

형상비 및 지반특성에 따른 교대 강관파일의 변위특성에 대한 해석적 연구

Analytical Investigation on the Deflection Characteristics of Steel Piles in Bridge Abutment for Aspect Ratio and Ground Properties

장갑철* 장경호** 한중근** 이양규*** 김종렬***
Jang, Gab-chul Chang, Kyong-ho Han, Jung-geun Lee, Yang-koo Kim, Jong-ryeol

요약

연약지반에서 측방 유동에 의해 주변 지반에 큰 변형을 일으키며 이로 인하여 말뚝기초에 손상을 입히게 된다. 이러한 경우 설치된 말뚝을 수동말뚝이라 하며 편재하중이 작용하게 되고 이로 인해 측방토압을 받게 되며 측방변위가 발생하여 상부구조물에 영향을 미치게 된다. 그러나 국내의 경우 이러한 말뚝과 교대 변위간의 관계에 대한 예측 및 메커니즘에 대한 연구가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 교대이동에 대한 해석을 위해 입체, 판 및 프레임 요소를 복합적으로 해석할 수 있는 연성 3차원 유한요소해석 프로그램을 개발하였다. 개발된 연성해석 프로그램을 이용하여 연약지반상 형상비(두께-지름비, t/D 비)를 변수로 한 교대강관파일의 변형특성을 명확히 하였다.

Abstract

The surrounding ground was much transformed by the lateral movement on the soft ground, and consequently the stake basis was damaged. In this case the installed stake is called the passive stake, and is actively being researched. When the unevenly distributed load was applied on the stake, and thus the lateral ground pressure was operated, and then the lateral movement was occurred, and consequently the structure is influenced. However, prediction and mechanism for the relationship of piles and abutment deformation is not sufficient.

In this paper, coupled three-dimensional finite element analysis, which can be described solid, plate and frame elements at the same time, is developed by the authors. The lateral movement of bridge abutment for the aspect ratio of steel piles on soft clay is clarified by using developed numerical analysis.

키워드 : 변형특성, 강관파일, 연성해석, 유한요소해석

Keywords : Deflection Characteristics, Steel Pile, Coupled Analysis, Finite Element Analysis

1. 서론

최근 도로, 교량 등의 산업기반시설의 건설이 활발한 서·남해안 지역은 주로 상부지층의 압축성이 매우 연약한 연약지층(soft clay)이다. 이러한 경우 상부구조물에서 전달되는 하중을 완전히 지지할 수 없으며 하중 전달을 위해 강관파일을 주로 사용한다. 그러나 연약

지반에 구조물을 건설하게 될 경우 성토하중으로 인하여, 연약 점성토 지반은 측방변형을 유발한다^{1~4)}. 이때, 연약지반의 이동에 의해 교대 기초 파일이 변형하게 되면, 교대뿐만 아닌 상부구조물의 성능에도 악영향을 미치게 된다. 그러므로 교대의 이동을 예측하고 이를 방지하기 위해 파일변형 특성에 대한 예측이 필요하다.

이러한 교대구조물을 해석하기 위해서는 지반의 특성을 고려함과 동시에 지층구조물인 교대의 이동과 지하구조물인 강관파일의 변형을 동시에 해석할 수 있는 해석적 기법이 요구된다. 즉, 외력을 받고 있는 교대, 강관파일 및 지반을 동시에 구현할 수 있는 연성해석(Coupled analysis)방법이 요구된다.^{5,6,7)}

* 교신저자, 정회원 · (주)현대기술개발 공학박사
Tel : 02-820-5337 Fax : 02-823-5337
E-mail : gabchul.jang@gmail.com

** 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 교수

*** 대림대학 토목환경과 교수

본 연구에서는 지반과 교대, 강관파일의 동시에 고려할 수 있는 3차원 탄소성 유한요소 해석기법을 개발하였다. 그리고 개발된 해석기법을 이용하여 연약지반상 교대 강관파일의 변형특성을 해석하였다. 또한, 형상비인 두께-외경비(t/D) 및 연약지반의 종류에 따른 강관파일의 변형특성을 명확히 파악하였다.

2. 서론

2.1 해석조건

본 연구에서는 <그림 1>에 보이는 바와 같이 교량의 교대와 강관파일, 연약지반을 대상으로 해석을 수행하였다. <그림 1(a)>는 실제 연약지반에서 지반자중에 의한 교대의 측방이동과 이로 인한 강관파일 변형의 예를 보이고 있다. <그림 1(b)>는 본 해석에서 적용된 교대의 상세도를 보이고 있다. <그림 1(c)>는 해석 대상인 강관파일의 제원을 보이고 있다.

하중조건은 지반 속의 말뚝에 작용하는 측방토압, 상판의 자중, 배면 토압 및 자중이 교대에 측면에서 작용한 것을 가정하였다. 해석시 강관파일에 작용하는 측방토압은 다음 식(1)과 식(2)를 이용하여 산정하였다. 8,9,10 식(1)과 식(2)에 사용된 연약지반의 제성질은 <표 1>에 나타내었다. <표 2>의 지반 제성질은 실제 지반을 대상으로 물성치를 산정한 후 해석에 적용하였다.

$$p = cD_1 \left(3 \ln \frac{D_1}{D_2} + \frac{D_1 - D_2}{D_2} \tan \frac{\pi}{8} \right) + \sigma_H (D_1 - D_2) \quad (1)$$

$$P = \int_0^H p dz \quad (2)$$

식(1), (2)에서

p : 단위 깊이당 한 개의 말뚝에 작용하는 측방토압

c : 점토의 점착력

D_1 : 파일의 중심간격

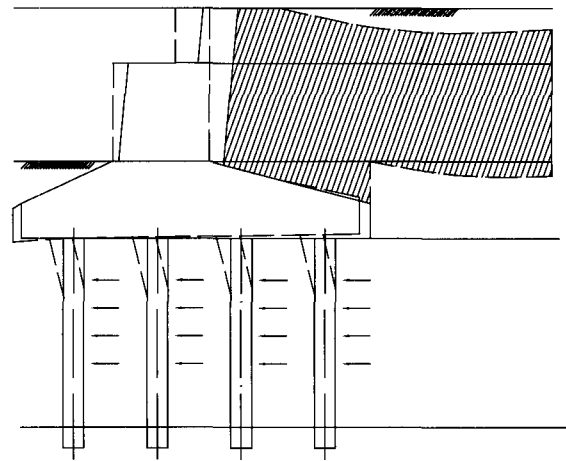
D_2 : 파일의 순간격

σ_H : Rankine의 주동토압

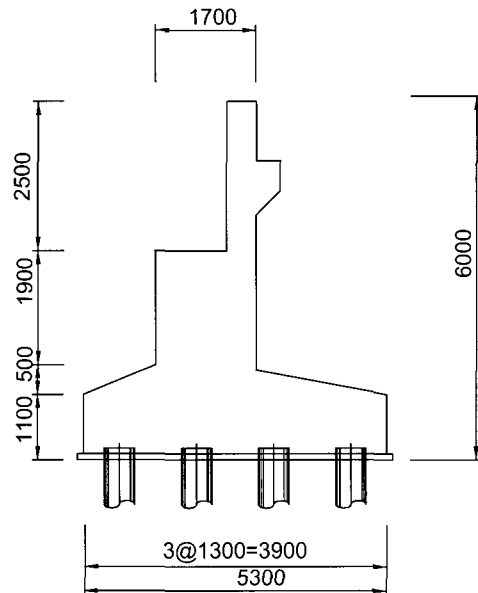
P : 전측방토압

z : 지표면에서부터의 깊이

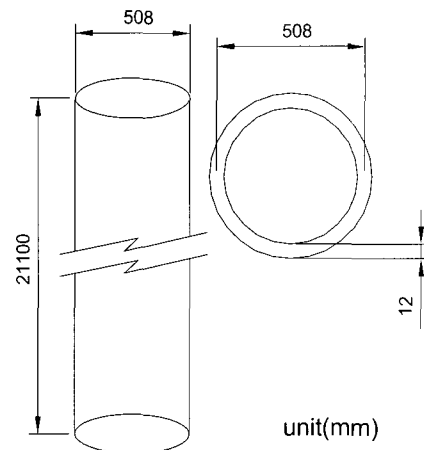
를 각각 나타낸다.



(a) 지반하중에 의한 교대 및 강관파일의 변형



(b) 교량 교대의 상세도(잘못된 계산식)



(c) 강관파일의 상세도
<그림 1> 해석모델

〈표 1〉 해석에 사용된 지반의 물성치

구분		점착력(t/m ²)	내부마찰각(°)	단위중량(t/m ³)
매립토층		-	30	1.900
해성퇴적층	Example1	1.86	-	1.815
	Example2	1.65	-	1.815
	Example3	1.69	-	1.831
	Example4	0.97	-	1.831
풍화토층		-	20	1.900
풍화암층		-	30	2.000

〈표 2〉 유한요소모델의 자유도

(1 : fixed, 0 : free)

	Element Type	x	y	z	Θ_x	Θ_y	Θ_z
Pile	3-D Frame	0	0	0	0	0	0
Abutment	Solid	0	0	0	1	1	1
Ground		0	0	0	1	1	1

〈표 3〉 모델의 측방이동

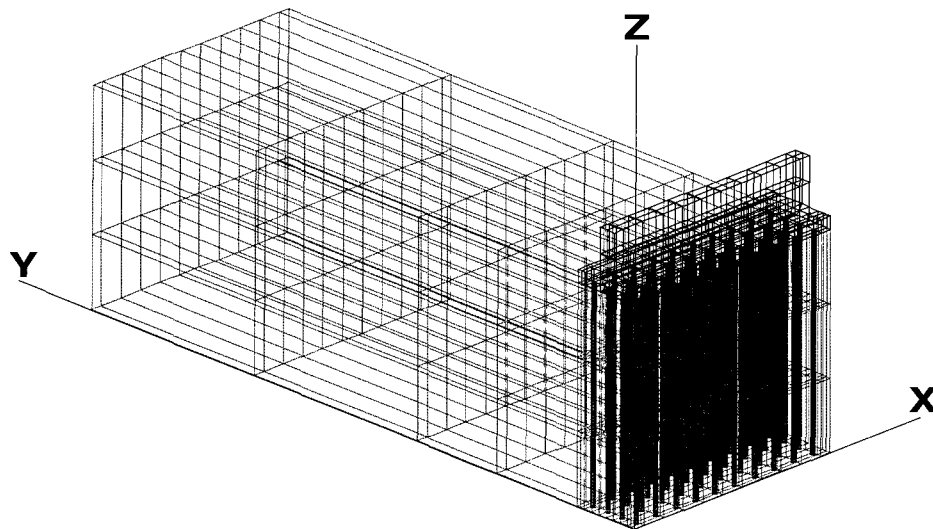
구분	측방이동(cm)
Example1	13.881
Example2	13.300
Example3	13.455
Example4	13.407

〈표 4〉 해석에 사용된 강재와 콘크리트의 물리상수

종류	탄성계수(t/m ²)	전단탄성계수(t/m ²)	포아송비
강	2.10×10^7	8.10×10^6	0.30
콘크리트	2.50×10^6	1.09×10^6	1/6

〈표 5〉 연약지반에 따른 물성치

구분	N치	탄성계수(t/m ²)	포아송비	단위중량(t/m ³)	1축압축강도(kg/cm)
Soft Clay	0.25 - 0.5	210 - 530	0.20 - 0.50	1.2 - 1.8	0.25 - 0.5
Medium Clay	0.5 - 1.0	530 - 1060	0.20 - 0.50	1.5 - 2.0	0.5 - 1.0
Hard Clay	1.0 - 2.0	1060 - 2460	0.20 - 0.50	1.7 - 2.2	1.0 - 2.0



〈그림 2〉 해석모델 요소분할

〈표 6〉 해석모델의 분류 및 강관파일 최대변형

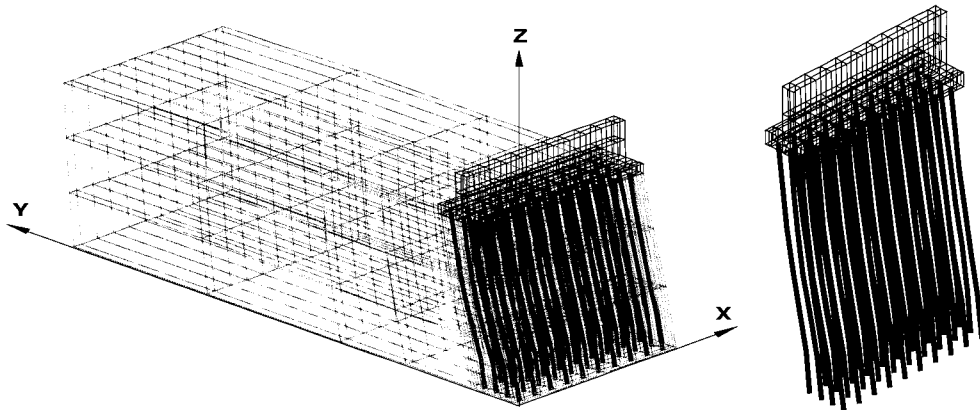
구분	토질	t/D 비	최대변형 (cm)
CASE 1-1	Soft Clay	0.01	37.252
CASE 1-2		0.02	35.580
CASE 1-3		0.04	32.680
CASE 1-4		0.06	30.190
CASE 1-5		0.08	28.030
CASE 1-6		0.10	26.135
CASE 2-1	Medium Clay	0.01	21.772
CASE 2-2		0.02	21.280
CASE 2-3		0.04	20.497
CASE 2-4		0.06	19.789
CASE 2-5		0.08	19.121
CASE 2-6		0.10	18.490
CASE 3-1	Hard Clay	0.01	7.374
CASE 3-2		0.02	7.234
CASE 3-3		0.04	7.073
CASE 3-4		0.06	6.936
CASE 3-5		0.08	6.810
CASE 3-6		0.10	6.688

2.2 유한요소 모델링

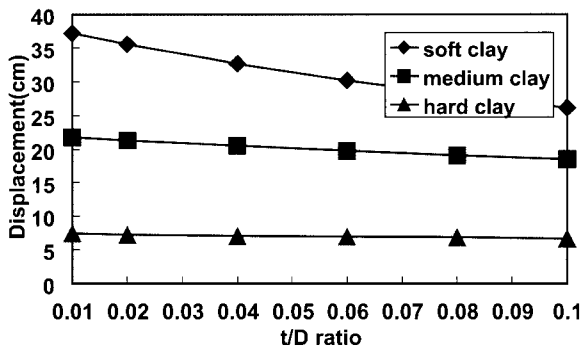
강관파일 해석시 저자에 의해 개발된 연성해석프로그램을 사용하였다. 해석시 강관파일은 3차원 프레임요소를 사용하여 모델링 하였다. 그리고 교대와 지반은 20절점 입체요소를 적용하여 해석을 수행하였다. 해석모델의 요소분할은 〈그림 2〉에 나타내었다. 〈그림 2〉에 보인바와 같이 3차원 프레임요소 및 입체요소를 적용하여 모델링하였으며 해석시 경계조건은 지반 및 강관파일 하단을 고정하였다. 〈표 2〉는

해석모델의 경계조건을 나타내고 있다.

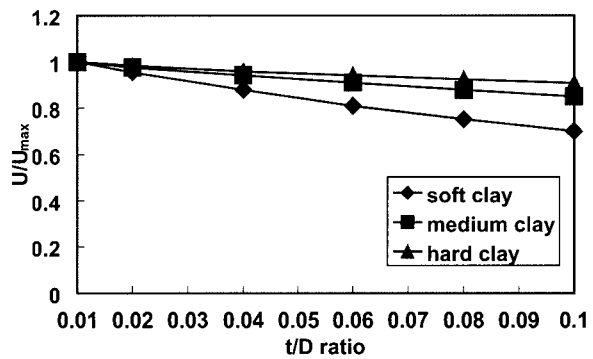
해석시 강관파일에 사용된 콘크리트와 강재의 기계적 성질은 〈표 4〉에 보인바와 같다. 해석변수는 지반의 종류와 강관파일 형상비인 두께-외경비(t/D)이다. 연약지반은 Soft clay, Midium clay 및 Hard clay로 구분하여 해석을 수행하였으며 해석시 각 지반에 따른 제성질은 〈표 5〉에 보인바와 같다. 그리고 강관의 t/D비 변화에 따른 해석을 수행하였으며 해석모델의 분류는 〈표 6〉에 보인바와 같다.



〈그림 3〉 전모델 및 강관파일 변형 형상



〈그림 4〉 형상비(t/D 비)에 따른 강관파일 최대변형



〈그림 5〉 강관 최대변형 감소비

〈표 7〉 t/D 비 증가에 따른 강관파일 최대변형 감소비 (%)

구분	Soft Clay	Medium Clay	Hard Clay
변위량 감소비(%)	3	1.5	0.9

3. 해석결과 및 고찰

3.1 해석결과

Soft clay에 대한 해석결과는 <표 6>과 <그림 4, 5>에 나타내었다. 해석결과 t/D비 0.01인 경우 약 37cm의 최대변위가 발생하였다. 그리고 t/D비가 증가함에 따라 변위량은 점차 증가함을 알 수 있으며 감소비는 <표 7>에 보이는 바와 같이 약 3% 정도임을 알 수 있다.

Medium clay의 경우 t/D비 0.01에서 약 22cm의 최대변위가 발생하였으나 Soft clay보다 낮은 변위량임을 알 수 있다. 그리고 Soft clay와 동일하게

t/D비가 증가함에 따라 변위량도 점차 감소함을 알 수 있다. 변위량 감소비는 약 1.5%이다.

Hard clay의 경우 변위분포는 위 두모델에 비해 상대적으로 낮은 값을 보이고 있다. t/D비 0.01인 경우 약 7cm의 최대변위가 발생하였으며 t/D비가 증가함에 따라 변위값이 점차 감소하였다. 그리고 감소비는 약 0.9%임을 알 수 있다.

3.2 비교결과

<그림 4>는 지반종류 및 t/D비에 따른 강관파일 변형거동을 나타내고 있다. 해석결과 Soft clay에서 최대변형이 발생하였으며 Hard clay에서 변형량이

상대적으로 최소임을 알 수 있다. 그러나 t/D 비가 증가함에 따라 Soft clay는 급속히 최대변위량이 감소하였으나 Medium 및 Hard clay의 변위 감소량을 상대적으로 낮음을 알 수 있다. <그림 5>는 최대 변위를 기준으로 변위감소량을 나타내고 있다. <그림 5>에 보인바와 같이 Soft clay의 변위 감소량이 상대적으로 크며 Hard clay의 변위량은 상대적으로 미소함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 지반과 구조물을 동시에 고려할 수 있는 연성 3차원 탄소성 유한요소 해석기법을 이용하여 연약지반상 교대 강관파일의 변형특성을 해석하였다. 또한, 형상비인 두께-외경비(t/D) 및 연약지반의 종류에 따른 강관파일의 변형특성을 명확히 파악하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. Soft clay의 경우 t/D 비 0.01에서 최대 37.252cm의 변위가 발생하였으며 변위량 감소비는 약 3%이다.
2. Medium clay의 경우 t/D 비 0.01에서 약 21.772cm의 최대변위가 발생하였으며 변위량 감소비는 약 1.5%이다.
3. Hard clay의 경우 t/D 비 0.01인 경우 7.374cm의 최대변위가 발생하였으며 변위량 감소비는 약 0.9% 이다.
4. t/D 비가 증가함에 따라 Soft clay의 변위 감소량이 상대적으로 크며 Hard clay의 변위량은 미소하였다.

감사의 글

이 논문은 2006년도 중앙대학교 박사 후 연수과정(Post-Doc)지원사업에 의한 것임.

참고 문헌

1. De Beer, E. E. "Piles subjected to static lateral loads, State of the Art Report", Proc., 9th

- ICSMFE, Specialty Session 10, Tokyo, 1997, pp. 1-14
2. Tavenas, F., Mieussens, C. & Bourges, F. "Lateral Displacement in Clay Foundation Under Embankments", Can. Geotech. J. 16, 1979, pp. 532-550
3. Tschebotarioff G. P. "Lateral pressure of clayey soils on structures", Proc., 8th ICSMFE, Specialty Session 5, Moscow, Vol. 4 .3, 1973, pp. 227-280
4. Cheng Liu and Jack B. Evett, Soils and Foundations Third Edition, PRENTICE HALL, Englewood Cliffd, N. J. 1992.
5. Carter, J. P. "A Numerical Method for Pile Deformations due to nearby Surface Loads", Proc., 4th Int. Conf. Numer. Methods in Geomech., Vol. 2, 1982, pp. 811-817
6. Ellis, E. A. & Springman, S. M. "Modelling of soil-structure interaction for a piled bridge abutment in plane strain FEM analyses", Computers and Geotechnics., Vol. 28, 2001, pp. 79-98
7. Zhang, H. H. & Small, J. C. "Analysis of capped pile groups subjected to horizontal and vertical loads", Computers and Geotechnics., Vol. 26, 2000, pp. 1-21
8. Douglas, D. J. & Davis, E. H. "The movement of buried footings due to movement and horizontal load and the movement of anchor plate", Geotechnique, Vol. 14, No. 2, 1964, pp. 115-132
9. Zhang, L. M., McVay, M. C., Han, S. J., Lai, P. W. & Gardner, R. "Effects of dead loads on the lateral response of battered pile groups", Can. Geotech. J. 39, 2002, pp. 561-575
10. 홍원표 "점토지반속의 말뚝에 작용하는 측방토압", 대한토목학회논문집, 제2권, 제1호, 1982, pp. 45-52