

화강암 절단면과 콘크리트 부착면에 대한 일정강성도 전단시험

Shear Tests Under Constant Normal Stiffness for Granite-concrete Interface

조 천 환¹ Cho, Chun-Whan

이 명 환² Lee, Myung-Whan

유 한 규³ Yoo, Han-Kyu

Abstract

The purpose of this paper is to make an understanding of fundamental mechanism of shear behaviour between rock and concrete interfaces in the pile socketed into granite. The interface of pile socketed in rock can be modeled in laboratory tests by resolving the axi-symmetric pile situation into the two dimensional situation under CNS(constant normal stiffness) direct shear condition. In this paper, the granite core samples were used to simulate the interface condition of piles socketed in granite in our country. The samples were prepared in the laboratory to simulate field condition, roughness(angle and height), stress boundary condition, and then tested by CNS direct shear tests. This paper describes shearing behaviour of socket piles into domestic granite through the analysis of CNS test results. It was found out that the peak shear strength increases with the angle of asperity and CNS value, and also the dilation increases with the angle of asperity but decreases with the CNS value.

요 지

본 연구는 암반에 근입된 현장타설말뚝의 화강암과 콘크리트의 부착면에서의 전단거동을 이해하려는 데 있다. 암반에 근입된 현장타설말뚝의 전단거동을 실내에서 실험하기 위해서는 현장에서의 전단거동을 모델링 해야 한다. 따라서, 말뚝의 축방향 대칭성을 고려해 암반에 근입된 전단면을 2차원으로 모델링함으로써 일정수직강성도(constant normal stiffness; CNS) 조건의 전단시험을 실시할 수 있다. 본 논문에서는 국내 화강암을 대상으로 거칠기, 암의 강도, 응력경계조건 등을 고려하여 암-콘크리트 접촉부에 대한 일정수직강성도 전단시험을 수행하였다. 실험결과 각 변수(요철부의 경사각 및 높이, 수직강성도)에 따른 전단특성(침투전단강도, 전단응력, 수직응력)은 물론 팽창현상(dilation) 등을 관찰할 수 있었다. 시험결과에 따르면 침투 전단강도는 요철부의 경사각이 증가할수록, 그리고 수직강성도가 증가할수록 증가하는 것으로 나타났으며, 팽창량은 요철부의 각도가 클수록 수직강성도가 작을수록 크게 나타났다.

Keywords : Constant normal stiffness, Drilled shaft, Granite, Rock socket, Roughness

1. 서 론

암반에 근입된 현장타설말뚝의 주면지지력에 영향을

주는 요인에는 암석의 강도(q_u), 근입부의 거칠기(Δr), 암반의 변형계수 및 포아송비(E_m, ν_m), 근입부의 직경(d), 초기수직응력, 굴착방법 등이 있다(Seidei 등, 2002;

1 정회원, 삼성건설 T.A. 팀, 전문위원 (Member, Samsung Corp., Technical Advisory Team, chunwhan.cho@samsung.com)

2 정회원, 파일테크, 소장 (Member, Piletech Consulting Co.)

3 정회원, 한양대학교, 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil & Envir. Engrg., Hanyang Univ.)

조 등, 2002). 그럼에도 불구하고 대부분의 설계기준은 암반에 근입된 현장타설말뚝의 주면저항력을 계산하기 위해 암석의 일축압축강도를 이용하는 경험적 방법을 채택하고 있다. 최근에 Seidel(1995, 2001)은 록 소켓팅(rock socketing)의 전통적인 방법이 주로 암석의 일축압축강도만을 이용하는 불합리한 점을 수정하기 위해 암반에 근입된 현장타설말뚝의 전단저항력을 계산하는데 있어 일축압축강도 외에 구속응력, 굴착면의 거칠기, 말뚝의 직경, 암반의 변형계수 등을 고려하여 지지력을 계산하는 방법, 즉 현장조건을 모사할 수 있는 새로운 설계법을 제안하였다.

Seidel(1994, 2001)에 의해 제안된 현장타설말뚝의 설계방법은 암반에 근입된 현장타설말뚝의 거동을 기존의 경험적 방법보다 신뢰성 있게 예측할 수 있다는 사실로부터 경제적이고 안전한 설계에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 이 설계법은 호주 멜번(Melbourne)의 모나쉬 대학(Monash University) 연구팀에서 지난 20여년간 멜번의 주요 기반암인 이암(일축압축강도 2MPa~15MPa)을 대상으로 연구 개발된 방법으로, 국내에서 이를 실용화시키기 위해서는 대상 암반보다 강도가 비교적 크고 암종이 다른 국내 주요 기반암(화강암 또는 화강편마암 등)에 대한 적용성 연구가 필요하다.

암반에 근입된 현장타설말뚝의 거동을 실내에서 실험하기 위해서는 이러한 영향요인을 반영한 현장에서의

전단거동을 모델링(modelling) 해야 한다. 현장에서의 전단거동은 일정수직강성도(constant normal stiffness; CNS) 조건으로 모델링 할 수 있다. 모델링에서의 주요 관점은 식 (1)에서와 같이 현장타설말뚝의 축방향 전단시 거칠기에 의한 말뚝직경의 증가(Δr)와 이에 따른 수직응력의 증가($\Delta\sigma_n$)이며, 이러한 조건은 식 (2)와 같이 일정수직강성도로 나타낼 수 있다(Seidel 등, 2001).

$$\Delta\sigma_n = \frac{E_m}{(1+\nu_m)} \frac{\Delta r}{r} \quad (1)$$

$$K = \frac{\Delta\sigma_n}{\Delta r} = \frac{E_m}{(1+\nu_m)r} \quad (2)$$

CNS에 의한 전단조건은 암반의 사면에서 일어나는 전단조건, 즉 일정수직응력(constant normal stress) 조건과는 완전히 다른 것으로 얻어지는 결과치에도 크게 차이가 있다. 따라서 암반에 근입된 현장타설말뚝의 주면저항력을 구하기 위한 강도정수는 암사면에서의 전단거동(김대영, 2001)과 구분되어야 한다.

암반에 근입된 현장타설말뚝의 전단거동 시험은 말뚝의 축방향 대칭성을 고려해 암반에 근입된 전단면(또는 암-콘크리트 접촉부)을 2차원으로 실험실에서 모델링함으로써 일정수직강성도 조건의 전단시험을 실시할 수 있다. 그림 1은 암과 콘크리트의 접촉면을 모사하여 전단시험을 하는 개념을 보여주고 있다. 적용된 수직응

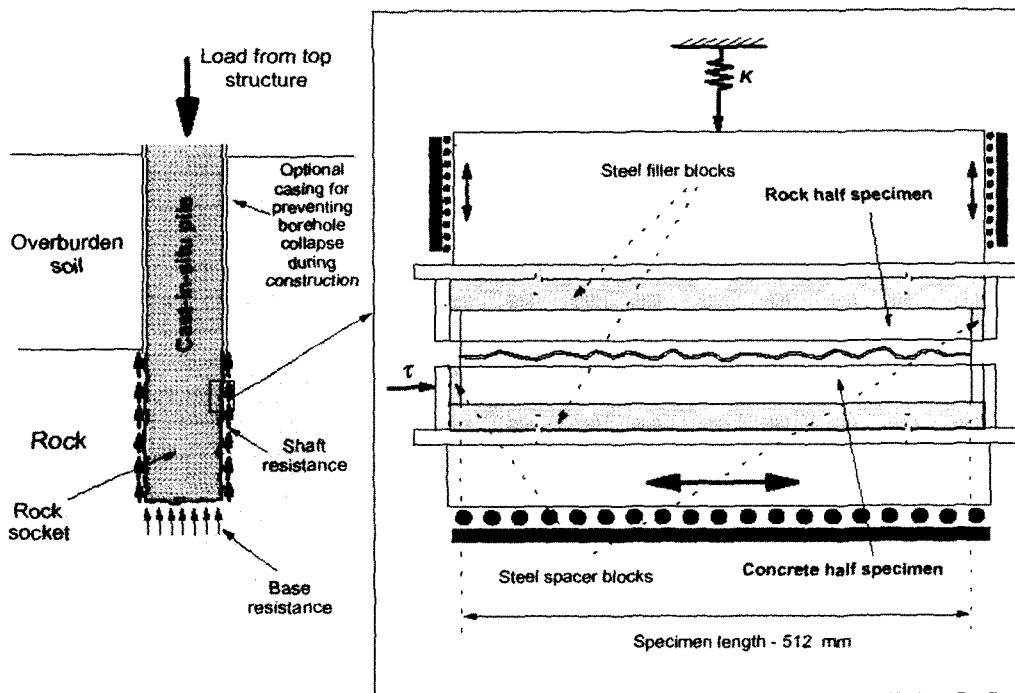


그림 1. 암반 소켓의 모델링을 위한 실내 시험장비 개요도(Gu, 2001)

력은 전단시 시료의 팽창 조건과 관련된 것으로 피이드백(feed back) 조절장치 등을 통해 일정수직강성도 조건을 유지할 수 있다(Seidel, 1993; Gu, 2001).

암반과 콘크리트 접촉면의 거칠기는 현장타설말뚝의 주면저항력을 지배하는 중요한 요소이다. 그러므로 본 시험은 화강암과 콘크리트 접촉부의 전단거동에 대한 거칠기의 영향을 검토할 수 있도록 계획되었다. 그동안 Pells 등(1980), Horvath 등(1983), Kulhawy 등(1993), Seidel 등(2001), Gu(2001), 이명환 등(2003) 등 여러 연구에서 현장타설말뚝의 암반근입부의 거칠기에 대한 측정 및 분석이 이루어 졌으며, 이들 결과의 대부분은 암반근입부의 거칠기는 변화가 매우 크고, 거칠기 정도는 전단저항력의 영향에 매우 중요하다는 결론에 이르고 있다. 따라서 본 논문에서는 CNS 전단 시험시 국내 현장타설말뚝의 거칠기 특성을 반영하기 위하여 국내 여러 현장에서 거칠기 형상을 조사하여 통계분석한 자료(이명환 등, 2003)를 CNS 전단시험에 이용하였다.

본 논문의 목적은 국내 화강암반에 근입된 현장타설말뚝의 전단거동을 이해하기 위한 것이다. 따라서 현장에서 채취한 화강암편을 국내 현장타설말뚝 굴착공벽의 거칠기 특성을 반영하여 절단 한 후 콘크리트를 타설하여 만든 시편에 대해 CNS 전단시험을 실시하여 화강암에 근입된 현장타설말뚝의 전단거동을 분석해 보았다.

2. 시험내용 및 방법

2.1 시험장비

화강암 절단면과 콘크리트의 부착면의 전단시험은 CNS 전단시험 장비를 이용하여 수행되었다. 이 장비는 1990년도에 모나쉬 대학에서 제작된 것으로 크기는 높이 4m, 길이 4m 정도이다. 그림 2는 시험장비의 개요를 보여주고 있다. 시험 장비에 대한 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 시편의 크기는 길이 600mm, 너비 200mm, 높이 135 mm까지 조립할 수 있다.
- 2) 시료의 축방향 전단변위는 2개의 변위계(LVDT, ± 0.01 mm), 시료의 축직각 방향 변위는 3개의 변위계(LVDT, ± 0.002 mm)에서 측정하고, 축방향 및 축직각 방향의 하중은 각 하중계에서 측정한다. 이러한 변위와 하중은 컴퓨터에 의해 자동으로 기록된다.

- 3) 수직력과 전단력은 자동조절장치(servo controller)가 달린 25톤 용량의 actuator에 의해 작동된다.
- 4) 단상 및 주기적인 하중과 변위의 작동이 가능하다.
- 5) 수직응력에 대한 하중조절을 위해 전단변위에 따른 강성도의 조정이 자동적으로 이루어진다.
- 6) 전단하중의 자동조절장치는 변위제어 및 하중제어가 가능하다. 본 시험은 변위제어방식(0.5mm/min)으로 수행되었으며, 이 값은 시험하는 동안의 과잉간극수압의 영향을 배제하도록 결정되었다.
- 7) PC를 이용한 동시 화상 관찰 및 제어가 가능하다.
- 8) 전단시 축방향 및 축직각방향의 면적수정이 가능하다.
- 9) 비디오 카메라를 이용하여 전단과정의 촬영이 가능하다.



그림 2. CNS 전단 시험장비의 전경

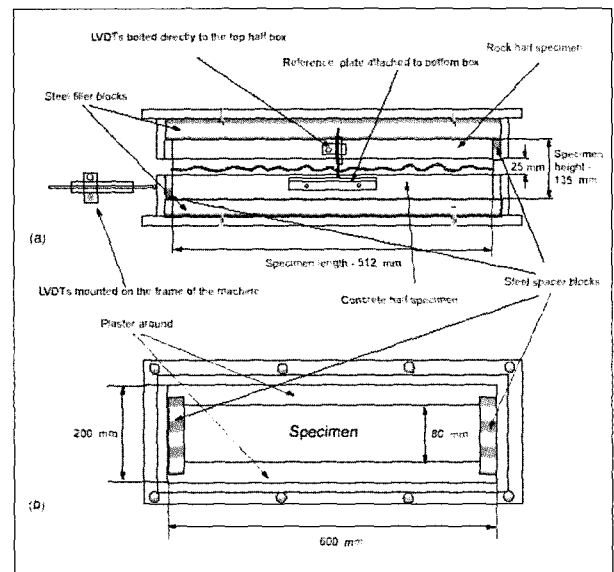


그림 3. 전단상자의 상세 (a)정면도, (b) 평면도

분리형 전단박스는 각각 압과 콘크리트를 설치할 수 있도록 되어있고, 이의 크기는 600mm×200mm, 높이는 135mm이다. 하부상자의 깊이는 60mm로 콘크리트를 설치하고, 상부상자는 50mm로 암석시료를 설치하도록 고안되었다. 2개의 전단상자는 분리형 철판으로 연결되는데, 이는 시료준비과정에서 설치되었다가 시험시는 제거되어 상하부 전단상자가 전단면을 중심으로 25mm의 유격이 만들어진다. 따라서 이를 통해 전단부의 관찰과 기록이 가능하다(그림 3 참조). 전단상자, 지지 시스템, actuator, 조절장치, 측정장치, 출력장치 등의 상세는 Seidel(1993)을 참고할 수 있다.

2.2 시험시편

국내에서 현장타설말뚝이 시공되는 암의 분류는 풍화암에서 연암정도의 풍화도에 해당된다. 국내의 타설 콘크리트의 배합강도는 약 30MPa이며 최대 약 36MPa까지 이용되고 있다. 따라서 실험에 이용될 암의 강도는 콘크리트의 강도, 36MPa를 기준으로 3종류(26MPa 이하, 26MPa 이상 36MPa 이하, 36MPa 이상)로 구분하였다. 실험에 이용된 암은 자연 상태에서 코어링(coring)된 화강암으로 선산과 광주 지역에서 채취한 암석이며 이들에 대해 일축압축강도와 필요한 물성시험을 수행하였다.

현장상태를 반영하기 위해 일축압축강도가 비교적 낮은 시편들도 포함시켰는데, 이들의 경우는 시편들의 풍화도가 비교적 심하고 미세한 균열을 포함하고 있는 경우가 많았다. 한편, 본 시험은 암과 콘크리트 접촉면에서의 전단거동을 살펴보는 것이 주 목적이므로 암에서만 전단이 되도록 콘크리트의 압축강도는 양생일정에 따라 50MPa~60MPa 정도로 유지하도록 콘크리트의 배합설계를 조정하였다.

시험에 적용한 화강암 절단면의 거칠기는 평균적인 돌기의 각도(거칠기면의 수평면에 대한 각도)를 rough(15°), medium(10°), smooth(5°)로 모사하였다. 이러한 평균각도는 국내의 현장타설말뚝에서 직접 측정하여 분석한 거칠기 분류(rough, medium, smooth)를 참고(이명환 등, 2003)하였다. 평균각도를 기준으로 현의 단위길이(chord length)를 16mm로 설정한 후 Seidel(1993)의 방법에 따라 거칠기의 단면을 생성한 후 절단하여 시험에 이용하였다. 그림 4는 시험에 적용된 거칠기의 단면을 보여주고 있다.

거칠기가 결정된 후 암석시편은 고압살수절단기(water-

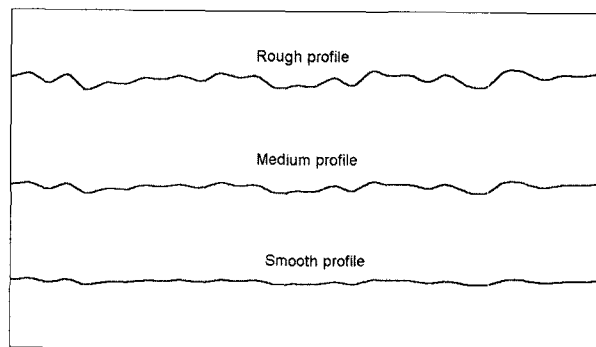


그림 4. 거칠기 단면(non-scale)

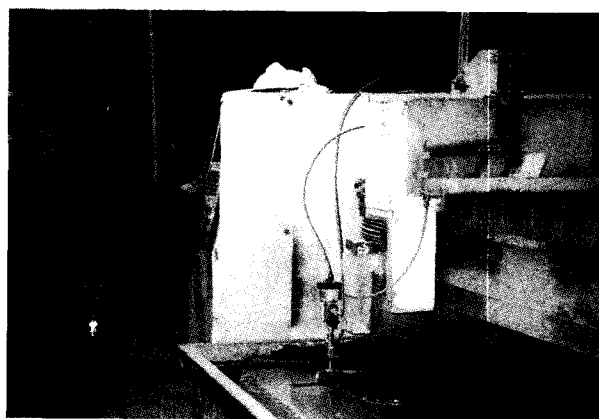


그림 5. 거칠기 절단 광경

jet cutter)를 이용하여 거칠기 단면대로(CAD 이용) 절단하였다(그림 5 참조). 단면이 절단된 후 절단면 위에 얇은 랩(wrap)을 씌우고 콘크리트를 타설한 후 항온습조(fog room)에서 양생시켰다.

얇은 랩을 이용하여 암석과 콘크리트를 분리시킨 이유는 콘크리트와 암석의 부착력을 제외함으로써 본 연구의 목적인 전단거동을 보다 용이하게 확인하기 위함이다. 암석과 콘크리트의 전단거동에 대한 부착력의 영향은 Gu(2001)의 연구를 참고할 수 있다.

시험 시편이 양생된 후 랩을 제거하고 강판 등을 이용하여 시편을 전단박스에 고정 설치한 후 공간은 플라스터를 타설하여 양생함으로써 시편을 전단상자에 고정시켰다.

전술한 바와 같이 현장타설말뚝이 접촉면을 기준으로 전단되면 거칠기 면을 따라 팽창이 발생한다. 팽창이 일어남에 따라 부가적인 수직응력이 선형적으로 증가하게 되며 결국 전단은 일정한 수직강성도 조건에서 발생하게 된다. 이러한 전단거동을 실내시험으로 모사하기 위해서는 일정수직강성도 조건에서 시험이 수행되어야 한다. 또한 현장타설말뚝은 콘크리트의 타설로 인해 초기수직응

력을 포함하고 있으므로 시험시는 이를 고려해야 한다.

따라서 본 연구에서 전단시험의 경계조건은 국내 현장타설말뚝의 평균조건을 고려하여 초기수직응력(initial normal stress; INS)은 250kPa로 고정하고, CNS는 평균 값 320kPa/mm를 기준으로 100kPa/mm와 960kPa/mm로 변화시켜 적용하였다.

전술한 강도 수준 및 거칠기 조건에 시험 경계 조건을 고려하여 최종적으로 CNS 전단시험의 경우의 수를 총 15개로 선정하였다. 이들 시편에 대한 공학적 특성을 표 1에 요약하였다. 국내의 여러 지역에서 많은 암편을 준비하여 이중 적절한 시편을 시험시편으로 최종 선정하였기 때문에 물성 시험은 강도 그룹 위주로 실시하였

표 1. CNS 시험을 위한 시편조건

No.	Test No	Specimen size(LxD) (mm)	UCS (MPa)	Specific Gravity	Porosity (%)	Young's Modulus 10 ⁴ (MPa)	Poisson's ratio	Wave Velocity (m/sec)	
								P wave	S wave
1	FQA01	235X51	21	2.4	6.49	1.2	0.28	1970	1180
2	FQA04	262X51	21						
3	FQA05	230X51	25.7			0.16	0.42		
4	FQA06	245X51	26	2.41	8.6	1.42	0.3	1960	1240
5	FQA13	510X52	22	2.57	1.98	2.17	0.26	3960	2110
6	FQA02	245X51	28						
7	FQA07	205X52	28						
8	FQA08	355X52	34	2.45	3.48	1.52	0.25	1800	1000
9	FQA09	320X52	34	2.47	4.19	1.33	0.26	1900	1150
10	FQA14	350X52	36	2.57	1.73	2.58	0.23	2270	1260
11	FQA03	195X51	57						
12	FQA10	435X52	40	2.56	2.99	2.79	0.25	3600	2060
13	FQA11	210X52	45.6				0.28		
14	FQA12	305X52	77						
15	FQA15	225X51	86						

주) 빈칸은 해당 시험자료가 없는 경우임.

표 2. CNS 시험을 위한 시편조건

No	Test No	Specimen Size (LxD)(mm)	UCS (MPa)	Roughness			Stress Boundary Condition		
				Description	Mean Angle (deg)	Mean Height (mm)	Initial Normal Stress (kPa)	Constant Normal Stiffness (kPa/mm)	
1	FQA01	235×51	≤ 26	21	Smooth	5	1.26	250	320
2	FQA04	262×51		21	Medium	10	2.53	250	100
3	FQA05	230×51		25.7	Medium	10	2.53	250	320
4	FQA06	245×51		26	Medium	10	2.53	250	960
5	FQA13	510×52		22	Rough	15	3.84	250	320
6	FQA02	245×51	27~36	28	Smooth	5	1.26	250	320
7	FQA07	205×52		28	Medium	10	2.53	250	100
8	FQA08	355×52		34	Medium	10	2.53	250	320
9	FQA09	320×52		34	Medium	10	2.53	250	960
10	FQA14	350×52		36	Rough	15	3.84	250	320
11	FQA03	195×51	>36	57	Smooth	5	1.26	250	320
12	FQA10	435×52		40	Medium	10	2.53	250	100
13	FQA11	210×52		45.6	Medium	10	2.53	250	320
14	FQA12	305×52		77	Medium	10	2.53	250	960
15	FQA15	225×51		86	Rough	15	3.84	250	320

다. 표 2에는 시험에 이용된 15개 시편의 CNS 전단시험 조건을 나타내었다.

3. 시험결과 및 고찰

본 연구에서는 총 15개의 CNS 전단시험이 실시되었다. 각각의 시험조건은 표 1과 같은데 전체적으로 시험조건은 암석의 일축압축강도에 따라 3부류로 구분할 수 있다. 표 1에서와 같이 전반적인 시험결과의 경향이 유사하므로 여기에서는 첫 번째 부류(일축압축강도 $\leq 26\text{MPa}$)의 시험결과에 대해서만 고찰하였다. 상세한 시험결과는 파일테크 등(2002)을 참고할 수 있다.

그림 6은 동일 경계조건, 초기수직응력(INS)과 일정 수직강성도(CNS)가 각각 250kPa 및 320kPa/mm 인 조건에서 요철부의 평균 경사각(mean asperity angle; MAA)이 5° , 10° , 15° 로 변할 때의 전단거동을 보여주고 있다. 그림 6에서와 같이 침투 전단강도는 요철부의 경사각이 증가할수록 증가함을 알 수가 있다. 이는 요철부의 경사각이 클수록 후술할 팽창량이 커짐에 따라 수직응력이 증가하는 것에 기인하는 것이다.

요철부의 경사각이 클수록 팽창량이 증가하는 사실은

시편번호 FQA01에 대한 전단변위 및 팽창량에 따른 수직응력의 변화를 도시한 그림 7과 8로부터 알 수가 있다. 즉 그림 7에서와 같이 전단이 진행됨에 따라 요철부를 미끄러지면서 팽창에 의해 수직응력이 커지다가 최대 요철부를 지나서는 보다 작은 요철부에 의해 지배되어 수직응력은 더 이상 커지지 않는다. 암반과 콘크리트의 접촉부가 팽창되면서 변화되는 수직응력은 그림 8에서와 같이 이미 계획된 일정수직강성도 조건으로 제어되는 것을 알 수가 있다.

한편 그림 6에서 전단거동은 요철부의 평균 경사각이 커지면 보다 취성적(brittle)이고 작으면 보다 연성적(ductile)인 것을 볼 수가 있다. 아울러 그림 6에서 보면 요철부의 경사각이 10° 와 15° 인 경우는 요철부가 파괴되고, 5° 인 경우는 파괴되지 않고 요철부를 미끄러져 넘어가는 현상(overtopping)이 나타남을 알 수가 있다. 특히 FQA13의 경우는 파괴이후에도 전단응력이 계속 증가하는 것을 볼 수가 있는데 이는 첫 번째 요철부가 파괴된 후 2번째 요철부가 영향을 주기 시작한 것에 기인하는 것이다.

그림 9는 동일한 요철부의 평균 경사각, 10° 인 시편에서 수직강성도 변화(CNS; 100kPa/mm , 320kPa/mm , 960kPa/mm)에 따른 전단거동을 도시한 것이다. 그림 9에서와 같이 CNS가 증가함에 따라 침투 전단강도는 커

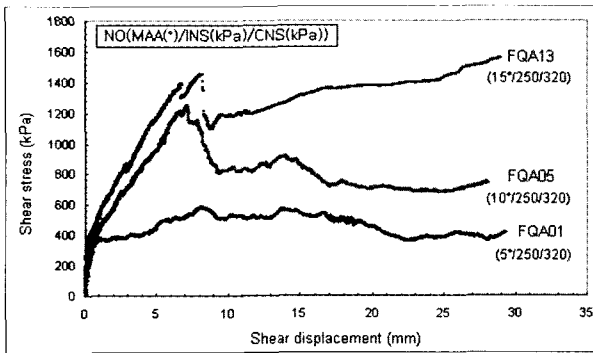


그림 6. 동일경계조건에서 요철부의 평균경사각에 따른 전단거동

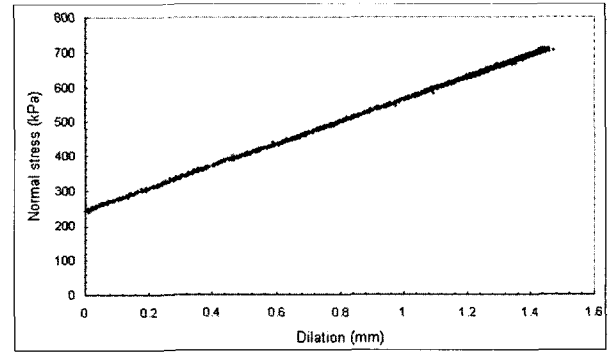


그림 8. 팽창량에 따른 수직응력변화(FQA01)

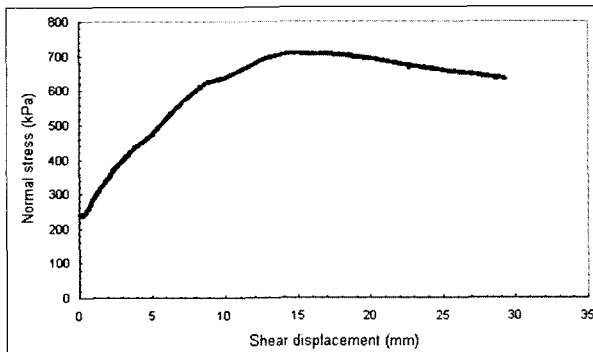


그림 7. 전단변위량 수직응력변화(FQA01)

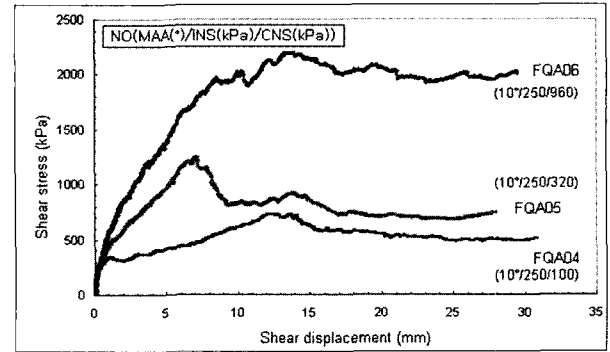


그림 9. CNS 조건에 따른 전단거동

진다. 이러한 경향은 현장타설말뚝의 전단거동에 중요한 역할을 하는 것으로 일정 수직응력조건으로 전단되는 암사면의 경우와의 차이를 보여주는 것이다. 만약 동일한 시편조건에서 암사면을 모사(CNS=0)하여 전단시켰을 경우를 가정하면 전단응력은 FQA04 이하의 수준에서 전단되었을 것이다. 따라서 현장타설말뚝의 전단강도는 동일한 조건에서의 암사면에서의 전단강도보다 훨씬 크게 나타나고 치수효과에 영향을 받는다. 이러한 사실은 식 (1)과 (2)로도 이해할 수가 있다.

그림 9의 FQA05는 다른 것 보다 CNS가 작음에도 파괴된 것을 볼 수가 있는데 이는 시편내에 차별 풍화부를 포함하고 있어 이 부분이 먼저 파괴된 것을 반영한 것으로 추정된다.

그림 10과 그림 11은 각 경계조건에 대한 응력경로(stress path)를 보여주고 있다. 그림 10 및 그림 11에서와 같이 요철부의 평균경사각과 CNS가 클수록 파괴까지의

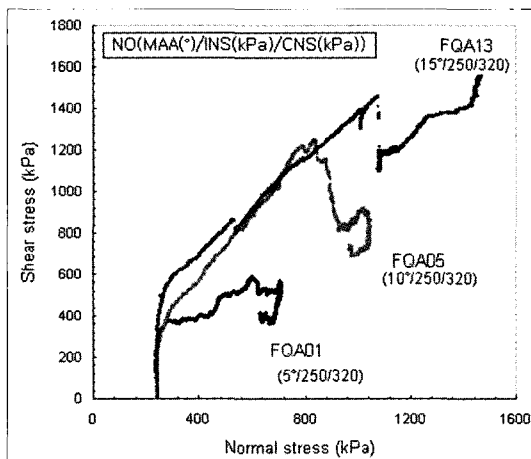


그림 10. 동일한 경계조건에서 요철부의 평균경사각에 따른 응력변화

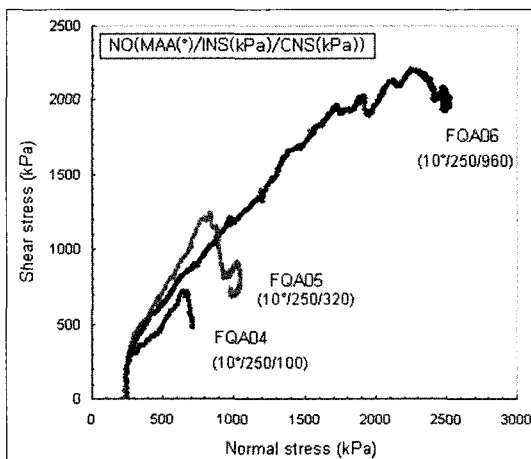


그림 11. CNS 조건에 따른 응력변화

전단응력과 수직응력은 커지는 것을 알 수가 있다. 전체마찰각은 Patton(1966)이 제안한 것처럼 요철부의 경사각과 미끄러짐 마찰각($i + \phi$)에 의존하는데 이는 그림 10에서와 같이 요철부의 경사각이 커질수록 전체 마찰각은 커지는 것을 알 수가 있다. 다만 이들 각도에 대한 정량적인 값은 분명하게 찾기가 어려운데, 이는 시편들이 미세한 균열을 포함하고 있는 것에 기인하는 것으로 판단된다. 또한 그림 10과 그림 11에서 전체 마찰각은 전단변위에 따라 변화하는 경향이 있는데 이는 본 시험시편에서는 거칠기 단면이 규칙적인 것(regular type)이 아닌 불규칙한 형태(random type)의 것을 사용하고 아울러 전술한 미세 균열로 인한 전단시 점진적 파괴를 반영한 것으로 사료된다.

그림 10에서 FQA13 시편의 경우 전술한 바와 같이 첫 번째 요철부가 파괴된 후 두 번째 요철부의 영향을 받는 모양이 확실히 나타나고 있음을 볼 수 있다.

각 경계조건에서의 암반과 콘크리트의 전단거동시 팽창량을 그림 12와 그림 13에 도시하였다. 그림 12는 동일 경계조건(INS/CNS; 250kPa/320kPa/mm)에서 요철부의 평균 경사각(MAA=5°, 10°, 15°)에 따른 팽창량의 거동을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 팽창량은 요철부의 경사각이 증가할수록 증가한다. 이는 요철부의 경

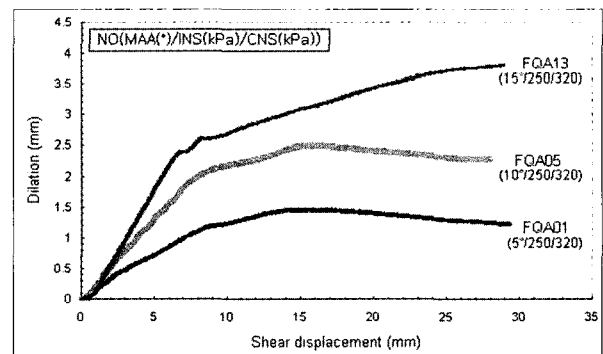


그림 12. 동일한 경계조건에서 요철부의 평균경사각에 따른 수직변위 거동

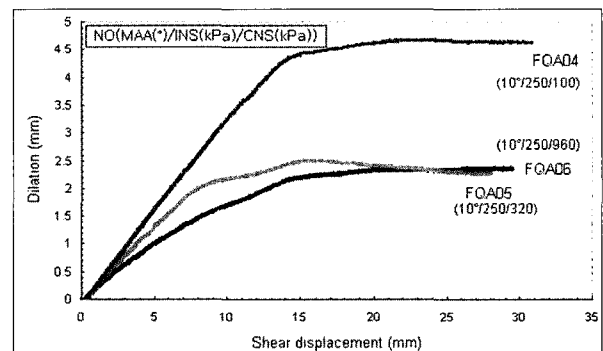


그림 13. CNS 조건에 따른 수직변위거동

사각이 클수록 요철부의 높이(asperity height)가 증가하여 팽창량(수직변위량)이 커지는 것이다. 일반적으로 팽창량은 최대치에 이른 후 요철부의 파괴여부에 따라 일정하거나 감소하게 되는데 FQA13은 팽창량이 최대에 이른 후 작은 비율로 서서히 증가하는 것을 볼 수가 있다. 이는 두 번째 요철부의 영향을 받은 것이다. 이러한 경향은 그림 6 및 그림 10에서와 같이 첫 번째 요철부가 파괴된 후 다시 두 번째 요철부의 영향을 받아 전단응력이 증가하는 전단거동에서도 확인할 수가 있다.

그림 13은 동일한 요철부의 평균경사각(MAA=10°)에서 CNS 변화(100kPa/mm, 320kPa/mm, 960kPa/mm)에 따른 팽창량의 거동을 나타낸 것이다. 그림 13에서와 같이 CNS가 증가함에 따라 팽창이 구속되어 팽창량은 작아지는 것을 알 수가 있다.

4. 결론

현장에서 채취한 화강암편을 국내 현장타설말뚝 굴착공벽의 거칠기 특성을 반영하여 절단 한 후 콘크리트를 타설해 만든 15개의 시편에 대해 CNS 전단시험을 실시함으로써 화강암에 근입된 현장타설말뚝의 전단거동을 분석해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 암의 거칠기 단면이 불규칙한 형태이고, 암 코어의 단면에 미세 균열을 포함하고 있어 전단거동 자체가 규칙적인 단면(regular profile)에서와 같은 분명하지는 않았지만 전체적인 경향은 일관된 흐름을 주고 있었다. 이러한 현상은 오히려 현장조건을 나타낸다고 할 수 있다.
- (2) 화강암 시편의 일정수직강성도(CNS) 전단시험 결과, 침투 전단강도는 요철부의 경사각이 증가할수록, 그리고 CNS가 증가할수록 증가하고, 또한 요철부의 평균경사각과 CNS가 클수록 파괴 시 전단응력과 수직응력이 커지는 것으로 나타나 암반에 근입된 현장타설말뚝의 전단거동을 이해할 수 있었다.
- (3) 현장타설말뚝의 전단거동에 중요한 역할을 하는 전단변위에 따라 팽창 현상 및 이에 따른 수직응력의 증가 현상을 관찰할 수 있었으며, 이로 인한 전단거

동은 암반사면의 전단거동과 차이가 있음을 알 수 있었다. 일반적으로 팽창현상은 요철부의 각도가 클수록 CNS가 작을수록 크게 나타났다.

참고 문헌

1. 김대영 (2001), “절리면 거칠기에 따른 암석의 전단거동”, 한양대학교 박사학위논문.
2. 조천환, 이명환, 조영훈, 유한규, 박언상 (2002), “암반에 근입된 현장타설말뚝의 설계 현황”, 한양대학교, 현대건설(주), (주)파일테크, 암반에 근입된 현장타설말뚝의 설계 세미나 논문집, pp.27-52.
3. 이명환, 조천환, 유한규, 권형구 (2003), “국내 암반에 근입된 현장타설말뚝의 소켓 벽면 거칠기에 관한 연구”, 2003년 봄 학술발표회 논문집, 한국지반공학회, p.8.
4. 파일테크, 한양대학교 (2002), 암반층에 근입된 현장타설말뚝의 새로운설계기법 개발 연구보고서, 건설교통부/한국건설기술연구원, p.153.
5. Gu, X. F. (2001), “Shear behaviour of sand stone-concrete joints and pile shafts in sand stone”, Ph.D. dissertation, Department of Civil Engineering, Monash University, Melbourne, Australia.
6. Horvath, R. G., Kenny, T. C., and Kozicki, P. (1983), “Method of improving the performance of drilled piers in weak rock”, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.20, 1983.
7. Kulhawy, F. H. & Phoon, K. K. (1993), “Drilled shaft side resistance in clay soil to rock”, *Proceeding of Conference on Design and Performance of Deep Foundation : Piles and Piers in Soil and Soft Rock*, Geotechnical Special Publication, No.38, ASCE, pp.172-183.
8. Pells, P. J. N., Rowe, R. K., and Turner, R. M. (1980), “An experimental investigation into side shears for socketed piles in sandstone”, *Proceeding of International Conference on Structural Foundation on Rock*, Sydney, Australia, Vol.1, pp.291-302.
9. Seidel, J. P. (1993), “The analysis and design of pile shafts in weak rock”, Ph.D. dissertation, Department of Civil Engineering, Monash University, Melbourne, Australia.
10. Seidel, J. P. and Cho, C.W. (2002), “Prediction of the Shaft Resistance of Pile Sockets”, 한국지반공학회 논문집, 제18권, 제5호, pp.281-293.
11. Seidel, J. P. & Harberfield, C. M. (1994), “A new approach to the prediction of drilled pier performance in rock”, *Proceedings of the U.S. Federal Highways Administration International Conference on Design and Construction of Deep Foundations*, December 1994, Orlando, Fla., pp.556-570.
12. Seidel, J. P. & Harberfield, C. M. (1995), “The axial capacity of pile sockets in rocks and hard soils”, *Ground Engineering*, March 1995.
13. Seidel, J. P. & Collingwood B. (2001), “An improved socket roughness factor for prediction of rock socket shaft resistance”, *Canadian Geotechnical Journal*, Feb, 2001.

(접수일자 2003. 4. 28, 심사완료일 2004. 1. 15)