

점성토 지반에서의 다중 헬리컬 앵커의 인발 특성
Pullout Characteristics of Multi Helical Anchors in Clay

이 준 대* · 이 봉 직** · 이 종 규***
Jun-Dae Lee · Bong-Jik Lee · Jong-Kyu Lee
(1997년 7월 9일 접수, 1997년 12월 12일 채택)

ABSTRACT

Helical anchors are foundation structure that designed to resist uplift loads are installed by applying in load to shaft while rotating it into the ground. These can be a cost effective means of proving tension anchorage for foundation where soil conditions permit their installation because of ease of installation.

At present time, tapered helical anchors are commonly used to carry uplift loads. The uplift capacity includes the following factors : the height of overburden above the top helix, the resistant along a cylinder, the weight of the soil in the cylinder and suction force.

In order to make clear behavior characteristics of helical anchors with pullout, model tests were conducted with respect to various embedment depth, space of helix, shape of helix.

Based on the experimental study, the following conclusions are drawn.

- 1) The uplift capacity of multi helical anchors increase with embedment ratio of anchors. The increase is smooth after critical uplift capacity.
- 2) Critical breakout factors and critical embedment ratio of multi helical anchor exist 7~8, 4~6 respectively
- 3) Variation of uplift capacity with helix spaces show down after $S/D=5$.
- 4) Critical breakout factors of helical anchor in the laboratory test are similar to Das's theory.

* 세명대학교 토목공학과

** 충주산업대학교 도시공학과

*** 충북대학교 토목공학과

1. 서론

앵커는 지중에 삽입되어 수직 또는 경사지게 작용하는 인발력에 저항하기 위하여 고안된 기초 구조물의 일종으로 지금까지 앵커는 옹벽이나 널말뚝의 안정을 목적으로 주로 쓰여 왔지만, 최근에는 인발력이 작용하는 각종 구조물의 안정에 사용되고 있다.

헬리컬 앵커는 나선형의 앵커 판이 앵커 축에 연결되어 인발력에 저항하는 기초 구조물로서, 지반의 굴착작업 없이 직접 대상 지반에 회전력을 통하여 근입시킨 후에 기초로서 사용할 수 있다.

따라서 시공면에서 편리하고 다양한 지반조건에서 사용이 가능하여 경제적으로 유리한 특성을 지니고 있다.

헬리컬 앵커에 대한 지금까지의 연구에 따르면 헬리컬 앵커의 인발력은 흙의 종류, 함수비와 지반조건, 앵커의 형상에 따라 상이하게 나타나는 것으로 보고되고 있다. 따라서, 인발력에 관한 다양한 이론식이 제안되고 있으며, 많은 실험결과가 발표되고 있지만 그 대부분이 사질토를 중심으로 발전하여 왔다. 하지만 시공성 내지 경제성으로 인하여 점토 지반상에 앵커를 설치하지 않으면 안되는 경우가 발생할 수 있으며, 연약지반상의 개발로 인하여 점토에 근입된 앵커의 사용 예는 증가하고 있는 실정이다.

특히 헬리컬 앵커의 경우, 상대밀도가 큰 견고한 사질토 지반 보다는 주로 느슨한 사질토 지반이나 점토 지반에 많이 사용되고 있기 때문에 점토지반에서의 앵커의 인발 거동에 관한 정확한 규명이 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 문헌 고찰을 통하여 현재의 앵커 거동 이론을 고찰하고, 실내모형실험을 통하여 헬리컬 앵커의 근입비와 헬릭스 형상에 따른 헬리컬 앵커의 인발거동을 구명하고자 한다.

이를 위하여 다중 헬리컬 앵커에 대한 단기 인발실험을 수행하고, 이에 따른 변위와 인발특성을 고찰하였다.

또한 헬릭스 간격이 인발력에 미치는 영향을 분석하기 위하여 헬릭스 간격을 변화시켜가며

모형 실험을 실시함으로써 최적의 헬릭스 간격을 구하고자 한다.

2. 실험장치 및 지반조건

2.1 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치는 크게 헬릭스와 앵커 강봉으로 연결된 앵커체와 점토를 지지하고 있는 강재상자, 하중을 전달할 수 있는 하중 전달장치와 변형을 측정할 수 있는 변위기록장치로 구성되어 있다.

헬리컬 앵커는 토층에서 인발될 때 발생할 수 있는 압축력이나 휨에 충분히 저항할 수 있도록 헬릭스 모양의 강재로 제작되었으며, 제원은 지름 50 mm, 피치 간격 22 mm이다.

철재로 제작된 헬릭스는 바깥지름 15 mm, 안지름 5 mm로 구성된 헬릭스 고정장치와 연결되어 이를 통하여 앵커 강봉과 연결되었다.

헬릭스의 중심부에는 앵커강봉을 연결하였으며 이음부는 나사를 이용하여 고정함으로써 연결부의 파손과 인장으로 인한 이탈을 방지하였다.

하중은 추를 통하여 재하되었으며 가해진 하중은 강선을 통하여 앵커체에 전달되도록 고안되었다. 하중이 전달되는 동안 마찰로 인하여 발생할 수 있는 하중의 손실은 실험을 통하여 보정값을 구한 후, 실험치에 보정함으로써 그 영향을 최소화하였다.

토층은 가로 500 mm, 세로 500 mm, 높이 600 mm인 사각형의 용기 내에 성형되었다. 실험장치를 이동시키는 동안에 발생할 수 있는 토층의 분산을 방지하기 위하여 도르래가 장착된 저판을 통하여 길이 830 mm, 폭 830 mm, 높이 900 mm의 강재 상자 속으로 이동되었다.

하중의 재하에 따라 발생된 변형량은 1/100 mm까지 측정할 수 있는 다이얼 게이지를 이용하여 측정되었으며, 다이얼 게이지로부터 읽은 값은 LVDT를 통하여 수치화되어 하중, 시간, 변형이 계측되었다.

2.2 지반특성

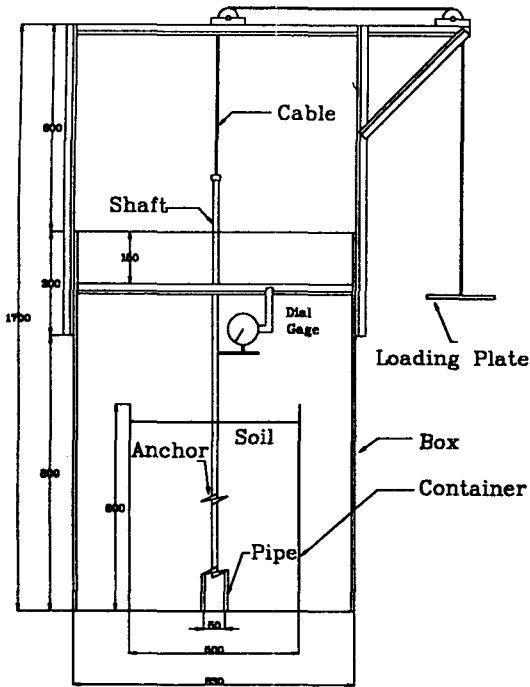


Fig. 1 Schematic diagram of model test arrangement.

본 실험에 사용된 시료는 점토 광물의 뚜렷한 특성을 나타내고 있는 벤토나이트이다.

사용 시료의 물리적 성질을 알아보기 위하여 기본 물성실험을 행하였다. 액성한계 실험은 KS F 2303 규정에 근거하였으며, 소성한계는 KS F 2304, 비중은 KS F 2308, 함수비는 KS F 2306에 근거하여 3~5회까지 실험하여 그 평균값을 택하였다. 또한 벤토나이트의 전단강도를 측정하기 위하여 대표적인 현장실험인 배인 실험을 실시하였으며 그 결과는 Table 1에 도시되어 있다

Table 1 Physical properties of clay minerals.

Item	Gs	w (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	cu (kg/cm ²)	γ (t/m ³)
Values	2.65	115	130	50	80	0.041	1.423

시료는 물과 충분히 혼합되어 균질 층에 가깝도록 믹서를 통하여 일정한 함수비 내에서 혼합되었다. 또한 일정한 밀도를 유지하기 위하여 다짐판을 이용하여 일정하게 가함으로써 층별로 일정한 다짐이 이루어지도록 하였으며, 토체내

의 공극을 제거하기 위하여 손으로 충분히 다져 주었다.

혼합된 시료는 토조로 이동되었으며, 토조 내에서 함수비가 일정하게 유지되도록 박층으로 포설하였다. 흙을 쌓은 후에 표면은 일정한 높이를 유지하기 위하여 편평하게 다듬어졌다. 함수비가 일정하게 유지되었는가를 점검하기 위하여 층별로 함수비를 계측하였다.

3. 실험방법

실험은 연약한 점토에 근입되어 있는 헬리컬 앵커의 극한 인발력과 상향변위 등의 인발거동을 예측하기 위하여 실시되었다. 인발에 필요한 하중은 각 단계별로 주어졌으며 하중 증가비는 다양하게 선택하여, 이에 따른 변위를 계측하였다.

하중은 파괴가 발생할 때까지 가해졌으며, 각 단계별 하중은 상향 변위가 거의 멈추어질 때까지 지속되었다. 단기 극한 인발력 실험은 약 3~15분에 걸쳐 시행되었다. 발생된 변위는 변위계에 의해 측정되었으며 실험전후의 함수비를 측정하고, 이에 따른 점토의 전단강도는 배인 실험을 통하여 결정하였다.

헬리컬 앵커의 인발력에 영향을 미치는 인자는 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 근입비와 헬릭스 간격이 인발력에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 각각의 변화에 따른 인발력을 계측하였다.

Table 2는 본 연구에서 행한 헬리컬 앵커의 인발 실험의 종류와 시험별 특징을 나타낸 것이다.

Table 2 Test series for uplift capacity of helical anchor.

Test Series	Embedment Ratio	Number of helix	Space length ratio
A	1, 2, 3, 4, 5, 6	2	2.5
B	0.3	2	1, 2, 3, 4, 5, 6

헬릭스 수에 따른 앵커의 인발력의 변화를 알아보기 위하여 두 개의 헬릭스를 장착한 다중 헬리컬 앵커의 근입비에 따른 인발력의 변화를 알아보았다.

앵커의 근입비는 상부의 헬릭스를 기준으로 $H/D=1, 2, 3, 4, 5, 6$ 로 변화시켜 가며 시행되었다. 헬릭스 간격은 각각의 헬릭스가 일체로 거동할 수 있도록 13 cm로 고정하여 실험을 수행하였다. 각각의 헬릭스의 크기는 동일한 것을 사용하였으며 하중비를 다양하게 변화시켜가며 변위를 관찰하였다.

헬릭스 앵커의 인발력에 미치는 헬릭스 간격의 영향을 관찰하기 위하여 점토내에 근입깊이를 일정하기 유지하고 헬릭스 간격을 1, 2, 3, 4, 5, 6으로 변화시켜가며 실험함으로써 최적의 간격을 결정하려 하였다.

실험을 수행하는 데 있어서 상재하중으로 인한 영향을 최소화하기 위하여 근입깊이는 $H/D=0.2$ 로 고정하였으며, 각각의 실험은 하중을 단계적으로 가함으로써 이에 상응하는 변형을 관찰하였다.

본 실험을 통하여 하중과 변형곡선을 얻고 극한하중을 구함으로써 헬릭스 간격에 따른 인발력을 산정하였다. 선정된 인발력을 비교하여 최적의 헬릭스 간격을 제시하려 하였다.

4. 실험결과 및 분석

헬릭스 앵커의 인발력은 상부 헬릭스 위의 인발 저항력과 헬릭스 사이에 발생하는 마찰 저항력 항으로 구성된다. 또한 상부 헬릭스 위의 인발 저항력은 파괴면 하의 토체의 중량과 파괴면을 따라 발생하는 마찰 저항력에 기인하는 것으로 보고되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 단일 헬리컬 앵커와 다중 헬리컬 앵커의 인발력 실험과 헬릭스 사이의 마찰력 실험을 통하여 연약 점토 내의 헬리컬 앵커의 인발력을 고찰하고자 하였다.

이와 더불어 헬릭스 개수와 헬릭스 간격이 극한 인발력에 미치는 영향을 평가하고, 이에 따른 앵커 파괴 조건하에서 발생하는 파괴면의 양상을 검토하였다.

4.1 다중 헬리컬 앵커의 하중에 따른 상황 변위

다중 헬리컬 앵커의 인발거동을 관찰하기 위

하여 두 개의 헬릭스를 장착한 헬리컬 앵커를 대상으로 하여 실내모형 실험을 행하였다.

실내모형실험은 근입비를 1, 2, 3, 4, 5, 6으로 변화 시켜가며 하중에 따른 변위를 측정하는 단기인발실험을 실시하였다.

실험결과 단일 헬리컬 앵커와 비교하여 볼 때, 실험치의 차이는 있지만 곡선의 변화양상은 유사한 것으로 나타났다.

즉 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 모든 근입비 조건에서 하중을 단계적으로 증가시켰을 경우에, 이에 따르는 변위는 초기에는 증가양상을 보이다가 임의의 점을 지나면 점차적으로 완만해지는 것을 알 수 있다.

실험결과에 의하면 근입비, $H/D=1$ 일 경우 10 kg, $H/D=2$ 일 경우 11 kg, $H/D=3$ 일 경우 14 kg, $H/D=4$ 일 경우 15 kg, $H/D=5$ 일 경우 16 kg, $H/D=6$ 일 경우는 17 kg을 전후로 하여 급격한 변위가 발생하였다.

근입비에 따른 하중과 변위의 관계는 Table 3에 나타나 있다.

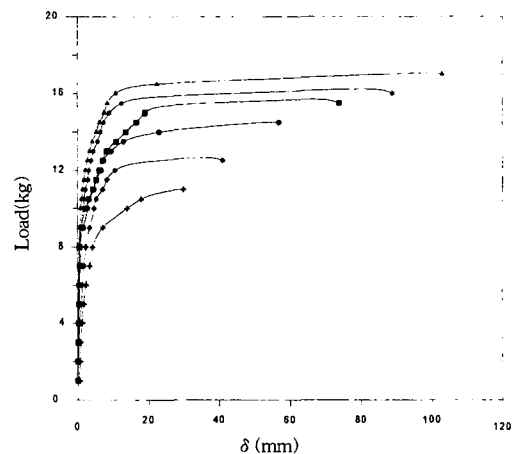


Fig. 2 Variation of uplift capacity upward displacement.

4.2 근입비에 따른 극한 인발력 관계

근입비에 따른 극한 인발력의 변화는 단일 헬리컬 앵커의 거동과 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났으며, 근입비, $H/D=1$ 일 경우 10.7 kg, $H/D=2$ 일 경우 12.5 kg, $H/D=3$ 일 경우 14.1 kg, $H/D=4$ 일 경우 15.3 kg, $H/D=5$ 일 경우 16.2 kg,

Table 3 Uplift capacity with variation of upward displacement.

H/D = 1		H/D = 2		H/D = 3		H/D = 4		H/D = 5		H/D = 6	
Q _u (kg)	δ (mm)	Q _u (kg)	δ (mm)	Q _u (kg)	δ (mm)	Q _u (kg)	δ (mm)	Q _u (kg)	δ (mm)	Q _u (kg)	δ (mm)
2	0.74	2	0.29	2	0.11	2	0.1	2	0.1	2	0.09
4	1.28	4	0.66	4	0.41	4	0.25	4	0.21	4	0.16
6	2.27	6	1.35	8	0.82	8	0.70	8	0.65	8	0.48
8	4.32	8	2.44	12	6.67	12	6.1	12	3.75	12	2.20
10	14.0	11	7.10	14	23	15	19.1	16	89	17	103

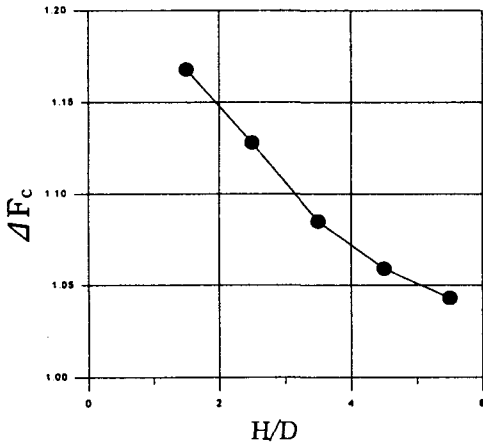


Fig. 3 Ultimate uplift capacity - H/D ratio curve for multi helical anchors.

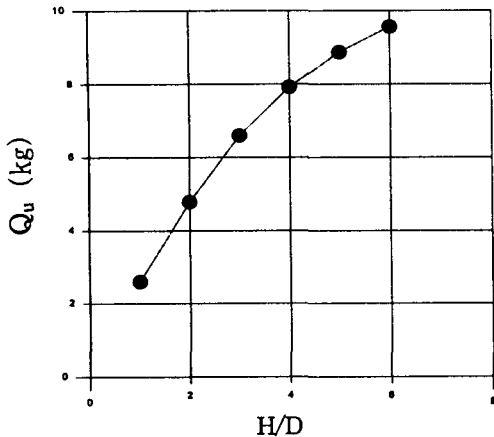


Fig. 4 Increment ratios of ultimate uplift capacity with H/D ratio

H/D=6일 경우는 16.9 kg으로 나타났다.

Fig. 3에 도시되어 있듯이 근입비의 증가에 따라 극한 인발력도 비례적으로 증가하는 것을

알 수 있다. 하지만 임의의 점을 지나서는 앵커의 극한 인발력은 점차적으로 완만해지는 것을 볼 수 있다.

근입비의 증가에 따른 극한하중의 증가량이 감소하는 것을 알기 위하여 근입비의 변화에 따른 하중의 증가율을 나타낸 것이 Fig. 4이다. 그림에서 볼 수 있듯이 근입비가 1과 2사이에는 큰 증가율을 보이다가 4와 6사이에서 급격하게 하중의 증가율이 감소하는 것을 알 수 있다.

이와 같은 실험결과를 통하여 다중 헬리컬 앵커에 있어서 한계근입비는 4에서 6사이에 형성됨을 알 수 있다.

4.3 근입비에 따른 인발계수 관계

다중 헬리컬 앵커의 한계 근입비를 구하기 위하여 각각의 근입비 대한 인발계수를 구하였다. 다중 헬리컬 앵커의 인발계수는 본 실험으로부터 얻어진 극한 인발력으로부터 역산하여 얻을 수 있으며 식(1)과 같다.

$$F_c = \left(\frac{Q_u - Q_f}{A} - \gamma H_1 \right) \frac{1}{c_u} \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서, Q_u: 총 극한 인발력
- Q_f: 측면 마찰 저항력
- A: 상부 헬리스의 면적
- F_c: 인발계수
- γ: 흙의 단위중량
- H₁: 상부 헬리스와 지표면의 거리
- c_u: 흙의 점착력

Fig. 5에서와 같이 근입비에 따라 급히 증가하다가 7과 8사이의 점을 지나서 증가경향이 완만해지는 것을 알 수 있다. 따라서, 다중 헬리컬 앵커의 한계인발계수는 7과 8사이에 존재하며

이에 따른 한계근입비는 4와 6사이에서 형성되는 것을 알 수 있다.

Table 4는 다중 헬리컬 앵커의 근입비에 따른 인발계수를 나타낸 것이다.

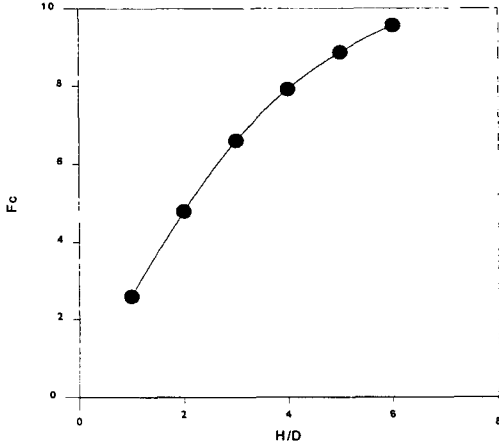


Fig. 5 Breakout factor curve with H/D ratio

Table 4 Breakout factor in multi helical anchor

H/D	Q _u (kg)	Q _f	Q _p	H (cm)	F _c	(H/D) _{cr}
1	10.7	8.3681	2.332	5	2.6	5.4
2	12.5		4.132	10	4.79	
3	14.1		5.732	15	6.60	
4	15.3		6.932	20	7.92	
5	16.2		7.832	25	8.87	
6	16.9		8.532	30	9.56	

4.4 얇은 앵커 조건하의 근입비 - 인발계수

Fig. 6은 얇은 앵커 파괴 조건하의 근입비에 따른 다중 헬리컬 앵커의 인발계수의 변화 양상을 나타낸 것이다. 헬리컬 앵커의 한계 인발 근입비인(H/D_{cr})=5.4까지의 인발계수를 나타내었다. 그럼에서 볼수 있듯이 한계 근입비에 근접할수록 인발계수의 증가경향이 완만해지는 것으로 나타났다.

4.5 헬릭스 간격에 따른 헬리컬 앵커의 인발 특성

헬리컬 앵커의 인발력에 영향을 미치는 요소

로서 헬릭스 사이의 간격을 들 수 있다. 특히 다중 헬리컬 앵커의 경우에는 헬릭스의 형상에 의하여 거동 특성이 다르게 나타나는 것으로 알려져 있다.

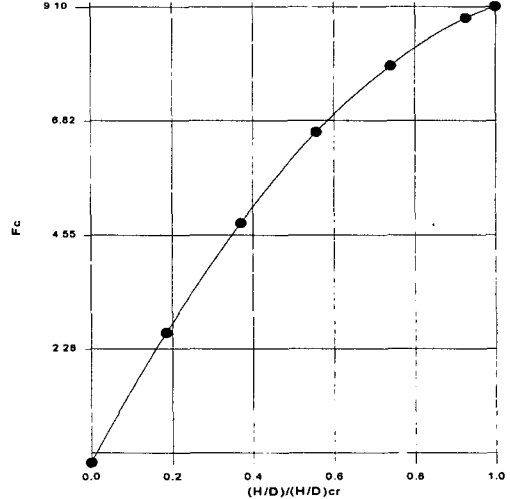


Fig. 6 Variation of F_c with (H/D)/(H/D)_{cr} in multi helical anchor

다중 헬리컬 앵커에 있어서 헬릭스 크기 및 형상이 일정하다면 상부 헬릭스와 하부 헬릭스는 하나의 토체와 같이 거동한다. 이와 같은 경우에 만일 헬릭스 간격이 너무 작다면 앵커 주위의 위치한 흙의 파괴영역을 교란시킴으로써 각각의 앵커의 평균 인발력은 감소하게 될 것이다.

따라서, 본 연구에서는 헬릭스 간격을 1, 2, 3, 4, 5, 6으로 각각 변화시켜 가며 인발실험을 실시하였으며, 이때에 상부하중으로 인한 인발력의 영향을 배제하기 위하여 상부 층의 두께를 0.2D1으로 일정하게 유지하여 인발실험을 행하였다.

헬릭스 사이의 간격에 따른 인발력의 변화를 도시한 것이 Fig. 7이다. 각각의 간격에 따른 인발력은 하중에 따라 변위가 증가하다가 극한점을 지나서 증가가 둔화되는 것을 볼 수 있다.

실험결과 헬릭스 지름에 대한 헬릭스 간격비 S/D=1일 경우에 7 kg, S/D=2일 경우 8 kg, S/D=3일 경우 10 kg, S/D=4일 경우 11 kg, S/D=5일 경우 13 kg, S/D=6일 경우는 13.2를 전후로 하여

급격한 변화가 발생하였다. Table 5는 실험결과를 나타낸 것이다.

Table 5 Load - displacement relation with various space ratios

S/D \ Load(kg)	1	2	3	4	5	6
2	1.06	0.82	0.75	0.65	0.41	0.25
7	23	9.8	5.9	4.9	2.84	2.32
8.5		35	18.5	11.3	6.3	4.3
9.5			45	18.6	11.6	8.1
11.5				52	31	22.9
12					37	27
13					65	45
13.5						73

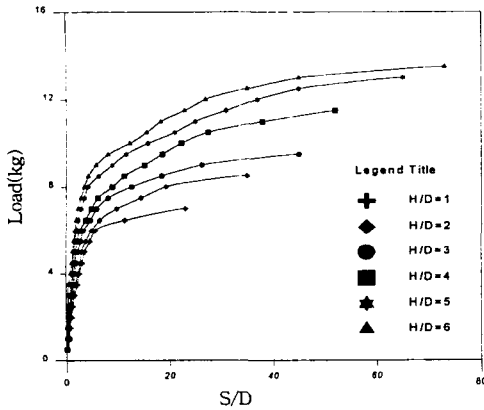


Fig. 7 Relation curve for load - upward displacement with variation of helicals space

Fig. 8는 헬릭스의 간격비(S/D)에 따른 극한 인발력을 나타낸 것이다. 실험결과 근입비 초기에는 변화가 일정하게 진행되다가 헬릭스의 간격비가 5에서 6사이에서 완만해지는 것을 볼 수 있다. 이때 각각의 근입비에 대한 극한 인발력은 헬릭스 간격비 S/D=1일 경우에 7.1 kg, S/D=2일 경우 8.2 kg, S/D=3일 경우 9.5, S/D=4일 경우 11.2 kg, S/D=5일 경우 12.7 kg, S/D=6일 경우는 13.2로 나타났다.

따라서, 인발력은 헬릭스의 간격비(S/D) 5를 전후로 하여 증가양상이 완만해지는 것으로 나타났다.

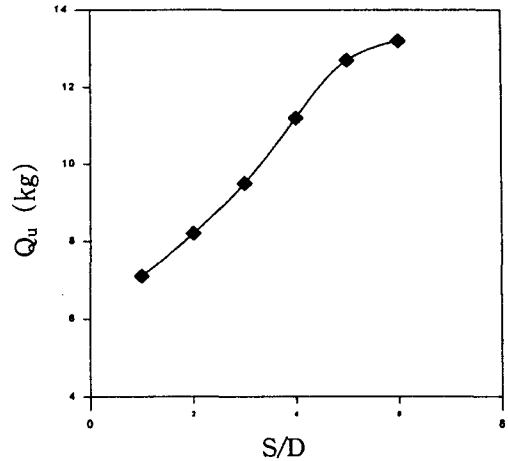


Fig. 8 Uplift capacity with variation of helicals space

4.6 기존 이론과의 비교

Das는 많은 실내모형실험을 통하여 한계 근입비는 비배수 전단강도의 함수임을 알아내고 관계식을 제안하였다.

본 실험의 실험결과를 이와 비교하여 볼 때 Das의 제안식과 근접한 것으로 나타났다.

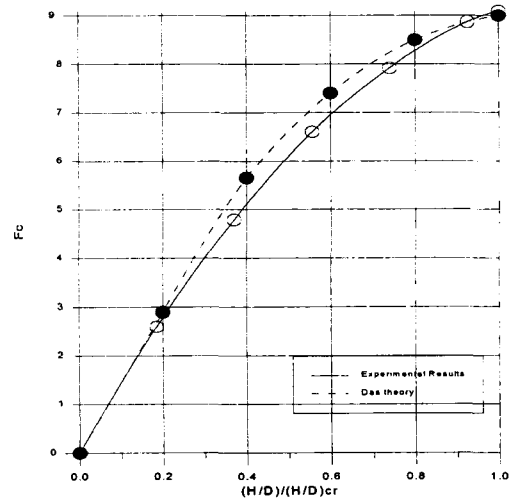


Fig. 9 Relation curve for load-displacement.

Fig. 9는 Das가 제안한 F_c 와 $(H/D)/(H/D)_{cr}$ 의 관계와 다중 헬리컬 앵커의 F_c 와 $(H/D)/(H/D)_{cr}$ 관계를 도시한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 다중 헬리컬 앵커의 경우에는 한계 인발

계수가 Das가 제안치 보다 크지만 그 양상은 유사한 것으로 나타났다.

5. 결 론

다중 헬리컬 앵커의 인발에 따른 거동 특성을 구명하기 위하여 실내에서 점토지반을 조성하고, 형상과 헬릭스의 간격, 근입비를 변화시켜 가며 단기 인발실험을 실시하였다. 이와 같은 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 다중 헬리컬 앵커는 근입비가 증가함에 따라 단기 극한 인발력이 증가하며 한계 근입비 이후로 증가양상이 완만해진다.
- 2) 이상과 같은 조건에서 다중 헬리컬 앵커의 한계인발계수는 7과 8사이에 존재하며, 이에 따른 한계근입비는 4와 6사이에서 형성된다.
- 3) 헬릭스 간격에 따른 극한 인발력은 간격비 (S/D)가 5를 이후로 하여 증가 양상이 둔화되었다.
- 4) 기존이론과 비교하여 볼 때 점토내의 다중 헬리컬 앵커의 거동은 Das가 제안한 관계식과 가장 잘 일치하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 1) Das, B. M., "Earth Anchors", Elsevier Science, Amsterdam, pp. 14~83, 1990.
- 2) Mitch P. M., and Clemence P. S., "The Uplift Capacity of Helix Anchor", Uplift

Behavior of Anchor Foundations in Soil, pp. 26~47, 1985.

- 3) Mors, H., "The Behavior of Mast Foundations Subjected to Tensile Forces." Bautechnik, pp. 367~378, 1959.
- 4) Balla, A., "The Resistance to Breaking Out of Mushroom Foundations for Pylons", Proc. Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, pp. 569~576, 1961.
- 5) Vesic, A. S., "Bearing Capacity of Deep Foundations in Sand", National Academy of Sciences, National Research Council, Highway Research Record, Vol. 39, pp. 112~153, 1963.
- 6) Meyerhof, G. G., and Adams, J. I., "The Ultimate Uplift Capacity of Foundations", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 5, No. 4, pp. 225~244, 1968.
- 7) Meyerhof, G. G., "Uplift Resistance of Inclined Anchors and Piles", Proceedings, Eighth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, Vol. 2, No. 1, pp. 167~172, 1973.
- 8) 李濬大, "粘土에 根入된 圓形板 앵커의 引拔特性", 忠北大學校 大學院 博士學位論文, pp. 1~122, 1995.
- 9) 申芳雄, 許烈, 基礎工學, 文友社, pp. 299~313, 1985.