

화강토와 점토지반에 연직으로 타입된 PHC말뚝의 수평지지력에 관한 연구

A Study on Lateral Bearing Capacity of PHC Piles
Driven Vertically in Decomposed Granite and Clayey Soil

문 영 민* · 이 문 수(전남대) · 이 대 재(원광대)
Moon, Young Min · Lee, Moon Soo · Lee, Dae Jae

Abstract

Recently, the calculation of horizontal bearing capacity of piles foundation has been considered very important for earthquake or wind resistant design in Korea. This study deals with the lateral resistance of PHC pile instead of vertical capacity for earthquake resistant design as well as wind. As case study, the prediction values were compared with measured ones based on ASTM. During this research, Matlock & Reese, Davisson & Gill, Broms and Chang's methods were selected in calculating prediction of lateral resistance of PHC piles. In decomposed granite and clayey soils, The result showed that prediction values proposed by Matlock & Reese(Davisson & Gill), Chang and Broms were smaller values than real values. four proposed methods by Matlock & Reese(Davisson & Gill) and Chang based on lateral deflection and Broms by ultimate lateral resistance turned out valid in view of engineering practice.

I. 서 론

오래 전부터 말뚝은 상부구조물의 하중을 하부 지반에 안전하게 전달하기 위하여 각종 구조물 기초에 널리 사용되어 왔다. 일반적으로 말뚝에 작용하는 하중은 구조물과 중력으로 인한 연직하중과 풍하중, 지진력 및 토압으로 인한 수평하중이 있으며, 산업의 발달로 구조물이 복잡하여짐에 따라 말뚝에 작용하는 하중상태도 복잡하여지고 있다. 이와 관련, 내풍 및 내진설계의 필요성이 등장하게 되었으며, 우리나라도 더 이상 지진에 대해서 안전지대가 아니므로 7대도시의 주요 구조물에는 이미 내진설계의 기준이 제정되어 있다. 연직하중을 받는 말뚝에 대해서는 많은 연구가 진행되어 설계에 반영되고 있으며, 연직재하시험도 일반적으로 수행되고 있으나 수평하중에 대해서는 검토가 이루어지지 않고 있다. 또한 최근에는 구조물의 대형화로 인한 수평력을 받는 말뚝에 주목하지 않을 수 없는 실정이나 말뚝의 수평지지력은 추정공식도 많지 않고 시험의 난이성, 경제성으로 인해 많은 자료는 확보하기 어려운 실정에 있다. 따라서,

본 연구에서는 사질토에 가까운 화강 풍화토와 점토지반에 타입된 PHC말뚝의 수평지지력에 관한 추정공식의 적용성을 검토하였다.

II. 수평지지력 추정공식

1. 화강풍화토 지반

일반적으로 화강풍화토는 통일분류에 의하면 SC 내지는 SM으로 분류가 되어 모래와 점토의 중간적 성질을 띄고 있으나, 추정공식에는 모래와 점토의 중간적 성질을 띄고 있는 지반에 적용될 적절한 방법이 없으므로 본문에서는 모래에 가까운 지반임을 감안해서 모래에 적용되고 있는 방법을 채택하였다. 따라서 본 연구에서는 허용변위법을 적용하고 있는 Matlock & Reese방법과 Chang의 방법 그리고 극한하중법을 적용하고 있는 Broms의 방법을 사용하여 수평 허용지지력을 추정하였으며, 구례 하수종말처리 시설 설치공사 현장 기초공사 중 PHC 말뚝의 수평지지력의 적용성을 검토하였다.

2. 점토지반

점토지반에 타입된 PHC말뚝의 허용수평지지력을 산출하기 위하여 Davisson & Gill방법과 Chang의 방법 그리고 Broms의 방법을 적용하여 군산의료원 신축공사 현장의 수평재하시험 결과와 비교하였다.

III. 현장시험

1. 현장 지반 조건

구례 하수종말처리 시설 설치공사 현장의 말뚝기초를 화강풍화토지반에 타입된 PHC 말뚝 사례지역으로 선정하였다. 시험말뚝이 관입된 부지는 기반암이 화강섬록암으로서 풍화를 받아 형성된 풍화대 지반으로 실트질모래로 구성되어 있으며 완전 내지 높은 풍화를 보이고 있다. 화강풍화토층의 두께는 5~12m의 범위로 분포하고 있으며, 표준관입시험(SPT)에 의한 N값은 20~50이상으로 보통 조밀 ~ 매우 조밀한 상대밀도를 나타내고 있다.

또한 군산의료원 신축공사 현장의 말뚝기초를 점성토지반의 사례지역으로 선정하였으며, 선정된 지역의 지반상태는 14.2m까지 very soft 내지 stiff한 실트 및 점토로 구성되어 있으며 부분적으로 세립질 내지 조립질 모래가 혼재되어 있었다. 표준관입시험(SPT)의 N값은 보통 0~6정도의 상태를 나타내고 있으며, 지층구조는 매립토, 실트질 점토, 풍화토, 풍화암의 순서로 나타나고 있다.

2. 수평재하시험

수평재하시험은 ASTM K3966-90에 제시된 수평재하시험방법 중 cycle loading schedules method에 준하여 시험을 수행하였다. 하중은 각 단계별로 2t씩 증가시켜 재하하였다. 하중재하

method에 준하여 시험을 수행하였다. 하중은 각 단계별로 2t씩 증가시켜 재하하였다. 하중재하는 각 단계하중에서 15분씩 유지하였으며 특히 하중재하 후 5분간 유지하고 다음단계의 하중을 재하하였다. 재하하중은 하중계로 측정하였으며 말뚝의 변위량은 다이얼 게이지(1/100 mm)와 경사계로 측정하였다. 측정시간은 각 수평하중 단계에서 재하가 완료된 후 규정에 의거 0, 5, 10분에 측정하였으며 하중과 그에 따른 말뚝의 변위량을 측정하였다. 본 시험에 사용된 오일잭은 50t까지 하중을 가할 수 있으며, 로드셀은 최대 10t까지 받을 수 있는 것을 사용하였다. Fig. 1은 반력말뚝을 이용한 수평재하시험의 개요도이다.

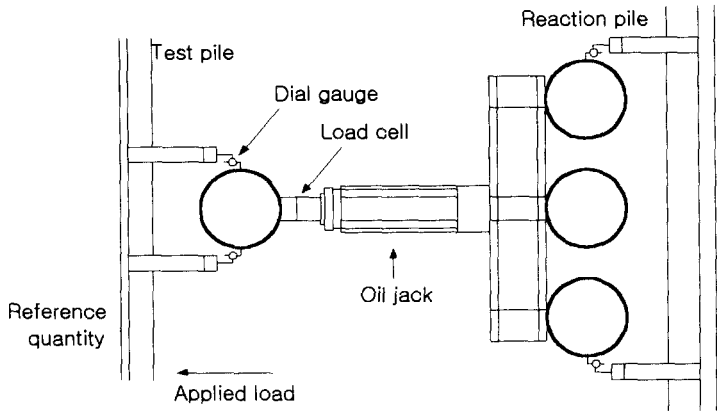


Fig. 1. Outline of pile load test for lateral bearing capacity

IV. 분석 및 고찰

1. 수평지지력 산출 결과

Matlock과 Reese, Chang 그리고 Broms의 이론에 의한 화강 풍화토지반의 수평지지력의 추정결과는 Table 1과 같다. 다만 동일 지반의 말뚝타입위치에 대응하는 수평지반반력계수의 상수(n_h)를 적용하여야 하나, 토질의 종류와 지하수위 조건에 따라 평균값을 사용하였기 때문에, 말뚝의 타입위치에 따른 정확한 추정값을 산정하기에는 한계가 있다. 추정된 수평지지력의 크기는 Broms방법, Chang방법, Matlock과 Reese방법 순으로 나타났다.

Table 1. Predicted values of lateral bearing capacity for PHC piles

Test pile No.	Penetration depth(m)	Predicted value (Q_{all} : ton/ea)			Allowable displacement (mm)	Remarks
		Matlock & Reese	Chang	Broms		
No.1	15.75	11.84	14.38	14.70	10	
No.2	18.25	11.84	14.38	14.70	10	

화강풍화토로 이루어진 구례하수종말처리 시설 설치공사 현장의 기초지반은 사질토와 점성토의 중간적 성질을 가지고 있는 중간토로 보는 것이 타당하나 사질토로 간주하여 말뚝의 수평지지력을 계산한 결과이다. 각 제안식에 의한 수평지지력 추정치가 같은 값으로 얻어지는 이유는 말뚝의 수평지지력이 말뚝두부에서 최대치를 발휘하고 근입깊이와는 무관하기 때문이다.

점토지반에 관입된 PHC 말뚝의 Davisson & Gill과 Chang, Broms의 이론에 의한 수평지지력의 추정결과를 Table 2에 나타내었다. 다만 동일 지반의 말뚝타입위치에 대응하는 수평지반 반력계수(k_h)를 적용하여야 하겠으나 토질의 종류와 지하수위 조건에 따라 평균값을 사용하였으므로 말뚝의 타입위치에 따른 정확한 추정값을 산정하기에는 한계가 있다. 추정된 수평지지력의 크기는 Broms방법, Chang방법, Davisson과 Gill방법 순으로 나타났다. 실제 수평재하시험에 의한 허용변위에서의 지지력은 7.10t으로 나타났으며, 내진·내풍하중을 감안하여 설계하중은 3t으로 결정되었으므로 설계당시에 3t 이상의 수평지지력이 보장되어야 할 것이다.

Table 2. Predicted and measured values of lateral bearing capacity for PHC piles

Test pile No.	Penetration depth(m)	Predicted value (Q_{all} : ton/ea)			Allowable displacement (mm)	Bearing capacity measured at allowable displacement (ton)	Remarks
		Davisson & Gill	Chang	Broms			
No.1	14.50	3.59	5.13	5.34	10	7.10	

2. 수평재하시험 결과

군산의료원 신축공사현장에서 말뚝 타입 후 약 1개월이 경과한 말뚝 1본에 대해서 수평재하시험을 실시하였으며, 하중-변위곡선방법(p-s curve method)에 의하여 하중-변위량을 산출하였다. 주어진 말뚝에 대한 3종의 제안식에 의하여 사용한 결과 시험말뚝은 설계지지력에 접근하고 있으며, 말뚝타입 후 수평재하시험 결과, 시험말뚝의 실측값이 설계값보다 더 큰 지지력을 보이고 있다. 이 사실로 미루어 볼 때 추정식은 안전측으로 평가되고 있으며 공학적으로 실용성을 가지고 있다고 보아진다.

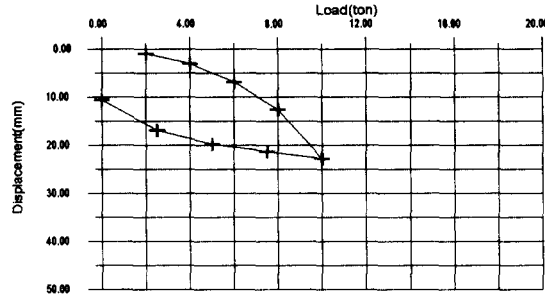


Fig. 2 Relationship between Load intensity and lateral displacement for test piles

V. 결론

1. 화강풍화토 지반에 적용한 수평지지력의 크기는 Broms방법, Chang방법, Metlock과 Reese 방법 순으로 나타났으며, 점성토지반에서는 Broms방법, Chang방법, Davisson & Gill방법 순으로 나타났다.
2. 연직으로 타입된 PHC말뚝의 지지력평가에 있어서 지지층까지 관입여부에 따라서 연직지지력은 지대한 영향을 받을 수 있겠으나, 수평지지력은 거의 영향을 받지 않음을 알았다.
3. 화강풍화토인 중간토는 모래에 적용되는 수평지지력공식을 사용하는 것이 가능한 것으로 판단된다. 동일한 직경의 말뚝의 관입심도가 증가함에 따라 최대 휨모멘트가 발현되는 깊이도 증가하며 휨모멘트의 크기도 함께 증가함을 알 수 있었다.
4. 점성토지반에 타입된 PHC 말뚝 기초의 수평지지력을 추정하고 수평재하시험의 실험치와 비교한 결과 Davisson & Gill과 Chang, Broms방법에 의한 점토지반에 관입된 연직말뚝의 수평지지력은 실제 재하시험과 비교한 결과 공학적으로 실용성이 있음을 알았다.
5. 지반이 불균질한 경우는 k (지반반력계수)의 적절한 결정이 매우 중요한 인자로 등장한다.

참 고 문 헌

- 1) Broms, B., 1964, "The Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soils", J. Soil Mech. Found. Div, ASCE, Vol. 90, No. SM3, pp. 123 - 156.
- 2) Chang, Y. L., 1937, Discussion on "Lateral Pile-Loading Tests" by L. B. Feagin, Trans, ASCE, Vol. 102, pp. 272 - 278.
- 3) Davisson, M.T., Gill, H.L., 1963, "Laterally Loaded Piles in a Layered Soil System", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 89, No. SM3, pp. 63-94.
- 4) Matlock, H. and L. C. Reese, 1962, "Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles", Transactions of the American Society of Civil Engineers, Vol. 127, part 1, pp. 1220 - 1247.