+000
CB: Comb	
FILE: CL-3-4	
UNIT: m	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	
Y: -0.729	
Z: 0.259	

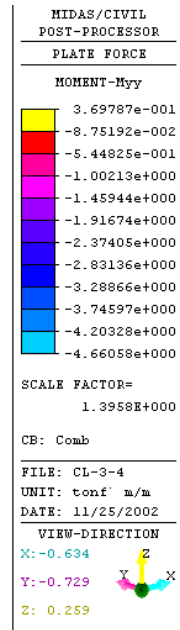
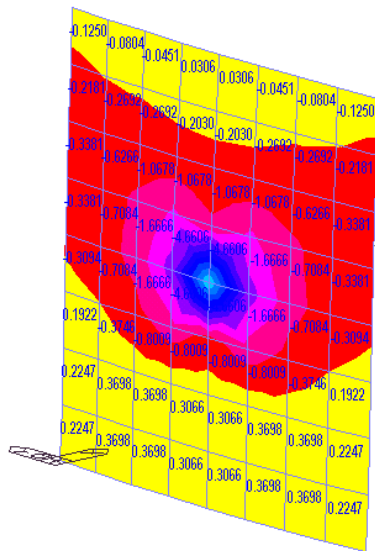


(b) 지점반력

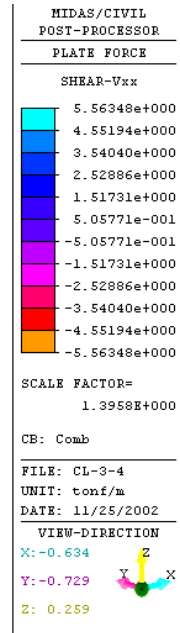
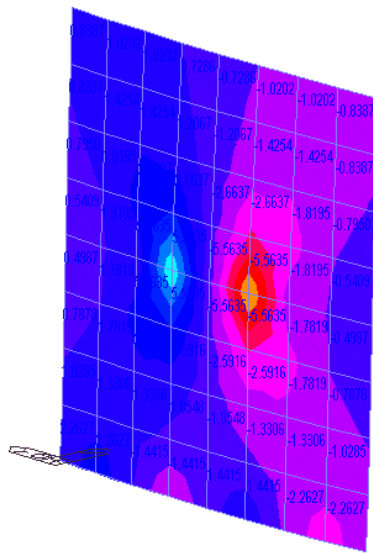
MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
REACTION FORCE	
FORCE-XYZ	
MAX. REACTION	
NODE=	82
FX=	-1.5167E+001
FY=	0.0000E+000
FZ=	3.8009E-002
FXYZ=	1.5167E+001
CB: Comb	
FILE: CL-3-4	
UNIT: tonf	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	
Y: -0.729	
Z: 0.259	



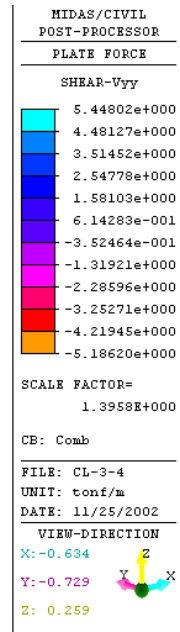
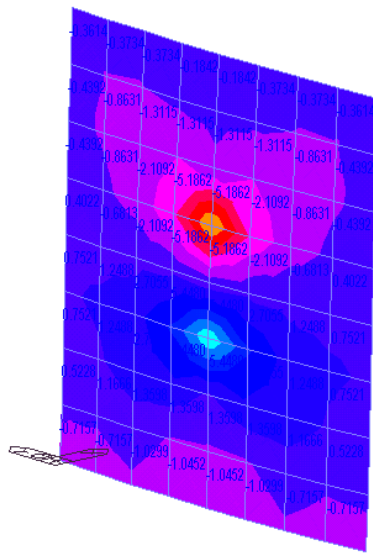
(c) x축모멘트 M_{xx}



(d) y축 모멘트 M_{yy}

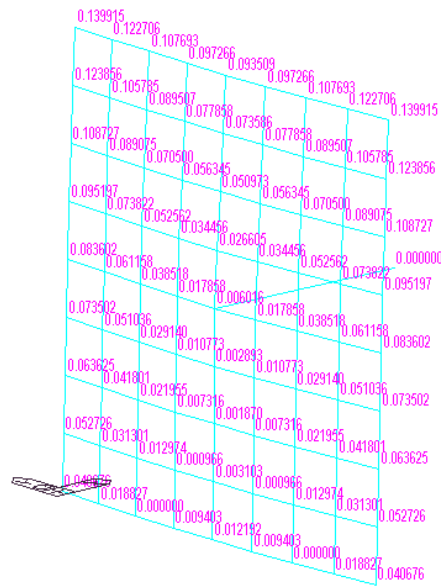


(e) x축 전단력 V_{xx}



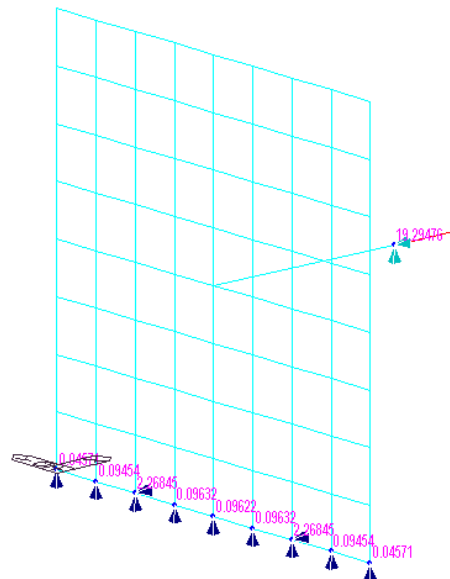
(f) y축 전단력 V_{yy}

5) 지하수위 $h=H$



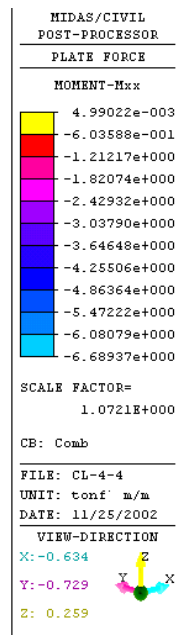
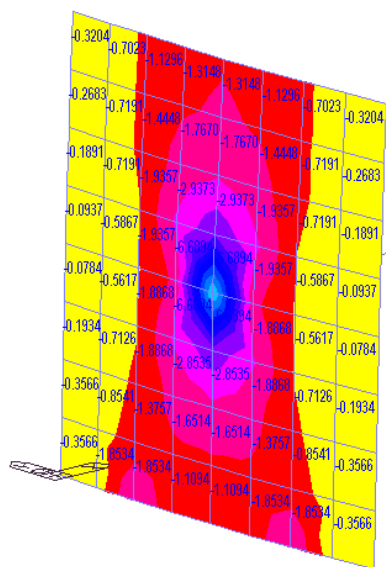
(a) 수평 변위

MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
DEFORMED SHAPE	
RESULTANT	
X-DIR=	1.399E-001
NODE=	73
Y-DIR=	9.753E-007
NODE=	1
Z-DIR=	-3.852E-006
NODE=	77
COMB.=	1.399E-001
NODE=	73
SCALE FACTOR=	1.072E+000
CB: Comb	
FILE: CL-4-4	
UNIT: m	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	
Y: -0.729	
Z: 0.259	

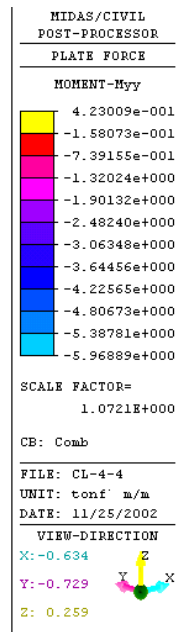
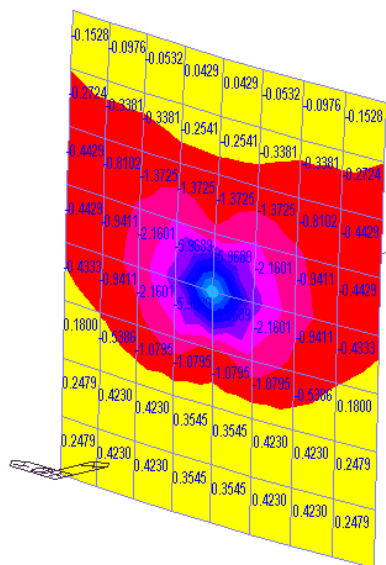


(b) 지점반력

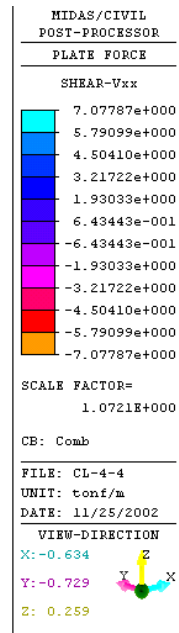
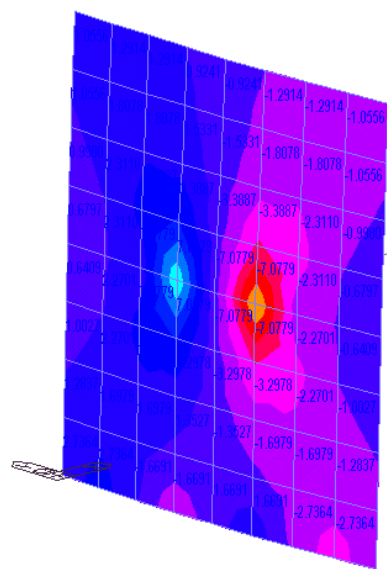
MIDAS/CIVIL POST-PROCESSOR	
REACTION FORCE	
FORCE-XYZ	
MAX. REACTION	
NODE=	82
FX:	-1.9295E+001
FY:	0.0000E+000
FZ:	5.0860E-002
FGYZ:	1.9295E+001
CB: Comb	
FILE: CL-4-4	
UNIT: tonf	
DATE: 11/25/2002	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.634	
Y: -0.729	
Z: 0.259	



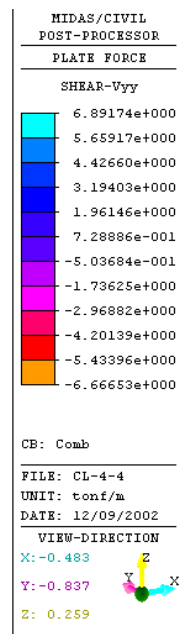
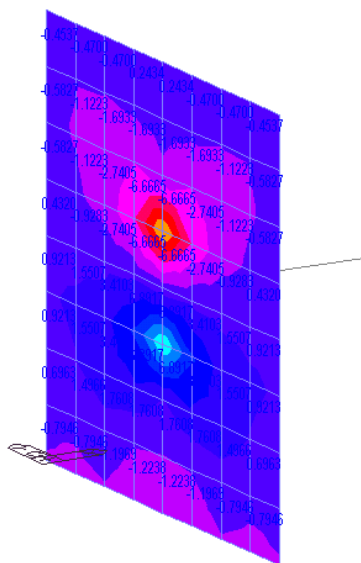
(c) x축모멘트 M_{xx}



(d) y축 모멘트 M_{yy}

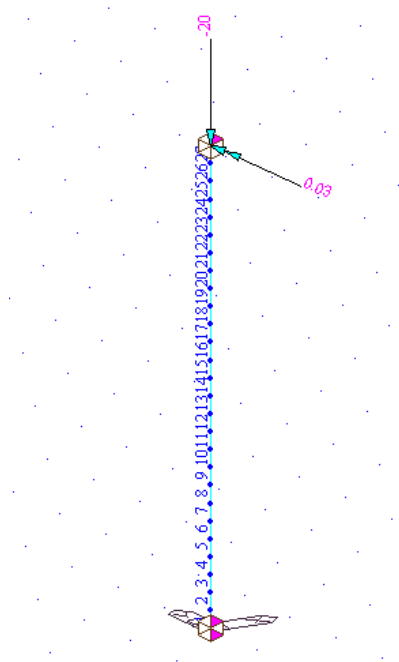


(e) x축 전단력 V_{xx}

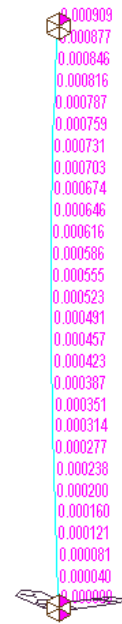


(f) y축 전단력 V_{yy}

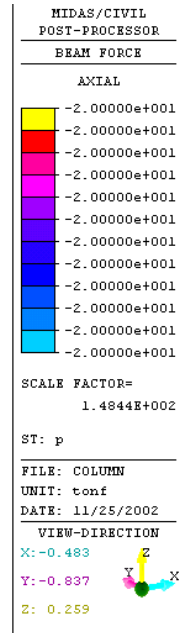
<지지붕의 구조해석 결과>



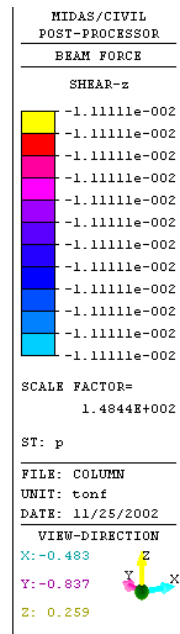
(a) 지지붕의 모델링



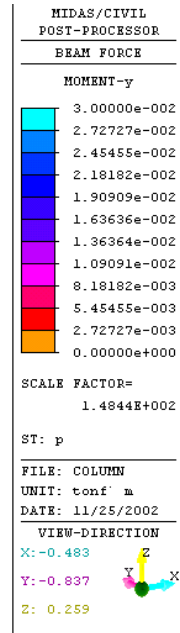
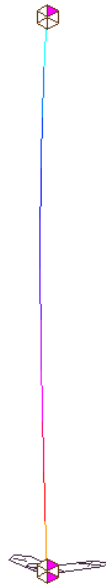
(b) 변위응답해석결과



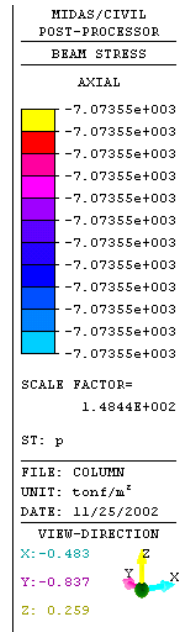
(c) 축방향력 해석결과



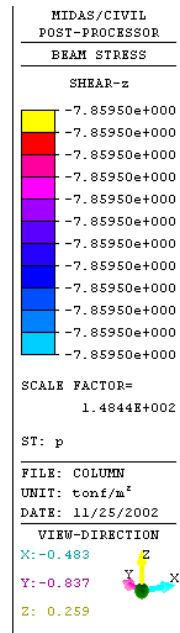
(d) 전단력해석결과



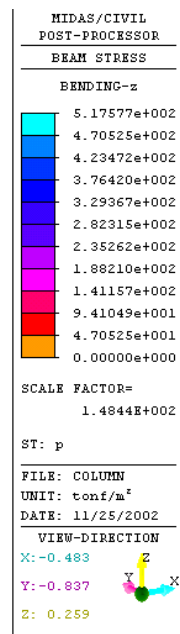
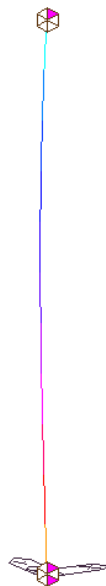
(d) 휨모멘트 해석결과



(e) 축방향응력 해석결과



(f) 전단응력 해석결과



(g) 휨응력 해석결과

ABSTRACT

In this study, lightening material weight and normalizing structure of preventing system of landslide soil–rock in trench excavation was tried with focusing in safety construction availability and workability.

In other words, risk estimate, safety management method investigation, applicability of bracing material and mechanical stability of bracing structure was studied

From these result, structural stability and structural analysis of light weight bracing structure was carried out with MIDAS/CIVIL Ver. 5.4.0, common structural analysis program, for examining movement mechanism of bracing structure and normalization of standard.

The results are summarized as following:

(A) Drainage level for risk estimate of preventing system of landslide soil–rock is analyzed and drainage system established and classified landslide pattern at cut site and safety estimate process around bracing is proposed

(B) Drainage system around trench excavated site and pumping and draining method in trench are organized. Mechanical characteristics of trench bracing light weight material are examined and proposed. The process of examination of fitness and stability when it jointed to structure is organized.

(C) Mechanical ability of FRP which is combined unsaturated polyester resin and glass cloth as alternative of existing material which can use at preventing system of landslide soil-rock is examined. From the result, plastic ability as super light weight material and usability as member is proposed.

(D) mechanical ability of bracing members and soil pressure parameter acting to member for ensuring mechanical propriety of bracing structural and useful of new material considering soil mechanics boundary were proposed. also theory and method of analysis of bracing structural were proposed.

(E) bracing plate form and property and mechanical excellence of light weight material about FRP for lightening of bracing structural were proposed.

(F) Soil parameter and earth pressure distribution acting on bracing plate ere examined. Analysis of member section and stability of structure carried out by common program(MIDAS.CIVIL. Ver. 5.4.9). And the result of analysis to examine stability of each part of member was proposed

(G) As a result of the structure analysis of geographical profile for light panel used FRP as sand, soft clay, hard clay, mechanical characteristics(bending moment, shear force, axial force) of panel were

changed according to groundwater level and it is proved that the result of mechanical analysis is within allowable stress. Thus, light panel is available for bracing structure in trench excavation

Mechanical deformation have to be confirmed to assure practical applicability with regularly reduced scale model since proposed details described at conclusion and theoretically analyzed. And selection of material, surveying composition of temporary installed structure, deformation of member are also needed. So following process is needed for normalization and utilization of bracing panel

(A) For trench excavation in the actual field, we need to observe by simulating the process of landslide soil-rock and to get at root of the mechanism of landslide soil-rock.

(B) We need to manufacture the safe structure to real-size or reduced model and the various light-weight material of bracing panel and to apply in the actual situation and to certificate the workability for the manufacture(assembly) and dismantlement

(c) We must examine the mechanical capacity of the light-weight structure by the model test of the bracing panel and operate the test at the actual field and so we must propose the expansion-range of the application in actual.



한국산업안전공단
KOREA OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH AGENCY



영남대학교