

새로운 강관말뚝 머리 보강 공법 개발

A New Way of Connecting Method Between Steel Pipe Pile and Concrete Footing

박영호¹⁾, Park, Young-Ho, 김낙영²⁾, Kim Nak-Young, 박종면³⁾, Park Jong-Myen, 유성근⁴⁾, You Sung-Kun, 김영호⁵⁾, Kim Young-Ho

¹⁾ 한국도로공사 도로연구소 지반연구실 수석연구원, Senior Researcher, Geotechnical Div. of HRC

²⁾ 한국도로공사 도로연구소 지반연구실 책임연구원, Researcher, Geotechnical Div. of HRC

³⁾ 비비엠 코리아(주) 토목연구실장, Research Director of Civil Div. of BBM

⁴⁾ 비비엠 코리아(주) 기술담당 부사장, Vice President of Technical Div. of BBM

⁵⁾ 비비엠 코리아(주) 건축연구실장, Research Director of Architect Div. of BBM

SYNOPSIS : Recent experimental research results of connection method between steel pipe pile and concrete footing are provided based on various experimental observations. It gives a shedding light toward developing better and concrete connection method for steel pipe pile at the field application. In this study, the newly developed method is tested for compressive, pull put and combination load including moment with carefully designed monitoring system. The measured data show that new method have at least equivalent or better load resistant capacities compared with those of specified method in Korea Highway Corporation design code. It is also tried to define and investigate the load transfer mechanism for new method.

Key words : 강관말뚝 머리보강, 확대기초, 볼트식 속채움 방법

1. 서 론

강관말뚝 머리를 확대기초내에 얹게 근입하는 방법(방법 B)은 시공과 하중전이의 이점 때문에 일본과 우리나라에서 널리 시공되고 있다. 이에 대하여 일본은 몇차례의 시방서 개정으로 말뚝머리 연결방법을 표준화하기에 이르렀고, 여러 가지 연결방법에 대하여 실험적 연구와 이론적 연구가 축적되었다.

우리 나라에서도 최근에 말뚝머리 보강설계에 대한 연구의 필요성이 대두되어 몇 가지 경우에 대한 실험이 수행되었다. 그러나 이들 실험부재의 크기와 지지조건이 모두 달라서 실험결과의 객관적인 비교가 어려우며, 경우에 따라서는 지지조건이 명확하지 않는 경우도 있어서 실험결과의 신뢰성을 떨어뜨리고 있다. 또한 이들 실험결과에 대하여 적절한 해석적 연구가 뒷받침되지 않아서 많은 경비를 들인 대형실험의 결과가 사장되고 있다. 이러한 실험적 연구들은 강관말뚝 머리연결부의 거동을 규명하기 위한 일관된 연구목적에 가지고 시도되기보다는 새로운 연결방법에 대한 단순한 검증실험으로 시행되어 말뚝머리 연결부의 거동 메카니즘을 규명하는 데는 미흡한 점이 많다. 따라서 강관말뚝 머리연결부의 파괴 메카니즘과 지진하중 등의 특수하중이 작용할 때의 거동에 대한 이론적인 연구가 필요하며, 이제까지의 실험결과를 정리하여 합리적인 설계기준을 마련하기 위한 노력이 필요하다.

본 연구에서는 이 분야의 연구자료의 축적을 위하여 몇 가지 대표적인 강관 말뚝머리 연결부에 대한 비교실험을 수행하고, 새롭게 개발된 형태의 실험체에 대한 강관내 속채움 콘크리트 압축실험, 연직 재하실험과 횡방향 가력실험을 수행하고, 그 실험결과를 가지고 말뚝머리 부분의 거동을 검증하고자 한다.

2. 말뚝머리 결합방법의 종류와 특징

말뚝머리 결합방법은 크게 나누어 강결합과 현지결합이 있는데 각 결합조건 특징은 표 2.1과 같다. 국내 도로교 설계기준(2001년)에서는 교량구조물의 말뚝머리 결합부는 강결합으로 설계하는 것을 원칙으로 하고 있으므로 본 연구에서는 강결합의 경우만을 다룬다. 강결합의 연결방법은 말뚝의 근입깊이에 따라 다시 방법 A와 방법 B로 나누고 있다. 방법 A에서는 확대기초내의 말뚝근입깊이가 강관말뚝 직경 이상이나 방법 B에서는 말뚝근입깊이가 10cm정도로 매우 얇다. 표 2.2는 이들 결합방법의 특징을 정리한 것이다. 방법 B의 연결방법은 일본과 한국에서 몇 차례의 설계기준의 변경을 거치며, 성능을 높이기 위한 연구자들의 노력으로 연결부의 상세를 달리하는 여러 가지의 방법들이 제안되었다. 이들을 크게 강관머리에 덮개판을 설치하는 방법과 강관내부에 콘크리트를 충전하는 방법으로 나눌 수 있다. 강관머리에 덮개판을 두는 방법(이하 '덮개판 방법'이라 함)은 강관내부에 십(+)자 보강판을 설치하고, 덮개판은 강관에 용접 또는 볼트 이음하는 것으로 이는 다시 연결방법에 따라 1980년 일본도로교 시방서의 '용접식 덮개판방법'(그림 2.1)과 한국도로공사/비비엠코리아(주)(1997년)의 '볼트식 방법'(그림 2.2)이 있다.

표 2.1 강결합과 현지결합의 특징

구 분	강결합	현지결합
수평하중에 의한 말뚝의 지표면 수평변위량	수평변위량이 작고, 확대기초가 회전하지 않는 경우에는 현지결합의 1/2 이다.	수평변위량은 강결합의 경우보다 크다.
수평하중에 의한 말뚝 본체에 발생하는 휨 모멘트	말뚝 본체의 최대 휨모멘트가 크고, 말뚝머리부에서 발생한다. 지중에 매입된 말뚝에서 확대기초가 회전하지 않는 경우에는 현지결합의 1.55배이다.	말뚝 본체의 최대 휨모멘트는 강결합의 경우보다 작고, 비교적 얇은 지중부에서 발생한다.
말뚝기초의 구조특성	현지결합에 비해서 부정정 차수가 크다.	강결합에 비해서 부정정 차수가 작다.
결합방법의 실적	많은 실험·연구에 의해 설계법이 제안되고, 시공실적이 많다.	주로 경험에 의해 설계되고, 교량기초에서의 시공실적이 작다.

표 2.2 강결합방법 중 방법 A, B의 특징

구 분	방법 A	방법 B
말뚝머리 구속휨모멘트에 대한 강결도	강결도는 방법B에 비해서 높고, 인발력이 작용하는 경우와 압입력이 작용하는 경우와의 차이가 거의 없다.	강결도는 방법A에 비해서 낮고, 인발력이 작용하는 경우가 압입력이 작용하는 경우보다도 낮다.
확대기초 하부 주철근	확대기초 하부 주철근이 절단되기 때문에 보강철근이 많이 필요하게 되며, 배근이 복잡하게 된다.	확대기초 하부 주철근이 절단되지 않기 때문에 배근이 단순하게 된다.
확대기초 두께	확대기초의 두께는 말뚝머리부의 편칭전단에 대응하는 두께가 필요하게 되어 방법 B보다 크게 된다.	확대기초의 두께는 말뚝머리부의 편칭전단에 대응하는 두께 및 보강철근을 정착시키는데 요구되는 두께가 필요하게 되며, 방법 A보다 작게 된다.

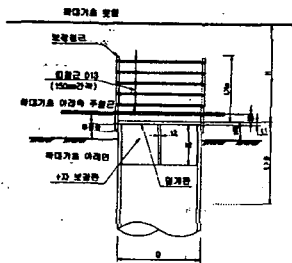


그림 2.1 +자 보강/덮개판을 이용하는 방법 (용접식 덮개판 방법)

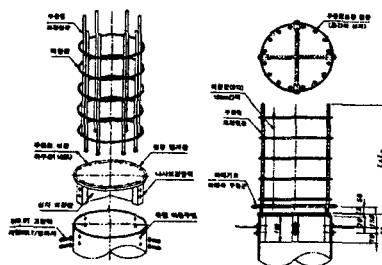


그림 2.2 한국도로공사와 비비엠코리아(주)의 볼트식 방법 (볼트식 덮개판 방법)

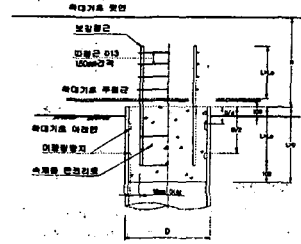


그림 2.3 속채움 콘크리트 방법 (용접식 속채움: 현시방서 채택안)

‘속채움 방법’은 강관내·외부에 미끄럼 방지턱을 두고, 강관 내부에 콘크리트를 충전하는 방법으로 1986년 일본 도로교 시방서에 제시된 바와 같이 미끄럼 방지턱을 용접설치하고, 강관내부까지 보강철근을 배근하는 ‘용접식 속채움 방법’(그림 2.3)이 있다.

이들 대표적인 방법외에도 1987년 일본 후찌다 공업에 의해 제안된 “볼트식 방법”이 있는데, 이는 강관과 +자 보강판을 볼트전단연결하는 점에서 ‘볼트식 덮개판 방법’과 같다.

3. 볼트식 속채움 콘크리트 방법(신개발형)

3.1 볼트식 속채움 콘크리트 방법의 개요

현재 국내에서 활발히 사용되고 있는 방법 B를 대별하면 속채움 콘크리트 방법(도로교시방서 1996, 2001)과 볼트식 머리보강 방법(신기술 지정번호 제134호, 국내, 일본 및 미국 특허등록)이 존재한다. 속채움 콘크리트 방법의 하중 전달 메커니즘은 축방향력에 대해서는 강관과 강관내부에 설치되는 미끄럼 방지턱에 의해 강관을 통해 하부 지반에 전달되고, 말뚝 머리에 작용하는 조합하중(축방향력+휨모멘트)은 보강철근을 이용한 가상의 철근콘크리트 단면이 저항하는 하중 전달 메커니즘을 채택하였다. 볼트식 머리보강방법은 축방향 압축력에 대해서는 강관 머리의 덮개판에 의해 강관을 통해 하부지반에 전달되며, 축방향 인발력에 대해서는 덮개판과 강관의 연결구조인 볼트에 의해 하중을 전달하는 형식이다. 말뚝 머리에 작용하는 조합하중(축방향력+휨모멘트)에 대해서는 속채움 콘크리트 방법과 동일하게 가상의 철근콘크리트 단면이 저항하는 형식이다. 위에서 기술한 두 종류의 말뚝머리보강 B 방법은 구조 역학적 측면에서는 두가지 방법 모두 많은 장점을 가지고 있으나, 속채움 방법은 미끄럼 방지턱과 합판 걸림턱의 용접작업이 필요하고 항타 작업 지역의 지반조건에 따라 강관 항타후 강관내부에 흠 차오름이 발생하는 경우 토사의 제거가 곤란하기 때문에 시공성 및 품질면에서 단점을 가지고 있다. 또한 볼트식 머리 보강방법은 모든 제품이 공장에서 제작되고 현장에서 강관절단, 볼트홀 천공 등을 모두 자동화하여 시공성과 품질관리 측면에서 현재 개발 사용중인 말뚝머리보강 제품중 가장 우수한 것으로 판단되지만 십자보강판의 중량이 무거워 시공성에 대한 지적이 있는 것이 현실이다. 본 연구에서 이러한 속채움 콘크리트 공법에서의 시공성, 품질 등의 단점과 볼트식 머리보강 공법의 시공성의 단점을 보완하여 개선한 말뚝머리 머리보강 공법인 볼트식 속채움 머리보강 공법(이하 “볼트식 속채움 방법”이라 함)에 대한 구조 성능 검증을 위한 실험 결과를 개재하고자 한다. 볼트식 속채움 콘크리트 방법의 하중 전달 메커니즘을 살펴보면 다음과 같다. 말뚝머리부에 작용하는 축방향 압축력은 강관말뚝으로 대부분 전달되고 강관말뚝 내부의 속채움 콘크리트에 작용하는 하중은 강관내부에 설치되어 있는 미끄럼 방지턱을 통하여 강관으로 전달된다. I자형 미끄럼 방지턱은 그 요소는 매우 작으나 강관에 채워진 속채움 콘크리트와 강관을 일체화시키는데 매우 중요한 역할을 수행한다.

4. 실험결과

실험체의 실험종류와 실험개요를 아래 표4.1에 나타내었다.

4.1 압축재하실험의 실험 결과

4.1.1 압축재하실험시편 형태

압축실험에 사용한 4개의 시료는 강관 직경이 $\phi 406.4$ 이고, 강관내부에 속채움 콘크리트를 강관 직경만큼 타설하여 내부 속채움 콘크리트에만 가력 하여 강관 내부의 미끄럼 방지턱의 유·무와 형상에 따른 거동특성을 보기 위한 것이다. 또한 가력 위치에서는 두께 22mm의 원형철판을 가공하여 Point 하중 작용시 하중을 재하 면적에 고르게 분포하도록 하였다.

표 4.1 재하실험의 종류와 각 부재의 특징

실험종류	실험개요	실험부재	실험부재의 특징
압축실험	강관 말뚝 내부의 속채움 콘크리트에 대하여 연직하중 재하	일본식 속채움 부재1 (PJX)	일본식 속채움 방식, 방지턱이 없는 경우
		일본식 속채움 부재2 (PJO)	일본식 속채움 방식, 방지턱이 있는 경우
		볼트식 속채움 부재1 (PNX)	부착력을 고려하지 않은 경우
		볼트식 속채움 부재2 (PNO)	부착력을 고려한 경우
연직 재하실험	강관 말뚝에 대하여 연직하중 재하	일본식 속채움 부재1 (VJX)	일본식 속채움 방식, 미끌림 방지턱이 없는 경우
		일본식 속채움 부재2 (VJO)	일본식 속채움 방식, 미끌림 방지턱이 있는 경우
		볼트식 속채움 부재 (VN)	속채움은 일본식과 동일, 미끄럼 방지턱의 상세도가 다르며 고정 장치가 있다.
수평 재하실험	기초 하면에서 2.5D (강관직경)만큼 떨어진 거리에 수평하중 재하	일본식 속채움 부재2 (HJO)	일본식 속채움방식, 미끌림 방지턱이 있는 경우 (VJO와 같음)
		볼트식 속채움 부재 (HN)	속채움은 일본식과 동일, 미끌림 방지턱의 상세도가 다르며 고정 장치가 있다. (VN과 같음)

4.1.2 거동 및 처짐

일본식 속채움 실험부재중 미끌림 방지턱이 없는(PJX형)부재는 최대하중 27.57tonf에서 강관내부의 속채움 콘크리트가 그림 4.1과 같이 강관내부로 빠지는 현상이 발생하였다. 이것은 강관과 속채움 콘크리트를 연결해 주는 장치가 없이 단순히 콘크리트와 강관의 부착만으로 이루어져 이러한 부착관계가 깨어지는 순간 급격한 변위가 발행하는 것으로 판단되며, 강관과 콘크리트의 합성작용에 의한 거동을 기대하기 어렵다. 미끌림 방지턱이 있는 부재(PJO형)와 볼트식 속채움 부재(PNO, PNX)는 모두 하중증가와 함께 변위가 매우 적으며 직선적으로 증가한다. 또한 최대하중(170tonf 이상) 가력후에도 강관내부 속채움 콘크리트가 빠지는 현상은 발생하지 않았다. 이것으로 미끌림 방지턱이 있는 부재의 경우에는 강관과 콘크리트의 합성작용이 완벽하게 이루어진다고 판단된다. 그림 4.1에 나타난 것처럼 미끌림 방지턱이 없는 경우(PJX)를 제외하고 미끌림 방지턱이 있는 PJO, 강관과 콘크리트의 부착이 고려된 PNO, 부착이 무시된 PNX는 동등의 성능을 가지고 있는 것으로 판단된다.

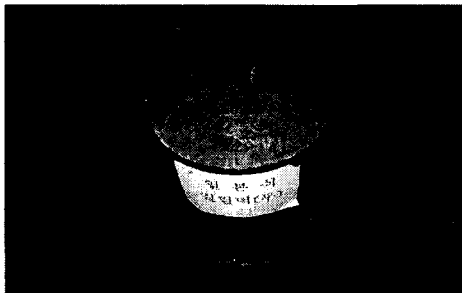


사진 4.1 PJX 부재 재하 후 모습 (속채움 콘크리트가 아래로 빠진모습)

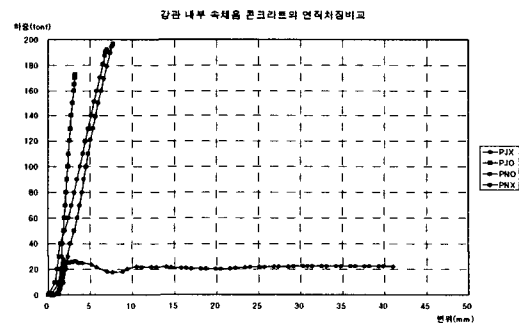


그림 4.1 강관내부 속채움 콘크리트 연직처짐 비교

4.1.3 변형

각 실험체에 대하여 강관외부의 변형을 강관 외측 길이 방향으로 변형값을 정리하여 그림 4.2~4.5에 나타내었다. 아래 그림들에서 나타내는 것과 같이 모든 실험체에서 내부 속채움 콘크리트 아래의 강관에서 최대 변형을 나타내고 있다. 강관내부의 속채움 콘크리트를 가력하였으므로 강관과 내부 속채움 콘크리트의 연결형태에 따라 하중전달이 이루어지고 있는 것으로 판단된다. 그림 4.1에서와 같이 미끌림 방지턱이 없는 PJX형에서는 강관과 속채움 콘크리트의 Bonding 효과가 발휘되는 경우에는 하중 전달이 이루어지는 것으로 보이나, 27tonf 이상에서는 강관과 속채움 콘크리트의 Bonding이 제거되어 하중전달이 더 이상 이루어지지 않는다. 이것은 매우 중요한 사실로서 실제 시공현장에서 이러한 강관과 콘크리

트의 순수 부착효과를 기대하기란 더욱 어려운 일이 될 것이다. 강관과 속채움 콘크리트를 연결해 주는 연결장치(미끌림 방지턱)가 있는 나머지 3가지 실험체는 하중전달이 연결장치(미끌림 방지턱)로 인해 합성이 이루어져 강관과 콘크리트의 부착이 제거된 후에도 하중전달이 이루어지는 것으로 판단된다. 이것은 그림 4.5에서와 같이 강관 내부에 유화제를 도포하여 콘크리트와의 부착력을 완전히 제거된 상태에서 연결장치(미끌림 방지턱)에 의해 하중전달이 이루어지는 것을 보면 알 수 있다.

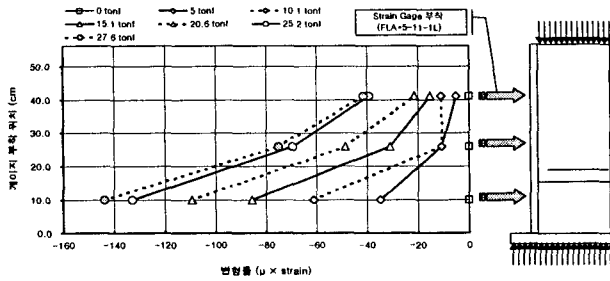


그림 4.2 일본식 미끌림 방지턱이 없는 경우

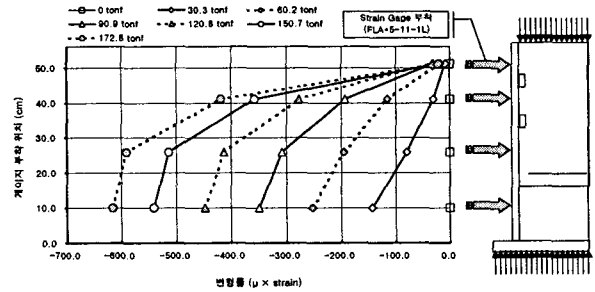


그림 4.3 일본식 미끌림 방지턱이 있는 경우

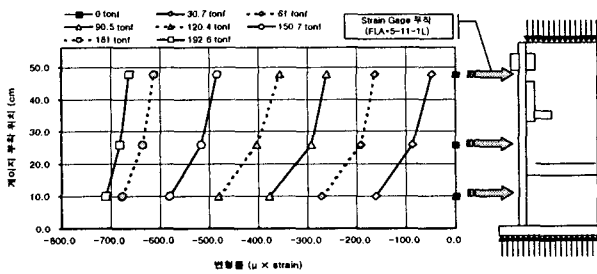


그림 4.4 볼트식 속채움 방법 부착력 고려

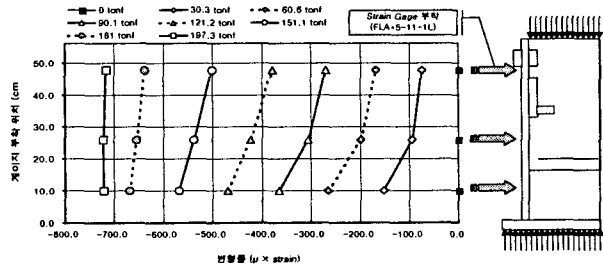


그림 4.5 볼트식 속채움 방법 부착력 미고려

4.2 연직 재하 실험의 실험 결과

4.2.1 시편의 형태와 배근상세

연직실험에 사용된 3개의 시편은 폭 1.2m×1.2m, 높이 1.0m의 콘크리트에 직경 406mm, 두께 t=12mm의 강관을 10cm 근입한 형태이다. 부재 폭은 연단거리가 최소한 강관말뚝의 직경보다는 크게 확보되기 위하여 1.2m로 결정하였으며, 높이는 지압면이 1:2의 경사로 확대될 때 연단에서 경계가 형성되게 한 것으로 지압하중하의 거동을 보기 위한 것이다.

콘크리트 구체에는 상하면에 D25와 D16철근을, 스트럽 D19를 사용하였다. 콘크리트 구체의 철근 배근은 고속도로상의 교량기초의 한 예를 따른 것으로 비교적 일반적인 배근 상태로 한 것이다. 부재 근입깊이 10cm를 제외한 말뚝길이를 50cm로 제한하고, 하중가력에 의한 강관의 국부좌굴을 방지하고자 십자(+) 보강판을 두어 보강하였다.

4.2.2 하중 재하

부재는 사진 4.2와 같은 자체 평형식 재하 Frame에 거치하여 연직하중을 재하하였다. 재하 Frame의 구성이 그림과 같이 복잡하게 된 것은 수평력에 의한 휨모멘트를 모든 지점에서 압축 반력으로 받게 하기 위한 것이다. 부재실험은 300tonf 용량의 유압재로 하중을 단조증가하여 수행하였다. 재하실험에 사용한 유압재과 이에 부착한 Load Cell의 제원은 압축부재 실험시와 동일하다.

4.2.3 거동 및 처짐

모든 부재는 200tonf까지 재하하였다. 사진 4.2는 200tonf 재하후의 모습으로 최초 setting시와 큰 변화가 없다. 단 실험부재 VJO(속채움 방법, 미끄럼턱이 있는 경우)에서는 하중 150tonf에서 팽음이 발생하였다. 이에 따라 순간적인 처짐 증가가 관찰되었으나, 이에 따른 균열등의 다른 변화는 발생하지 않았다. 모든 부재에서 부재측면 하부에서 미세한 수직균열이 발생하였다. 균열의 폭은 0.1mm 길이는 30cm정도로 크지 않았으며, 지점이 끝나는 위치에 다수 발생하였다. 그러나, 균열폭이 크지 않아서 지압거동에 큰 영향은 주지 않은 것으로 판단한다.

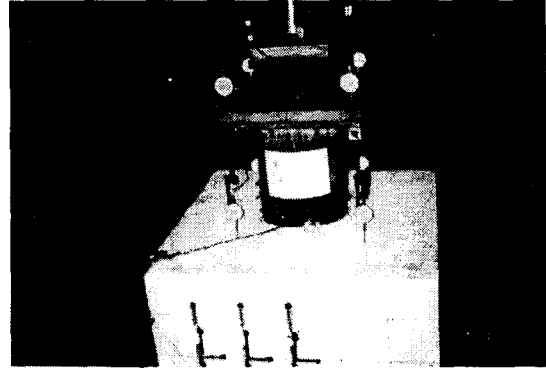


사진 4.2 200tonf 재하 모습

그림 4.14는 각각 부재 VJO, VJX, VN의 강관 상부의 연직처짐을 보인 것이다. 4곳의 처짐은 약간의 편심이 작용하기는 하였으나, 같은 경향을 보이므로 편심에 따른 큰 문제는 없는 것으로 판단할 수 있다. VJO부재는 그림 4.6에 보는 바와 같이 150tonf 근처에서 순간적인 처짐의 증가가 관찰되는데, 이는 내부의 미끄럼 방지턱 근처의 콘크리트가 파괴되어서 발생한 현상인 것으로 생각된다. 그러나 이후에 계속되는 하중의 증가에 대하여 별다른 강성의 저하가 없는데, 이는 미끄럼 방지턱 근처의 콘크리트가 일부가 파괴되어도 강관이 Hoop 인장력으로 구속하므로, 쇄기로 작용하여 강성을 유지하고, 한 곳의 미끄럼 방지턱 근처의 콘크리트 파괴 후 다른 곳의 미끄럼 방지턱이 기능하기 때문인 것으로 생각된다.

미끄럼 방지턱이 없는 부재 VJX에서는 이러한 처짐의 갑작스런 증가는 관찰되지 않았다. 미끄럼 방지턱이 1단만 있고, L형의 강재 걸림턱이 추가로 장치된 VN부재에서는 소리는 나지 않았으나, 약 100tonf 근처에서 강성의 저하가 관찰된다. 이는 내부의 L형 강재가 턱이 낮은 미끄럼 방지턱과는 달리 상대 변위에 대하여 휨변형하기 때문인 것으로 생각된다. 즉, VJO형의 미끄럼 방지턱과 같이 미끄럼 방지턱 주변의 콘크리트가 취성파괴되는 것이 아니라, L형 강재가 같이 휘면서 변형이 증가하는 것으로 추측할 수 있다.

평균 연직 처짐 비교

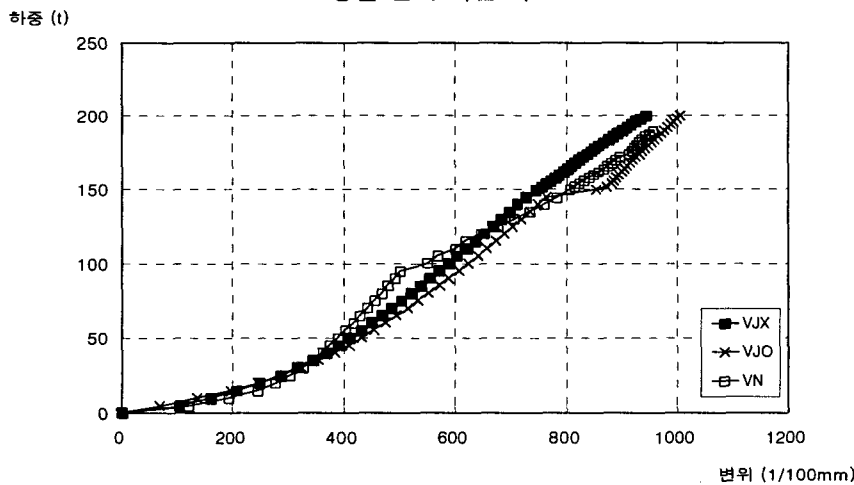


그림 4.6 평균연직처짐 비교

4.2.4 변형

각 부재에 대하여 기초부 콘크리트 내부의 콘크리트의 지압응력에 대하여 비교하였다. 아래의 그림에서 나타났듯이 미끄럼 방지턱이 없는 경우(VJX 부재)에서 변형율이 가장 크게 나타났으며 변동폭도 상당히 크게 나타남을 알 수 있다. 이것은 강관내부의 미끄럼 방지턱이 있는 경우(VJO 부재, VN 부재)는

강관과 콘크리트를 연결해 주는 기계적 장치가 있어 강관과 콘크리트의 합성작용으로 인해 콘크리트의 지압응력 분포가 고르게 나타나는 것을 알 수 있다.

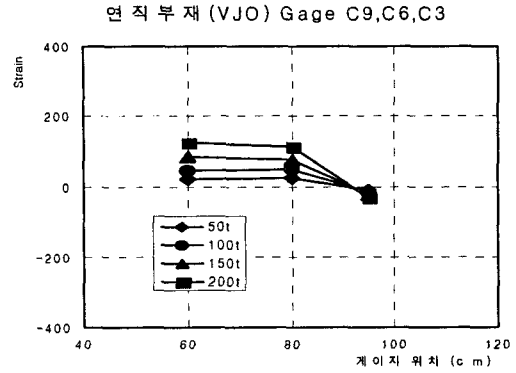
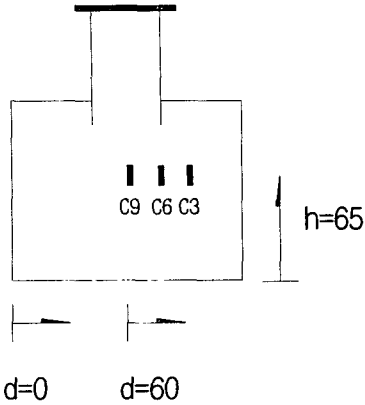


그림 4.7 VJO 부재의 내부 콘크리트 연직변형의 횡방향 분포

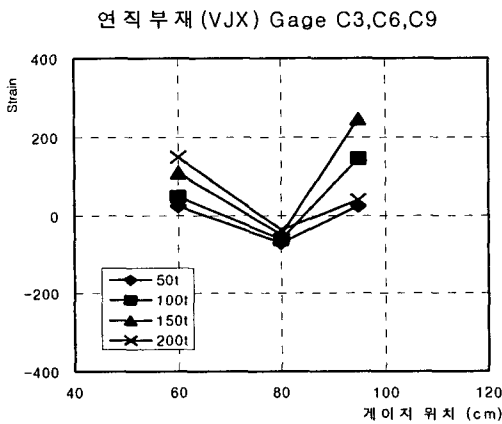


그림 4.8 VJX 부재의 내부 콘크리트 연직변형의 횡방향 분포

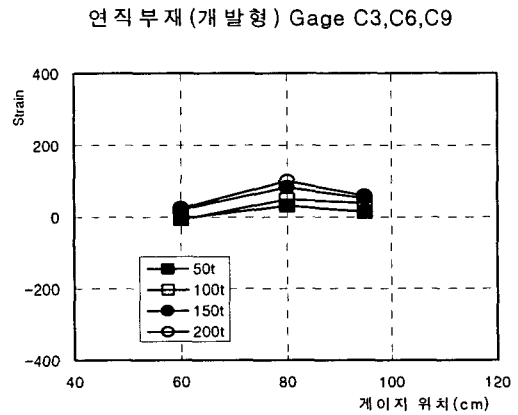


그림 4.9 VN 부재의 내부 콘크리트 연직변형의 횡방향 분포

4.3 수평재하 실험의 실험 결과

4.3.1 거동 및 처짐

수평실험 대상 부재는 일본식 속채움 부재(HJO), 볼트식 속채움 부재(HN)의 순으로 32tonf, 30tonf의 하중에 파괴되었다. 파괴하중의 약 80%정도에서 균열이 관찰되며, 이후 균열의 증가와 함께 처짐도 크게 증가하여 파괴되었다.

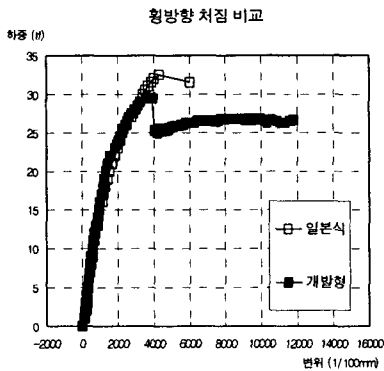
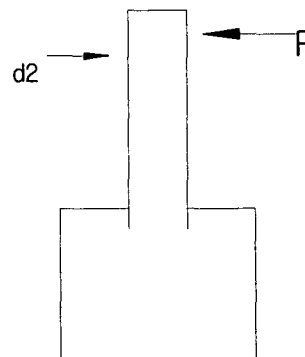


그림 4.10 횡방향 처짐 결과비교



특히 볼트식 속채움 부재(HN)는 파괴 후 하중이 크게 떨어지고, 다시 재하시에 변형은 계속되었으나, 하중의 증가는 매우 작았다. 이것은 볼트식 속채움 부재가 극한하중상태 후의 거동에 있어서도 급격한 파괴를 보이지 않고 극한변형능력이 상당히 우수한 형태라는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 기존 일본식 속채움 콘크리트 방법의 미끌림 방지턱의 성능을 규명하고 이를 이용하여 새롭게 개발한 볼트식 속채움 콘크리트 방법에 접목함으로써 기존 속채움 콘크리트 방법의 문제점인 시공성과 경제적인 문제점을 해결하기 위한 결합식 속채움 콘크리트 방법의 성능확인 작업을 실시하였다.

- 1) 전체적으로 일본식 속채움 콘크리트 방법과 비교해 동일한 성능을 가지고 있는 것으로 판단되나, 일본식 속채움 콘크리트 방법의 현장적용 문제점인 현장용접을 완전히 제거할 수 있는 볼트식 속채움 콘크리트 방법은 기존 속채움 콘크리트 방법에 비해 시공성 측면에서 현장 용접을 배제하고, 모든 제품을 공장에서 제작하여 현장에서 간단하게 조립할 수 있으며, 품질적으로 매우 우수한 제품으로 판단된다.
- 2) 강관내의 속채움 콘크리트에만 하중을 재하 한 속채움 콘크리트 압축실험에서 미끌림 방지턱의 역할은 압축하중 전달 메커니즘에 있어 매우 중요한 역할을 수행하는 것으로 판명되었으며, 이러한 장치로 인해 강관과 속채움 콘크리트의 합성거동에 매우 이로운 장치로 해석된다.
- 3) 확대기초를 모사한 연직재하실험에서는 연직하중에 대하여 국내에서 주로 사용하는 확대기초 속으로 10cm 만을 매입하는 방법 B에서도 강관주면의 지압용력이 고른 분포를 나타냈는데, 이는 확대기초 콘크리트의 내구성을 극대화할 수 있다. 그리고 볼트식 속채움 콘크리트 방법이 다른 속채움 방법보다 우수한 결과를 나타내었다.
- 4) 확대기초를 모사한 수평재하실험에서는 실험체 전체에 작용하는 변형은 거의 유사한 능력을 가지고 있는 것으로 판단되나 볼트식 속채움 방법이 극한하중 작용시, 강관과 확대기초의 접합면의 콘크리트가 균열이 발생된 후에도 설계개념을 만족하는 구조거동을 보이며 구조적으로 안정성을 유지하고 있는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설부(1983), 도로교 표준시방서, 1983
2. 대한토목학회, 도로교표준시방서, 1996
3. 대한건축학회, 건축공사표준시방서, 2000
4. 박영호, 김성환, 장용채(1998), 볼트식 강관말뚝 머리보강 방법, 한국지반공학회지, 제14권, 제6호
5. 장효완, 주성문 공역(1991), 말뚝기초설계편람, 탐구문화사
6. POSCO, 강관말뚝 설계와 시공, 1991
7. 한국건설기술연구원(1988), 말뚝기초의 설계 및 시공관리 개선방안
8. 한국도로교통협회, 도로교 설계기준, 2000
9. 大志万, 和也, 福井次郎(1985), 新くい鋼管杭の杭頭結合方法, 土木技術資料, Vol.27-1
10. 浅間達雄, 足立義雄(1972) くい頭部とアーチングの結合部の設計, 道路, 7月
11. 和田克哉(1994), 土木における杭頭處理の方法について, 基礎工, 7月
12. 木村嘉富, 大越盛辛, 阪野彰, 福井次郎(1999), 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験, 土木技術資料, Vol. 41-2
13. 浅沼秀弥, 山本洋司, 吉田直(1983), 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
14. 鋼管杭の杭頭處理に關する實驗的研究, その1-その5, 日本建築學會大會學術講演梗概集