

강관 말뚝 기초 두부 연결부의 합성거동에 대한 연구

유성근^{1)*} · 박종면¹⁾ · 박대용¹⁾ · 김영호¹⁾ · 강원호²⁾

¹⁾비비엠펜코리아(주) ²⁾동아대학교 토목공학과

(2002년 11월 13일 원고접수, 2003년 3월 5일 심사완료)

The Study on Local Composite Behavior of Connection Member between Steel Pipe Pile and Concrete Footing

Sung-Kun You¹⁾, Jong-Myen Park¹⁾, Dae-Yong Park¹⁾, Young-Ho Kim¹⁾, and Won-Ho Kang²⁾

¹⁾BBM Korea Co. Ltd., KICOX Venture Center #210, Seoul, 152-848, Korea

²⁾Dept. of Civil Engineering, Dong-A University, Busan, 604-714, Korea

(Received November 13, 2002, Accepted March 5, 2003)

ABSTRACT

Generally, application of steel pipe pile as deep foundation member needs special requirement for the connection method between steel pipe pile and concrete footing. Even though two types of connection method are suggested in the related specification, type B-method is prevalent. To investigate real structural behavior of type B connection, several load tests are done with carefully designed experimental system. The purpose of this experiment is mainly focused on the understanding of actual behavior which can be predicted by design theory. At this research stage, vertical and lateral loading test are done for three types of specimen to review stress concentration, formation and behavior of imaginary RC column in the footing and effect of non-slip device installed in the steel pipe pile. The load resistance mechanism in these specific connection method is predicted based on both experimental results. The three-dimensional finite element modeling is also done for the purpose of comparison between numerical and experimental result. With all the results gained from experiment the structural behavior of imaginary RC column in the design concept is confirmed. The role of non-slip device is very important and it affects the resistance capacity with help of composite action of concrete and steel pipe pile.

Keyword : steel pipe pile, non-slip device, imaginary RC column, finite element method, connection method, composite action

1. 서 론

강관말뚝은 구조물 건설시 광범위한 적용성을 가진 말뚝 기초 재료로 사용되고 있으며 열악한 현장 조건을 극복하는 매우 합리적인 기초공법으로 자리 매김하고 있다. 이에 따라 말뚝의 구조거동에 대한 관심이 높아지고 관련 분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 강관과 철근 콘크리트 확대기초가 연결되는 부위는 단면이 급격하게 변화하는 동시에 이종의 재료가 복잡한 하중전달기구를 통하여 상부와 하부구조의 하중을 지반으로 전달하기 때문에 필요한 안정성을 충분히 확보하여야 한다^{1,4)}. 그러나 대상 구조물의 특성을 고려시 문제해결을 위하여 말뚝기초와 구조분야의 전문가의 공동연구가 필요한 분야임에 불구하고 독자적인 연구수행의 결과가 제시되고 있

는 실정이다^{5,6)}.

말뚝 결합부에 대한 '96 도로교 표준시방서의 설계기준 규정에 의하면 "말뚝과 확대기초의 결합부는 원칙적으로 말뚝머리 고정으로 설계하고 결합부에 생기는 응력에 대해 안전하게 설계하여야 한다"로 명시되어 있으나¹⁾ 이에 대한 설계 검토 사항 등에 대한 상세규정이 존재하지 않아 설계 및 실무 기술자들에게 많은 의문점을 제공하였으며 실제 교량 및 건축 구조물의 설계도서에 강관말뚝 연결 보강방법에 대한 상세 설계도면 및 구조계산이 불분명하거나 혹은 누락되는 경우가 대부분이었다. 90년대 말부터 실시된 기초적 연구결과를 토대로 결합부의 중요성에 대한 인식을 하게 되었고⁶⁾, 그 결과 최근 개정된 도로교 설계기준(2000)의 경우에는 기존 '96년 도로교 표준시방서와 동일하나 동 해설 편에서 연결부의 설계응력 검토사항 및 방법에 대하여 자세히 기술하여 보다 정확한 설계 기준을 제시하였다⁴⁾. 최근 건설기술 및 장비의 발달로 강관 말뚝의 경우 대구경화, 고강도화를 통하여 강관말뚝 한본이 부

* Corresponding author

Tel : 02-6300-4604 Fax : 02-6300-4688

E-mail : skyou@gccity.net

담하는 하중이 증대되는 것이 일반적인 경향이고 지진과 같은 특수하중에 대한 설계가 강조되어 강관 말뚝기초 연결부의 안전성 및 설계 기준에 대한 적합성을 새롭게 검토할 필요가 생겼다.

한편 도로교 설계기준에 제시된 강관 말뚝의 두 가지 연결방법 (A, B-type)중 A-type 연결법에 대한 적용도 시도되어 기존 가설재 등으로만 사용되던 강재 H형 말뚝을 사용하여 무조인트(Integral Abutment) 교량기초에 사용하기도 하였다. 이처럼 새로운 교량 형식의 등장과 사용여건의 변화에 대하여 여러 종류의 말뚝 머리연결부의 시공성을 개선하기 위하여 다양한 방법이 제안됨에 따라, 새롭게 제안된 연결방법에 대한 실험적 검증 및 연구도 활발하게 시도되고 있다⁷⁾.

그러나 일반적으로 제시된 강관말뚝의 두부보강 방법은 일본의 시방서 규정에 대한 실험적 검증 없이 채택하여 사용하고 있으며 이를 검증하기 위한 단편적인 실험 수행이 시도되었으나 그 내용이 실제적이지 못한 동시에 수행된 실험부재의 크기, 재하조건과 지지조건이 모두 달라서 실험결과와 객관적인 비교가 어려우며, 경우에 따라서는 구조적인 메커니즘을 무시한 실험결과를 제시하는 경우가 있다. 이러한 실험결과는 구조거동의 신뢰성과 말뚝두부보강의 중요성을 외면한 결과로서 이에 대한 철저한 검증 작업이 요구된다. 또한 이들 실험결과에 대한 해석적 연구가 뒷받침되지 않아 연구결과와 활용에 이견이 많은 실정이다⁸⁾. 본 연구에서는 기본 연구자료의 축적을 위하여 강관 말뚝의 머리연결부에 대하여 지점조건을 명확히 하여 실제 구조거동 상태를 모사한 연직 재하실험과 수평 재하실험을 수행하고, 실험 결과를 유한 요소해석과 비교 분석하였으며 이를 통하여 설계식에 표현된 가상철근콘크리트 기둥 가정에 대한 구조거동의 신뢰성을 추정코자 하였다. 이를 위하여 현재 도로교 설계기준에 의한 연결상세 및 이를 볼트로 모사한 실험체에 대하여 연직 재하실험과 수평 재하실험을 수행하였다. 실험 및 해석 연구결과를 바탕으로 설계방법에서 제시하는 거동에 대한 합리성을 확인하였다. 본 실험의 결과 및 해석 결과에 대한 고찰은 향후 파괴 메커니즘을 고려하여 합리적인 설계법 제안을 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

2. 일반사항 및 유한요소 해석 모델

2.1 실험개요

본 연구에서는 강관 말뚝 두부 연결부에 작용하는 대표적 하중인 연직과 수평하중에 대한 재하실험을 실시하였다^{12,13)}. 연직하중은 강관말뚝이 부담하는 주된 하중이며, 수평력은 지진하중등을 고려시 필수 설계 검토하중이기 때문이다^{14,15)}. 말뚝머리 연결부에 작용하는 수평력은 기초

저면에 순수 전단력을 발생시키기보다는 모멘트를 발생시킬 가능성이 크므로 얇은 기초에서 강관말뚝에서의 휨모멘트 분포를 고려하여 기초하면에서 말뚝 직경의 2.5배만큼 떨어진 곳에 하중을 작용하여 말뚝 머리부에 모멘트가 발생되도록 하였다. 실제 구조물을 고려시 수직력과 모멘트가 동시에 존재하는 조합하중의 경우에 대한 거동과 수평 반복재하 시험을 통한 이력곡선의 작성을 통한 극한성능에 대한 분석이 필요하지만 이는 향후 연구과제로 본 연구에서는 제외하였다. 본 실험의 목적은 대표적 말뚝 설계하중인 수직, 수평력 및 모멘트에 대한 말뚝연결부의 구조거동을 실험으로 확인하고 강관 말뚝과 확대기초 연결부에 대해 실제 설계시 적용되고 있는 가상철근 콘크리트 기둥 개념의 타당성을 확인함에 있다^{8,9,11,16)}. 또한 말뚝에 작용하는 하중은 실제적으로 매우 크고 하중이 말뚝머리 연결부를 통하여 강관에 전달될 때 국부적으로 강관과 콘크리트 기초 인접부에 매우 큰 집중하중이 발생하므로 국부 지압응력의 분포를 규명 할 수 있도록 센서를 설치하였다.

연직과 수평 하중 재하장치도 및 지점상세와 setting이 완료된 모습을 Fig. 1-4에 나타내었다. 또한, 본 실험은 일본 大志万이 실시한 실험과 같은 지점조건(4번 선지)과 가력조건을 선택하였다^{11,16)}. 콘크리트 확대기초내의 가상의 철근 콘크리트 기둥을 형성하는 보강철근의 변형률과 콘크리트 내부 지압응력 분포의 영향을 관찰하기 위한 내부 변형률 게이지 부착을 아래와 같이 실시하였으며 하중 재하 중 내부 게이지의 작동 불량을 고려하여 콘크리트 구체 표면에 다수의 게이지를 추가로 부착하였다. 대표적인 게이지 부착 위치도는 Fig. 5와 같으며 콘크리트 게이지는 깊이에 따라 다단을 형성하도록 하였으며 보강철근 게이지는 압축철근과 인장철근에 모두 부착하였다. 여기서, 변형률 값은 (+)는 인장을 (-)는 압축을 의미한다.

Table 1과 2 에서는 연직 및 수평 재하실험의 종류와 각 실험체의 특징을 설명하였다.

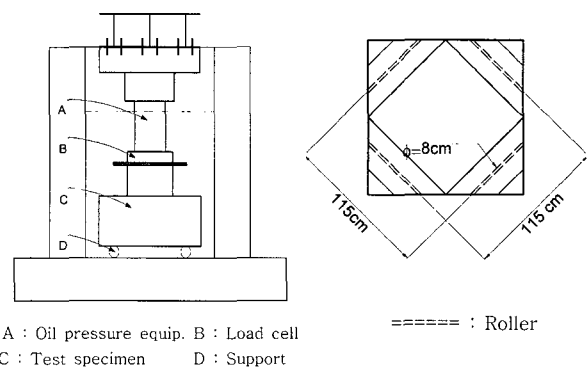


Fig. 1 Vertical loading system and support detail

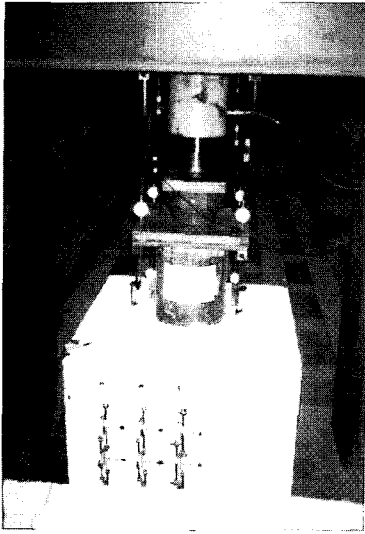


Fig. 2 Front view of vertical loading test

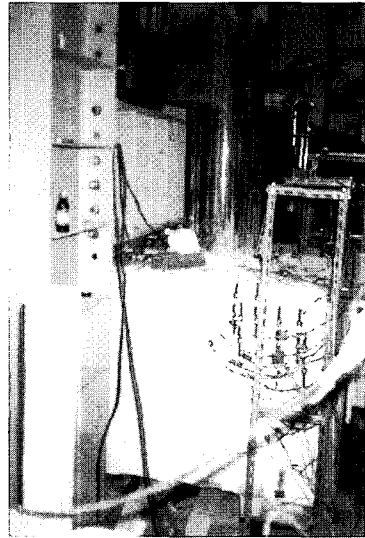


Fig. 4 Front view of lateral loading test

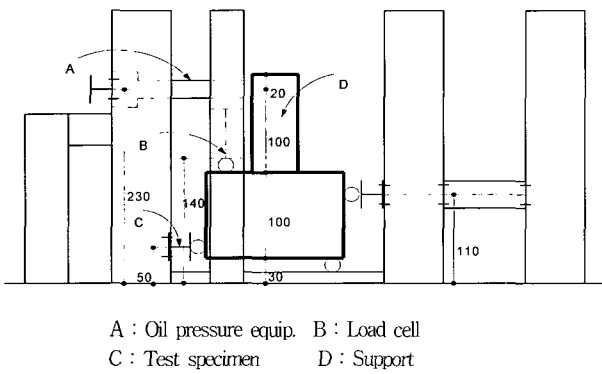


Fig. 3 Lateral loading system

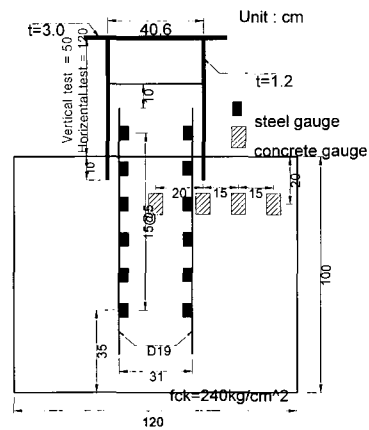


Fig. 5 Properties and strain gauge location of test specimen

Table 1 Types of vertical loading test

Item	Name of specimens	Description
Vertical loading test	VJX	Concrete filled type, no non-slip device
	VJO	Concrete filled type, welded non-slip device
	VN	Concrete filled type, bolted non-slip device

Table 2 Types of lateral loading test

Test item	Test outline	Name of specimens	Description
Horizontal loading test	Loading at 2.5D from footing lower end	HJO	Concrete filled type, welded non-slip device
		HN	Concrete filled type, bolted non-slip device

Fig. 6의 VJX는 국내시방서 규정에 명기된 2단의 미끌림 방지턱이 설치되지 않고 강관의 직경만큼 콘크리트 속채움을 실시한 경우이며 Fig. 7의 VJO는 미끌림 방지턱을 시방서 규정대로 용접한 경우이며 Fig. 8의 VN은 미끌림 방지턱을 강재 절편을 이용하여 볼트로 조립한 형태이다. Fig. 6~Fig. 8의 연직재하실험부재(VJX, VJO, VN)의 강관높이는 국부좌굴이 발생하지 않도록 하기 위해 하중재하위치에 +자 보강관을 설치하였고 콘크리트 구체속으로 근입되는 깊이 10cm를 포함한 60cm로 하였으며 수평재하실험부재(HJO, HN)의 강관높이는 말뚝과 콘크리트 구체의 결합부에 모멘트를 발생시키기 위해 근입깊이 10cm를 포함한 130cm로 하였다.

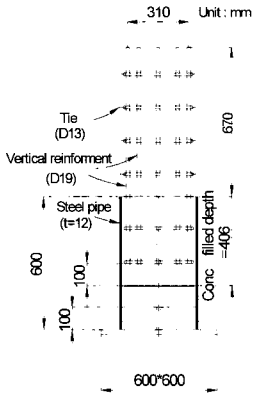


Fig. 6 VJX

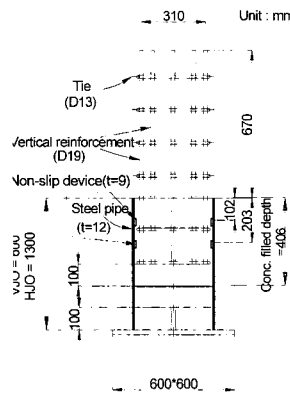


Fig. 7 VJO and HJO

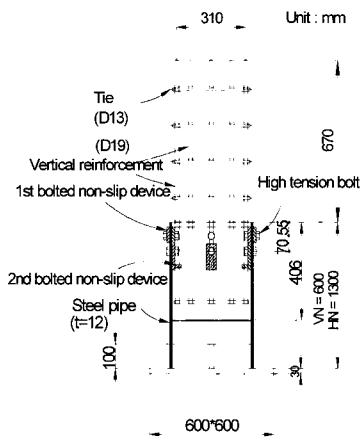


Fig. 8 VN and HN

2.2 유한요소 해석

2.2.1 개요

실험결과 및 구조거동을 포함한 연결부의 국부거동을 비교 분석하기 위하여 3차원 유한요소해석을 수행하였다¹⁰⁾. 해석에는 DIANA-7을 사용하였으며 현재 탄성설계로 규정된 두부보강 설계 방법을 검증하기 위하여 탄성 영역 내 구조거동에 대한 제한적 해석을 수행하였다. 실험 부재의 국부 거동과 관련된 실험값에 대한 이해를 위하여 몇 가지 다른 형태에 대한 해석을 실시하였으며, 이를 실험결과와 비교하여 각 실험부재의 실제적 거동을 이해하고자 하였다.

2.2.2 유한요소해석 모델

1) 연직 해석모델

모델링은 20절점 Solid 요소를 사용하였고 해석조건을 다음의 4가지 경우로 다르게 하여 구조해석을 수행하였으며 해석 Case에 대한 특징은 다음과 같다.

① 모델에서 강관을 제외하고 강관 포함 면적에 등분포

하중재하로 대체함 (PFACE -Fig. 9)

② ①과 동일하고 강관과 콘크리트의 접촉면에 등분포 하중 재하모델 (PFRING -Fig. 9)

③ 강관을 포함하여 연직하중을 상부재하, 강관과 속채움 콘크리트는 합성 거동하는 것으로 가정 (PVBOND -Fig. 10)

④ 강관을 포함하여 연직하중을 상부재하, 강관과 속채움 콘크리트는 비합성 거동하는 것으로 가정 (PVUNB -Fig. 10)

①, ②의 PFACE와 PFRING 모델은 하중 재하 표면에직 접하중을 재하하는 경우이며 이는 설계 지압강도가 이러한 하중조건에 해당하므로 비교·분석 목적으로 해석을 수행한 것이다. ③, ④의 PVBOND와 PVUNB 모델은 미끄럼 방지턱의 유무에 따라 속채움 콘크리트가 강관과 합성 또는 비합성 거동의 유무를 파악하고 이를 통한 구조 거동의 차이를 비교하기 위하여 제시되었다.

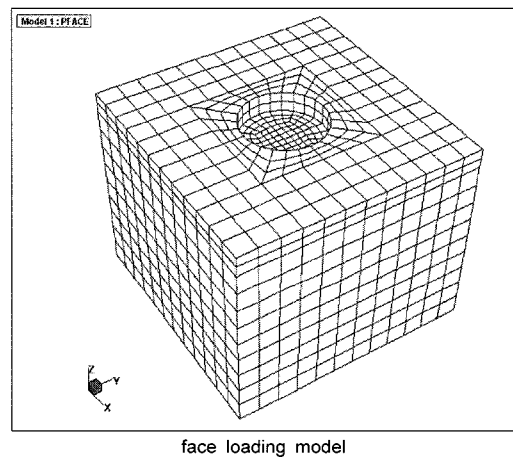


Fig. 9 PFACE, PFRING model

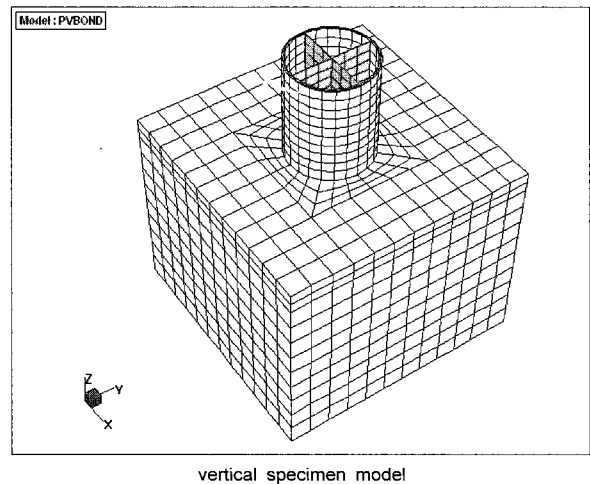


Fig. 10 PVBOND, PVUNB model

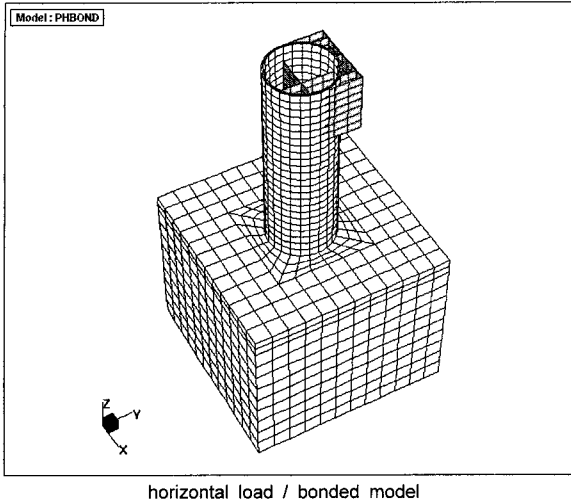


Fig. 11 PHBOND, PHUNB model

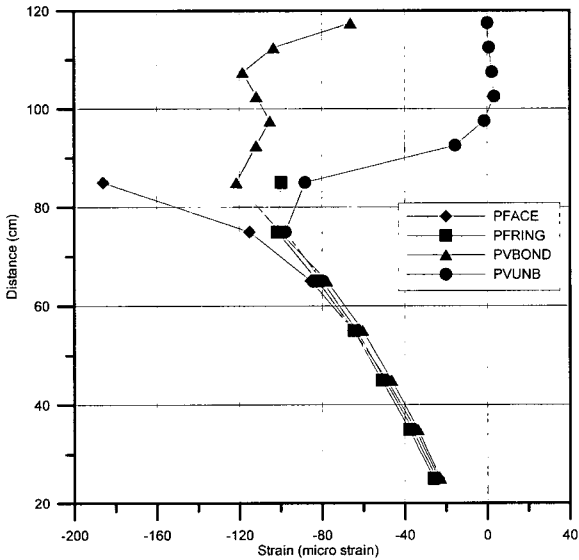


Fig. 12 Vertical reinforcement strain results of each FEM model

2) 수평 해석모델

수평 실험부재의 모델링 또한 20절점 Solid 요소를 사용하였다. 단 상부에 하중재하 block은 8절점 Shell 요소를 사용하였다. 횡방향 실험부재는 속채움 콘크리트가 있는 경우에 완전합성과 비합성 모델로 나누어 해석을 수행하였다. 각각의 Case에 대한 특징은 다음과 같다.

- ① 속채움 콘크리트와 강관은 완전 합성 거동하는 것으로 가정한 해석모델 (PHBOND - Fig. 11)
- ② 속채움 콘크리트와 강관은 비합성 거동하는 것으로 가정한 해석모델 (PHUNB - Fig. 11)

이들 해석모델의 해석결과는 각각의 실험부재 거동과 비교하였다.

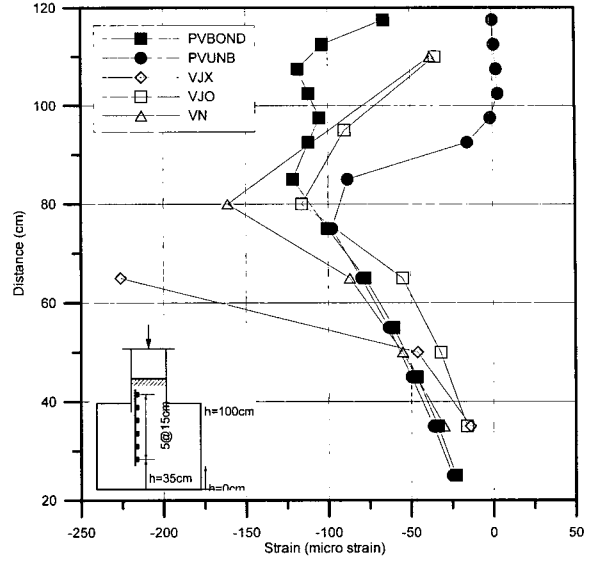


Fig. 13 Experimental and FEM results of vertical reinforcement strain distribution

3. 재하실험과 수치해석의 결과 비교

3.1 연직재하 실험 결과 비교

Fig. 12와 13은 설계 이론상 말뚝과 확대기초의 결합 작용 역할을 하는 보강철근으로 형성되는 가상철근 콘크리트 기둥의 연직 보강철근의 변형을 변화에 대한 실험값과 연직하중 1,000 kN에 대한 각 유한요소해석 모델에 의한 결과를 비교한 것이다.

Fig. 12에서는 강관과 기초 콘크리트 연결부위로 접근함에 따라 비교적 급격한 압축 변형률 증가 형상을 보이는 PFACE에 비하여 PFRING과 PVBOND, PVUNB 모델에서는 강관단부근처에서 압축 변형률이 급격하게 줄어들고 특히 비합성 부재인 PVUNB 모델의 경우는 보강철근에 매우 작은 인장변형이 발생하는 결과를 보이고 있다. 유한요소 해석과 실험의 결과비교는 Fig. 13에 나타내었다. 미끌림 방지턱이 있는 VJO부재와 VN부재의 거동은 대체로 완전 합성부재인 PVBOND와 비합성 부재인 PVUNB 모델에 의한 해석 결과 사이에 존재하는 양상을 보이며 합성 작용의 영향으로 동일한 변화 경향을 보이는 것으로 확인되었다. Fig. 13에서 말뚝머리 단부근처의 연직 보강철근에서 큰 변형률이 나타났으며 이는 보강철근에 의해 가상의 철근콘크리트 기둥이 형성되고 있음을 확인 할 수 있다. 이에 반하여 미끌림 방지턱이 없는 비합성 실험체인 VJX는 연직철근의 변형을 분포가 합성거동을 보이는 다른 실험체에 비해 완전히 다른 경향을 보이고 있다.

Fig. 14는 강관에 재하하는 하중에 의하여 콘크리트 내부의 연직방향 변형률의 횡방향 분포에 대해 각 모델의

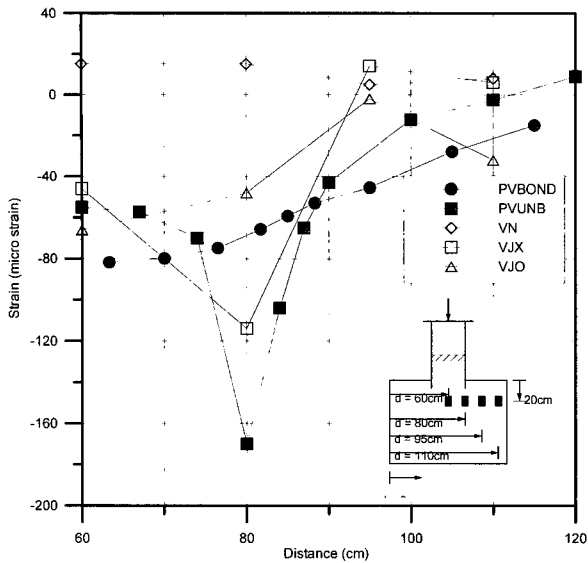


Fig. 14 Strain (ϵ_{zz}) distribution of experimental and FEM analysis

해석과 실험 결과를 비교하였다. 콘크리트 확대기초내에 매입된 콘크리트 변형률 게이지의 값을 표시한 것으로 가로축은 확대기초 실험체 폭 120cm의 중앙으로부터 한 방향으로의 60cm 폭에 설치된 게이지의 위치에 대한 결과 값을 의미한다. 비합성 부재인 PVUNB를 제외하고는 대체로 완만한 횡방향 변형률 분포를 보인다. 해석결과를 실험값과 비교하면 VJO부재와 VN부재는 대체로 완만한 응력분포를 보여서 합성 작용을 고려한 PVBOND모델과 유사하고 실험체 VJX부재는 비합성 모델인 PVUNB와 동일하게 기초내에 매입된 강관 단부 근처에서 응력이 집중됨을 알 수 있다. 상기 결과는 연직하중에 대하여 속채움 콘크리트와 강관의 합성작용에 의한 응력집중 완화 현상을 보여주고 있으며 이는 연직하중의 하중전달 기구를 형성하는 미끌림 방지턱의 역할이 합성작용 효과의 발휘여부에 직접적인 연관이 있음을 나타낸다.

3.2 수평재하 실험결과의 비교

수평재하 실험에 대한 가상 철근 콘크리트 기둥을 형성하는 연직 보강철근의 인장변형 실험 결과는 Fig. 15에 수록하였다.

속채움 콘크리트가 있는 HJO, HN부재의 연직 철근의 인장변형은 수치해석 PHBOND모델에 비하여 상이한 결과를 나타내고 있다. 이는 PHBOND모델은 이론적으로 강관과 말뚝을 완전부착으로 가정하였으므로 인장 축 콘크리트도 하중저항을 할 수 있는 것으로 가정되기 때문이다. Fig. 15에서 콘크리트 구체내에 근입된 말뚝머리 단부 근처의 변형률 게이지에서 변형률이 크게 나타난다. 이는 수평력에 의해 말뚝머리 단부 근처에 발생하는 모멘트에

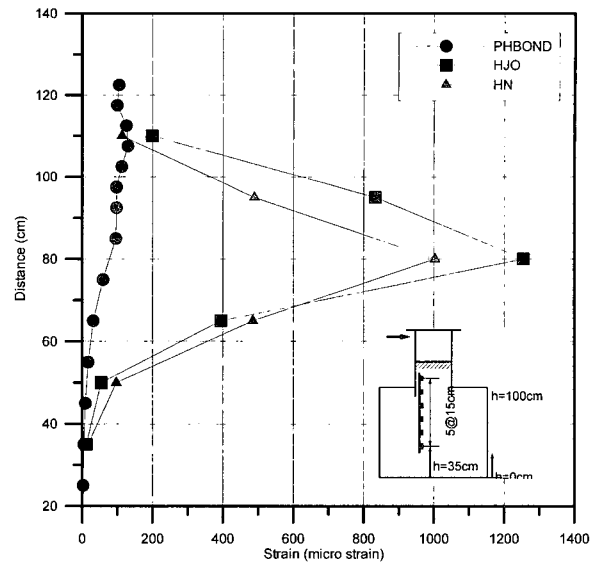


Fig. 15 Experimental and FEM results of tensile reinforcement ($P=100kN$)

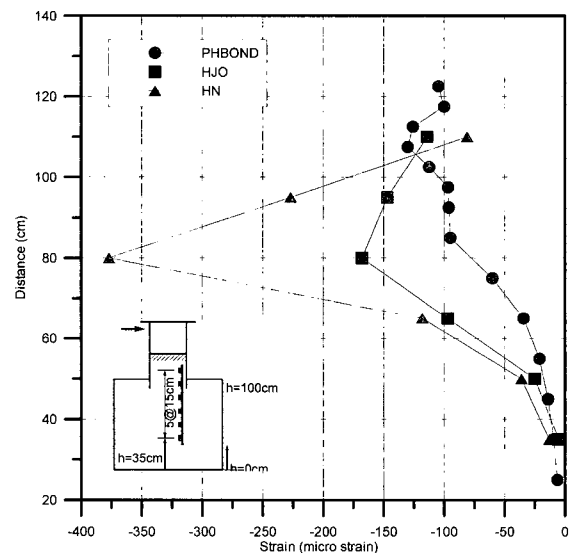


Fig. 16 Experimental and FEM results of compression reinforcement ($P=100kN$)

의해 콘크리트 구체에 균열이 발생하여 콘크리트가 더 이상 하중을 부담하지 못하여 연직철근이 모멘트 하중을 받기 때문이다. 즉, 철근에 발생한 변형률의 위치 및 크기를 고려할 때 말뚝머리 단부 근처의 철근 위치의 내부 콘크리트는 비교적 작은 하중 단계인 $P=100kN$ 에서도 내부 균열이 발생한 것으로 판단할 수 있다. 따라서 특히 지진시에 크게 발생하는 수평하중과 모멘트에 저항하기 위해서는 반드시 연직보강철근이 필요하며 이는 또한 허용응력 설계법에서 적용하는 가상의 철근콘크리트 기둥의 적용이 타당함을 보여준다.

가상철근 콘크리트 기둥의 연직 보강 철근의 압축 쪽에 발생하는 변형률은 Fig. 16과 같으며 인장철근과 동일한

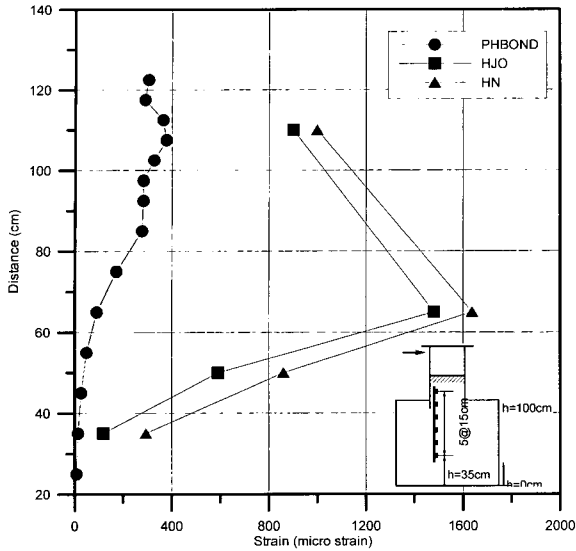


Fig. 17 Experimental and FEM results of tensile reinforcement (P=290kN)

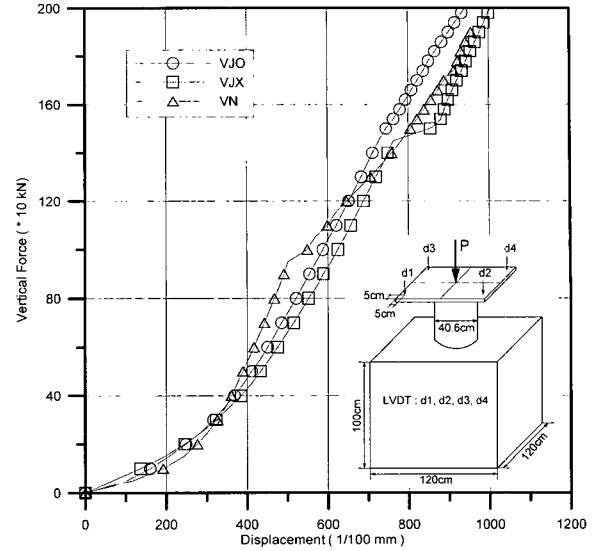


Fig. 19 Vertical load versus displacements

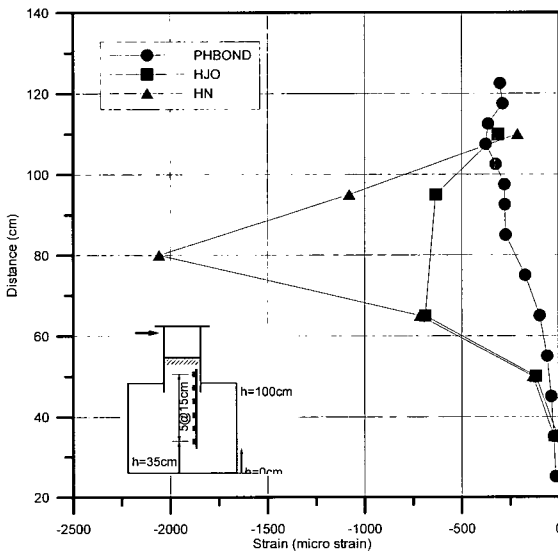


Fig. 18 Experimental and FEM results of compression reinforcement (P=290kN)

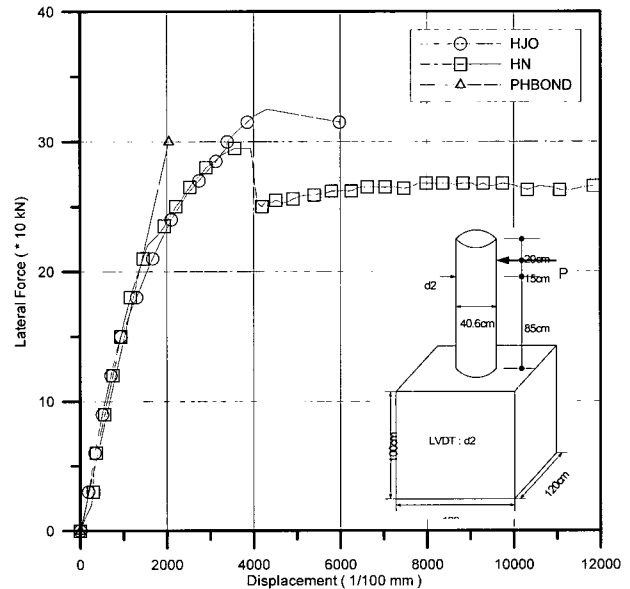


Fig. 20 Lateral load versus displacements

경향을 보이고 있으나 값의 크기에는 현격한 차이가 존재함을 보여준다. 그 원인으로는 해석모델의 경우 콘크리트 균열의 발생에 따른 해석모델에 포함된 철근의 인장력 부담증가를 고려하지 않았기 때문이다. 하중이 증가된 경우 (P=200, 290kN)에 대하여도 경향 변화를 고찰하였으나 경향은 변화 없이 동일하였으며 실험최대 재하 하중인 P=290kN에 대한 결과를 Fig. 17, 18에 도시하였다.

4. 하중 변위 실험결과

4.1 연직재하 하중 변위 결과

연직재하 시험의 하중은 가력 능력을 고려하여 2,000kN

까지 재하를 실시하였으며 이에 대한 하중-변위 실험 결과는 Fig. 19에 나타내었으며 변위값은 변위계(d1, d2, d3, d4)의 평균값이다. VJO부재의 경우 하중 1,500kN 근처에서 순간적인 처짐이 증가가 발생하였으며 이때 실험체에서는 팽음이 발생하였다. 이는 강관 내부에 설치된 미끌림 방지턱의 용접부에 국부응력 집중으로 인한 파단 발생이 그 원인으로 판단되며 파단후 재하하중에 대하여 특별한 강성 저하는 관측되지 않았다. 이와 유사하게 볼트 조립형 VN부재의 경우 1,000kN 근처에서 처짐의 증가가 관찰되었고 그 이후의 거동은 급격한 강성저하가 관찰되지 않았다. 원인으로는 2단의 걸림턱으로 사용된 L자형 걸림턱은 1단의 미끌림 방지턱과는 달리 돌출된 부분의 투영

면적이 크게 형성되어 있어 이 부분에 집중적으로 발생하는 변형에 의한 것으로 판단되나 궁극적으로 커다란 강성 변화는 유발되지 않았다.

4.2 수평재하 하중-변위 결과

수평재하 실험에 대한 하중-변위 실험 결과는 Fig. 20과 같으며 변위계의 위치는 콘크리트 구체 상단에서 85cm 위치에 설치하였다. 수평하중에 대한 최대저항력은 도로교 설계기준에 제시된 용접식 미끌림 방지턱을 이용한 콘크리트 속채움 방법이 다소 큰 값의 결과를 보이고 있으나 부재의 파괴형태 측면에서는 조립형 부재가 매우 탁월한 극한 변형능력을 가지고 있음을 보여주고 있다. Fig. 20의 하중-변위 곡선 비교에서 보는 바와 같이 부재 전체의 강성에 있어서는 강관과 콘크리트의 완전합성을 고려한 선형구간까지의 유한요소해석이 실험결과와 큰 차이가 없다. 또한, Fig. 20에서 HJO 부재는 극한하중이후에 미끌림방지턱의 용접부 파괴와 함께 취성파괴의 양상을 보였으며 HN 부재는 극한하중이후에 2단의 미끌림방지턱이 연성능력을 발휘하여 부재의 연성파괴를 유도함을 볼 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 강관 말뚝 기초의 두부 연결방법으로 국내 도로교 설계기준에서 제시하는 B-type으로 강관 내부에 2단 미끌림 방지턱을 용접하여 설치한 후 강관 내부를 콘크리트를 이용하여 속채움하는 방법에 있어서 미끌림 방지턱의 구조적 역할 및 설계 개념상 가상의 철근 콘크리트 기둥의 역할에 대한 실험을 통한 확인과 관련된 연구를 수행하였다. 동시에 시공성을 개선하기 위한 방안으로 설계기준에서 제시한 2단의 미끌림 방지턱을 강재 절편과 I형 걸림턱을 고장력 볼트로 조립한 실험체에 대한 성능을 비교 분석하였다. 실험하중으로는 말뚝의 대표적인 하중인 연직 및 수평 하중에 대한 실험을 수행하였으며 상기 시험 조건에 대한 3차원 유한요소해석을 통하여 실험 결과를 비교 분석하였다. 이에 대한 결과는 다음과 같다.

- 1) 연직 하중에 대하여 하중 변위곡선을 감안한 경우 미끌림 방지턱은 하중전달 기구로서 매우 중요한 역할을 수행하는 구조 요소로 매우 높은 국부응력이 작용하는 것이 관찰되었으나 미끌림 방지턱의 형상 차이에 대한 현격한 강성의 변화는 없는 것으로 판단된다. 즉, 강관 내부에 적정 강도의 걸림턱 효과를 발휘하는 장치는 하중전달을 위하여 필수적임이 확인되었다.
- 2) 미끌림 방지턱과 같은 장치는 강관과 속채움 콘크리트와의 완벽하지는 않지만 일정 수준의 합성 작용에 의한 하중 저항능력을 가지고 있음을 확인하였으며 이로 인한 콘크리트 확대기초의 완만한 지압응력 분포를 나

타나게 하였다.

- 3) 강관말뚝 연결부 설계시 적용하는 가상 철근 콘크리트 기둥의 적용 이론 실제 거동을 반영한 것으로 확인되었다.
- 4) 현재 강관 말뚝 두부보강 설계시 사용되고 있는 허용 응력설계법은 그 적용성에는 문제점이 없는 것으로 판단되나 보다 합리적인 강도설계법으로 설계기준을 개선하기 위한 연구가 필요한 것으로 사료되며 동시에 지진하중등에 대한 보다 정확한 거동에 대한 이해를 위하여 반복하중에 대한 실험적 연구가 반드시 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부, 도로교 표준시방서, 1996.
2. 건설교통부, 콘크리트 표준시방서, 1996.
3. 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조 설계기준, 1999.
4. 건설교통부, 도로교 설계기준, 2000.
5. 서울대학교 지진공학 연구센터, “강관말뚝 합성형 두부보강방법의 구조안정성 검증”, 2001.
6. 박영호, 김성환, 장용채, “볼트식 강관말뚝 머리보강 방법”, 한국지반공학회지, 제14권 제6호, 1998, pp.57~71.
7. 유성근, 박종면, “PC Beam을 이용한 일체식 교대 교량의 설계 및 시공”, 콘크리트학회지, 제10권, 제3호, 1998, pp.53~61.
8. 건설도서 편집부 역, “말뚝기초의 설계”, 건설도서, 1996.
9. Tomlinson M.J., “Pile Design and Construction Practice,” E&FN SPON, 1994.
10. K.J. BATHE, “Finite Element Procedures in Engineering Analysis,” Prentice Hall, 1996.
11. 大志万, 和也, 福井次郎, “新しい鋼管杭の杭頭結合方法”, 土木技術資料, Vol.27-1, 1985, pp.33~39.
12. 福井次郎, 塩井辛武, “くい頭結合部の耐力に関する模型實驗”, 第36回 土木學會年次學術講演會, III 307, 1981. pp.612~613.
13. 福井次郎, 淺沼秀弥, 山本洋司, “水平力に對するい頭結合部の耐力に関する模型實驗”, 第38回 土木學會年次學術講演會, III-309, 1983, pp.617~618.
14. 木村嘉富, 大越盛幸, 阪野彰, 福井次郎, “杭とアーチングの結合部の耐力・變形性能に関する載荷試驗”, 土木技術資料, Vol. 41-2, 1999, pp.62~67.
15. 淺沼秀弥, 山本洋司, 吉田直, “リブで補強した杭頭コンクリートの押抜き實驗”, 第38回 土木學會年次學術講演會, III-313, 1983, pp.625~626.
16. 大志万, 和也, 佐藤辛男, “杭基礎とアーチング結合部の設計”, 基礎工, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 11月, 1985, pp.106~112.

요 약

최근 말뚝기초 공법으로서 강관말뚝의 활용이 토목 및 건축 분야에서 증대됨에 따라 이종의 재질을 가진 강관 말뚝과 콘크리트 확대 기초의 연결방법에 대한 기술개발 및 실제거동 파악에 대한 관심이 매우 높아지고 있다. 연결부에 대한 국내 시방서는 두 가지(A, B-type) 연결방법을 제시하고 있지만 실제적으로는 B-type 방법이 주로 활용되고 있는 상황이다. 본 논문에서는 강관 말뚝의 B-type 연결방법의 구조거동을 파악하기 위하여 말뚝에 작용하는 대표적인 하중인 연직하중에 대하여 3종류와 수평 하중에 대하여 두 종류의 실험체에 대한 재하시험을 실시하였다. 또한 재하시험 결과값에 대한 비교 분석을 위하여 3차원 유한 요소해석을 수행하였다. 실험과 수치해석 결과를 비교 분석한 바 현재 강관 말뚝 연결부의 설계법으로 적용되고 있는 가상 철근 콘크리트 기둥의 거동을 확인하였다. 또한 콘크리트 확대기초에 작용하는 하중을 강관으로 전달하기 위하여 사용되는 미끌림 방지턱의 역할과 이러한 방지턱이 강관과 콘크리트의 합성거동에 미치는 영향을 확인하였다. 본 연구를 통하여 향후 합리적인 강관 말뚝 연결부에 대한 설계 방법 및 기준을 정립함에 있어 기초 연구자료와 강관 말뚝 연결부의 구조거동을 파악하기 위한 실험방법을 제시하였다.

핵심용어 : 강관말뚝, 두부연결부, 미끌림 방지턱, 가상철근 콘크리트 기둥, 유한요소해석, 합성작용
