

말뚝(항)기초의 인발저항력에 대해서

윤 용 철·윤 충 섭·서 원 명
(경상대학교 농과대학 교수)

1. 기초의 인발저항력 연구동향

구조물의 기초는 상부구조물의 하중을 지반에 안전하게 전달시키는 것을 목적으로 하고 있다. 그러나 이들 기초가 풍하중, 파력, 지진 하중 등 수평방향으로 하중을 받을 경우, 기초에는 압입력 및 인발력이 작용하게 된다. 이들 기초 중 말뚝기초의 인발저항력은 주변 마찰력과 축압만 기대할 수 밖에 없기 때문에 그 평가는 압입시 보다 중요하다. 점성토 지반의 경우에는 상재압의 변화나 지반이 느슨하게 되는 영향이 적기 때문에 압입시의 저항력과 같은 것으로 생각해도 큰 차이는 없는 것으로 생각할 수 있다. 그러나 모래지반의 경우 인발력은 상재압을 감소시키는 방향으로 작용하고, 거기에서 주변지반을 느슨하게 하는 경향이 있기 때문에 인발력은 압입력에 비해서 일반적으로 작은 것으로 보고되어 있다. (7, 10~12)

그리고 주로 가설앵커로 사용되던 어스 앵커는 구조물의 안정성과 경제성을 고려하여 최근에는 구조물의 일부, 또는 영구 구조물로서 여러 방면에 이용되고 있다. 예를 들면, 옹벽의 전도방지, 송전선 철탑기초의 인발방지, 저수지상판의 부상방지, 풍압 및 파압에 의한 항만·해양구조물의 전도방지, 높은 피어의 교량 및 고층건물의 풍압에 의한 전도방지 등이 다. 이러한 어스 앵커 기초는 주변지반과 마찰력에 의해 축방향의 장력에 저항하기 때문에 인발저항력의 발휘가 중요한 기능의 하나이다.

종래 기초에 관한 연구사례를 살펴보면, 기

초의 연직지지력에 관한 연구는 다수 발표되어 그 지지력기구는 꽤 명확히 되어 있으나 기초의 인발저항력에 관한 연구사례는 그다지 많지 않다. 단지 인발저항력이 주된 기능인 어스 앵커(역T자형 기초도 포함)의 인발저항력에 관한 연구결과는 오래 전부터 종종 보고된 적이 있고, 현재도 연구가 진행되고 있다.^{1, 2, 3~6)} 그러나 이들 연구 결과인 해석해를 실제의 기초에 적용할 때에 반드시 타당한 값을 얻을 수 없고, 또 정밀한 실험에 근거한 것이 라도 상이에 관한 문제를 가지고 있기 때문에 실제기초에 적용할 경우에는 아직도 많은 문제점을 가지고 있다. 그리고 앞에서 기술한 것과 같이 인발될 때 주로 주변마찰력과 축압만 받게 되는 말뚝기초의 인발저항력에 관한 연구사례는 어스 앵커에 비해 아주 빈약한 실정이며,^{3, 6~9)} 이들 연구 또한 어스 앵커와 마찬가지로 각각의 조건이 다르기 때문에 이들 연구 결과로부터 확정적인 결론을 얻기가 곤란하다.

이와 같이 기초의 인발저항력에 관한 연구 사례는 아직 미흡한 실정이고, 또한 그 연구 결과에 대한 신뢰성에도 문제점이 있는 것으로 생각할 수 있다. 특히 국내의 경우, 이에 관한 연구사례가 거의 없는 것으로 알고 있다. 그러나 최근 외국에서는 도로교하부구조, 건축기초구조 등과 같이 인발저항력을 고려한 말뚝기초의 사용이 증가되고 있고, 또 온실과 같이 경량구조물은 풍하중하에서 기초가 인발되어 파괴되는 예를 종종 볼 수 있다. 이러한 점들을 고려하여 기초의 인발저항력에 대해서 개략적으로 소개하고자 한다. 여기에 소개되

는 내용은 일본토질공학회가 발행한 “抗の引抜き試験方法・同解説”의 내용인 인발저항력의 실험방법, 실험장치, 실험결과와 정리 등에 관한 것과 이 분야에 대한 연구경험을 토대로 하여 소개하는 것이다.

참고로 본 실험에 이용된 기초는 최대 길이(L) 40cm정도의 모르타르제로 직경(D) 40mm, 66mm, 83mm의 3종류이다. 그리고 흙시료는 함수비 0.159%, 점착력 0, 평균입경 0.38mm, 토입자의 비중 2.71인 건조한 모래지반이다. 또 실험지반의 초기밀도는 1.55 g/cm³(느슨한 상태)와 1.70 g/cm³(다진상태)이다. 실험은 정적상태와 수평으로 진동을 가한 동적상태에서 실시하였다. 본 실험과 같이 지반이 건조(함수비 0.159%)하면 할수록 인발저항력은 적어지며, 본 실험에서는 반복실험을 용이하게 하기 위하여 건조한 모래를 이용하였다.

2. 인발저항력의 산정식

지금까지 발표된 말뚝의 인발저항력 산정식을 살펴보면 일반적으로 다음과 같다.

가. 일본건축학회

일본 건축학회 “건축기초구조설계기준·동해설¹³⁾”에 의하면 인발저항력의 산정식은 점토질 지반과 모래 지반에 대해서 각각 다음과 같이 정의하고 있다.

1) 점성토

$$\tau_t = \alpha\beta (q_u/2) (t/m^2)$$

여기서,

q_u : 일축압축강도(t/m²)

α, β : 계수

2) 사질토

$$\tau_t = \mu K \gamma z (t/m^2)$$

여기서,

μ : 마찰계수

K : 축압계수

γ : 지반의 단위체적 중량(t/m³)

z : 지표면에서의 임의의 말뚝의 길이(m)

강장 말뚝 $\mu = \tan(1/2 \sim 3/4)\varphi$

콘크리트 말뚝 $\mu = \tan(3/4 \sim 1)\varphi$

φ : 내부마찰각

나. Das³⁾, Shino¹⁴⁾ 등

Das, Shins 등은 모래지반의 경우, 인발저항력이 말뚝의 근입심에 비례해서 증가하지는 않지만 지반의 깊이 방향에 대해서 K 및 γ 가 일정한 것으로 가정하여 다음과 같은 식을 제안하였다.

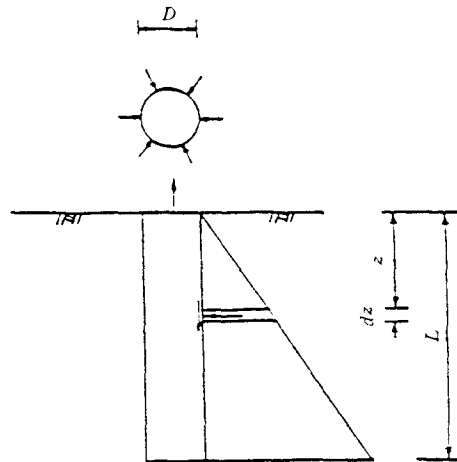


Fig. 1. 말뚝의 인발저항력

$$F = \int_0^L \mu K \gamma D \mu dz$$

$$= L/2 \mu K \gamma A_s$$

여기서

μ : 마찰계수

K : 축압계수

γ : 지반의 단위체적 중량(t/m³)

L : 근입심(m)

A_s : 표면적(m²)

3. 실험장치

일반적으로 인발저항력의 실험장치는 크게

하중의 재하 부분, 하중의 전달(chain, pully, 말뚝 두부의 강봉) 부분 및 반력 부분으로 나눌 수 있다. Fig. 2는 본 실험에 이용된 실험 장치이다. 이것은 모형실험의 일례를 나타낸 것이지만, 실물 대형실험의 경우도 이것과 거의 동일하다.

가. 재하장치

재하장치는 일반적으로 하중장치, 수평 프레임(frame) 및 반력장치(수직프레임)로 구성된다. 재하장치는 실험방법, 계획최대하중, 말뚝의 종류 및 주변상황 등을 고려하여 안전한 것으로 한다. 계획최대하중은 실험의 목적을 달성하기 위하여 말뚝에 가하는 최대하중이나 일반적으로 말뚝의 최대인발저항력으로 보아도 큰 차이는 없고, 인발저항력 실험의 경우는 이러한 최대 인발저항력을 일반적으로 극한(한계)인발저항력이라 한다.

1) 하중장치

하중장치는 잭(Jack)나 Fig. 2의 ⑧과 같이 재하판 및 추를 이용하며, 다음과 같은 조건을 만족해야만 한다.

① 계획최대하중에 대해 충분한 하중능력을 가질 것.

② 편심 및 수평분력이 발생되지 않는 구조일 것.

③ 실험 말뚝과의 접합부분은 계획최대하중에 대해 안전할 것.

2) 프레임

프레임은 굽힘, 전단, 좌굴 및 전도에 대해 안전한 구조로 한다.

나. 반력장치

반력장치는 Fig. 2의 프레임 중에 수직 프레임에 해당된다. 이 반력장치는 다음과 같은 다음과 같은 조건을 만족해야만 한다.

① 현장실험의 경우, 실험 말뚝과 수직 프레임의 간격은 상호 영향이 없는 충분한 거리를 확보하고, 실험 말뚝에 대해 대칭으로 설치할 것.

② 계획최대하중에 대해 충분한 지지력을 가져야 하며, 침하에 대해서도 고려할 것.

③ 충분한 강성과 강도를 가질 것.

④ 수평 프레임과의 접합부분은 편심이나 2차응력 등도 고려하여 충분히 안전하게 할 것.

본 실험과 같이 말뚝 두부에 강봉을 설치하여 사용할 경우, 강봉은 말뚝한 중심에 수직으로 설치해야 하며, 체인 및 풀리를 이용할 경우에는 체인과 풀리와의 마찰에 의한 영향이 최소가 되도록 해야 한다. 특히 이는 소형 모형실험의 경우 주의를 요구하는 부분이다.

다. 계측장치

계측장치는 일반적으로 하중(일반저항력) 및 말뚝의 인발변위계로 구성되지만, 실험 목적에 따라 말뚝 자체의 축방향 변위 및 실험 지반의 지표면 변위 등을 계측하는 장치들이 이용되기도 한다. 또 계측장치는 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

① 실험 목적에 부합하는 정밀도를 가질 것.

② 조작 및 조정이 용이할 것.

③ 실험을 행할 때 말뚝 및 재하장치 등의

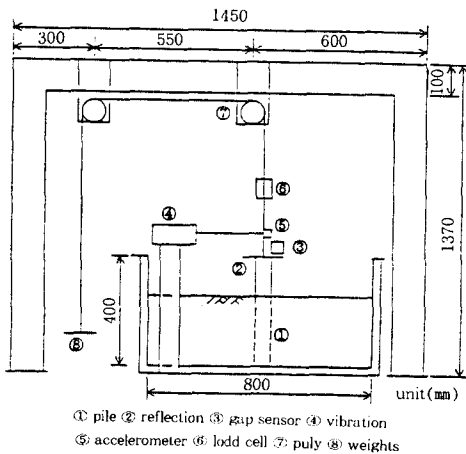


Fig. 2. 실험장치

변위에 의해서 영향을 받지 않도록 할 것.

그리고 인발저항력을 측정하는 하중계와 변위 계측기는 계획최대하중 및 재하방법에 요구되는 정밀도를 가져야 하고, 검사에 의해 정도 및 신뢰성이 확인된 것이라야 한다. 또 하중을 정확히 측정할 수 있는 위치에 정확히 설치해야 한다.

이러한 하중계의 정밀도를 측정하는 방법에는 여러 가지가 있겠으나, 일반적으로 일정한 시간 간격을 두고 하중을 가하면서 가한 하중과 지시계의 하중값과 비교하여 본 후, 역으로 하중을 제거하면서 같은 방법으로 비교하여 본다. 이때 하중을 가할 때와 제거할 때의 값은 일치하여야 하며, 만약 일치하지 않으면 계측기로서는 적합하지 않다. 이러한 현상(히스테리시스현상)은 다이얼 게이지나 하중계에서 자주 발생하는 것으로 사용전에 반드시 검사할 필요가 있다.

또 인발변위 측정기기로는 다이얼 게이지가 많이 이용되지만, Fig. 2의 ③과 같이 센서를 이용할 수도 있다. 만약 모형실험(인발저항력이 적은 경우)에 있어서 다이얼 게이지를 이용할 경우는 게이지의 반력이 인발저항력에 영향을 미치지 않도록 특별한 주의를 해야 하며, 또 센서를 이용할 때는 빛에 대한 영향을 충분히 검토해야만 한다. 이 계측기도 사용전에 검사할 필요가 있다.

실험지반의 변위나 말뚝의 축방향 변위 등은 센서를 이용하여 측정하는 경우가 많으며, 어스 앵커의 인발저항력을 실험할 때 레이저 센서를 이용해서 모래지반의 변위를 측정할 적 있다. 실제 이 실험은 상당한 주의를 요구하는 것으로, 반복실험에 의해서만 가능할 것으로 생각된다.

이상과 같은 계측장치를 이용하여 실험을 행하지만, 실험 데이터의 수집 및 분석은 컴퓨터 시스템을 이용하는 경우가 많다.

4. 인발저항력의 실험방법

가. 재하방법

말뚝의 인발저항력에 관한 실험방법은 아직 확립되어 있다고 보기 힘들다. 그러나 지금까지 행한 연구에서 보면 재하방법은 하중제어 방법과 변위제어 방법으로 크게 2가지로 대별할 수 있다.

1) 하중제어 방법(다단계 하중, 정하중법)

이 방법은 계획최대하중을 몇 단계로 나눈 후, 각 단계별로 일정한 시간간격을 두고 하중을 가하는 것으로 다단계 하중법 또는 정하중법이라고도 한다. 일본토질공학회기준¹²⁾에 의하면 하중단계는 8단계 이상으로 하고, 각 단계의 하중지속시간은 5분으로 하고 있다. 그리고 하중을 가하는 하중속도는 1분당 계획최대하중/(8~20)으로 되어 있다. 이와 같이 하중속도를 제한하는 것은 실험에 균일성을 주기 위한 것이다. 이 방법은 앞에서 기술한 것 같이 주로 현장 실험을 행할 경우와 작기 등을 이용하여 하중을 가할 때 적용된다. 그러나 일반적으로 추등을 이용하거나 실내 모형실험의 경우는 이 방법과 조금 다르다. 즉 각 단계의 하중은 계획최대하중의 1/25~1/20로 하고, 각 단계의 하중지속시간은 3~5분으로 하는 경우가 많다.

2) 변위제어 방법

이 방법은 말뚝의 인발변위량을 제어하는 것이다. 즉 일정 시간내에 일정한 변위량이 생기도록 하여(예 1mm/30초) 실험을 행하는 것으로 어스 앵커를 실험할 때 주로 사용되는 방법이다. 그러나 말뚝의 경우, 특히 모형실험에 있어서는 일반적으로 인발변위량이 적은 시점에서 말뚝이 뽑혀지기 때문에 변위제어 방법은 잘 사용되지 않는다.

이상에서 설명한 하중제어와 변위제어 방법은 말뚝의 두부에서 연직방향으로 정적인 인발하중을 가하는 방법이다. 그러나 실제적으

로 구조물의 말뚝에 작용하는 인발력을 살펴 보면, ① 수평력에 의한 것, ② 부력에 의한 것, ③ 지진 및 풍하중에 의한 것 등이 있다. 이들 중 ①, ②는 비교적 긴시간에 걸쳐 작용하고, ③은 짧은 시간에 걸쳐 반복적으로 작용하는 것으로 볼 수 있다. 이들 작용력에 대한 말뚝의 거동은 정적인 경우에 비해 상당한 차이가 있는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 이러한 점을 고려하여 실제 상황과 유사한 조건하에서 실험을 행하여야 하지만, 실제 상황을 재현하기란 상당히 어려운 점이 많다. 이러한 점 때문에 지금까지 행한 대부분의 실험에서는 정적인 방법을 사용하고 있고, 또 이 결과를 실제 설계에 이용하고 있는 실정이다.

여기서 본 실험의 경우를 살펴보기로 한다. 물론 실험 조건이 실제 자연현상을 재현하였다고는 할 수 없지만, 비닐하우스 같이 경량 구조물은 풍하중하에서 고유진동수로 진동한다는 연구결과¹⁵⁾에 따라 말뚝을 수평진동시킨 경우 인발저항력을 실험적으로 검토하였다.¹⁶⁾ 이 결과 정적인 상태에서 행한 결과와는 현저한 차이를 보였다. 즉 재하중(W)이 어느 정도 이상이 되면 진동초기에 현저한 차이를 보였다. 즉 재하중(W)이 어느 정도 이상이 되면 진동초기에 전체 인발저항력의 70% 이상이 감소하였고, 정적인 경우에 비해 인발저항력

은 현저히 감소하는 것을 알 수 있었다.(Fig. 3참조)

나. 측정항목

인발저항력을 실험할 때 측정항목은 일반적으로 다음과 같으나, 실험의 목적에 따라 선정할 수 있다. 또 각 측정항목의 측정정도는 실험 목적에 따라 측정항목 상호 관련을 고려하여 결정한다.

- ① 시간
- ② 하중(인발저항력)
- ③ 말뚝 두부의 인발변위량
- ④ 말뚝의 축방향 변위량
- ⑤ 실험지반의 변위량
- ⑥ 반력장치의 변위량 등등

5. 실험결과의 정리

실험결과의 정리는 실험자와 실험목적에 따라 차이가 있으나, 일반적으로 다음과 같이 한다.

가. 인발저항력과 시간과의 관계

이는 시간의 경과에 따른 인발저항력의 변화를 관찰하는 것으로 실물 대형실험의 경우를 보면 인발저항력은 시간의 경과에 따라 증가하지만, 어느시점을 경계로하여 감소하게 된다. 그러나 본 실험의 경우를 보면 Fig. 4(느슨한 지반)에서 알 수 있듯이 인발저항력이 감소한 예는 없다. 이러한 경향은 소형 모형실험의 경우에 볼 수 있으며, 특히 느슨한 지반의 경우에 많이 볼 수 있다. 이는 말뚝의 인발에 의해서 발생하는 말뚝 주면 또는 주면근방 지반의 전단응력이 강복합과 동시에 말뚝이 뽑혀(pull out)지기 때문인 것으로 판단된다.

나. 인발저항력(Q, P)과 인발변위량(δ , S)과의 관계(Fig. 4, 5참조)

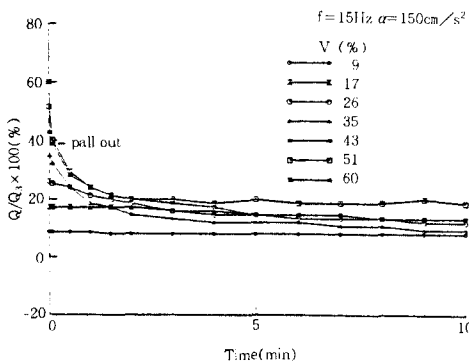


Fig. 3. 진동을 가한 경우 인발저항력의 시간변화

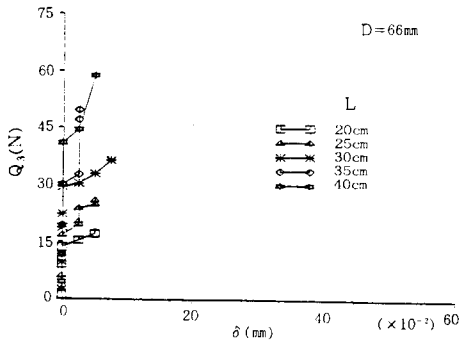


Fig. 4. 인발저항력과 인발변위량과의 관계

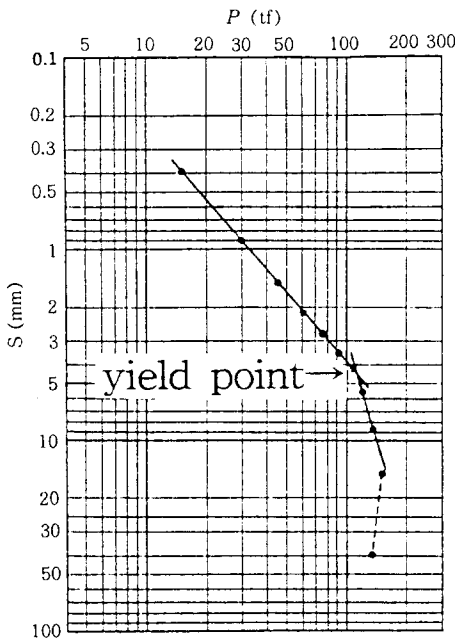


Fig. 5. logP-logS의 관계

Fig. 4로부터 한계인발저항력과 인발변위량을 알 수 있다. 즉, Fig. 4에서 근입심별로 가장 큰 저항력을 본실험에서는 한계인발저항력으로 정의했다. 그리고 그림에서 알 수 있듯이 일반적으로 인발변위량은 극히 적다.

Fig. 5는 식물 대형실험의 결과인 말뚝의 인발저항력과 인발변위량을 대수용지에 나타낸 것이다. 이는 그림에 표시한 것같이 주변 지반의 강복점을 검토할 때 주로 사용하고, 항

복점의 인발저항력을 일반적으로 강복인발저항력이라 한다.

다. 인발저항력과 말뚝의 근입심과의 관계(Fig. 6참조)

Fig. 6으로부터 인발저항력과 말뚝의 근입심 사이에 어떤 함수관계가 있는지를 검토하고, 이 함수관계를 이용하면 인발저항력 및 근입심의 근사치를 구할 수 있다.

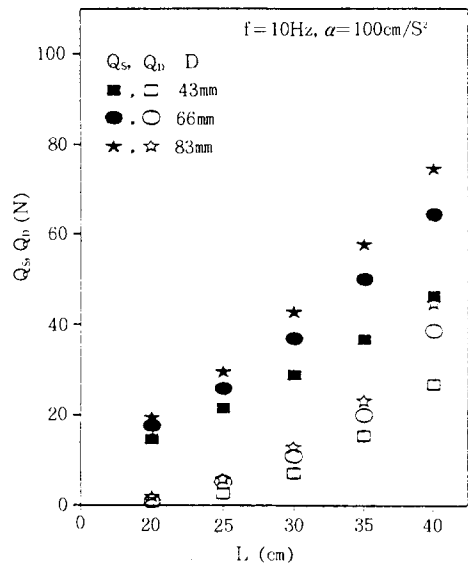


Fig. 6. 인발저항력과 말뚝의 근입심과의 관계

라. 평균단위마찰력(F)과 근입심(L)과의 관계(Fig. 7참조)

Fig. 7은 말뚝의 인발저항력을 단위마찰력으로 환산한 것으로, 인발저항력과 말뚝의 주면적으로 계산할 수 있고, 또 말뚝의 축방향 변위량 및 축력과 주면적으로 계산할 수도 있다. Fig. 7은 전자의 방법으로 계산한 것이고, 주면마찰력과 토질성상과의 관계, Scale Effect 등을 검토할 때 이용된다.

마. 말뚝의 축력(N) 분포 및 지반의 파괴형태(Fig. 8, 9참조)

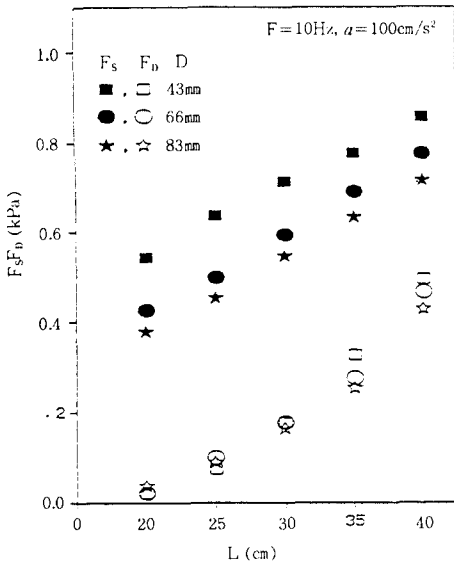


Fig. 7. 평균단위마찰력과 근입심과의 관계

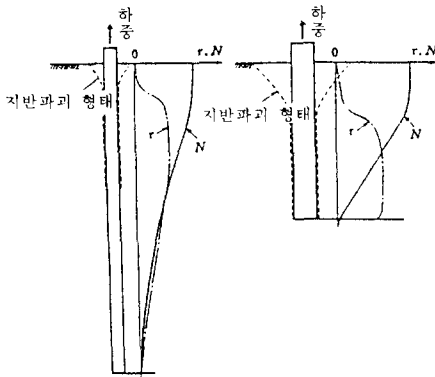


Fig. 8. 말뚝의 축력분포와 실험지반의 파괴형태

Fig. 8, 9는 실험지반의 축력, 실험지반의 파괴형태를 나타낸 것으로, 주면마찰력(r)계산, 진행성파괴 검토, Scale Effect 검토, 파괴형태가 인발저항력에 미치는 영향 검토, L (근입심)/ D (직경)가 파괴형태에 미치는 영향 검토 및 인발저항력 산정식의 적용범위 검토 등 실험 목적에 따라 다양하게 이용된다. 또 인발저항력의 메카니즘 검토시에도 상당히 중요한 항목이고, 인발저항력 실험에서 중요한 측정항목이지만, 파괴형태를 측정하는 것은

대단히 어렵다. 인발저항력 실험을 행하여 본 연구자라면 적어도 한번쯤 겪어 본 애로사항이다. 지표면 파괴 및 변형 측정에 가장 많이 이용되는 방법은 실제 상황을 그때 그때 스캐치하는 경우에는 파괴형태를 식별할 수 없었다. 앞서서도 언급하였지만, 본 연구자는 앵커의 인발저항력 실험시에 지표면 변화를 레이저 센서를 이용해서 측정한 적이 있다. 그리고 다이알 게이지를 이용해서 측정한 예를 보았으나, 유감스럽게도 그 결과는 본적이 없다.

또한 지반내 파괴형태는 거의 대부분이 실험토조의 한쪽면을 투명한 아크릴판 등을 이용해서 관찰한다. 여기에 수반되는 하나의 문제는 축대칭성 문제이다.

이상과 같은 실험결과와 정리 방법이 있지만, 연구자에 따라서 이 이외에도 S - $\log t$, 토질주상도의 이용, $\Delta S/\Delta \log t$ - P 등을 이용하기도 한다.

여기서, t 는 시간이다. 또 이상의 그림에서 첨자는 수평진동을 가하지 않은 경우(S)와 가한(D) 경우이고, f 는 진동주파수, a 는 가속도이다.

5. 연구전망과 문제점

인발저항력에 관한 연구는 상당히 오래전(1950년대초)부터 이루어져 왔으나 앞서서도 기술한 것같이 그 연구결과는 그다지 많지 않다. 그러나 선진외국에서는 오래전부터 일부 구조물의 기초를 설계할 때에 인발저항력에 관하여 검토하고 있으며 최근 국내에서도 온실을 설계할 때는 반드시 이것에 관하여 검토하고 있는 실정이다. 그리고 日本建築學會⁽¹³⁾에 의하면 도로교 하부구조 및 건축기초 설계시에도 인발저항력을 고려하는 것이 바람직하다고 되어 있다. 따라서 말뚝기초의 설계시에도 인발저항력에 대한 검토가 있어야 될 것이다.

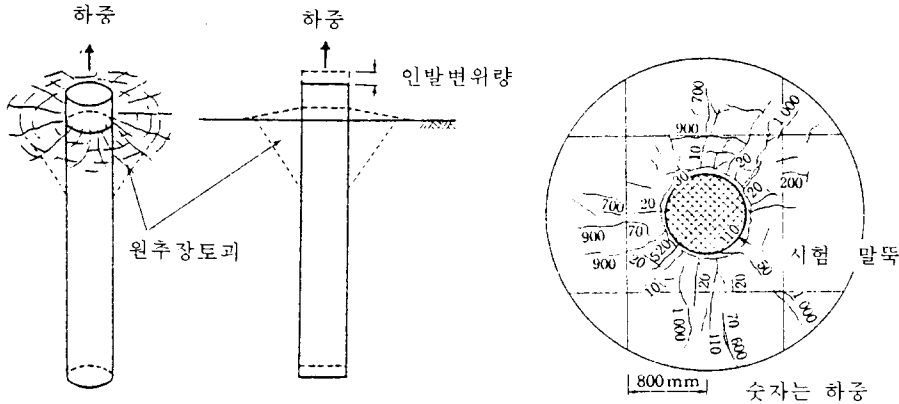


Fig. 9. 실험지반의 파괴형태

그러나 이에 관한 연구결과가 아직 미흡한 상태이기 때문에 앞으로 많은 연구가 이루어져야 할 것이며, 특히 자연현상을 고려한 실험이 행해져야 할 것으로 판단된다. 또 Fig. 7에서 알 수 있듯이 말뚝의 지지력에서 나타나는 크기효과도 있다. 즉 직경이 커지면 극한 인발저항력은 커지지만 직경에 비례해서 인발저항력이 커지지 않는다. 이에 대한 정확한 검토도 이루어져야 할 것으로 생각된다.

6. 맺는말

기초의 인발저항력에 관한 자료를 국내에서는 찾아보기 힘들고, 또 앞으로 이 분야에 관심있는 농공학회 회원들에게 조금이나마 도움을 드리고자 말뚝 기초의 인발저항력에 관한 일반적인 사항만을 기술하였다. 시간이 허락한다면, 최근 여러 방면에 이용되고 있는 에스 앵커에 대해서도 소개할 예정이다. 아무쪼록 회원들에게 조금이라도 도움이 되었으면 한다.

참 고 문 헌

1. Baker, W. H. and R. L. Kondner(1965),

Pullout Load Capacity of a Circular Earth Anchor Buried in Sand. Highway Research Record, No. 108, pp. 1~10.
 2. Balla, A. (1961), The Resistance to Breaking Out of Mushroom Foundations for Pylons, Proc., 5th., Int., Conf., S. M. F. E., Vol. 1, pp. 569~576.
 3. Das, B. M. (1983), A Procedure for Estimation of Uplift Capacity of Rough Piles, Soils and Foundations, 23(3), pp. 122~126.
 4. Edwaed, A. d. (1988), Uplift Behavior of Horizontal Anchor Plates in Sand, ASCE, 114(11), pp. 1300~1316
 5. Matuso. M and T. Shogaki(1993), Evalutio of Undrained Strength of Unsaturated Soils by plate Uplift Test. Soils and Foundations, 33(1), pp. 1~10
 6. Meyerof, G. G. and J. I. Adams(1968), The Ultimate Uplift Capacity of Foundations, Canadian Geotechnical journal, No. 5, pp. 225~244.
 7. Rao. K. S. and k. H. Venkatesh(1985), Uplift Behaviour of Short Piles in Uniform Sand, Soils and Foundations, 25(4),

- pp. 1~7.
8. Sow, V. A.(1970), Pulling Capacity of Concrete Cast in Suit Boared Piles, Canadian Geotechnical Journal, No. 7, pp. 482~493.
 9. Vesic, A. S. (1970) Test on Instrumented Pils, Ogeechee River Site, ASCE, 96(2), pp. 561~584.
 10. 茶谷 文雄(1989), 杭の摩擦抵抗について, 日本建築學會大會學術講演便概集, pp. 1317~1400
 11. 田中 邦博, 石堂 稔(1991), 模型杭の摩擦抵抗について, 第26回土質工學研究發表會, pp. 1399~1400
 12. (日本)土質工學會基準(1992), 杭の引抜き試驗方法・同解説, 土質工學會, p. 86.
 13. (日本)建築學會(1974), 建築基礎構造設計基準・同解説, 日本建築學會, pp. 279~283
 14. 條 和夫(1990), Shear Key を付けた異形短杭の引抜き抵抗りに關する實驗的考察 - 施設園藝ハウスの耐風性に關する研究 -, 日本農業土木學會論文集, 147, pp. 61~67
 15. 條 和夫(1990), 中風域の自然風中における 小規模ビニルハウスのに舉動について, 日本農業土木學會論文集, 147, pp. 53~60
 16. 尹龍喆, 條 和夫, 松本 伸介, 玉井 佐一(1993), 水平加振した短杭の引抜き抵抗りに關する實驗的研究, 日本農業土木學會論文集, 166, pp. 25~33