

화강암 풍화토의 동상 발현 및 응해에 따른 변형 거동에 관한 연구

Studies on the Frost Heave Revelation and Deformation Behaviour due to Thawing of Weathered Granite Soils

류 능 환* · 최 중 대* · 류 영 선**
Ryu, Neung Hwan, · Choi, Jung Dae, · Ryu, Young Sun

Summary

Natural ground is a composite consisted of the three phases of water, air and soil particles. Among the three components, water as a material is well understood but soil particles are not in foundation engineering. Especially, weathered granite soil generally shows a large volumetric expansion when they freeze. And, the stability and durability of the soil have shown decreased with repetitive freezing and thawing processes. These unique characteristics may cause various construction and management problems if the soil is used as a construction material and foundation layers.

This project was initiated to investigate the soil's physical and engineering characteristics resulting from freezing and freezing-thawing processes. Research results may be used as a basic data in solving various problems related to the soil's unique characteristics. The following conclusions were obtained:

The degree of decomposition of weathered granite soil in Kangwon-do was very different between the West and East sides of the divide of the Dae-Kwan Ryung. Soil particles distributed wide from very coarse to fine particles. Consistency could be predicted with a function of P_{200} as $LL=0.8 P_{200}+20$. Permeability ranged from 10^{-2} to 10^{-4} cm/sec, moisture content from 15 to 20% and maximum dry density from 1.55 to 1.73 g/cm³. By compaction, soil particles easily crushed, D_{50} of soil particles decreased and specific surface significantly increased.

Shear characteristics varied wide depending on the disturbance of soil. Strain characteristics influenced the soil's dynamic behaviour. Elastic failure mode was observed if

*강원대학교 농과대학

**충북대학교 지역개발연구소

키워드 : 동상, 동결-응해, 변형계수, 빙정분리, 비
표면적, 탄성파속도, 염분함량, 연성-취성,
동결속도, 인장응력, 압축응력

strain was less than $10^{-4}/s$ and plastic failure mode was observed if strain was more than $10^{-2}/s$. The elastic wave velocity in the soil rapidly increased if dry density became larger than $1.5 g/cm^3$ and these values were $V_p=250$, $V_s=150$, respectively.

Frost heave ratio was the highest around $0^{\circ}C$ and the maximum frost heave pressure was observed when deformation ratio was less than 10% which was the stability state of soil freezing. The state had no relation with frost depth. Over freezing process was observed when drainage or suction freezing process was undergone. Drainage freezing process was observed if freezing velocity was high under confined pressure and suction frost process was occurred if the velocity was low under the same confined process.

I. 서 론

화강암 풍화토는 우리 나라 전국에 걸쳐 널리 분포되어 있고 특히 경상도 일대의 반암 및 퇴적암을 제외하고, 호남 및 중부에 이르는 대부분의 지역에 화강암 또는 편상화강암을 형성하고, 북한 지방에도 대규모로 분포되어 있을 뿐만 아니라 이웃 일본이나 중국등은 물론 세계적으로도 그 분포량이 가장 넓은 흙이다.

지금까지 화강암 풍화토는 도로의 노체와 노상부에만 사용되어 왔으나, 앞으로는 입상재의 확보가 점차 어려워짐에 따라서 기층 내지는 보조기층재로서 대체 사용이 불가피하고 각종 건축용 가공재로 사용이 가능하며, 기타 안정 처리하여 농로, 수로, 오지 도로 및 관광지나 각급 기관의 경내 포장등 교통량이 적은 지역에 포장재료로서 이용도 가능하다.

본 연구와 직접 간접적으로 관련된 연구에는 외국에서 오래 전부터 실행되어 왔고 그 최초의 연구는 1925년경 소련에서 시작된 것으로 추측되며, 이웃 일본에서 1940년경부터 한냉지의 계절 동토대의 도로 및 철도 공사에 관련된 연구가 있었으며, 동결 융해에 대한 연구는 주로 지반의 토질 공학적 문제에 관한 것이나, 열 평형에 의한 융해 및 침하로 경사

지나 하상의 파괴 대책에 관한 것이었다. 1930년경에 Tsytoich²¹⁾는 동결토의 역학적 연구보고서를 발표한 이래 여러 가지 현장조사 결과가 발표되었다. 1925년에는 ACFEL (Arctic construction and frost effects laborating)에서 북극지방의 동토 실험결과를 발표한 바 있고 Vialov^{25~27)}와 Tsytoich^{22, 23)}는 교란 및 비교란 동결토의 강도와 기본성질에 관한 비교적 정확한 자료를 제공한 바 있다.

기타 캐나다를 비롯하여 스칸디나비아의 한대에서도 동결·융해문제의 중요성이 인식되어 1960년대에 와서 이와 관련된 연구가 활발하게 진행되었다. 한편 Sanger & Kaplar¹⁷⁾은 $0^{\circ}C \sim -7.8^{\circ}C$ 의 여러 가지 온도 조건하에서 일축압축 Creep시험을 하여 적정응력과 온도에 대한 Creep와 변형율에 관한 실험식을 발표하였다. 동결토의 Creep에 대한 거동을 추정하기 위해서 Andersn and Akili¹⁾는 부분포화 동결 점토에 대한 일축압축 Creep시험에서 고응력($42 \sim 56kg/cm^2$) 및 동결상태($-12 \sim -18^{\circ}C$)에서 $95K \cdot cal/mole$ 정도의 활성화에너지가 발생되고 있다고 발표하였다. Sayles¹⁸⁾와 Hanes⁸⁾도 동결된 Ottawa sand와 Manchester fine sand 시험에서 그의 압축현상이 Vialov equation²⁶⁾과 일치됨을 주장하였다. Ladanyi¹¹⁾는 금속제와 동결토의 변형거

등을 상호 비교하기 위하여 2차 Creep변형 Model을 개발하여 Vialov의 이론을 체계화시킨 바 있다. 지난 30여년간 CRREL(Cold Region Research Engineering and Laboratory)에서는 동결토 및 용해토에 대한 많은 연구 보고서를 발표한바 있고, Sayles¹⁹⁾는 silt와 clay에 대한 정율변형시험을 실시하여 파괴강도와 50% 전단강도계수를 결정하기 위한 Power Law Equation을 유도한 바 있다.

또 최근에는 각종 건설공사와 터널굴착, 지하 액화 가스 저장 및 지하철공사등에 동결공법을 이용한 예도 있으며 동결에 따른 지반의 상승, 용해에 따른 침하⁴⁾ 동토의 크리프 현상 및 동결 침입심¹³⁾ 등에 관한 연구도 기초 지반의 물리적 관점에서 관찰되었다. 뿐만 아니라 이 흙은 풍화가 진행되면서 세립화 되고 여러 가지 점토 광물을 생성하며 화강암 풍화토 고유의 점토 광물은 흙의 Atterberg한계에 영향을 미칠 뿐만 아니라¹²⁾ 특히 물에 민감하여 일단 흡수하면 안정성이 결여되어 점착력은 거의 기대될 수 없는 상태로 되기 때문에¹¹⁾ 일축압축강도와 전단강도가 급격히 저하된다. 또 도로공사에 사용되었을 경우에 자중, 충격 및 교통하중에 의하여 안전성은 물론 내구성에도 문제가 있다.

따라서, 금회의 연구에서는 강원도 전체 면적의 3/4을 점하는 조선계 화강암 풍화토에 대한 토질 및 기초 공학적 기본 성질을 구명하고 동상 및 동결 용해에 의한 변형거동, 파괴거동, 응력거동, 동결구조 변화를 정확하게 규명하여 본 화강암 풍토화에 대한 필요한 기초자료를 제공하고 나아가서는 산붕(山崩)이나 Land creep 및 각종 토질 구조물에 대한 자연재해대책과 기초 지반 내지는 건설재대로 사용되었을 때 예상되는 여러 가지 취약점을 실험적으로 분석하여 재해를 예측하고 그에 대한 피해대책을 수립하기 위한 기초 자료를 제시하는데 기본목표를 두고 있다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

본 시험에 사용된 시료는 강원도 지역을 영서 북부(I), 영서남부(II) 및 영동일부(III) 3권역으로 나누어 표고 약 130m 지역에서 채취하였고, 이들 시료에 대한 각종 시험을 실시한 결과 Table-1과 같았다.

2. 시험방법

본 연구에서는 화강토의 일반 물성시험과 공학적 성질시험, 화학적 성질시험 동결 및 동결용해 시험을 실시하였다.

각종 물리적 성질시험은 KSF 및 기타 잠정 규정에 의하여 실시하였고, 과쇄성을 구하기 위해서 100mm Mould를 사용하여 다짐과정을 통한 입도 분석으로 실시하고, 장석비중시험은 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 건조시킨 시료 3g을 취하여 CHBr_3 와 혼합하여 이에 침전된 석영 및 유색광물 입자를 분리시킨 후에 여분의 장석용액에 메칠 알콜을 희석시켜서 실시하였다.

또, 흙의 구조성을 파악하기 위해서는 시료를 Kryomat K-40D 냉각장치에 넣어 냉각시킨후에 회절시키고, 또 philips-pw-1710 X-ray pow Diffractor는 Cu Target, Ni-filter 30KJ, 2mA, 3/min의 Scanning speed로 하고 CUKA 25-30 Counting range로 하여 Ion Coat-IB-3 및 terminal을 사용하였다.

화강토의 동적 성질을 규명하기 위해서 Bison geopro Model시험을 실시하였다.

동결시험은 CRREL에서 개발한 고유 Model을 사용하고 본 구조의 특징은 흙의 온도와 동결을 조정 할 수 있도록 되었으며, Soil Bean 주변은 단열재로 절연되었으며, 내면에는 동결중에 Mould와 흙사이의 마찰을 최소로 하기 위해서 Silicon Grease를 도포하고, 시료 주변에 thermo couple을 연결하여 동결상태를 수시로 조사하였다.

Table-1. Physical properties of soil used

Test item Area	Natural Moisture content (%)	Specific gravity	Atterberg Limit			Gravel
			LL	PL	PI	
(I)	7.20	2.63	24.3	-	N.P	31.0
(II)	7.30	2.63	25.7	-	N.P	52.0
(III)	7.50	2.68	29.3	-	N.P	32.0

Test item Area	Sand	Silt	Clay	Percent Passing #200 (%)	Effective diameter D ₁₀ (mm)	Coeff. of uniformity	Coeff. fo curvature
(II)	44.0	2.5	1.5	4.0	0.34	7.0	1.3
(III)	61.0	4.0	3.0	7.5	0.11	11.4	1.2

III. 결과 및 고찰

이 흙의 물리적 성질은 Table-1과 같고 (I) (II)권역은 대략 비슷하였고 (III)권역에서 약간의 차이가 인정되었고 화학적 성분 역시 비슷한 경향을 보였다. 이것은 대관령을 경계로 한 영동, 영서의 기후 풍토의 차에 의한 풍화도 정도의 차이에 의한 것으로 판단된다.

화강토는 일반 퇴적토와는 달리 조립에서부터 세립까지 입도 분포가 다양하고 풍화정도에 따라서 조립의 사역에서 사질 loam까지 변화한다. 장석분은 풍화가 진행됨에 따라서 Silt질화되고, 석영은 원래의 입경으로 존재하게 된다. 일반적으로 풍화가 많이 진행되면 균등계수가 크게 되어, 정규분포와는 다른 분포형을 취하여 (I), (II)는 비슷하나 (III)은 장석과 유색광물이 매우 작게 되며 (I), (II)권역에 비하여 세립화되고 있음을 알 수 있었다.

따라서, 화강토의 입자중에서 일차광물인 장석등은 그의 내부에 공극이 다량으로 존재하며 이들 가운데 어느 것은 물의 침입이 용이한 것도 있고, 어느 것은 물의 침투를 허용치않는 고립된 공극도 있으며, 이 외에도 결정격자 내부의 원자의 결합에 의한 미세적 공

극도 고려할 수 있다.

이와 같이 풍화가 진행됨에 따라서 장석도 선택적으로 변질되므로 그의 비중 역시 변화된다. 함수비는 7.30% 내외로써 지표면을 향하여 건조층으로 변화되었다.

화강토는 풍화의 진행에 따라서 세립화되므로 표면적도 따라서 증대되어 토립자 내부의 공극도 발달되어 흙의 보수성에도 밀접한 영향을 끼친다.

비중은 모암의 광물성분 및 풍화도에 좌우되며 본 시험에서 얻은 비중은 2.63~2.68 정도으로써 평균비중은 2.65정도이었다.

1. 화강토의 일반성질

일반적으로 화강토는 점착력이 작고, 세립분의 함량도 상대적으로 적어서 KSF의 규정에 따라서 시험을 하면 대부분 nonplastic으로 나타나며 소성지수가 나타나는 경우에도 거의가 10%미만이였다. Consistency는 흙의 특성상 유동한계를 적용하여 추정한 결과 25% 내

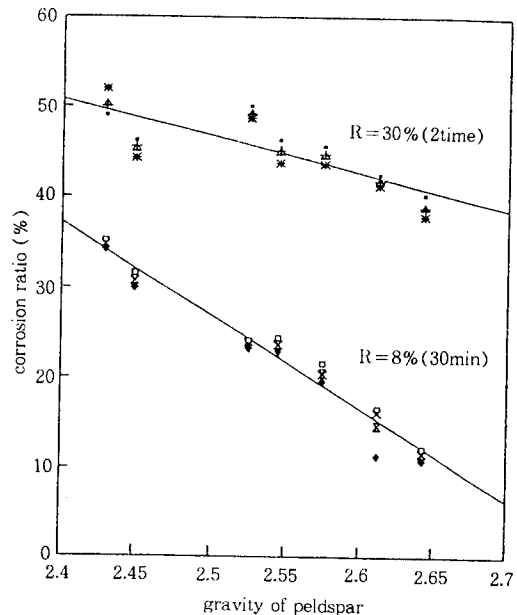


Fig. 1. Relationship between corrosion ratio and specific gravity of pelspar

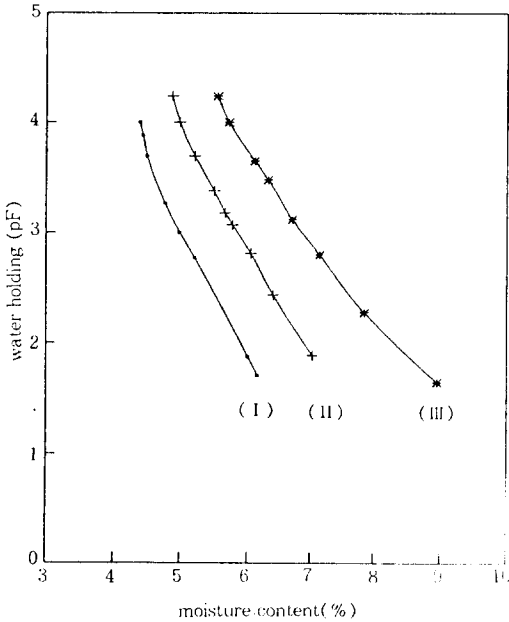


Fig. 2. Moisture content-pF curves of weathered granite soil

외로 KSF 2304의 값보다 약간 크게 나타났고, (II)는, (III)권역에서 약간 큰값을 나타냈다. Fig. 1은 불화수소 처리에 의한 부식시험 결과로 영동지방의 흙에서 풍화가 약간 크게 진행되었음을 알 수 있었다. Fig. 2은 화강토의 PF~수분곡선으로 풍화가 진행된 흙은 동일 PF에서도 함수비가 크게 나타났음을 알 수 있었다.

2. 투수성

투수성은 모암의 성질, 풍화도, 밀도, 입도, 함수비 및 과쇄성에 좌우되며 함수비에 따른 투수계수의 변화는 최적 함수비보다 약간 작은 상태에서 급격히 감소되어 최적 함수비를 중심으로 약간 습윤 측에서 최소가 된다. 특히, 동일 입도의 하천모래와 동일 에너지로 다졌을 때에는 그의 과쇄성 때문에 투수성에서는 현저한 차이가 나타났다.

따라서 화강토를 댐의 코아등에 사용하거나 차수목적으로 사용될 때에는 건조밀도 보다는

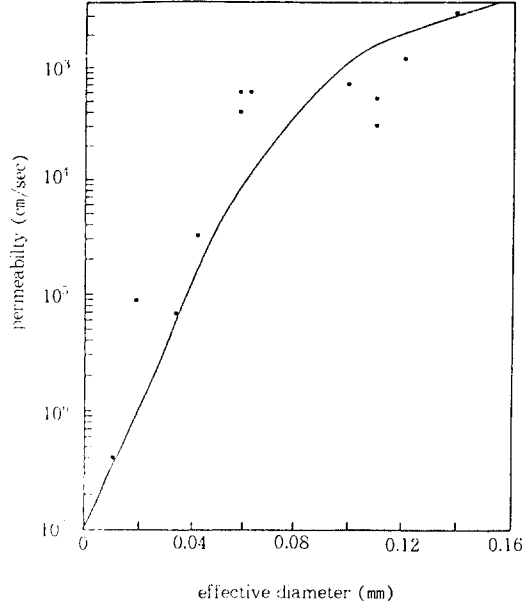


Fig. 3. Relationship between permeability and effective diameter

그의 과쇄성 때문에 최대건조밀도를 조정함이 바람직하다고 판단된다.

본 연구의 투수계수는 $7.8 \times 10^{-4} \sim 1.4 \times 10^{-3}$ 정도를 비교적 높은 편이나 침수시에는 점착력이 0으로 되기 때문에 세립분의 방지를 위한 조치가 필요하다. Fig. 3은 유효 입경과 투수계수의 관계를 표시한 것으로 유효 입경이 증가함에 따라서 투수계수도 증가되었고, 또 0.05mm 이하에서는 투수계수가 급격히 감소되었다.

공극이 감소됨에 따라서 투수계수도 감소되는 경향을 나타냈고 일반 흙 보다 그의 경향이 뚜렷하게 나타났다. 이는 모암의 광물성분과 과쇄성 때문이라고 생각되며 따라서 과쇄성이 크면 같은 공급비에서도 투수계수가 현저히 작아지기 때문이다.

3. 다짐특성

화강토의 다짐특성을 규명하기 위해서 다짐 에너지를 변화시켜서 다짐 시험을 실시한 결

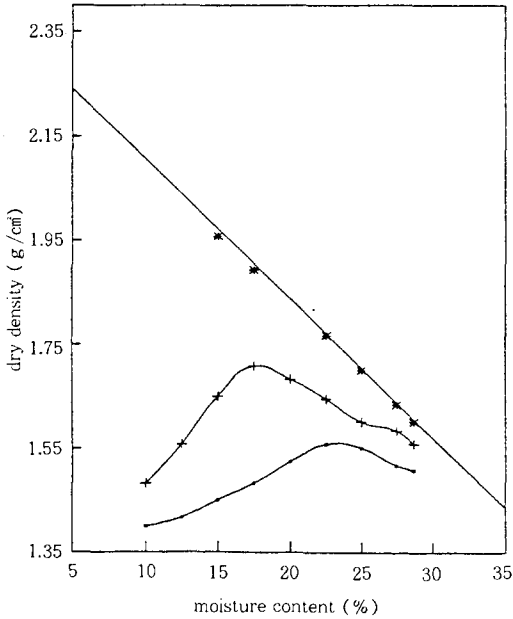


Fig. 4. Relationship between maximum dry density and coefficient of curvature

과 Fig. 4와 같다. 일반적으로 다짐곡선은 외견상 일반 흙과 유사한 경향을 보였고 다짐에너지가 증가하면 최대건조밀도는 커지고 최적함수비는 감소된다.

최대 다짐밀도는 $1,500 \sim 1,700 \text{ g/cm}^3$ 의 범위내에 속하고 최적 함수비는 15~20%의 범위내에 속하였다. 곡률계수는 대부분 1~1.3에 집중되어 있어서 도로용 축조재료로써 적당할 뿐 아니라, 곡률계수가 커짐에 따라서 최대건조밀도도 증가하는 경향을 보였다.

4. CBR 특성

Fig. 5는 다짐 함수비와 CBR과의 관계를 표시한 것으로 CBR곡선도 표준 다짐곡선과 비슷한 경향을 보였으며 다짐에너지의 증가에 따라서 최적 함수비와 최대 CBR을 나타내는 함수비는 건조 측으로 이동하는 경향을 보였다. 특히 55회의 다짐에서는 일반 흙 보다 CBR의 값이 크게 되었고 이는 화강암풍화토

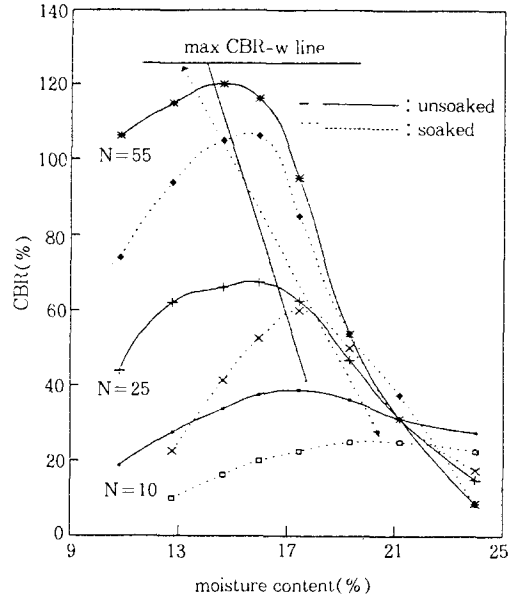


Fig. 5. Relationship between moulding water content and CBR

고유의 과쇄성과 광물성분 및 높은 강열감량에 의한 것으로 생각되며 최대 CBR을 나타내는 포화도는 50~70% 정도로 최대 CBR을 함수비와 대략 일치되었고 건조밀도의 증대에 따라서 CBR도 증가되었으며, 특히 건조밀도가 1.90 g/cm^3 에서는 CBR이 서서히 증가되었으며, 또 공극비가 증가됨에 따라서 CBR도 감소되고 0.40이상에서는 CBR의 값이 급격히 감소되는 경향을 보였다. 따라서 이 흙에서는 건조밀도 1.90, 공극비 0.40일때 CBR의 분기점이 20내외임을 알 수 있었다.

이는 다짐에 의한 밀도의 증가와 이에 따른 토립자 사이의 공극의 감소는 CBR에 매우 큰 영향을 미치며 충분한 지지력을 얻기 위해서는 이 한계점 이상의 다짐에너지가 요구됨을 의미한다.

5. 전단특성

화강토의 교란은 전단특성에 매우 큰 영향

을 미치며, 이는 모암의 광물성분, 풍화도, 함수비, 토질구조 및 밀도와 포화도에 따라서도 일정치 않으므로 그 성상을 정확히 파악하기가 쉽지 않다.

본 시료에 대한 삼축압축시험에서 점착력은 대략 $0.2 \sim 0.3 \text{ kg/cm}^2$ 이고, 내부 마찰각은 $41 \sim 50^\circ$ 정도로 변화되고 있었다.

또 점착력 (c)과 함수비(w) 및 균등계수(Cu)와 관계는 다음과 같다.

$$C = 0.045 \cdot w - 0.482 (r^2 = 0.90)$$

$$C = 0.090 \cdot Cu - 0.0309 (r^2 = 0.90)$$

6. 동적거동

본연구에서는 지반의 진동 성상을 구하기 위하여 Bison Geopro 8012 A(12 chanel)을 이용하여 탄성정수를 구하기 위한 시험을 실시하였다.

Fig. 6은 자연지반의 함수비에 따른 탄성과 속도를 추정한 것으로 SH파의 속도 V_s 는 함수비의 증가에 따라서 감소되었고, P파의 속도 V_p 는 어느 특정의 함수비에서 (10%) 최

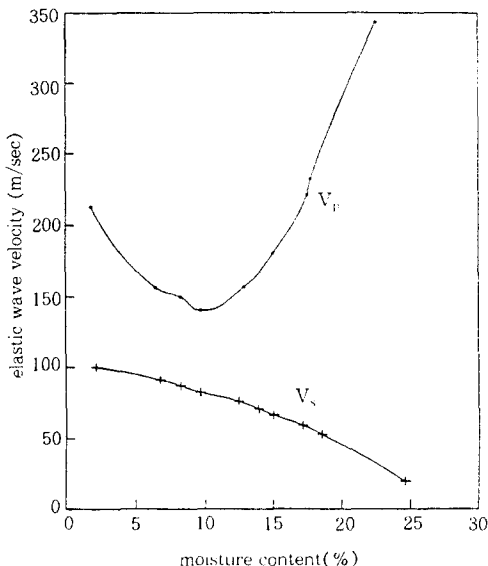


Fig. 6. Influence of moisture content on elastic wave velocity

소값으로 나타내다가 함수비가 증가함에 따라서 증가되고, 포화도가 100%에 접근함에 따라서 급격히 증가되었으며 밀도가 1.5 g/cm^3 이상으로 되면, 탄성과 속도는 급격히 증가되었으며, 다짐방향에 따른 특성을 규명하기 위한 시험에서는 이방성이 크게 인정되었으며, 특히 V_p 는 다짐 방향이 그의 직각 방향보다 훨씬 크게 나타났고, V_s 는 전자와 역의 관계로 되었다.

7. 파쇄성

화강토립자의 파쇄성은 파쇄율과 이동율로 표시되며 이들 파쇄는 주로 반복하중이나 동적 다짐에 의하여 이루어지며 또한 일정한 방향성을 가지고 파쇄된다.

본 연구에서도 다짐 전후의 입도조성 변화를 보면 이들 시료는 다짐전의 초기입도에 비하여 매우 다르다. 즉 다짐전에 거친 모래였던 것이 다짐후에는 세립혼입사로 되고 다짐전에 세립 혼입사였던 것은 다짐후에는 세립사로 이동현상이 뚜렷하게 나타났다. 뿐만 아니라, 조립의 감소에 대한 세립의 증가는 뚜렷한데 반하여 중위의 입자는 크게 변화되지 않고, 대체적으로 어느 특정 범위의 입자에 수렴되는 경향을 보였다.

8. 화강토의 동결 및 동상 발현 특성

Fig. 7은 시간의 경과에 따른 동결 특성을 표시한 것으로 온도 조건을 일정하게 하고 여러 가지 구속 상태에서 측정된 결과 강성시료 상에서 연성 시료 상보다 동상력은 훨씬 크게 나타났다. 강성상자는 연성 상자보다 강성이 약 4배인데 반하여 동상 압력은 2배정도 크게 나타났다. 또, 시험이 끝난 후에 느슨한 상태의 시료에서는 하부가 자유 수면에 접해 있음에도 불구하고 비동결부분의 최종함수비가 (20%~15%)로 감소되어 시료 자체에 고결 현상이 발생하였고, 동결 부분에서는 함수비

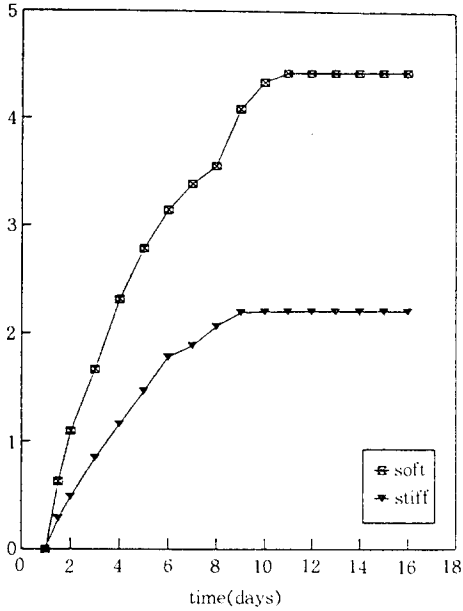


Fig. 7. characteristics of frost action

는 거의 일정하게 되었다. 동결작용이 시작된 후에도 30시간 정도 경과된 후에야 동상 압력이 발생되었고, 8~9일 후에야 동상압이 최고에 달하여 거의 일정하게 되면서 동결이 완료되었다. 또한 구속 압력을 제거하고 시료 표면에서 자유로운 상태로 동상을 허용한 결과 그 값이 크게 증가되고 동결 부분의 함수비가 35% 정도까지 증가되면서 ice lense가 풍성하게 발달되나 하부의 비동결 부분에서는 역시 함수비는 16% 정도 감소하였다.

이는 동상 압력이 동결 전선에서 발달되고 이로 인하여 비동결시료에는 loose한 상태에서 dense한 상태로 변화되기 때문이라고 생각된다. 이로 미루어 봐서 동결 표면이 자유롭게 동상 작용을 일으킨다고 하더라도 동결면 상에 구속력을 가하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8는 동상율과 온도와의 관계를 여러 가지 과재하중에 대하여 표시한 것으로 여러 가지 압력하에서 동상율은 온도가 저하됨에 따라서 일정치에 수렴하는 경향을 보였으며 이

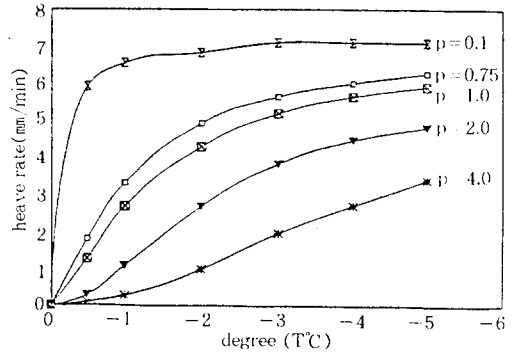


Fig. 8. Relationship between frost heave rate and degree as a function of pressure

때 최대동상율은 0°C에 가까운 저온에서 발생되었다. 과재하중이 클 때 온도 저하에 따른 동상율은 큰 폭으로 증가되었다. 따라서 여름의 누적 현상은 온도가 낮을수록 부하 하중이 클수록 증가됨을 알 수 있었다. 온도에 따른 최대변형율은 과재하중이 증가됨에 따라서 낮은 온도 쪽으로 이동하고 있음이 입증되었다. 즉 동결 지역내의 열 구배는 직선이 되며, 최대빙축적변형은 과재하중이 증가됨에 따라서 냉온대측으로 활발하게 이동됨을 확인할 수 있었다.

Hoekstra⁷⁾(1995)에 의하면, 최대 압력은 모든 흙에 대하여 10%내에서 재현되며 이로 미루어보면 흙의 동결시 최대 하중은 동결의 지표로 사용될 수 있는 가능성을 제시하고 있다. 즉, 최대 하중은 흙의 동결이 안정 상태에 도달되었을 때 발달되며 이상 상태에서는 동결심이 더 이상 증가되어도 그 이상의 압력은 발달되지 않는다.

Fig. 9는 유효응력(구속응력)과 동상율과의 관계로 표시한 것으로 대략 직각 쌍곡선 상을 나타내며, 시료의 길이에 대한 영향은 거의 없었으며 실린더 내의 마찰 및 비동결토의 동수저항등의 영향도 크지 않았고, 시료의 길이에 대한 영향 역시 인정되지 않았으며 동결-

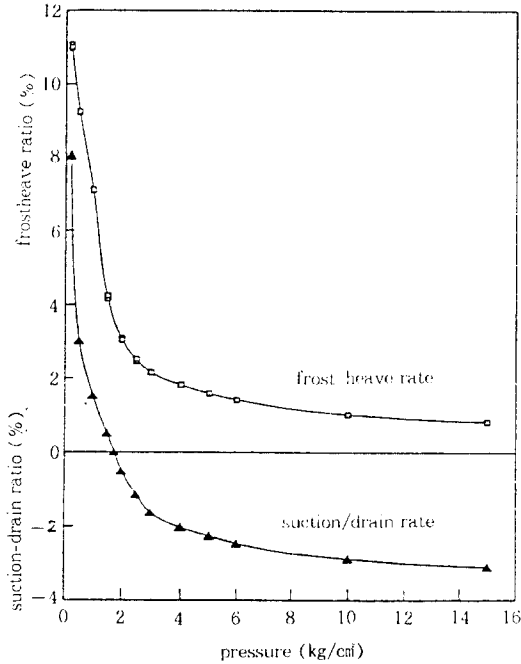


Fig. 9. Correlation of frost heave ratio and suction-drain ratio and pressure

융해 반복 시험에서도 동결 팽창 및 흡배수에는 특별한 변화가 일어나지 않았다. 동상 작용은 흡배수현상이 직선으로 증가되는 한 계속되고 이것이 곡선으로 하향하는 정점에서 완료되며 동결이 완료 되어도 잠시동안 계속되었다가 어느 일정치에 도달되었다. 이와 같이 동결이 완료되어도 동상이 계속되는 것은 2차동상인 부동수의 동결 현상으로 간주되며, 동결이 완성된 후에도 배수가 일어남은 동결면이 공시체를 통하여 동결면 측으로 물이 이동될 때 다공관중에 있는 물이 동결할 때의 팽창성 배수때문인 것으로 생각된다.

IV. 결 론

자연 지반은 물과 흙 그리고 공기의 3상으로 구성된 복합체이며 이중 물은 과학적으로 잘 규명된 물체이나 흙은 아직도 그 실체가 명확하게 알려지지 않고 있다. 특히 화강암

풍화토는 일반 흙과는 달리 동결시에 동상에 의한 팽창이 크고, 또 동결-융해 반복작용에 따른 흙의 안정성과 내구성이 저하되어 건설공사의 축조재료나 기초지반으로 사용되었을 때 시공 및 유지 관리상에 여러 가지 문제점을 유발한다. 이에 금희의 연구에서는 강원도에 널리 분포되어 있는 화강암 풍화토의 물리적 성질, 공학적 성질, 동결 및 동결융해에 따른 여러 가지 특성을 규명하여, 제반 문제점을 해결하기 위한 기초자료로 제공하기 위하여 수행되었고 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

화강암 풍화토는 대관령을 경계로 하여 풍화정도가 크게 다르게 나타났고, 조립에서 세립에 이르기까지 다양한 분포를 하며 컨시스턴시는 $LL=0.8 \cdot P_{200}+20$ 의 관계가 성립되었다. 투수계수는 $10^{-2} \sim 10^{-4} \text{cm/sec}$ 이며, 최적함수비는 15~20%, 최대건조밀도는 1.55~1.70 g/cm^3 로서 파쇄성이 비교적 높고, 다짐에 위하여 50% 입경은 감소되나 비표면적은 상당히 증가되었다.

교란에 의하여 전단특성이 크게 변하고, 변형특성은 흙의 동적 거동에 큰 영향을 미치며, 10^{-4} 이하에서는 탄성거동을 $10^{-2}/s$ 이상에서는 소성 파괴 현상을 나타내며, 밀도가 1.5 g/cm^3 이상으로 되면 탄성과 속도가 급격히 증가되어 $V_p=250, V_s=150$ 정도로 나타났다.

동상율은 0°C 근처에서 최대로 되고, 최대 동상압력은 흙의 동결이 안정상태인 10% 변형 이내에서 발현된다. 이는 동결심도와는 무관하나 구속 압력하에서는 동결속도가 크면 배수동결이 일어나고 작으면 흡수동상이 발생하여 과냉각 현상을 보였다.

이 논문은 1993~1994년도 한국과학재단의 핵심연구지원사업에 의하여 수행된 연구임

참 고 문 헌

1. Andersland, O.B and W.Akili, Stress effect on creep rates of a frozen clay soil. Geotechnique, 17(1) : 27-39. 1967.
2. Bouyoucos, G.J., A, study of frost occurrence in muke soil, Soil science vol.5 pp.39-42. 1922.
3. Camberlain, E.L., A Model for predicting the influnce of closed system freeze-thaw on the strength clays, OCEO sym on frost action on roads, Oslo, vol.3, pp.39-46, 1973.
4. 高志勸;凍土·沈下と施工對策, 施工技術. 3(3), pp.12-18, 1970.
5. 都德鉉;花崗岩質風化土의 道路基層 利用에 關한 研究. 國立建設研究, 建設技術 No.51, 1-51, 1978.
6. Freden. S., Mechanism of frost heave and its relation to heat flow. proc. 6th Intl. conf. on SMFE. vol.1, pp.41-45. 1966.
7. Hoekstra, B., Mcneil, D., Electronagnetic Probing of permofrost, North Am. Contrib., Proc.2nd Int. Conf. permofcost, Washington, pp. 517-526, 1973.
8. Haness, F.D., and J.A. Karalius, Effect of temperature on the strangth of frozen silt. USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory, CRREL. Report 77-3, 1977.
9. Jones. R.H., Frost heave of roads, Quraryerly jour. of engineering geology, vol.13, pp.77-86, 1980.
10. 木下眞一, 土の凍結に伴う水分移動を求めゐる三つの方法, 第12回自然災害科學總合シンホウム要旨集, pp.313-314, 1974.
11. Ladanyi, B. An Engineering theory of creep of frozen soils. Canadian Geotechnical Journal, 9(63) : 60-80, 1972.
12. Merrill, D.C. and J.M. Hoover; Laboratory freezw-thaw tesrs of portland cement-treated granular bases, H.R.R. 255. 16-29, 1968.
13. Packard, R.G., and G.A. Chapman, Developments in durability testing of soil-cement, H.R.R. 36, 97-122, 1973.
14. 柳能桓, 반복하중, 온도변화 및 추기조건이 총적점토의 구조변화와 역학적 특성에 미치는 영향(I), 한국농공회지 34-4, pp. 69-74. 1992.
15. 柳能桓, 草地의 地標面 흐름을 추적하기 위한 Kinenratic Wave Model의 개발(I), 한국농공회지 35-2, pp.57-64, 1992.
16. 柳能桓, 凍結土의 壓縮強度에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지 35-4, pp.55-66, 1993.
17. Sanger, K.J and C.W.Kaplar Plastic deformation of frozen soil in unconfined compression. In Proceeing of First international Conference on Permafrost. Building Research Advisory Board, National Academy fo sciences, Publication 1287, 1963.
18. Sayles, F.H., The creep of frozen sand, USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Technical Report 190, 1968.
19. Sayles, F.H., Low Temperature Soil Machanics, U.S. Army cold Reg. Eng Lab. Tech. Note, Nanovwe, N.H. pp.39-47, 1966.
20. Sayles, F.H and D.L. Carbee, Strangth of frozen silt as a function of ice content and dry unit weight. Engineering Geology, 18 : 55-66, 1981.

21. Tsytoovich, N.A., Permafrost as a base for structures. Materials of the Permanent commission for the study fo the Natural Productive Force of the U.S.S.R., No. 80. U.S.S.R., Academy of Sciences Press. 1930.
 22. Tsytoovich, N.A., Instructions of determining the cohesive strength of frozen soil. USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Draft Translation 162. AD715072, 1954.
 23. Tsytoovich, N.A., Bases and Foundations on frozen soil. Highway Research Borad Translation, Special Report 58, 1958.
 24. Ting. J.M., R.T. Martin and C.C Ladd Mechanisms for frozen sand. Iournal fo Geotechnical Engineering, 109(10) : 1286-1302, 1983.
 25. Vialov. S.S., Rheological properties and bearing capacity of frozen soils, USA Snow, Ice and Permafrost Research Establishmant, Translation 74. AD 4815 6, 1959.
 26. Vialov. S.S., Strangth and creep of frozen soils and calculations in ice-soils retaining structures. USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Translation 76. AD 484093, 1962.
 27. Vialov. S.S., Rheology fo frozen soil. In Proceedings fo first International Advisory Board. National Academy of Sciences, Publication 1287, 1963.
 28. Wu Ziwang, Zhang Jiayi and Zhu Yuanlin, Experimental research on rheology of frozen soils. Int'l Proceeding of China National Symposium on Glaciology and Cryopedology, Lanzhou. China Science Publishing House. 1982.
 29. Young. R.N., Boonsin Suk, P., Alter-nation of soil behaviour after cyclic freezing and the thawing. fourth infl. sym. on ground freezing. pp.187-195. 1990.
 30. Zhu Yuanlin and D.L. Carbee, Constant stress and constant strain rate compression test data of frozen Fairbanfs silt. USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Internal Report 839 (unpublished), 1983.
- (접수일자 : 1995년 5월 12일)