

퍼포본드로 보강된 강관말뚝머리의 압발저항성능 평가

The Push-out Resistance Evaluation of Steel Pipe Cap with Perfobond Rib Shear Connector

구 현 본* 김 영 호** 강 재 윤***
Koo, Hyun Bon Kim, Young Ho Kang, Jae Yoon

ABSTRACT

The conventional pile cap reinforcement systems regulated in the design specifications have some restrictions in design and construction such as disposition of reinforcing bars, insurance of anchoring length of reinforcements and requirement of shear key. This study suggests a new type of steel pipe pile cap system with perforated rib shear connector as an alternative to the conventional pile cap system for the improvement in structural performance and simplification of construction. And, experimental results of push-out are scribed for the evaluation of structural performance of the new pile cap system and it was compared to the structural behavior of conventional pile cap system.

요 약

본 연구에서는 현행 설계기준상의 강관말뚝머리 연결부의 결합방법이 갖고 있는 철근 배근 및 정착길이 확보, 전단키 용접 등의 문제점을 개선하기 위해 퍼포본드 전단연결재(Perforated Rib Shear Connector)를 활용한 강관말뚝머리 보강방법을 고안하고 이에 대한 압발저항성능을 실험적으로 검증하였다. 그 결과 퍼포본드를 활용한 보강방법은 연직하중에 대해 기존 방법을 대체할만한 동등 수준 이상의 구조 안전성은 물론 시공성 및 경제성 측면에서도 우수한 성능을 갖는 구조 시스템인 것으로 나타남에 따라 상부구조의 작용하중을 강관말뚝으로 전달하기 위한 효율적인 강관말뚝머리 연결부 보강방법의 하나로 자리매김할 것으로 사료된다.

* 정회원, 한국건설기술연구원, 구조시스템연구실, 연구원

** 정회원, 세진특허법률사무소, 이사

*** 정회원, 한국건설기술연구원, 구조시스템연구실, 선임연구원

1. 서론

확대기초와 말뚝기초의 연결부인 말뚝머리부(Pile Cap)는 그 결합방법에 따라 작용력과 구조적 거동 특성이 변화하는 것으로 알려져 있으며, 이에 따라 말뚝머리부의 결합 및 보강방법에 관한 다양한 연구가 활발히 수행되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 시공성과 품질 확보 측면에서 다양한 문제점을 노출하고 있는 기존의 말뚝머리 보강방법을 개선하고자 퍼포본드를 활용한 강관말뚝머리 보강공법을 고안하였으며, 해당 공법의 완성과 합리적인 설계를 위해 다양한 영향인자에 대한 퍼포본드 보강 말뚝머리 연결부의 압발저항성능을 실험적으로 평가하였다.

2. 압발저항성능 평가 시험체의 상세 및 실험방법

퍼포본드(Perfobond Rib Shear Connector)는 강합성 거더교에 적용하는 스티드의 피로 문제를 해결하기 위해 제안된 강재 스트립형 구조 요소(Perforated Flat Bar)로서, 삽입강관에 가공·배치된 홀에서의 다웰 작용(Dowel Action)으로 작용하중에 의한 수평전단력 및 수직분리력에 저항 성능이 발현됨에 따라 주로 이종재료 간의 합성연결재로 활용되고 있는 구조 요소이다. 본 연구에서는 이러한 퍼포본드로 보강된 말뚝머리부의 압발저항성능을 평가하기 위하여 그림 1과 표 1에서 보는 바와 같이 콘크리트 충전깊이 및 전단기 개수에 따른 총 6개의 시험체를 제작하였으며, 하중재하는 10,000kN 만능시험기를 이용하여 하중속도 0.5~1.0mm/min의 변위제어(Displacement Control) 방식으로 수행하였다.

표 1 연직재하 시험체 상세

시험체명	PPC-NR10-SK	PPC-SB10-SK	PPC-PO05-NL	PPC-PO05-L3	PPC-PO10-L3	PPC-PO10-L6
보강방법	무보강	수직철근	퍼포본드			
충전깊이	400mm(=1.0D)	500mm(≥1.0D)	200mm(=0.5D)		400mm(=1.0D)	
L형강 개수	-	-	0 EA	3 EA	6 EA	

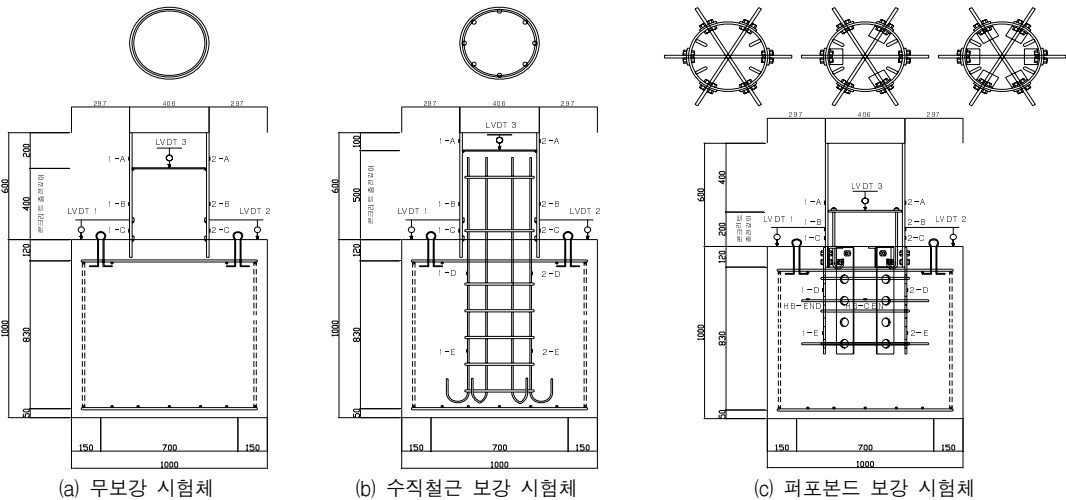


그림 1 연직재하 시험체의 시험체 제원 및 측정장치 설치 위치

3. 퍼포본드로 보강된 강관말뚝머리의 압발저항성능

모든 연직재하 시험체는 강관과 콘크리트의 계면 파괴 이후, 콘크리트 블럭 상면에 매입된 강관말뚝을 중심으로 하는 방사형 균열이 발생하였으며(그림 2(a)), 이러한 균열은 지속적인 하중의 증가와 함께 콘크리트 블럭 측면으로 진전되는 양상을 보였다(그림 2(b)). 본 연구에서는 기존 연구와 달리

연직하중에 의해 콘크리트 확대기초의 편칭전단파괴가 유도될 수 있도록 콘크리트 블록 하부에 8각형 형태의 지지판을 배치하였으며, 이에 따라 모든 시험체의 최종파괴는 실험변수와 상관없이 콘크리트 블록 측면 하부 콘크리트의 박리와 함께 8각형 형태의 편칭전단파괴가 발생하였다(그림 2(c)).

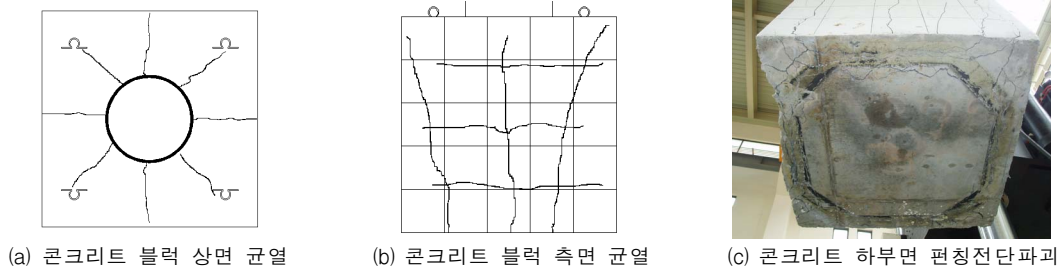


그림 2 연직재하 시험체의 균열발생 양상 및 최종파괴모드

(1) 강관말뚝머리 보강방법에 따른 압발저항성능의 차이

강관말뚝머리 보강방법에 따른 압발저항성능의 차이를 살펴본 결과, 그림 3(a)에서 보는 바와 같이, 선단지지력만이 작용하는 무보강 시험체에 비해 이형철근의 보강효과는 약 7%(PPC-SB10-SK), 퍼포본드의 보강효과는 약 7~9%(PPC-PO05 계열)인 것으로 나타났으며, 이에 따라 퍼포본드는 시방서에서 제시하고 있는 수직철근의 보강 효과에 상응하는 성능을 발휘하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 시험체별 거동 특성을 살펴본 결과, 모든 시험체의 강성은 유사한 것으로 나타났으나, 최대하중 이후의 연성 발휘 능력은 퍼포본드로 보강된 시험체(PPC-PO05 계열)가 무보강 시험체(PPC-NR10-SK) 및 이형철근으로 수직보강된 시험체(PPC-SB10-SK)에 비해 상대적으로 우수한 것으로 나타났다.

(2) 강관내 콘크리트 충전깊이에 따른 압발저항성능의 차이

퍼포본드로 보강된 시험체의 콘크리트 충전깊이에 따른 압발저항성능의 차이를 살펴보면, 그림 3(a)에서 보는 바와 같이, 퍼포본드로 보강된 시험체의 경우 콘크리트 충전깊이가 강관 직경의 절반(0.5D=200mm)임에도 불구하고, 현행 시방서 규정에 따라 콘크리트 충전깊이가 강관 직경 이상(500mm)이고 이형철근으로 수직보강된 시험체(PPC-SB10-SK)와 동등한 수준 이상의 압발저항성능을 발휘하는 것으로 나타났다. 그러나 그림 3(b)에서 보는 바와 같이, 콘크리트 충전깊이가 강관 직경과 동일(1.0D=400mm)한 시험체(PPC-PO10-LX 계열)의 압발저항성능은 콘크리트 충전깊이가 강관 직경의 절반(0.5D=200mm)인 시험체(PPC-PO05-L3)에 비해 오히려 약 5~12% 정도 감소하는 경향을 보였다. 이는 강관과 콘크리트의 부착 파괴 이후 강관 선단과 충전 단면에 의해 지지하는 시험체가 충전깊이가 깊을수록 충전단면의 강성이 증가하여 상대적으로 하중분담율이 커지기 때문인 것으로 사료된다.

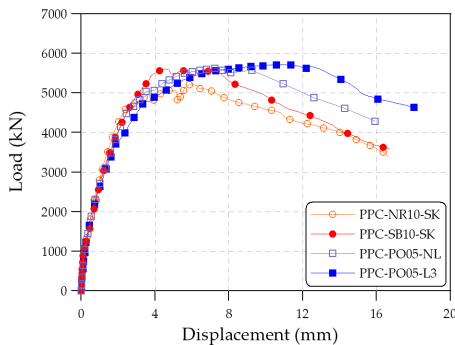
(3) 전단키에 따른 압발저항성능의 차이

퍼포본드로 보강된 시험체의 전단키에 따른 압발저항성능의 차이를 살펴보면, 그림 3(a)에서 보는 바와 같이, 퍼포본드로 보강된 시험체는 전단키(L형강)를 설치하지 않은 경우(PPC-PO05-NL)에도 시방서 방법으로 보강된 시험체(PPC-SB10-SK)와 동등한 수준의 저항성능을 갖는 것으로 나타났으며, 이는 강관에 고정 설치된 퍼포본드가 강관말뚝과 확대기초 간의 하중전달매체의 역할 뿐만 아니라 강관과 콘크리트 간의 합성을 유도하는 전단키의 역할도 동시에 수행함에 따른 결과로 사료된다. 한편 퍼포본드로 보강된 시험체의 전단키 설치 개수에 따른 압발저항성능의 차이를 살펴본 결과, L형강을 미설치한 시험체(PPC-PO05-NL)와 3개의 L형강을 설치한 시험체(PPC-PO05-L3)의 압발저항성능은

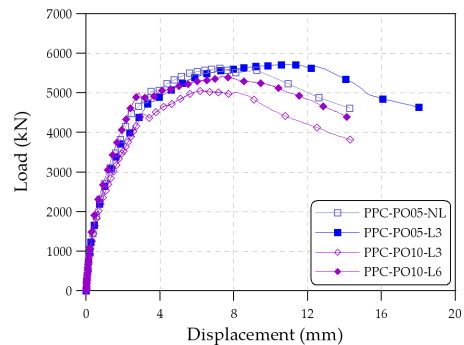
약 2% 미만의 미소한 차이를 보이며 거의 동일한 것으로 나타난데 반해, 6개의 L형강을 설치한 시험체(PPC-PO10-L6)의 압발저항성능은 3개의 L형강을 설치한 시험체(PPC-PO10-L3)에 비해 약 7% 정도의 차이를 보이며 저항성능의 증가폭이 커지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 L형강 설치 개수에 따른 단면 폐색 효과(L형강의 구속으로 인해 하중이 강관 선단부가 아닌 강관 투영 단면에 상응하는 분포하중으로 전달되는 효과)의 차이에 기인한 것으로 사료된다.

표 2 연직재 하실험 결과

시험체명	균열하중(kN)			최대하중(kN)	최대하중에서의 변위(mm)			최종파괴모드	
	측면중앙 수직균열	측면하부 수직균열	측면 수평균열		LVDT 1	LVDT 2	평균	콘크리트 블럭박리	콘크리트 블럭편칭
PPC-NR10-SK	2521	4591	5022	5234	5.08	6.98	6.03	O	O
PPC-SB10-SK	5582	4993	-	5611	4.79	4.36	4.58	O	O
PPC-PO05-NL	3553	4551	5019	5627	7.80	6.98	7.39	O	O
PPC-PO05-L3	3795	4794	5614	5719	10.07	11.17	10.62	O	O
PPC-PO10-L3	3510	4502	4715	5061	6.37	6.15	6.26	O	O
PPC-PO10-L6	4135	4995	5088	5421	8.61	6.36	7.49	O	O



(a) 강관말뚝머리 보강방법별 압발저항성능



(b) 전단키 및 충전깊이별 압발저항성능

그림 3 퍼포본드로 보강된 강관말뚝머리의 압발저항성능 평가 결과

4. 결론

본 연구에서는 퍼포본드를 활용한 강관말뚝머리 보강방법(퍼포본드 및 L형강 설치)의 압발저항성능과 구조적 거동 특성을 실험적으로 규명하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) 퍼포본드를 활용한 강관말뚝머리 보강방법은 연직하중에 대해 현행 시방서 방법을 대체할 만한 동등 이상의 저항성능과 연성을 갖는 것으로 나타났으며, 매입된 퍼포본드 역시 강관말뚝과 확대기초 간의 하중전달매체로서의 역할 뿐만 아니라 강관과 콘크리트의 합성을 유도하는 전단키의 역할도 동시에 수행함에 따라 기존 시방서 방법의 수직철근을 대체할만한 우수한 구조 요소인 것으로 나타났다.

2) 퍼포본드를 활용한 강관말뚝머리 보강방법은 충전단면의 강성 확보에 필요한 만큼의 콘크리트 충전깊이가 요구됨에 따라 수직보강철근의 정착깊이 확보를 위해 추가 깊이가 요구되는 시방서 방법에 비해 경제적으로 우수한 구조 시스템인 것으로 사료된다.

3) 오히려 현행 시방서 방법 적용시 시공저하 원인으로 지적되어온 전단키 용접 및 수직보강철근의 배근 작업 문제를 퍼포본드와 L형강을 고장력 볼트를 이용해 간단히 강관에 정착하는 상세를 통해 해결함으로써 시공성 측면에서도 우수한 구조 시스템인 것으로 사료된다.