한국농공학회논문집
제50권 제5호

JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, SEP. 2008, pp. 73-81

성토사면에 타설된 현장 콘크리트 말뚝의 강도특성에 미치는 성토재료 및 타설 방법에 대한 영향

Effect of Strength Properties of In-Situ Concrete Pile in Embankment Slopes on Embankment Materials and Boring Methods

황무석* · 정재훈** · 박승기***† · 이창수*** · 박찬기***

Hwang, Moo Suk* · Jeoung, Jae Hoon** · Park, Seung Ki***† · Lee, Chang Soo*** · Park, Chan Gi***

Abstract

This study evaluated the applicability of in-situ concrete pile as a stabilization materials of embankment slopes including agricultural reservoir and rural road etc. The experimental embankment slopes was constructed to investigate the strength properties of in-situ concrete pile with embankment materials and boring methods. The test variable were applied the boring method(driving and augering) and water-cement ratio. In order to analyze the physical and mechanical properties of embankment materials, permeability and water contents test were was performed. Also, the freshly and harden of in-situ concrete properties were measured by the slump and compressive strength tests. The results showed the water content and permeability of embankment materials and boring methods affected on compressive strength of in-situ concrete pile.

Keywords : Boring methods, Compressive strength, Embankment slops, In-situ concrete pile, Stabilization materials

I. 서 론

농업기반 시설물 중 가장 큰 부분을 차지하는 것은 농업용 저수지이며, 농업용 저수지는 흙을 성토하여 건설한 필댐이 주를 이루고 있다. 우리나라는 기후특성상 여름철에 전체 강우의 2/3이상이 집중되기 때문에 이를 효과적으로 저류하기 위한 안전성의 확보가 필요하다(방 등, 2006). 농업용 저수지의 주요 파괴원인을 살펴보면 부적합한 여수로를 통한 월류, 기초결함, 파이핑과 침투 및 기타 원인에 의해서 발생하게 된다(장 등, 1998). 파이핑과 침투에 의한 파괴는 강우의 집중으로 인한 필댐 사면의 슬라이딩을 유발한다. 또한 여름철 장마철에 집중되는 강우는 저수지 및 하천 호안의 토양을 불포화상태에서 포화상태로 변화시켜 토층의 재하하중 증가와 결합력의 이완으로 인해 슬라이딩을 발생시킨다(김 등, 2008). 누적강우의 특성상 지속적으로 침투수가 증가하면 사면내의 침윤선의 분포가 중력방향으로 확대됨에 따

* (주)지오통상 부설연구소
** 한국수자원공사 수자원연구원
*** 공주대학교 산업과학대학 지역건설공학전공
† Corresponding author. Tel.: +82-41-330-1263
Fax: +82-41-330-1269
E-mail address: skpark@kongju.ac.kr
2008년 7월 19일 투고
2008년 9월 29일 심사완료
2008년 9월 29일 게재확정

라 사면 파괴의 결정적인 요소로 작용한다(Elsen 등, 2003).

국가 경제의 발전으로 유발되는 교통 수요를 해결하기 위하여 도로의 신설 및 확장 사업이 활발하게 이루어지고 있으며, 통행의 안정성을 확보하기 위하여 종단 기울기를 작게 시공하기 위하여 많은 성·절토공사를 실시하고 있다(황, 2003). 또한 산림의 효율적인 개발 및 관리를 위하여 임도를 개설하고 있으나 공사비의 부족과 현장조건이 열악하여, 집중호우 등으로 성토 및 절토 사면 붕괴에 의한 산사태가 발생하고 있다. 따라서 이를 해결할 수 있는 안정화 공법에 대한 관심이 증가하고 있다(황, 2003).

본 연구에서는 현장타설 콘크리트 말뚝을 필댐이주를 이루고 있는 농업용 저수지 및 하천 호안, 임도 및 농로, 도로 사면의 안정화에 적용하기 위한 연구를 실시하였다. 현재 사면안정을 위한 공법으로는 억지말뚝공법의 이용사례가 증가하고 있다. 억지말뚝 공법은 일정한 간격의 말뚝을 사면에 설치함으로써 사면안정 효과를 얻을 수 있게 하는 공법으로 억지말뚝공법에 사용되는 말뚝에는 강관말뚝, H말뚝, PC말뚝, PHC말뚝, Micropile 및 현장타설 콘크리트 말뚝 등을 들 수 있다(백 등, 1994). 이중에서 현장타설 콘크리트 말뚝은 각 나라마다 건설환경 규제가 엄격해지면서 대부분의 유럽국가 및 미국, 일본 등지에서 항타말뚝에 대한 민원에 대응하기 위하여 1970년대부터 활발하게 사용하고 있다(JGS, 1995). 국내에서도 국내 공동주택의 노후화에 따른 도심지 재개발 및 재건축 사업이 활발하게 추진되면서 무진동, 무소음 말뚝 공법에 대한 관심이 증가하고 있다. 주거지역에서는 말뚝기초 공사시 소음과 진동을 다소나마 해결할 수 있는 방법으로 SIP 공법 등이 현재 적용되고 있지만 여전히 최종 항타에 의한 소음, 진동문제 및 지지력의 감소라는 문제점을 안고 있다(박 등, 1999). 유럽에서는 이러한 문제점을 해결하고자 비배토 현장타설 콘크리트 말뚝이 오래전부터 연구, 실용화 되었는데 비배토 현장타설 콘크리트 말뚝은 항타 말뚝과 유사한 지지력을 가지면서도 소음 및 진동이 완전 차단되며, 비배토 방식이므로 잔토의 처리가 필요하지 않은 큰 장점을 가지고 있다(박 등, 1999). 비배토 방식의 현장타설 콘크리트 말뚝은 특수 오거를 사용하여 나사못의 형태로 지반을 천공하고 오거의 인발과 동시에 콘크리트를 타설하여 말뚝을 형성하는 현장타설 말뚝 기초 공법이다(박 등, 1999).

본 연구에서는 현장타설 콘크리트 말뚝의 형성 시 두 가지 방법을 이용하였다. 첫 번째로는 강관을 항타하여 천공을 형성하는 방법이며, 두 번째로는 오거링에 의하여 천공을 형성하는 방법이다. 상기와 같은 방법으로 형성된 천공에 현장타설 콘크리트를 타설한 후 강도특성을 평가하였다. 성토사면에 천공을 하여 현장타설 콘크리트를 타설하게 되면 성토재료의 특성에 따라 압축강도에 영향을 받게 된다. 이와 같은 영향에는 현장타설 콘크리트에 성토재료의 미세분이 혼합되어 강도에 영향을 미치는 것과, 성토재료의 투수성 및 함수비가 콘크리트의 수분 손실량 및 손실속도에 미치는 영향 등이 있다. 본 연구에서는 성토사면의 안정화에 미치는 현장타설 콘크리트 말뚝의 상기와 같은 변수의 영향을 평가하기 위하여 모형 성토사면을 제작하여 현장조건을 고려한 특성을 평가하였다.

II. 실험계획 및 방법

1. 사용재료

가. 성토재료

콘크리트를 타설할 성토사면조성에 사용된 성토재료는 자연함수비시험(KS F 2306) 결과 평균 7.95%의 함수비를 나타내었고, 비중은 2.69로 나타났다. 노 건조시킨 성토재료를 표준체를 이용하여 체가름시험(KS F 2309)에 의한 입도시험(KS F 2302)을 실시한 결과 No. 200체 통과율이 11.3%인 입도분포가 나쁜 모래성분(조립질)이 대부분이고 부분적으로 세립질이 포함된 토양으로 통일분류법에 의한 분류는 SP-SC(Poorly-graded sand with clay or silty clay)로 나타났다. 사용된 성토재료의 소성지수는 본 재료의 대부분이 조립질의 입도분포를 갖는 모래로 구성되어 고려하지 않았다. Fig. 1은 성토재료의 입도분포 곡선을 나타낸다.

Table 1 Physical and chemical properties of cement

Fineness (㎠/g)	Specific gravity	Stability (%)	Setting time		Compressive strength (kgf/㎠)		
			Initial (min)	Final (hr)	3days	7days	28days
3,346	3.16	0.09	201	6:26	232	302	398

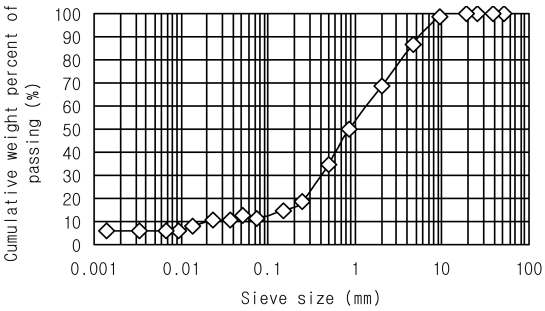


Fig. 1 Grain size distribution curve of embankment slopes materials

Table 2 Physical properties of fine and coarse aggregate

Item	G_{max} (㎜)	Specific gravity	Unit weight (kgf/㎥)	Adsorption (%)	F. M.
Fine	-	2.65	1,547	1.40	2.6
Coarse	16	2.70	1,517	1.35	6.7

Table 3 Mix proportion of concrete

Type of mix	W/c (%)	S/a (%)	Unit materials contents(kg/m^3)			
			C	W	Coarse agg.	Fine agg.
1	35	44	425	149	1063	850
2	40	44	396	158	1063	850
3	50	44	348	174	1063	850

나. 시멘트 및 골재

시멘트는 KS F 5201에 규정된 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 물리 · 화학적 특성은 Table 1과 같다. 잔골재는 비중 2.65 및 조립률 2.6의 강사(강모래)를 사용하였고, 굵은 골재는 최대치수 16㎜의 강자갈을 사용하였으며, 물리적 특성은 Table 2와 같다.

2. 배합설계

현장타설 콘크리트 말뚝의 배합비는 Table 3과 같다. 배합변수는 성토재료의 함수비 및 투수특성과 천공 방법에 따른 영향을 평가하기 위하여 물-시멘트비를 35%, 40% 및 50%로 변화시켰다.

3. 성토사면 조성

성토사면을 조성하기 위하여 Fig. 2와 같이 폭, 바닥판 길이 및 높이가 각각 120cm, 250cm 및 120cm로 바닥이 없는 프레임을 제작한 후 바닥에 자갈과 모래를 이용하여 10cm의 필터층을 만든 후 그 위에 10cm씩 성토재료(SP-SC: poorly-graded sand with clay or silty clay)를 일정하게 다짐을 실시하였다. 일반적으로 성토사면의 일정한 다짐정도를 확보하기 위해서는 다짐을 하는데 필요한 일정한 함수비를 가진 흙의 양을 결정하여 적용하는 것이 바람직하다. 그러나 본 연구에서는 모형사면에 사용되는 성토재료의 양이 많아서 일정한 함수비를 유지하더라고 작업시 함수비가 변화는 경우가 발생하여 한번 다짐을 할 때 10cm씩 10번에 나누어 다짐을 실시하여 궁극적으로 100cm를 구성하면 동일한 다짐이라고 가정하고 성토사면을 조성하였다. 또한 물다짐을 실시하여 최대한 전 성토사면에 동일한 다짐정도를 확보함으로써 현장 타설 콘크리트 말뚝의 다짐정도가 강도에 미치는 영향을 최소화 하였다. 성토사면은 45도(1:1 사면)의 기울기 및 100cm 높이로 조성하였으며, 성토재료의 건조단위 중량은 2.69t/m^{3}이었다.

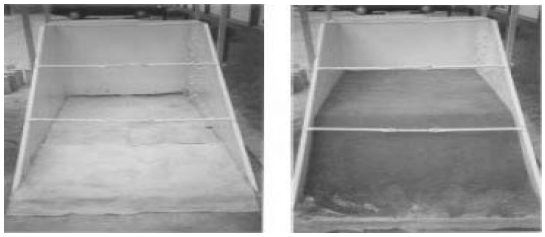


Fig. 2 Experimental embankment slopes frame

4. 실험방법

가. 성토재료의 함수비

성토재료의 함수비가 현장 타설 콘크리트 말뚝의 압축강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 KS F 2306에 따라 함수비를 측정하였다. 성토재료의 함수비 측정은 성토를 한 후 4일간의 안정화기간을 둔 다음, 핸드오거(hand auger)를 사용하여 실험사면을 지름 6cm, 깊이 30cm로 보링을 실시한 다음, 깊이 30cm 지점의 토양 함수비를 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

$$W = \frac{W_W - W_S}{W_S} \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서, W= 함수비 (%)

W_W= 습윤상태의 흙의 중량 (g)

W_S= 건조된 흙의 중량 (g)

나. 성토재료의 투수계수

성토재료의 투수계수가 현장 타설 콘크리트 말뚝의 압축강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 현장 포화투수계수를 표준화된 계산방법에 따라 간편하게 측정할 수 있는 Guelph permeameter를 이용하였다. 투수계수는 식 (2)로 계산하였으며, 이 때 내측과 외측 집수통의 단면적 및 상수는 제작사에서 제시한 값이며, 우물안의 높이는 5cm와 10cm를 유지시켰다(Reynolds 등, 1987).

$$K_{fs} = (0.0041) \cdot (X) \cdot (R_2) - (0.0054) \cdot (X) \cdot (R_1) \quad (2)$$

여기서, K_{fs}= 투수계수 (cm/sec)

X= 선정된 집수통 단면적 (제작사 제시)

R_1= 우물안 물의 높이 5cm 일 때 정상류율 (cm/sec)

R_2= 우물안 물의 높이 10cm일 때 정상류율 (cm/sec)

다. 현장타설 콘크리트 말뚝의 슬럼프

현장타설 콘크리트 말뚝은 현장에서 비빔을 실시한 후 타설하기 때문에 유동성에 따른 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 물-시멘트비 변화에 의한 유동성을 측정하기 위하여 KS F 2402에 따른 슬럼프 시험을 실시하였다.

라. 현장타설 콘크리트 말뚝의 압축강도 시험

기준 공시체는 KS F 2403에 따라 ∅75×150㎜ 공시체 몰드를 사용하였으며, 몰드에 콘크리트를 3회로 나누어 넣고 다짐봉으로 균일하게 다짐을 하여 제작하였다. 제작한 공시체는 실험재령까지 수중양생을 실시하였다. 현장타설 콘크리트 말뚝의 공시제 제작을 위하여 항타 및 오거링에 의하여 성토사면에 구멍을 형성시킨 후 콘크리트를 타설 하였다. 성토사면에 천공은 직경 60㎜, 깊이 400㎜가 되도록, 직경이 60㎜인 강관파이프를 이용하였으며, 오거링에 의한 천공은 직경 60㎜ 어스 오거를 사용하였다. 형성된 구멍에 콘크리트를 타설한 후 48시간 동안 성토사면 속에서 정치한 후 사면을 해체하여 콘크리트 말뚝을 채취하였다. 공시체는 실험 재령까지 수중양생을 실시한 후 실험 공시체의 높이가 지름의 2배(H=2D)가 되도록 콘크리트 절단기를 이용하여 절단한 후 KS F 2405에 준하여 압축강도 시험을 실시하였다.

III. 실험결과 및 고찰

성토재료의 함수비 및 투수특성에 따른 콘크리트의 강도특성을 파악하기 위하여 성토재료의 투수특성 및 함수비를 10회 측정하였고, 현장 타설 콘크리트 말뚝의 강도특성을 평가하고자 항타 및 오거링에 의해 형성된 구멍 내에서 10회 반복하여 제작한 540개의 실험 공시체 및 기준 공시체에 대한 압축강도를 평가하였다.

1. 성토재료의 함수비 및 투수계수

성토재료에 대한 함수비 및 투수계수 측정결과는 Table 4와 같다. 성토재료의 투수성과 수분함량은 현장 타설 콘크리트의 단위수량 손실 속도에 영향을 미쳐 콘크리트의 강도 발현에 영향을 줄 수 있기 때문에 성토사면의 안정화를 위한 평가가 필요하다. 실

Table 4 Permeability and water content of embankment slopes materials

Properties of embankment slopes(soil)	No. of tests										Mean
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Coefficient of permeability ($\times10^{-3}$cm/sec)	-	1.71	-	-	3.03	3.09	1.52	-	4.27	5.51	3.19
Water content (%)	12.29	10.46	10.46	-	6.60	12	6.83	7.38	8.17	9.70	9.13

험결과 성토재료의 투수계수는 약 3.19×10^{-3}cm/sec로 나타났으며, 함수비는 약 9.13%로 나타났다.

2. 슬럼프

현장타설 콘크리트 말뚝의 성능은 성토사면에 형성된 천공에 콘크리트를 타설할 경우 주입되는 재료의 유동성에 영향을 받는다. 재료의 유동성이 확보되지 않으면 잘 주입되지 않아 충분한 성능을 발휘하지 못하며, 물-시멘트비의 증가로 인하여 유동성이 너무 크면 재료분리에 의하여 강도손실이 발생한다. 본 연구에서는 물-시멘트비 변화에 따른 유동성을 평가하기 위하여 슬럼프 실험을 실시하였다. 실험결과 물-시멘트비가 증가할수록 슬럼프는 증가하였으며 이는 일반적으로 나타나는 슬럼프 실험결과와 동일하다(Fig. 3). 본 연구에서는 유동성을 향상시키기 위하여 유동화제 등 혼화제를 사용하지 않았다. 이는 현장타설 콘크리트의 유동성에 영향을 미치는 혼화제를 사용하지 않음으로서 물-시멘트비에 대한 영향만을 평가하고자 하였고, 물-시멘트비의 조절만으로 충분한 효과를 발휘할 수 있다면 경제성 향상 측면에서도 유리하기 때문이다.

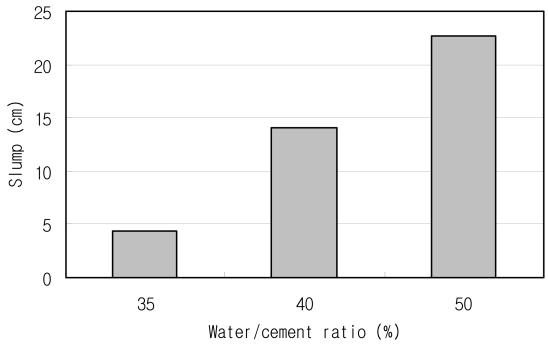
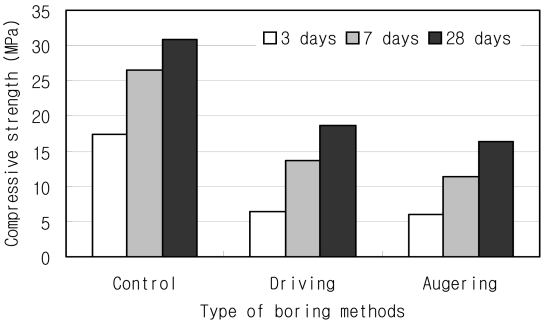


Fig. 3 Slump test results of in-situ concrete pile

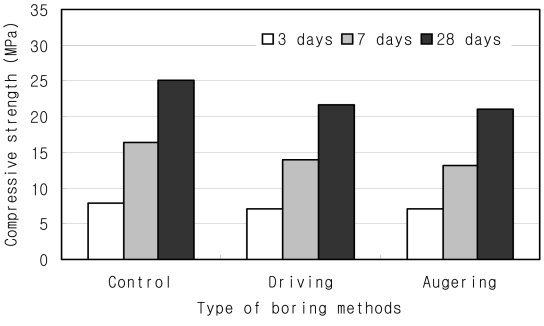
3. 압축강도 특성

현장타설 콘크리트 말뚝의 압축강도 특성은 물-시멘트비, 양생재령 및 타설방법에 따라 영향을 받으며 시험결과는 Fig. 4 및 Fig. 5와 같다. 실험결과를 보면 천공방법에 관계없이 물-시멘트비가 작을수록 양생재령이 증가할수록 압축강도는 증가하였다(Fig. 4). 그러나 강도 발현 정도는 기준공시체보다 항타 및 오거링 공시체의 강도발현이 현저히 작게 나타나고 있다. 이는 성토사면에 타설한 콘크리트의 경우 충분한 다짐이 어려워 재료분리가 발생하고, 성토재료의 미세분 등의 불순물이 혼합되어 강도에 영향을 미치기 때문이다. 그러나 천공 방법 및 물-시멘트에 관계없이 양생재령이 증가할수록 강도가 증가하는 이유는 일반적인 콘크리트의 발현경향과 마찬가지로 수화반응의 진행에 따른 결과이다. 항타와 오거링에 의한 천공형성 후 콘크리트를 타설한 경우 압축강도의 발현 경향은 항타에 의한 타설이 오거링에 의한 타설 방법보다 강도가 약간 크게 나타났다. 항타의 경우 항타시 천공주변의 성토재료를 진동시켜 교란시키는 특성을 가지고 있다(박 등, 1999). 성토재료의 교란은 결국 천공주변 성토재료의 다짐정도를 약화시켜 이를 통한 투수성을 증가시키기 때문에 콘크리트 말뚝의 수분손실로 인해 강도를 증가시킨다. 그러나 항타와 오거링 방법에 의한 현장타설 콘크리트 말뚝의 압축강도는 큰 차이가 발생한 것은 아니었다. 각 천공 방법과 물-시멘트비에 따른 압축강도의 변화는 Fig. 5에 나타나 있다. 기준공시체의 경우 물-시멘트비가 감소할수록, 양생재령이 증가할수록 압축강도가 증가하는 일반적인 경향을 나타내었다. 그러나 항타 및 오거링에 의하여 성토사면에 타설한 현장타설 콘크리트의 경우는 물-시멘트비가 40%일 때

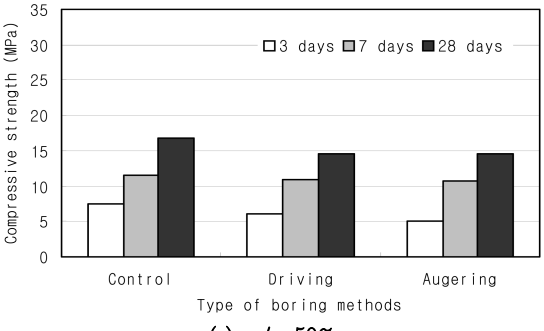
가장 크게 나타났다. 현장타설 콘크리트 말뚝의 경우 성토사면에 형성된 천공에 콘크리트를 타설할 경우 콘크리트의 유동성과 재료분리에 대한 영향을 받게 된다. 따라서 물-시멘트비가 너무 작으면 유동성이 없어 천공을 충분히 채우지 못하기 때문에 강도가 감소하고, 물-시멘트비가 너무 크면 재료분리가 발생하여 압축강도가 감소하게 된다. 따라서 상대적으로 재료분리저항성과 유동성을 가지고 있는 물-시멘트비 40%일 때가 가장 우수한 강도특성을 나타냈다.



(a) W/C=35%

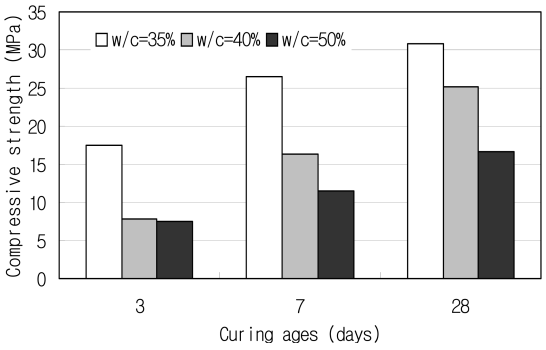


(b) w/c= 40%

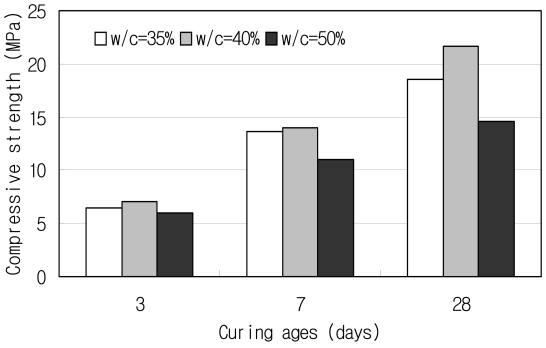


(c) w/c=50%

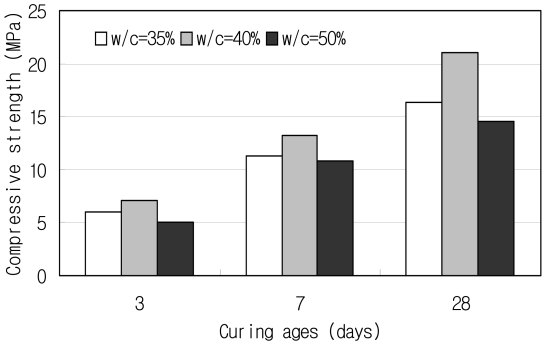
Fig. 4 Compressive strength with w/c



(a) Control



(b) Driving



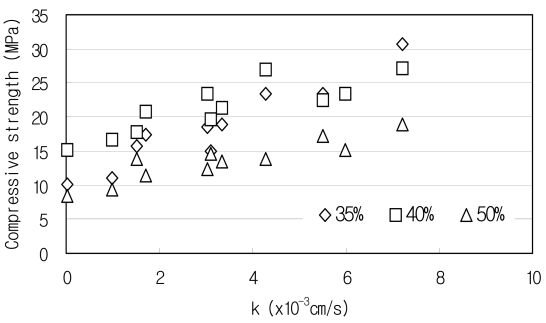
(c) Augering

Fig. 5 Compressive strength with boring methods and w/c

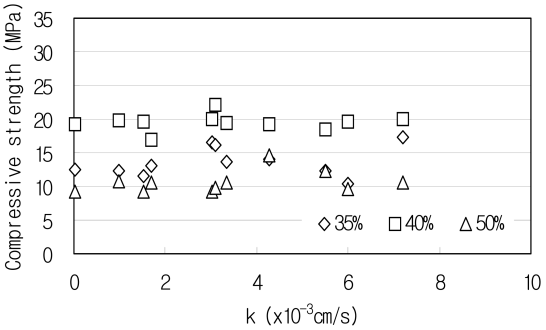
4. 성토사면의 투수계수와 압축강도와의 관계

성토재료의 투수계수가 현장타설 콘크리트 말뚝의 압축강도에 미치는 영향을 평가하였으며 그 결과는 Fig. 6과 같다. 분석결과 항타에 의해 형성된 천공에 타설한 콘크리트의 경우 성토재료의 투수특성이 증가함에 따라 압축강도가 약간 증가하는 경향을 보여

주었다. 윤 등(1999)의 연구에 의하면 폴리프로필렌 섬유를 포함한 섬유보강 콘크리트에서 양생초기 섬유에 의해서 생성된 공극은 콘크리트의 수분이동을 촉진시키는 통로로 사용되어 초기의 수분손실을 유발시킴으로써 유효 물-시멘트비를 낮추기 때문에 압축강도의 증가를 확보할 수 있다고 하였다. 따라서 항타에 의하여 형성된 천공의 경우 항타시 성토재료의 진동에 의하여 교란됨으로서 콘크리트의 수분이동을 촉진시킬 수 있는 통로를 제공하고 이를 통해 현장 타설 콘크리트의 유효 물-시멘트비를 낮출 수 있는 투수성이 증가하기 때문에 수분의 조기 손실을 발생시켜 압축강도가 증가시킨다. 그러나 오거링 방법에 의하여 천공을 형성한 후 콘크리트를 타설하는 경우는 타설시 성토재료의 진동이 작아 압축강도에 큰 영향을 미치지 않았다. 그러나 천공방법에 의한 강도차이는 크지 않았다.



(a) Driving

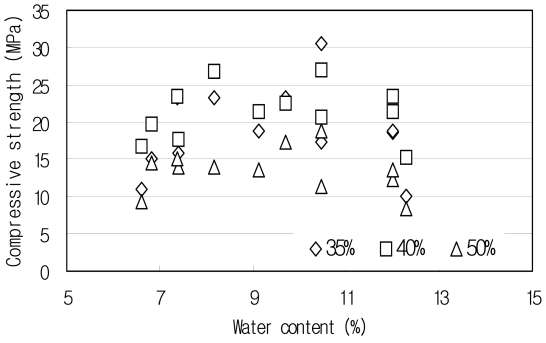


(b) Augering

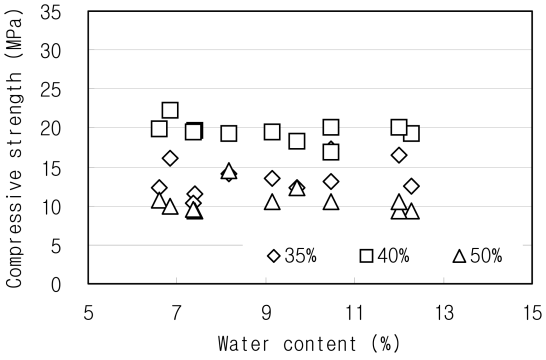
Fig. 6 Relationship between compressive strength of in-situ concrete and permeability of coefficient of embankment slopes materials

5. 성토사면의 함수비와 압축강도의 관계

성토재료의 함수비에 따른 압축강도와의 관계는 Fig. 7과 같다. 분석결과 성토재료의 함수비에 따른 압축강도의 변화는 크게 나타나지 않았다. 이는 성토재료에서 흡수할 수 있는 물의 양이 어느 정도 일정하기 때문에 함수비는 현장 타설 콘크리트의 압축강도에 큰 영향을 미치지 않았다. 그러나 압축강도의 분포를 보면 오거링에 의한 방법 보다는 항타에 의한 방법에서 압축강도의 편차가 크게 나타났다. 이는 항타에 의하여 발생하는 성토재료의 미세분이 현장 타설 콘크리트에 포함되어 강도가 손실되고, 성토재료의 교란으로 인한 성토재료의 다짐효과가 감소하여 투수성이 증가되는 등의 복합적인 효과가 발생하기 때문이다. 이와 같은 효과는 항타에 의해서 발생



(a) Driving



(b) Augering

Fig. 7 Relationship between compressive strength of in-situ concrete and water content of embankment slopes materials

하는 구멍 전체에서 일률적으로 발생하지 않고 불규칙적으로 발생한다. 따라서 각 공시체에 따라 교란정도와 미세분의 혼합정도가 불규칙하기 때문에 강도의 편차가 크게 나타났다.

IV. 결 론

본 연구는 성토사면의 안정화를 위하여 사용되는 현장타설 콘크리트 말뚝의 강도특성에 미치는 물-시멘트비, 성토재료의 특성과 천공방법의 영향을 평가하였다. 이를 위하여 모형 성토사면을 제작하여 현장조건을 고려한 현장타설 콘크리트 말뚝 공시체를 제작하였다. 실험결과를 통한 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 본 연구에서는 모형성토사면을 제작하였으며, 성토후 성토재료의 투수성 및 함수비를 측정한 결과 성토재료의 투수계수와 함수비는 각각 3.19×10^{-3}cm/sec, 9.13%로 나타났다.
2. 현장타설 콘크리트 말뚝은 천공에 콘크리트를 주입시 적절한 유동성과 재료분리에 저항할 수 있는 물-시멘트비를 선택해야 현장타설 콘크리트의 압축강도를 확보할 수 있다. 본 연구에서는 물-시멘트비 40%일 때 가장 우수한 강도를 발현하였다.
3. 천공방법에 따른 압축강도는 항타에 의한 방법이 항타시 다짐된 성토사면에 진동을 주어 재료의 교란을 발생시킴으로써, 성토재료의 투수성을 증가시키는 효과가 있어 오거링에 의한 방법 보다 강도확보가 유리하였다.
4. 성토재료의 투수성 및 함수비와 콘크리트의 압축강도를 비교한 결과 함수비는 강도에 영향을 미치지 않았으며, 투수성의 증가는 콘크리트의 수분을 손실하기 때문에 압축강도가 증가하는 경향을 나타냈다.

References

1. Bang, D. S., C. K. Hur, H. K. Kown and K. J. Ryu, 2006, A case study of leakage in fill dams, *Journal of KSMI,* 10(6), pp. 54～60.(in Korean)
2. Chang, B. W., Y. K. Park and C. W. Woo, 1998, Evaluation of degradation and safety agricultural reservoir, *Journal of KSAE,* 40(1), pp. 49～56.(in Korean)
3. Kim, M. I., B. G. Chae, Y. C. Cho and Y. S. Seo, 2008, Study on rainfall infiltration characteristics for weathered soils: analysis of soil volumetric water content and its application, *Journal of engineering geology,* 18(1), pp. 83～92.
4. Elsen, E. V. D., Y. Xie, B. Liu, J. Stolte, Y. Wu, K. Trouwborst and C. J. Ritsema, 2003, Intensive water content and discharge measurement system in a hill slope gully in china, *Catena,* 54, pp. 93～115.
5. Hwang, M. S., 2003, The compressive strength characteristics for embankment slopes of construction of In-Situ concrete pile, MS thesis, Department of Agricultural Engineering, *Kongju National University,* Yesan.
6. Japan Geotechnical Society, 1995, Problem and Solution of foundation pile, Reported by JGS, Tokyo.
7. Park, J. B., T. S. Park and H. S. Chung, 1999, Investigation on the bearing capacity and load transfer characteristics of displacement in-situ concrete(OMEGA) pile, *Journal of KSCE,* 19(3-1), pp. 139～152.(in Korean)
8. Paik, K. H., S. R. Lee and H. I. Park, 1994, Investigation for possible practical applicability of open-ended PHC pile, *Journal of KSCE,* 14(4), pp. 965～975.(in Korean)
9. Reynold, W. D. and D. E Elrick, 1987, A laboratory an numerical assessment of the guelph permeameter method, *Soil Science,* 144(4), pp. 282～299.
10. Yun, K. K., J. H, Lee, S. U. Yong and Y. H.

Jung, 1999, An Experimental Study on the Surface Scaling Resistance of Pavement Concretes Reinforced by Polypropylene Fibers, *Journal of KSCE,* 19(I-4), pp. 603～612(in Korean)