

화강편마암에 근입된 단일현장타설말뚝의 수평거동특성

여규권*

삼부토건(주) 기술연구소

Horizontal Behaviour Characteristics for Single Drilled Shaft Embedded in Granite Gneiss

Yea, Geu-Guwen*

Dept. of R&D, Sambu Construction Co., Ltd.

본 연구에서는 수평하중을 받는 화강편마암에 근입된 대구경현장타설말뚝에 대하여 수평방향의 거동특성을 분석하기 위하여 시험말뚝인 단일대구경현장타설말뚝 내부에 경사계를 설치하여 단계별 수평하중에 대한 심도별 변위량을 측정하였다. 실측치와 기존 이론식에 의한 계산치를 비교·분석하여 수평변위 거동특성을 평가하였다. 따라서, 단계별 재하하중에 따른 수평변위량의 계측값과 비교한 결과 전체적으로 Chang의 산정식과 유사한 결과를 나타내고 있으나 약간 과소평가 되는 경향이 있다. 그러나 유한차분법(FDM)과 p-y곡선법은 상부구간에서 과대평가 되는 경향을 나타내었다.

주요어 : 단일대구경현장타설말뚝, 경사계, 수평변위량

In order to evaluate the lateral behavior characteristics of single drilled shaft embedded in granite gneiss, a lateral load test was conducted in field. Horizontal displacement according to lateral load were measured along with the depth by an inclinometer installed in the shaft. In this study, We have evaluated horizontal displacement characteristics comparing the measurement values with calculating results by theoretical formula. Based on the comparison, the Chang's method was similar with the measurement values even though it was slightly underestimated. However, the finite analysis method and p-y method was overestimated, especially on the upper part of the ground.

Key words : single drilled shaft, inclinometer, horizontal displacement

서 론

최근, 건축물규모가 초고층화 되고, 교량형식이 장대 교량화 됨에 따라 대규모하중을 지지하기 위하여 기초 형식이 소구경 말뚝기초의 사용은 감소되고 대구경현장 타설말뚝의 활용이 증가되고 있는 실정이다. 따라서 상대적으로 말뚝분수가 줄어들므로 인하여 개개말뚝의 역학적인 거동특성과 안정성에 대한 중요성이 더욱 커지고 있다. 기반암에 근입된 대구경현장타설말뚝에 있어서 주하중이 연직하중인 경우에 대해서 말뚝의 연직거동특성은 일찍부터 연구되어 설계에 유효하게 활용되고 있다. 그러나 주하중이 수평하중일 경우에 대한 대구경현장타설말뚝 수평거동특성에 대한 연구는 연직하중을 받

는 말뚝의 거동특성에 대한 연구보다 미진한 실정이다.

말뚝에 의하여 지지되고 있는 구조물이 토압, 풍압, 파력 등과 같은 수평하중을 받게 되면 말뚝두부에는 연직하중뿐만 아니라 수평하중과 휨응력이 동시에 작용하게 되나, 말뚝의 설계에서는 이러한 수평하중에 대한 정략적인 검토가 간과 되곤 하였다. 그러나 수평하중을 받는 말뚝이 수평방향으로 과도한 변위가 발생할 경우 상부구조물에 지대한 영향을 끼치게 되므로 수평하중을 받는 말뚝에 대하여 주목을 하지 않을 수 없게 되었다. 그 결과, 수평하중을 받는 말뚝에 관한 연구는 현재에 이르기까지 활발히 진행되어 오고 있는 실정이며, 최근 국내시방서에서도 고층건물, 철도구조물, 도로교 등의 설계에 내진설계가 포함되어 말뚝설계시 수평하중은 말뚝

*Corresponding author: moonju@sambu.co.kr

단면을 결정하는 중요한 요소가 되었다.

수평하중을 받는 말뚝은 말뚝과 지반 중 어느 것이 움직이는 주체인가에 따라 주동말뚝(active pile)과 수동말뚝(passive pile)의 두 종류로 구별할 수 있다. 주동말뚝인 경우에는 말뚝이 움직이는 주체가 되어 말뚝의 변위가 주변지반의 변형을 유발시키게 된다. 한편, 수동말뚝은 말뚝주변지반이 말뚝을 움직이는 주체가 되므로 말뚝이 지반변형의 영향을 받게 된다. 즉, 수평하중을 받는 말뚝에서는 주동말뚝과 수동말뚝이 움직이는 주체가 다르므로, 이들의 해석방법도 각각 달리 취급하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 기반압에 말뚝이 50%이상 근입된 대구경현장타설말뚝에 대하여 수평하중이 작용할 경우 수평방향의 거동특성을 분석하기 위하여 시험목적으로 시공된 단일현장타설말뚝 내부에 경사계를 설치하여 수평하중에 대한 심도별 변위특성을 파악하였다. 이에 대하여 수평지지거동을 고찰한 후 하중-변위곡선을 통하여 말뚝의 수평변위 특성을 분석한 후, 단일현장타설말뚝의 수평변위 거동특성에 대하여 실측치와 기존 이론식에 의한 계산치를 비교분석하였다.

주동말뚝 해석법

말뚝의 허용수평하중은 파괴시의 극한하중을 적절한 안전율로 나누어 허용수평하중을 구하거나, 말뚝의 허용수평변위에 대응하는 수평하중을 허용수평하중으로 정하는 두 가지 방법이 있다. 상기 방법에 의한 허용수평하중 중 적은 값을 설계수평하중으로 결정한다.

실제로 주동말뚝은 말뚝의 극한수평저항력보다 매우 낮은 하중상태에서 말뚝의 수평변위가 구조물의 안정상에 위험한 한계치에 도달하게 되는 경우가 많다. 따라서 이러한 경우의 주동말뚝에 작용하는 수평하중에 대하여 말뚝의 수평변위량을 해석하여 안정성을 평가하여야 한다. 이러한 주동말뚝의 변위량을 산정하기 위하여 Chang의 방법, 유한차분법 및 비선형해석법(p-y 곡선)의 세 가지가 일반적으로 사용되고 있다.

Chang의 방법

Chang은 지반반력계수 K_h 가 일정하게 하고 말뚝의 근입길이가 충분히 길어서 사실상 반무한 길이로 볼 수 있는 경우에 대하여 식(1)의 해를 해석적으로 유도하였다.

$$y = e^{-\beta z}(A \cos \beta z + B \sin \beta z) + e^{\beta z}(C \cos \beta z + D \sin \beta z) \quad (1)$$

여기서,

$$\beta = 4 \sqrt{\frac{k_h d}{4E_p I_p}}$$

β 는 특성치이며 길이의 역수의 차원을 가지며, $1/\beta$ 을 특성장이라 부르고 말뚝의 수평저항에 중요한 의미를 가진다. 따라서, βz 는 무차원의 값이 된다. 또한 A, B, C, D는 적분상수이며 말뚝의 두부 및 선단의 경계조건으로부터 구하여진다.

$z \rightarrow \infty$ 일 때 $y=0$ 인 조건을 식(1)에 대입하면 C와 D는 0이 되어 식(2)와 같은 간단한 형태로 된다.

$$y = e^{-\beta z}(A \cos \beta z + B \sin \beta z) \quad (2)$$

식(2)를 미분하면 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dz} &= -\beta e^{-\beta z} \{ (A-B) \cos \beta z + (A+B) \sin \beta z \} \\ \frac{d^2 y}{dz^2} &= 2\beta^2 e^{-\beta z} (A \sin \beta z - B \cos \beta z) \\ \frac{d^3 y}{dz^3} &= 2\beta^3 e^{-\beta z} \{ (A+B) \cos \beta z - (A-B) \sin \beta z \} \end{aligned} \quad (3)$$

말뚝의 회전각 θ , 모멘트 M, 전단력 S 및 지반반력 P는 부호를 고려하여 식(4)와 같이 구하여진다.

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{dy}{dz} \\ M &= -E_p I_p \frac{d^2 y}{dz^2} \\ S &= -E_p I_p \frac{d^3 y}{dz^3} \\ P &= k_h y \end{aligned} \quad (4)$$

유한차분법

임의의 절점에 대하여 차분형식으로 정리하면 식(5)과 같다.

$$E_p I_p \times \left[\frac{y_{i-2} - 4y_{i-1} + 6y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2}}{\delta^4} \right] + k_i dy_i = 0 \quad (5)$$

또는

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + a_i y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2} = 0 \quad (5a)$$

여기서,

$$a_i = 6 + \frac{K_i L^4 d}{E_p I_p n^4}$$

n 은 말뚝의 분할요소수이고 k_i 는 i 위치에서의 지반반

력계수는 k_b 이다. 식(5a)를 절점2에서 절점n까지 적용시켜 (n-1)개의 식이 구하여진다. 그 밖에도 말뚝두부와 선단에서의 경계조건으로 4개의 식이 추가된다.

즉, 말뚝두부에서의 경계조건으로는 두부자유 의 경우 ($S=H_0, M=M_0$)

$$\text{전단력 } S = E_p I_p \frac{d^3 y}{dz^3} = H_0 \text{ 이므로}$$

$$-y_2 + 2y_1 - 2y_2 + y_3 = \frac{HL^3}{E_p I_p n^3} \quad (6)$$

또한 모멘트 $M = E_p I_p \frac{d^2 y}{dz^2} = M_0$ 이므로 식(7)과 같다.

$$y_2 - 2y_1 + y_1 = \frac{ML^2}{E_p I_p n^2} \quad (7)$$

비선형해석 (p-y 곡선)

말뚝의 변위가 커지면 지반반력이 항복치에 도달하게 된다. 따라서 이러한 지반에서의 말뚝변위와 지반반력 사이의 일반적인 관계는 식(8)와 같은 비선형성을 보인다.

$$P = kz^n y^n \quad (8)$$

이러한 비선형해석으로는 Reese 등의 연구에 의한 소위 “p-y곡선”이 많이 사용된다. Reese 등은 말뚝이 선형 탄성보란 가정하에서 수평하중말뚝의 미분방정식을 식(9)와 같이 제시하였다(Reese & Matlock, 1956).

$$E_p I_p \frac{d^4 y}{dz^4} + P_z \frac{d^2 y}{dz^2} - Pd = 0 \quad (9)$$

이 식은 축방향력이 작용하는 경우까지 확장시킨 것이며 유한차분형태로 사용된다. 여기서 P_z 는 말뚝의 축하중이고 단위길이당 P 는 식(10)과 같다.

$$P = k y \quad (10)$$

지반계수 k 가 z 와 y 의 함수일 때 식(10)은 해석될 수 있다. 따라서 지반계수는 지반반력 p 가 말뚝변위 y 의 함수로 표시되는 일련의 곡선으로 구할 수 있다.

현장시험

현장개요

현장타설말뚝은 하중규모가 크고 근입심도가 깊어 소구경인 기성말뚝으로 지지력확보 및 시공성이 저하될 경우에 적용성이 우수하며 여러 개의 기성말뚝 대신 소수의 큰 직경을 가진 대구경현장타설말뚝으로 상부구조물에 대하여 지지가 가능하다. 현장타설말뚝은 무거운 하

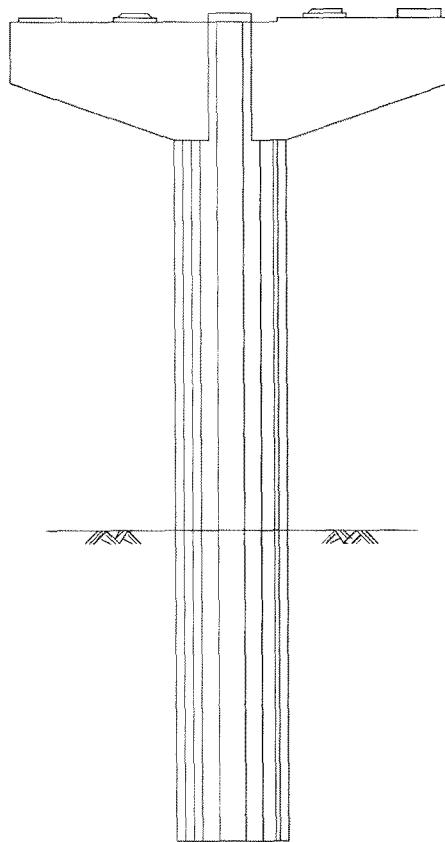


Fig. 1. The schematic of Single Drilled Shaft Foundation.

중을 지지하고 침하량을 최소화하여 상부하중이나 횡방향 하중을 지지하는데 사용되며 큰 지지력을 가진 현장타설말뚝은 항타된 군말뚝 대신 하나의 큰 직경을 가진 현장타설말뚝으로 대체가 가능하다.

그러므로, 최근에 도로교 설계시 대구경의 현장타설말뚝을 채택하여 교량구조물의 기초형식으로 많이 사용하고 있다. Fig. 1은 단일현장타설말뚝(single column drilled pier foundation)기초형식으로 기초판을 설치하지 않고 현장타설말뚝을 직접 코핑부까지 연장하여 상부구조물을 설치하는 것으로 기초판 시공을 위한 과다한 지반 절취 없이 다양한 지반조건에 적용 가능하고 지진에 대하여 유연한(flexible)거동 특성을 갖고 있다. 따라서 암반이 조기에 출현하는 국내지반에 적합한 공법으로 판단된다. 본 현장에 적용된 교각형식은 T형 교각이고 기초형식은 단일현장타설말뚝으로 직경이 2.5m로 대구경이며 단면내 주철근의 배치는 D32×69(1단)이다. 교각 길이는 21.8m로 지반에 근입되는 기초부분은 11m이다.

Table 1. Ground properties applied to the analysis of Subgrade reaction approach.

Classification	Total Unit weight (tonf/m ³)	RQD (%)	Elastic modulus (tonf/m ²)	Uniaxial compressive strength (tonf/m ²)
soil	2.0		5,500	
weathered rock	2.3		40,000	200
soft rock	2.5	15	100,000	2,000

지층분포는 상부로부터 토층, 풍화암층 및 기반암층인 연암으로 지반조건은 매우 양호한 편이다. 단일현장타설 말뚝의 시공법은 토층에서 풍화암 상단까지는 요동식 을 케이싱 공법을 적용하였고 풍화암하부에서 연암까지는 R.C.D 공법으로 시공하였다.

지반특성

본 역의 지저암은 선캄브리아기의 화강편마암으로 단양 리 일대에 넓게 분포하고 있으며, 이를 백악기의 진안통에 해당하는 산수동층(sandstone과 shale의 호층)과 신기분출 암유에 해당하는 흑운모 화강암(biotite granite)이 부정합으로 피복하고 있으며, 상부에는 시대 미상의 마이산 민암층 (conglomerate with sandstone)이 전술한 암을 부정합으로 피복하고, 최 상부층에는 제 4기층으로 구성되어 있다.

지층분포는 상부로부터 토층 4.5 m, 풍화암층 1.6 m, 기반암인 편마암에 4.9 m로 분포하고 있으며 지반조건 은 매우 양호한 편이다. 지반반력법(subgrade reaction approach)중에 Chang방법, 유한차분법(FDM), 비선형해 석법인 p-y곡선법을 이용하여 단일대구경현장타설말뚝 의 수평변위특성을 분석하기 위하여 Table 1과 같이 지 반물성치를 이용하였다.

수평재하시험

본 사례현장에서 수평재하시험을 수행하기 위하여 별 도로 시험말뚝을 현장에서 실물크기로 시공하였으며 본 교량에 설치되는 사용말뚝을 반력말뚝으로 이용하였다. 수평재하시험을 수행하기 전에 시험장치를 설치하기 위 하여 먼저 시험말뚝과 본 말뚝을 시공한 후 말뚝 주변 을 1.2 m 굴착하였다. 수평재하시험 방법은 시험말뚝과 반력말뚝 사이에 반력용 main beam을 설치하고, main beam에 tension bar와 고무 패드를 설치한 후 말뚝 두 부에 ㄷ자형강을 부착하여 PC strand를 center hole cylinder에 연결하였다.

이후 말뚝두부 주위를 U자형 PC Strand로 감싸고 이 를 main beam에 연결한 뒤 시험말뚝과 반력말뚝을 tension bar로 연결한다. 그리고 반력말뚝의 반력을 이용 하여 시험말뚝 두부에 hydraulic jack으로 수평하중을

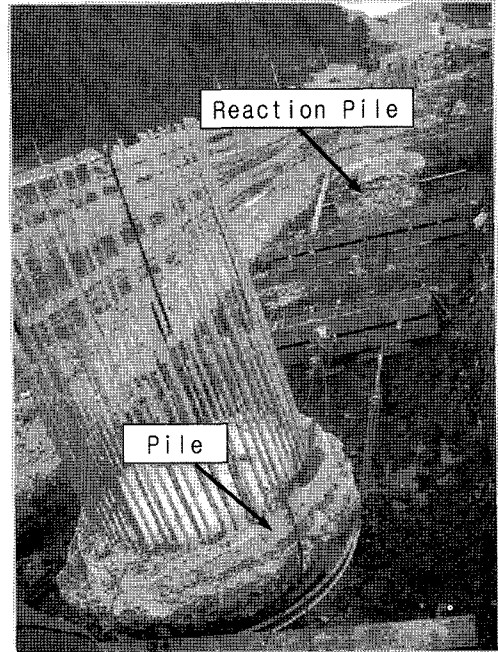


Fig. 2. Lateral load test.

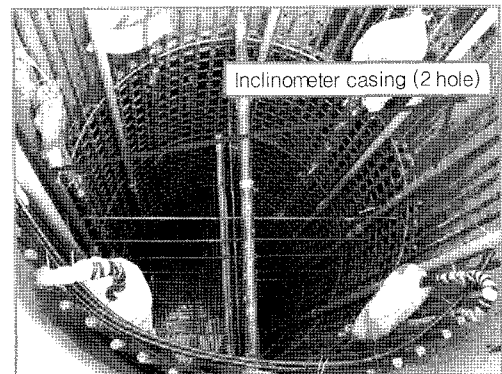


Fig. 3. Installation of Inclinometer casing.

가하였다(Fig. 2).

콘크리트 타설전에 Fig. 3과 같이 시험말뚝 철근게이 지 내부에 경사계관(inclinometer casing)을 부착하고 경 사계관에 경사계 계측센스(inclinometer probe)를 넣고

초기값을 계속하였다. LVDT는 마그네틱 홀더(magnet holder)를 이용하여 말뚝에 2개소 설치하였다. 기준대(reference beam)는 말뚝의 변위 영향권 밖으로 고정되게 설치하여 단일현장타설말뚝의 수평변위 및 경사각에 대한 수평거동을 양방향에 대하여 심도별로 확인하였다.

또한 수평하중을 단계별로 56 tonf, 70 tonf, 84 tonf, 98 tonf, 112 tonf까지 가하였으며 각 단계별 loading time은 10분 이상으로 하였다. 경과시간에 따른 심도별 수평변위량을 측정하였으며 사용말뚝을 이용하여 반력을 가하므로 인하여 시험최대하중은 안전율을 고려하여 수평재하시험시 말뚝두부의 최대변위를 25 mm로 제한하였다. 그리고 말뚝두부의 최대 허용수평하중은 설계하중인 52.8 tonf의 2배인 105.6 tonf를 상회하는 112 tonf를 재하 하였으며 8단계로 나누어 2주기로 재하 하였다.

분 석

하중작용방향에 따른 수평변위

Fig. 4는 두부자유조건에서 단계별 재하하중에 대하여 말뚝두부의 최대변위량을 도시하였다. 말뚝두부의 변위량 측정위치는 현장타설말뚝 두부처리지점으로부터 GL-0.5 m에서 실시하였다. 단계별 재하하중에 대하여 말뚝두부의 변위량은 재하하중의 크기와 비례하여 증가하는 것으로 나타났다. 말뚝두부의 변위크기는 최대재하하중 112 tonf에서 하중작용방향의 변위는 최대 1.99 mm가 발생하였고 하중작용 직각방향에 대한 변위는 0.86 mm가 발생하였다. 그리고 하중직각방향으로 발생하는 말뚝변위는 재하단계 초기와 후기에 대하여 방향성이 서로 다

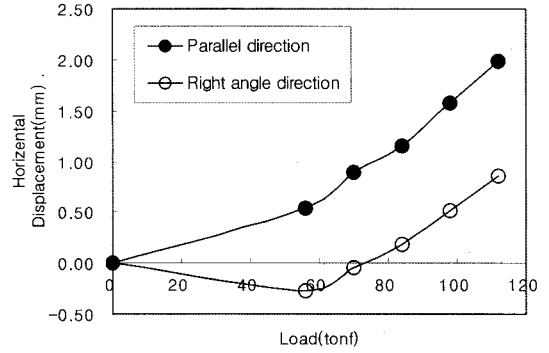


Fig. 4. The relationship between horizontal displacement and lateral load at the pile top.

르나 재하하중이 증가 할수록 하중작용방향의 변위의 방향성과 동일한 것으로 나타났다.

심도별 수평변위 특성

수평재하시험은 ASTM D3966의 반력말뚝 시험방법에 의해 수행되었으며 하중 재하 방법은 표준재하방법을 적용하였다. 그리고 말뚝 두부에 로프를 설치하고 인장력을 가하여 하중-변위 곡선을 얻었다. 현장타설말뚝 내부에 경사계를 설치하였으므로 Fig. 4와 같이 각 하중 단계에서 심도별 말뚝의 수평변위량을 하중작용방향과 하중직각방향에 대하여 측정이 가능하였다. 본 수평재하시험은 두부자유조건으로 수평변위의 크기는 최대수평하중인 112 tonf에서 하중작용방향에 대하여 최대 1.99 mm가 발생하였으며 하중직각방향에 대해서는 최대변위가 0.86 mm가 발생하였다.

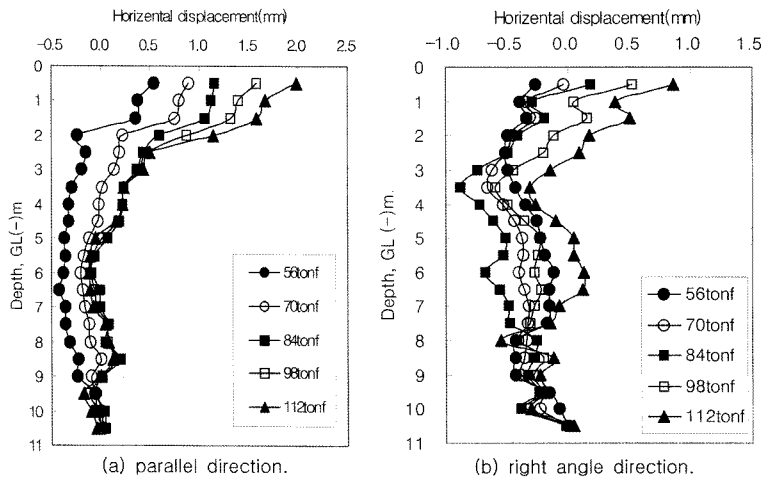


Fig. 5. The result of lateral load test.

Fig. 5(a)와 같이 단계별 수평재하하중을 14 ton씩 증가시킬 경우 각 심도에서 발생하는 수평변위량은 하중이 증가할수록 두부의 최대변위량은 0.25~0.41 mm정도 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 심도가 증가할수록 수평변위량의 증가량은 재하하중의 크기에 따른 영향이 미소한 것으로 나타났다. 이는 심도가 증가할수록 말뚝 전면부의 수평저항력이 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 하중작용방향으로 변위의 크기는 초기 재하하는 비례하여 증가하나 중기부터 후기시는 재하하중의 크기에 비례하여 수평변위의 크기가 증가되고 있지 않고 있다.

Fig.5(b)에서 단계별 재하하중에 따른 하중직각방향의 변위량은 두부구간에서는 하중의 크기와 비례하나 심도가 증가할수록 재하 되는 하중의 크기와 거의 무관하게 변위가 발생되고 있는 것을 알 수 있다. 이는 하중의 크기보다 작용방향에 의한 영향인 것으로 판단된다. 또한, 하중작용방향에 대하여 직각방향으로도 변위가 발생함을 알 수 있었으며, 설계시 계획된 말뚝의 최대 수평 하중인 112 ton까지 재하하였을 때 실제 수평변위의 크기는 미소하므로 대구경현장타설말뚝의 수평력에 대한 저항효과가 큰 것을 알 수 있다. Fig. 5에 의하면 단계별재하하중에 대한 수평변위량은 심도가 증가할수록 감소하나 변위가 수렴되는 지점이 발생되지 않는 것은 본 시험말뚝이 단말뚝이기 때문인 것으로 판단된다.

실측과 이론식에 의한 수평변위

Fig. 6은 수평재하시험에 의한 계측값과 지반반력법(Subgrade reaction approach)중에 Chang방법, 유한차분법(FDM), 비선형해석법인 p-y곡선법을 이용하여 단계별 재하하중에 대하여 심도별 수평변위를 나타내었다.

Fig. 6에서 단계별 재하하중에 따른 수평변위량은 GL-6.0 m 이하 구간에서는 산정법에 따른 차가 크지 않았다. GL-6.0 m 이상인 상부구간에서 계측값은 Chang의 방법과 유사하게 발생하고 있으나, 재하하중이 증가할수록 계측값이 Chang의 방법에 의한 결과보다 과소 평가가 되고 있는 것으로 나타났다. 재하하중이 증가할수록 수평변위량의 차가 크게 발생하는데, 이는 지표면 부근에서 수평하중에 대한 말뚝의 저항력이 주변지반의 교란에 따라 감소되기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 6에서 유한차분법(FDM), p-y곡선법을 이용하여 산정된 수평변위량의 상관성은 매우 높으나 계측치와 상부에서 다소 상이하게 나타나고 있으며 또한, 과대평가가 되고 있음을 알 수 있었다.

본 현장에 시공된 말뚝의 직경은 2.5 m로 대구경현장 타설말뚝이나 수평력을 재하하기 위한 말뚝이 본구조물에 이용되는 사용말뚝이므로 반력말뚝인 사용말뚝의 안정성을 고려하여 최대 재하하중을 112 ton으로 제한하여 현장재하시험을 수행했기 때문에 발생한 최대 수평 변위량이 최대 1.99 mm로 허용탄성변위량 15 mm보다

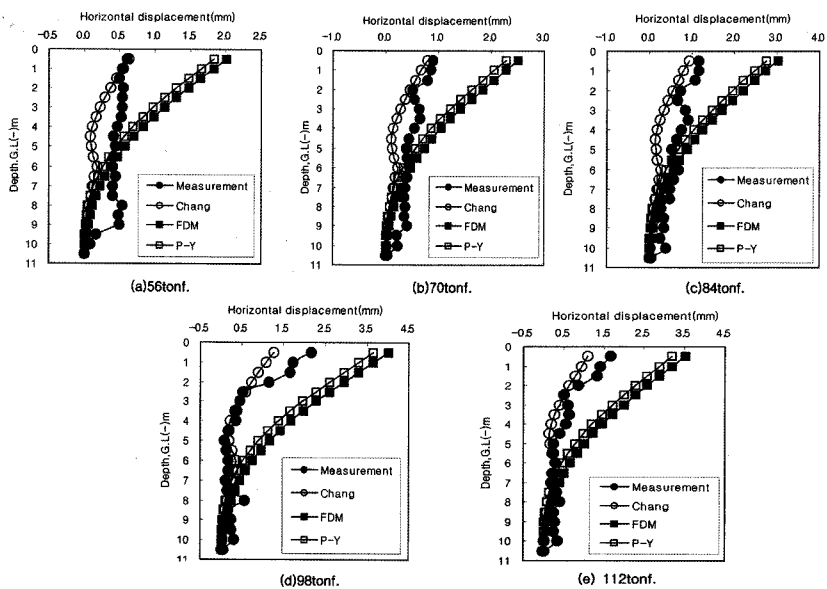


Fig. 6. Comparison between measurement and theoretical horizontal displacement.

매우 작게 발생하였다. 그리고 수평변위의 형태는 변위의 방향이 변하는 변곡점의 위치가 명확하지 않는 단말뚝의 거동특성과 유사하게 발생하였다.

따라서, 단계별 재하하중에 따른 수평변위량의 계측치와 비교한 결과 전체적으로 Chang의 산정식과 유사한 결과를 나타냈으나 약간 과소평가 되는 경향이 있으며, 유한차분법(FDM), p-y곡선법이 상부구간에서 과대평가를 하는 경향을 나타내고 있다.

결 론

단일현장타설말뚝에 대하여 단계별 수평재하하중에 따른 심도별 수평변위량을 측정된 결과에 의하여 단일현장타설말뚝의 수평변위 거동특성 및 기존 이론식과의 비교, 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상부하중이 크지 않는 교량에서 교각과 말뚝기초를 동일단면으로 시공한 단일대구경현장타설말뚝에 대하여 수평재하시험을 실시한 결과 극한수평하중에 대한 수평변위량은 미소하게 발생되었다. 따라서 본 기초형식의 적용성이 시공성과 공사비를 고려할 경우 기존공법에 비하여 우수하다고 판단된다.
2. 단일대구경현장타설말뚝의 수평변위는 하중작용방향과 하중직각방향에 대하여 변위가 동시에 발생하고 있으므로 수평변위 산정시 이를 고려하여 산정하여야 한다.
3. 단계별 재하하중에 따른 수평변위량의 실측치와 비교한 결과 전체적으로 Chang의 이론식이 계측값과 유사한 경향을 나타내었으나, 상부구간에서는 약간 과소평가 되는 반면에 유한차분 법(FDM)과 p-y곡선법은 상부구간에서 과대평가가 되는 경향을 보이고 있다.

참 고 문 헌

조천환, 석정우, 2006, 고층건물 현장타설말뚝기초의 설계 및 품질확인시험, 2006 가을학술 발표회, 한국지반공학회. 585~592

Ladanyi, b., and Roy, A., 1971, Some Aspects of Bearing Capacity of Rock Mass, Proceedings of the seventh Canadian Symposium on Rock Mechanics, Edmonton, 16 1~190.

Mazurkiewicz, B, K., 1972, Test Loading of piles According to polish Regulations, Royal swedish Academy of Engineering sciences commission on pile Research. Report No.35, Stockholm, 20.

Reese, L. C., 1977, Laterally Loaded Piles, Program Documentation, Jnl. Geot. Div., ASCE, 103(4), 287-305.

Reese, L. C. and Matlock, H., 1956, Non-dimensional solutions for laterally loaded piles with soil modulus assumed proportional to depth, Proc. 8th Texas Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Austin, TX, 1-41.

2008년 11월 2일 원고접수, 2008년 12월 11일 게재승인

여규권

삼부토건(주) 기술연구소
 100-804, 서울시 중구 남창동 9-1번지
 Tel: 02-3706-2537
 Fax: 02-756-3905
 E-mail: moonju@sambu.co.kr