

SPLT(Simple Pile Load Test)



▲ SPLT 내부강관 및 선단부 장치



▲ SPLT 시험광경

SPLT(Simple Pile Load Test)

말뚝재하시험은 현재까지의 기술수준에서는 거의 유일한 신뢰성 있는 말뚝지지력 확인수단이다. 말뚝기초의 경제적 설계를 위해서는 지지력 예측의 신뢰도 제고가 필수적이며 따라서말뚝재하시험의 경제성(시간 및 비용)이 문제점으로 대두된다.

압축재하시험의 경우 재하시험 실시를 위해서는 재하구조물, 재하하중의준비, 설치 및 해체에 상당한 시간과 비용이 소용된다. 재하시험 실시에 소요되는 시간과 비용은 전체 말뚝기초 건설비와 비교하여 상당한 수진이 되는 경우가 많이 있으며, 전체 구조물의 안전성 제고라는 본연의 목적을 고려하지 않을경우, 경제성 측면에서는 부담이 되는 과정이라는 인식을 불식시키기 어려운 것이 현실이다. 따라서 경제성 측면만이 중요시되는 많은 공사현장에서 말뚝재하시험은 기피되고 생략되는 편법이 통용되고 있으며, 실제로 종료구조물의 설계·시공 시방서상에도 말뚝재하시험 대신에 항타공식에 의한 지지력 확인을 인정하는 규정을 두고 있는 실정이다.

그러나 말뚝재하시험으로 확인과정을 거치지 않은 상태에서 적용하는 항타공식의 신뢰도는 구조물의 안전에 치명적일 수 있다는 점이 조속히 인식되어야 할 것이다.

말뚝재하시험이 실무에서 효율적으로 활용되지 못하는 주된 이유는,

재하시험 실시에 과대한 시간 및 비용이 소요

재하시험을 실시하더라도 결과해석의 불분명한 요소들로 인하여 설계의 경제성(설계변경으로 인한 원가절감 대비 재하시험 비용)이 확보되지 못하는 경우가 많이 있음

재하시험 이외의 지지력 확인수단(주로 항타공식)의 과신

현행 설계의 과대한 안전율 적용으로 시공상의 문제점이 상쇄된다는 그릇된 인식 등으로 판단된다.

상기 원인들중 상당 부분은 말뚝지지력에 대한 이해도를 증진시킴으로써 개선될 수 있을 것이며, 아울러 최근에는 재하시험에 새로운 개념을 도입하여 재하시험 실시에 소요되는 시간과 비용을 절감하고 재하시험 결과해석의 신뢰도를 높여줄 수 있는 방안들이 세계 여러나라에서 거의 비슷한 시기에 제안되고 있다.

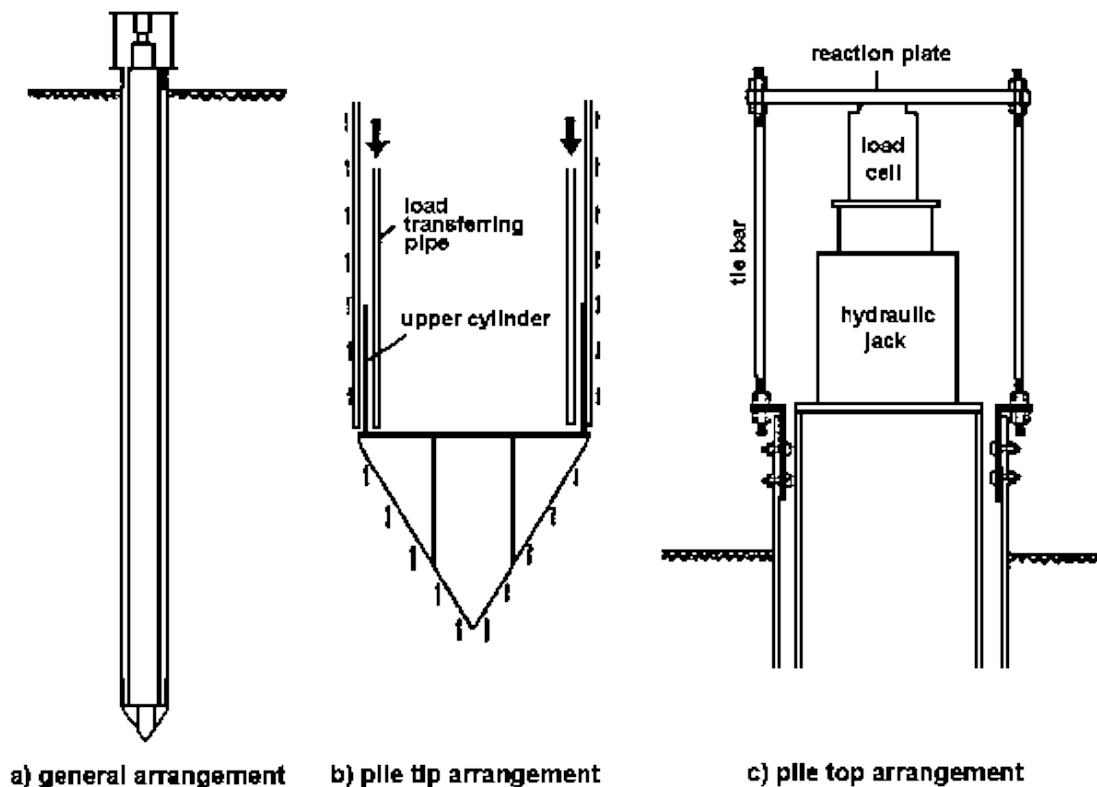
본 장에서는 말뚝의 자체 주면마찰력을 재하하중으로 사용하여 재하시험 과정을 크게 간략화 함과 동시에 주면마찰력과 선단지지력을 분리 측정할 수 있는 간편한 말뚝재하시험(SPLT, Simple Pile Loading Test)에 대하여 설명하기로 한다.

SPLT 의 원리와 시험방법

종래의 말뚝 재하시험에서는 말뚝에 가해지는 하중조건 재현을 위하여 설계하중의 2.5 내지 3.0 배의 사하중을 사용하거나 이에 상응하는 반력말뚝 또는 반력앵커를 설치하여 하중-침하량 관계를 얻는다. 여기에서 하중재하 또는 반력말뚝과의 연결을 위한 재하장치의 준비, 해체에 상당한 비용이 소요되며 많은 시간이 요구된다.

SPLT 에서는 시험말뚝의 선단부를 말뚝 몸체로부터 분리할수 있도록 하여 말뚝내부에 설치된 하중전달 부재를 통하여 선단부에만 하중이 전달되도록 하여 이에 소요되는 반력은 말뚝의 주면마찰력을 이용한다. 따라서 시간과 경비가 소요되는 재하장치와 하중이 불필요하게 되어 재하시험을 간편하게 수행할 수 있다.

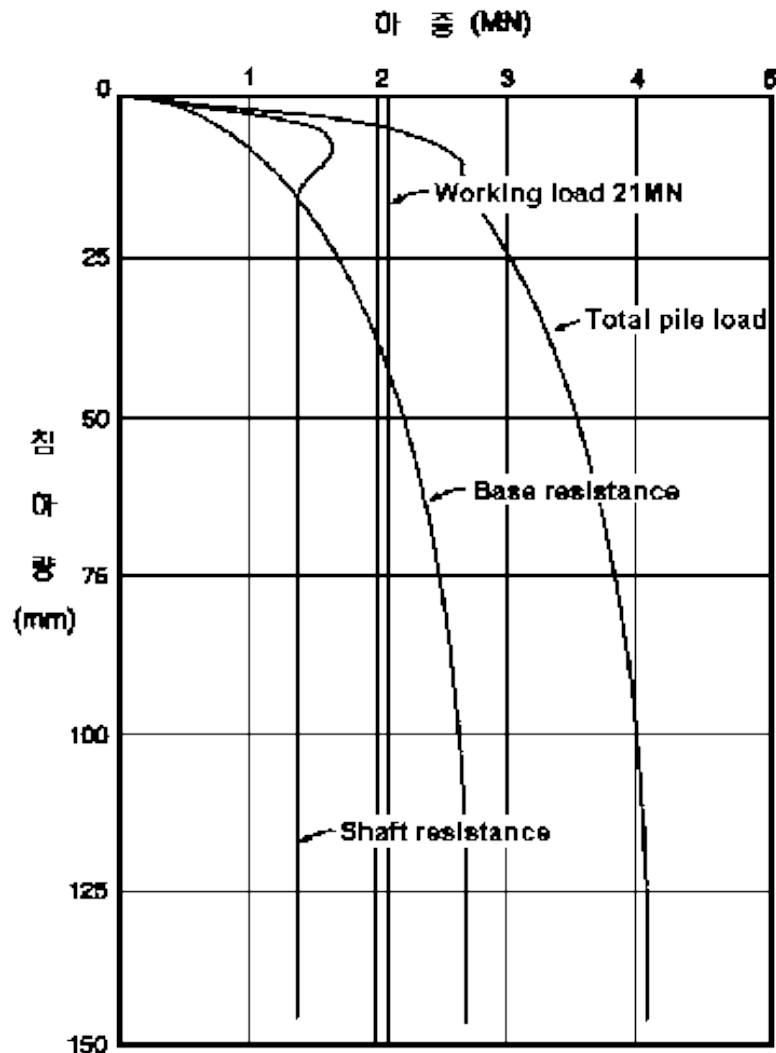
[그림 1]은 SPLT 의 기본개념을 도시하여 주고있다. 그림에서 보는것과 같은 분리할 수 있는 선단부를 공장에서 제작하여 현장에서 조립할 수 있도록 한다. 현장에서의 간단한 조립과정후 항타가 완료되면 말뚝내부에 하중전달을 위한 강관을 설치한다. 하중전달을 위한 강관의 상부에는 철판, 유압재하장치, load cell 및 반력용 철판을 설치하고 말뚝두부와는 강봉으로 연결하여 말뚝 주면마찰이 선단부 침하의 반력으로 작용하게 한다.



[그림 1] 간편한 말뚝재하시험의 기본장치

조립이 완료된 후 유압재하장치를 가동하면 하중전달 강관을 통하여 선단부에 하중이 전달되며 동시에 상부의 반력강판을 경유 강봉을 통하여 같은 양의 하중이 말뚝주변부에 작용하게 된다. 하중재하는 설계하중의 1/5 을 단계로하여 증가시키며 각 하중단계에서의 침하속도가 소정의 기준치 미만이면 다음 단계 하중을 재하한다. 이때 선단부에 연결된 강관 및 말뚝주변부에 각각 2 개의 다이얼게이지를 부착하여 침하량을 측정, 하중-침하량 관계를 얻을 수 있다.

재하시험 결과는 [그림 2]에 나타나고 있는 것처럼 선단저항과 주변마찰 각각에 대한 하중-침하량 곡선으로 표시되며 그 결과로부터 전체지지력에 대한 하중-침하량 관계를 구할 수 있다.

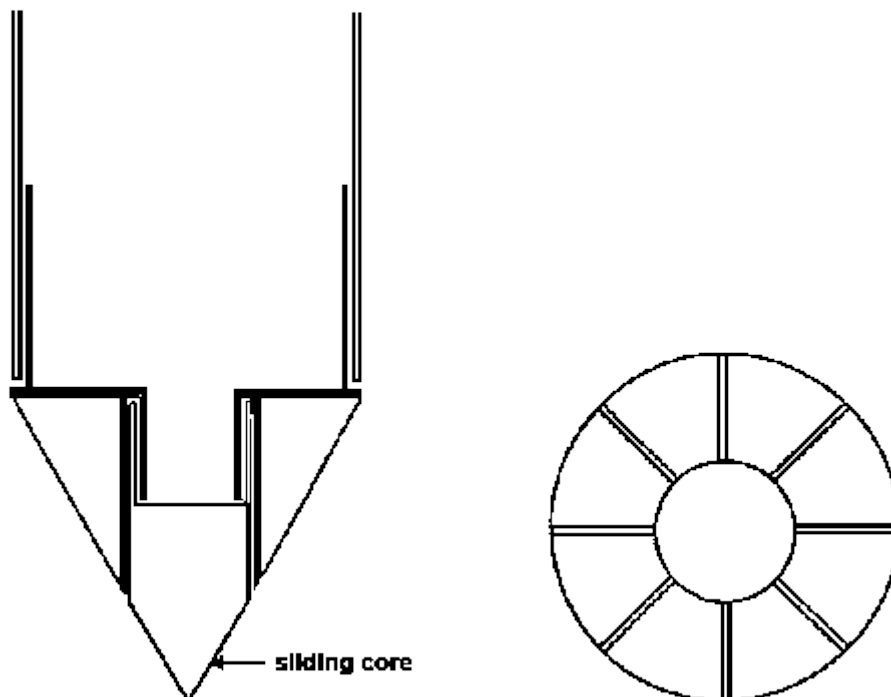


[그림 2] 선단지지력과 주변마찰 분리측정 결과

이상은 SPLT 의 기본원리이며 실제로 재하시험을 할 경우에는 그림 13 에서 보이고 있는 선단저항과 주면마찰 두가지의 결정은 사실상 불가능하다. 우리나라에서의 대부분의 말뚝기초는 길이가 비교적 길지 않고 또 선단지지 말뚝으로 설계되는바, 주면마찰에 비하여 상대적으로 선단저항의 값이 큰 것이 보통이다. 이 경우 하중재하로 인하여 주면마찰부의 파괴상태에는 도달할 수 있으나 선단저항은 파괴하중까지 재하할 수 없게 되어 그 결정이 불가능하다.

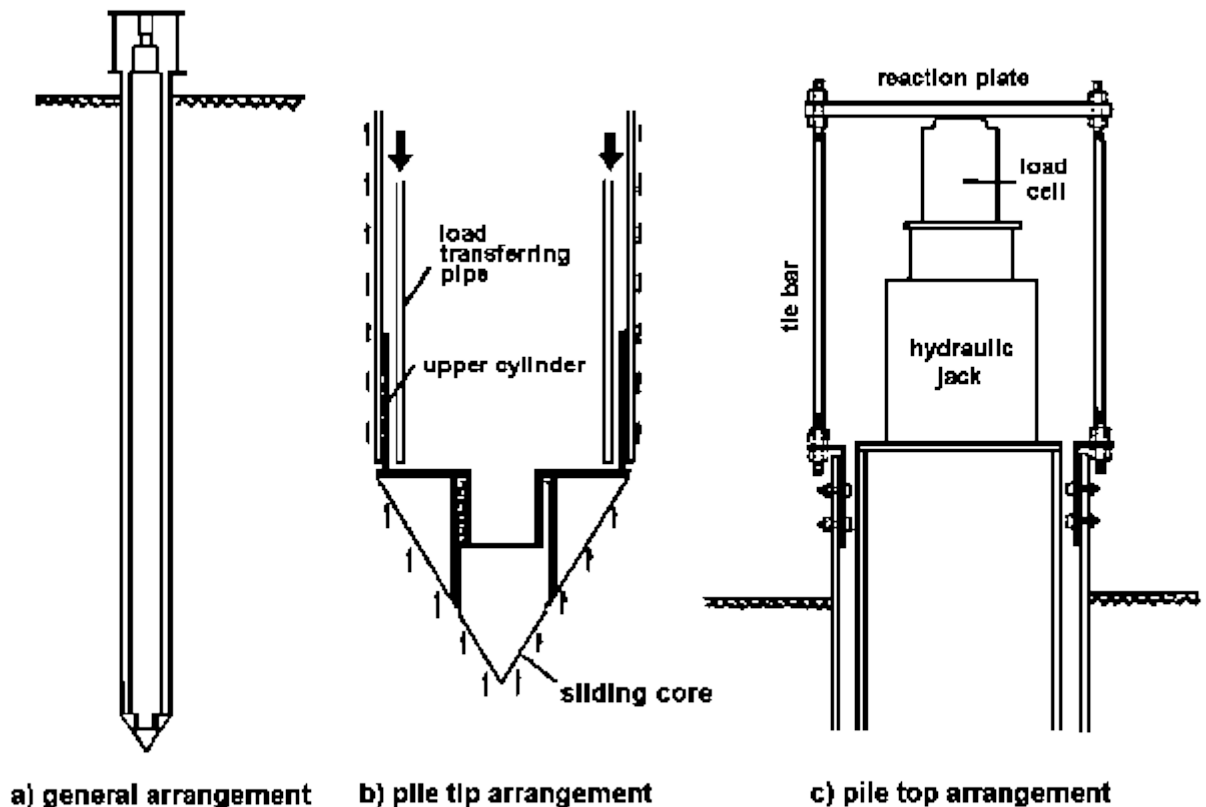
SPLT 와 유사한 재하시험 방법을 제안한 Osterberg 는 이 문제를 말뚝두부에 건설중장비의 사하중을 추가하거나 인근말뚝에 저항보를 연결함으로써 해결하였다. 본 연구에서도 인근 말뚝에 저항보 연결방법을 적용하였으나 이 경우 당초에 의도하였던 재하시험의 간편성이 크게 저하되어 이를 해결할 수 있는 방안이 개발되었다.

선단저항이 주면마찰보다 큰 대부분의 경우에는 분리할 수 있는 선단부 내에 [그림 3] 에 보이는 것과 같은 축소된 선단부를 설치하여 시험을 수행한다. 축소된 선단부의 전체선단부에 대한 면적비율은 말뚝의 길이, 지반조건에 따라 상이하나 1/4 또는 1/9 의 규격을 사용할 수 있다.



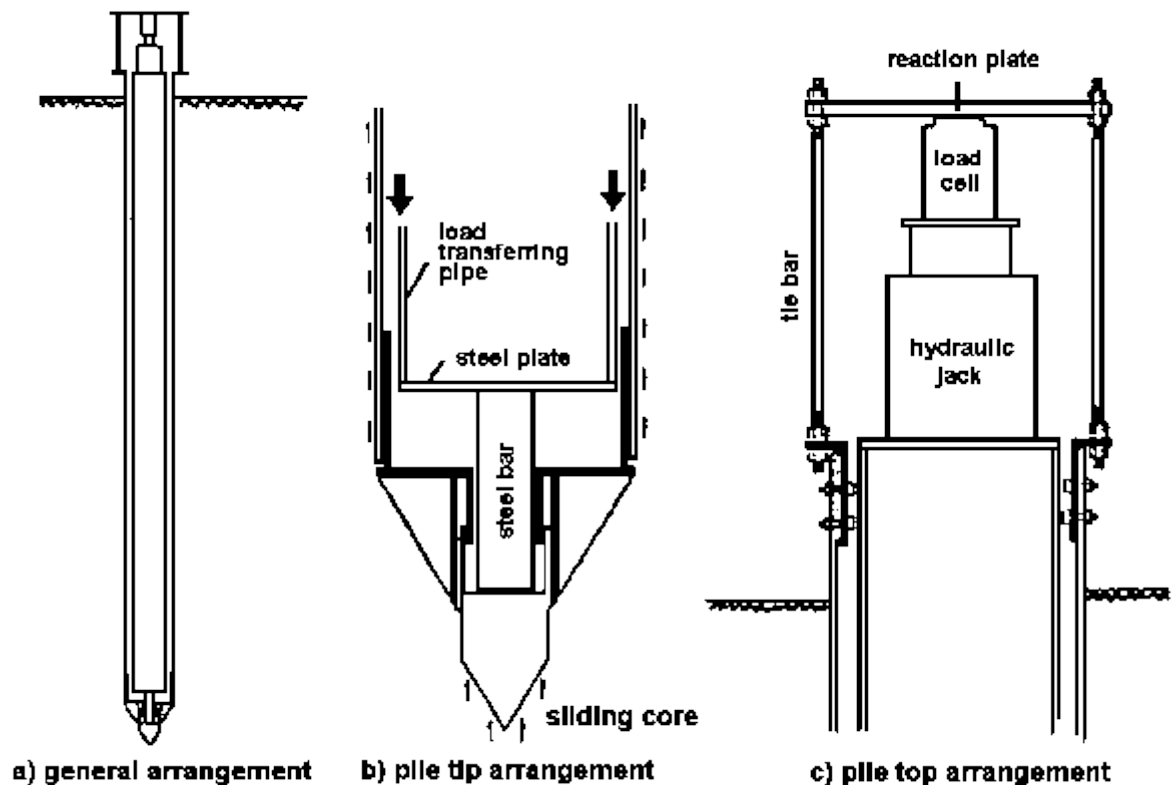
[그림 3] 축소된 선단부

시험말뚝의 제작, 향타, 조립과정은 기본적인 SPLT 와 동일하나 이 경우에는 시험을 2 단계로 나누어 수행한다. 시험장치의 조립이 완료된 후 제 1 단계시험은 기본 시험방법과 동일하다. 유압재하 장치로부터의 하중은 전체 선단부와 주면에 전달되고 선단저항의 값이 크기 때문에 주면마찰 부분의 파괴만이 발생한다.([그림 4]) 시험결과는 따라서 이중 주면마찰에 대한 하중-침하량 곡선만을 얻을 수 있다.



[그림 4] 1 단계 시험시의 시험장치

[그림 2]에서 나타나고 있는 것과 같이 극한 및 잔류 주면마찰을 얻은 후, 극한 선단지지력 결정을 위하여 제 2 단계 시험을 수행한다. 제 2 단계 시험은 하중전달용 강관의 하단부에 축소된 선단부보다 작은 직경의 강봉을 부착한 후 같은 과정으로 시험한다. 분리할 수 있는 선단부 및 축소된 선단부의 설계는 제 2 단계 시험시 재하하중이 축소된 선단부에만 가해지도록 되어있어 전체 주면마찰로부터의 반력은 축소된 선단부에만 전달된다.([그림 5]) 시험결과로부터는 극한 선단지지력만을 구할 수 있어 제 1 단계 시험결과와 함께 해석하여 전체 지지력을 구할 수 있다.



[그림 5] 2 단계 시험시의 시험장치

SPLT 의 활용

간편한 말뚝재하 시험은 원래 목적인 말뚝지지력 확인외에 선단지지력과 주면마찰을 분리 측정함으로써 부분안전율 적용이 가능하며 말뚝설계의 경제성을 크게 향상시킬 수 있다.

종래의 말뚝재하시험 결과는 주면마찰 측정을 위하여 별도의 계측장치(telltale)를 사용하지 않는 한 [그림 2]의 전체 지지력에 대한 하중-침하량 관계만을 얻을 수 있다. 주면마찰 측정을 위하여 telltale 을 사용할 경우에도 항타도중 파손이 쉽게 발생하여 적용에 어려움이 많은 실정이다. SPLT 에서는 별도의 계측장치를 설치하지 않고도 선단저항과 주면마찰을 분리 측정할 수 있다.

부분안전율 적용을 위하여 [그림 2]의 하중-침하량 관계를 분석하면 전체 지지력에 있어서는 그 관계가 완만하여 극한 지지력 결정에 별도의 가정이 요구된다. 극한 지지력 결정에는 많은 제안식들이 있으며 각 제안식들간에도 큰 차이가 있어 그 정의가 분명치

못하다. 따라서 말뚝의 극한 지지력의 신뢰도는 저하할 수 밖에 없고 결국 높은 안전율 적용이 불가피하다. Canada 의 경우 말뚝재하시험을 실시하면 안전율을 2.0 또는 1.8 정도까지 낮출 수 있도록 허용하는 것도 이러한 불확실성을 감안하나 조치로 사료된다.

선단저항과 주변마찰을 분리측정한 경우 각 성분에 대한 하중-침하량 곡선을 분석해 보면 선단저항의 경우는 전체지지력의 경우와 크게 다르지 않음을 알 수 있다. 즉 침하가 증가함에 따라 하중의 증가도 점진적이며 명확한 극한값을 정의하는 것은 용이하지 않다. 따라서 선단저항부분에는 비교적 높은 값의 안전율이 적용될 수 밖에 없다. 반면 주변마찰에 대한 하중-침하량 곡선의 경우에는 극히 작은 침하량 발생시 주변마찰은 거의 직선적으로 증가한 후 침하가 계속되면 주변마찰은 감소하여 일정한 잔류치에 도달하고 이 값은 큰 침하량에서도 변화가 없다.

이러한 주변마찰의 경우에는 극한값 또는 잔류값 결정이 분명하고 따라서 매우 낮은 안전율을 적용할 수 있다. Burland and Cooke 은 주변마찰에 대하여 1.0 의 안전율 적용이 가능함을 제안하였으며, 이 경우 잔류값을 기준으로 하므로 실제로는 1.0 보다 큰 안전율이 적용된다.

부분안전율 적용은 말뚝설계의 경제성을 크게 향상시킬 수 있다. 부분안전율을 아파트 건설공사에 모의 적용한 결과 약 33%이상의 공사비 절감이 가능하였으며 이 부분에 대하여는 향후 실제 공사비 비교 연구에서 구체적으로 검토할 예정이다.

이처럼 SPLT 를 실시할 경우 공사의 경제성을 향상시키는 효과외에도 본 시험방법은 다양한 경우에 사용될 수 있다. 최근의 건물 고층화에 따라 풍화중에 대한 말뚝기초의 인발저항이 주요 고려사항이 되는 경우 또는 연약지반에서의 건축으로 부주면 마찰이 문제시 될때, 본 시험방법의 적용이 효과적이다. 또한 해상구조물 기초에서도 종래 재하시험의 해상수행으로 인한 시간, 비용상의 문제점을 해소시킬 수 있으며 특별한 장치가 요구되는 사항(batter pile)의 재하시험도 간단히 해결할 수 있다.