

# 프리캐스트 바닥판용 클램프 조인트의 정적내하력

Static Strength of Cramp Joint at Precast Highway Deck Slabs

김 윤 철\*

Kim, Yoon-Chil

## Abstract

A new jointing method using steel cramps with a unique configuration was developed for the field joint of precast deck slabs of highway bridges. In this jointing method, the looped distribution bars are connected by the cramps to the main reinforcements. Therefore, the joint can transfer the bending moment and shearing force through the interlocking effect caused by the cramps, and it is both excellent in installation on-site and economical compared with the loop joint currently in use. In order to confirm the bending and shear capacities and to clarify the failure mechanism of the joint, a series of static loading tests were carried out. From the results of these experimental studies, it was clarified that the cramp joint has enough load carrying capacity being equivalent to the loop joint.

## 요 지

도로교 프리캐스트 바닥판의 현장 조인트로써 특수한 구조의 클램프를 이용하여 새로운 형식의 조인트를 개발하였다. 이 클램프 조인트에 의한 방법은 클램프를 이용하여 주철근을 루프 조인트에 연결하는 방법이다. 현재까지 일반적으로 사용되고 있는 루프 조인트와 비교하여 시공성·경제성이 우수하고 클램프의 인터록킹에 의하여 휨모멘트·전단내력에 효과를 나타내었다. 본 논문은 휨 강성 및 전단내력의 실험을 통하여 조인트의 파괴 메커니즘과 다양한 정적 거동의 결과를 규명하고자 일련의 실험을 수행하였다. 이러한 실험 연구의 결과로부터 루프조인트와 동등한 성능을 갖고 있다는 결론을 얻었다.

**Keywords :** Precast slabs, Field joint, Static strength, Cramp joint

**핵심 용어 :** 프리캐스트 바닥판, 현장 조인트, 정적 내하력, 클램프 조인트

\* 정회원, 경주대학교 건축공학과 조교수

E-mail : yckim21c@kju.ac.kr 054-770-5322

•본 논문에 대한 토의를 2006년 10월 31일까지 학회로 보내 주시면 2007년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

최근, 도로교 시공에 있어서 건설비용의 절감과 현장작업의 간소화, 교량구조의 합리화 등의 관점에서부터 프리캐스트 바닥판(이하, “PC 바닥판”함)의 사용이 증가하고 있다. 특히, 2주형교 또는 소수주형교의 연구가 활발해지면서 내구성이 뛰어난 다양한 PC 바닥판의 개발과 편정단계에 의해 파괴된 슬래브 바닥판 보수의 일환으로 PC바닥판의 사용이 증가하고 있다.<sup>(7)</sup> 그러나, PC 바닥판을 이용하여 시공할 경우에는 수송·가설시의 중량이나 치수 등의 제한으로 교축 방향으로 PC 바닥판을 접합하여 연속화 하는 현장 조인트가 반드시 필요하다. 현재 서해대교를 비롯하여 가장 활발히 사용되고 있는 공법으로써는 Fig. 1(a)에 나타낸 것과 같은 RC루프 조인트가 가장 많이 사용되고 있다. 그러나, RC루프 조인트의 루프 철근 내부에 배치되는 주철근의 현장 삽입이 곤란할 뿐만 아니라 PC 바닥판을 설치할 때, 서로 인접하는 PC 바닥판으로부터 배근 되어있는 루프 철근과 거푸집 역할을 하는 돌출부에 의해 시공상에 간섭을 받기 쉽다. 또, 크레인을 이용하여 바로 수직으로 가설하기는 실질적으로 불가능하고, 주형 위에는 전단연결재의 용접으로 간소화 시공에 제한을 받고 있는 등 몇 가지 해결하여야 할 문제점이 있다.

본 연구에서는 이러한 시공상의 문제점을 보완하여 현장에서 크레인 등을 이용하여 수직으로 PC 바닥판의 시공이 가능하게 PC 바닥판 및 현장 조인트 공법으로써 Fig. 1(b)에 나타낸 것과 같은 조인트 구조를 고안하여 현장 시공이 용이하게 하였다. 본 조인트는 갈고리형상의 특수한 클램프를 이용하여 루프 철근과 루프 철근 외측에 배치된 주철근을 연결하여 철근간의 인터록(Interlock)작용으로 배력철근방향의 휨 모멘트와 전단력을 전달시키는 구조이다. 또한 이번 개발에 관련한 시험에서는 조인트부 콘크리트량을 최소화 하기 위해 클램프 조인트의 루프철근 겹침이음길이를 일반적인 루프 조인트 240mm(DIN1045의 규정치,<sup>(8)</sup> D를 상하 철근 간격으로 한다면 2D에 해당 됨)에 대해서 1.5D, 1.0D와 같이 짧은 폭을 변수로 하였다. 또한, 바닥판 하면의 거푸집 역할을 하는 돌출부를 한

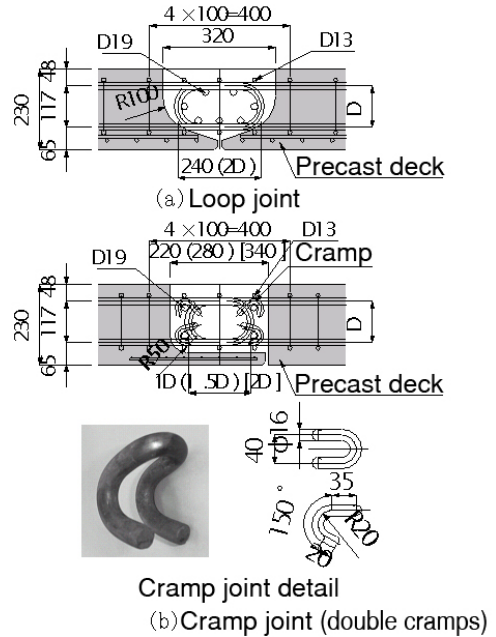


Fig. 1 조인트 구조

쪽 면에서만 제작하여 실제 시공 시 PC 바닥판의 바로 윗쪽에서 수직으로 가설이 가능한 구조를 고려하였다.

일반적으로 콘크리트 바닥판의 피로내구성을 확인하는 방법으로서는 오사카대학교의 Matsui 교수가 개발한 윤하중 주행 시험기에 의한 실물 크기 시험을 실시하는 것이 일본에서는 정례화되어 있고, 한국건설기술 연구원에서도 최근 윤하중 주행 시험기의 개발로 피로 실험이 활발히 진행되고 있다.<sup>(1)~(3)</sup> 그러나, 윤하중 주행 시험에 의한 피로 시험은 공시체 사이즈가 크고, 1개의 바닥판 시험에 장기간을 필요로 하며 많은 비용이 소요되기 때문에 다양한 변수를 고려한 시험에 의해 내하력 특성을 파악하기에는 경제적 또는 시간적으로 곤란하다. 또, PSC 바닥판과 같은 고 내구성 바닥판을 이용하여 윤하중 주행 시험을 실시해도 파괴까지의 재하는 사실상 곤란하고 실제의 내하력이나 파괴특성 등이 평가 되어 있지 않은 것이 현실이다.<sup>(4),(5)</sup> 그래서, 본 연구에서는 우선 보 공시체 조인트부의 내하력을 확인하기 위해, 다양하게 가정한 일련의 실험 연구를 실시하였다.

본문에서는 실험 결과에 대한 정리와 RC루프 조인

트와 비교하여 내구성 면에서의 실패 적용가능성에 대한 검토를 도모하였다. 또한 본 내용의 결과는 참고문헌<sup>(9)</sup>의 데이터를 이용하여 보완하여 정리하였으며, PC 바닥판 조인트의 개발 연구 및 보수공법에 참고가 되기를 바란다.

## 2. 정적 내하력 시험

### 2.1 휨·전단 내하력 시험

조인트부의 휨·전단내하력을 확인하기 위하여 보공시체에 의한 정적재하시험을 실시했다. 본 시험에 이용한 보 공시체는 바닥판 두께 230mm의 실물 크기 바닥판이며 배력 철근 방향으로 철근 4개를 포함한 단면을 모델로 하였다. 지간의 중앙에 조인트를 배치한 휨 시험용 공시체와 전단 스패부에 조인트를 배치한 전단 시험용 공시체의 2종류를 준비 하였다. 전단 시험에 적용한 전단 스패비(a/d)는 스테럽이 없는 RC 보로 전단 인장 파괴를 일으킨다고 가정하여 a/d = 3.33으로 했다. 여기서, 클램프 조인트 구조에 대하여 루프 형태 철근의 겹침이음길이는 조인트부의 콘크리트량을 줄일 수 있는 1.0D로 했다. 또, 루프 조인트(겹침이음길이 2D=240mm)의 공시체도 동시에 제작하여 비교하였다. 공시체의 종류와 명칭은 Table 1에 배근 및 하중재하 위치는 Fig. 2에 나타내었다. 구조재하 프레임, 지점, 재하판 등을 준비하고 유압잭을 이용하여 단조 증가 하중으로 가압하여 재하 하였다. 재하시의 측정 항목은 보의 변형 및 처짐, 철근의 변형률 및 콘크리트 조인트부의 균열, 균열 폭 등이다. 또한 공시체 타설에 이용한 콘크리트 및 철근의 재료 특성은 Table 2와 같다.

휨·전단 시험에 있어서 각공시체의 파괴 하중과 파

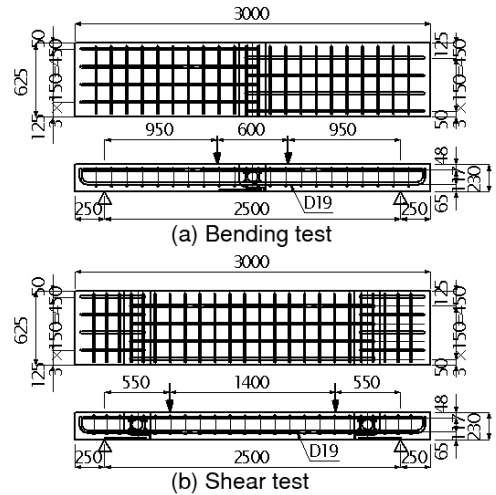


Fig. 2 정적 시험 공시체와 재하위치

괴 위치 및 파괴 양상도 Table 1에 추가하여 나타내었다. 휨 시험에서는 모든 공시체가 조인트부에서 휨 파괴의 양상을 보였기 때문에 클램프 조인트를 이용한 공시체도 루프 조인트 공시체와 거의 동등의 내하력이 있다는 것을 알 수 있었다. 전단 시험에서는 모든 공시체의 일부분에서 휨파괴가 선행하여 균열이 발생하였고, 조인트부는 전혀 균열이 발생하지 않은 것으로 충분한 전단 강도를 가지고 있다는 것을 알았다. 이러한 원인에 대해서는 조인트부의 철근량이 일반 부분과 비교해 꽤 많이 배근 되어있기 때문이라고 생각된다.

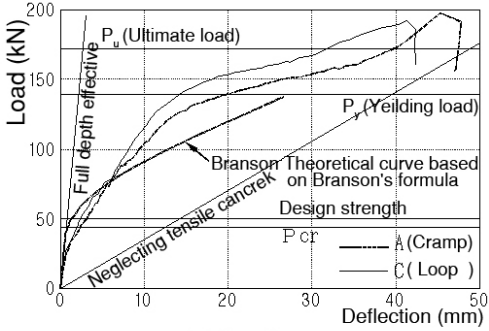
Fig. 3에 휨·전단 시험에 있어서 각 공시체의 하중-처짐 곡선 결과를 표시하였다. 이 결과로부터 휨시험에서 모든 공시체는 설계 강도의 3배 이상의 내하력을 가지고 있다는 것을 알 수 있었다. 또, 처짐곡선의 형상은 콘크리트의 균열 발생시작과 인장철근이 항복하는 계산 항복 하중( $P_y$ ) 부근에서 변곡점을 가지는 형상이었다.

Table 1 공시체의 명칭, 파괴하중과 파괴양상 정리

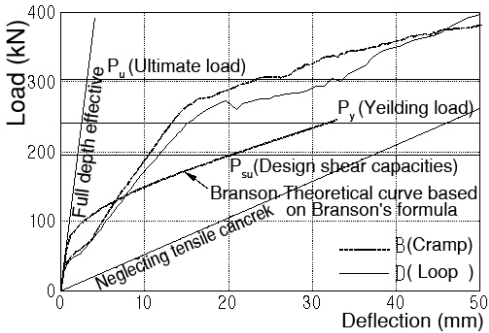
	Joint type	Specimens	Failure load	Failure location	Fracture type
Bending test	Cramp	A	198kN	Jointing part	Flexural failure
	Loop	C	192kN	Jointing part	Flexural failure
Shear test	Cramp	B	381kN	precast part	Flexural failure
	Loop	D	403kN	precast part	Flexural failure

Table 2 재료 실험 결과

		Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Young's modulus (kN/mm <sup>2</sup> )
Concrete	Precast slab	$f_{ck} = 57$	28.4
	Joint(expansive)	$f_{ck} = 51$	27.5
Reinforcement		$f_y = 380$	182



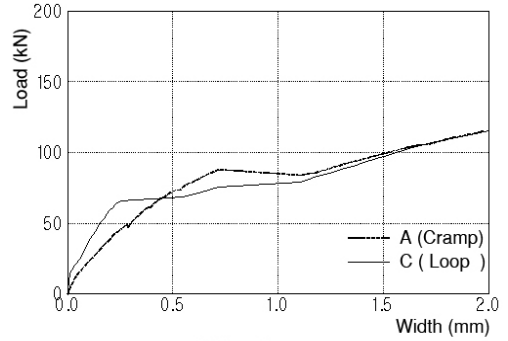
(a) Bending test



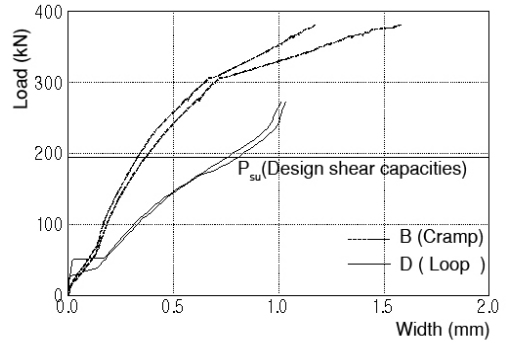
(b) Shear test

Fig. 3 하중-처짐 곡선

전단 시험에서는 조인트가 없는 RC보 공시체의 극한 휨 강도의 계산 하중에 대해서도 조인트부에서는 균열이 발생하지 않았고, 조인트의 강도 저하도 거의 없었다. 토목 학회식<sup>(6)</sup>에 의한 설계 전단 하중의 계산 값보다 충분히 큰 내하력을 가지고 있는 것이 확인되었다. 또한 본 결과치를 Branson식으로 계산한 조인트가 없는 경우의 변위 곡선도 추가하였다. 계산값과 실험값의 비교에서는 휨-전단 시험 모두 계산값보다 작은 하중에서 변곡점이 발생한 것을 알 수 있었다. 이것은, 이 하중에서 콘크리트의 타설면에서 균열이



(a) Bending test



(b) Shear test

Fig. 4 조인트 부의 균열 폭

발생하였기 때문이라고 생각되어지지만, 그 후 하중에 대한 처짐의 증가가 작기 때문에 조인트부는 충분히 높은 강성을 가지고 있다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 4(a)는 휨시험에 있어서 하중과 조인트부 균열 폭의 관계를 표시하였다. 이 결과로부터 클램프 조인트의 균열폭이 루프 조인트에 비해 약간 큰 값이 나타났다. 이것은, 클램프 조인트부 저면 연결부(턱 부분)의 위치가 보 공시체 중앙의 회전 중심으로부터 오른쪽으로 편심 되어 있기 때문이라고 생각된다.

Fig. 4(b)는 전단 시험에 있어서의 하중과 조인트부 균열 폭 관계를 표시하였다. 이 결과로부터 클램프 조인트 공시체는 루프 조인트 공시체와 비교하여 설계 전단 하중( $P_{su}$ )까지 거의 직선적으로 변화하고 있고, 균열 폭도 작기 때문에 클램프의 인터록 작용에 의해 전단력의 전달이 원활하게 되고 있다는 것을 알 수 있었다.

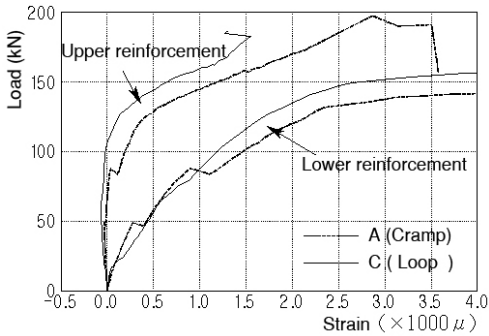


Fig. 5 조인트부 철근의 변형률(휨실험)

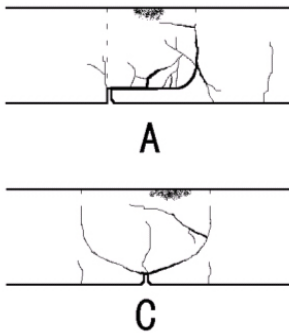


Fig. 6 조인트부 균열상황(휨실험)

Fig. 5는 휨 시험에 있어서의 조인트부 철근 변형률과 하중의 관계를 표시하였다. 루프 조인트에서는 20kN 부근과 70kN 부근에서 변곡점이 존재한다. 이것은 조인트부의 콘크리트 타설면에서 균열이 발생하였기 때문이다. 또, 클램프 조인트의 경우에는 100 kN이하의 하중에서 곡선이 불연속적으로 증가하고 있는데, 이것은 철근이 배근된 부근에서 균열의 영향이라고 생각 되고, 철근의 변형률이 루프 조인트와 큰 차이가 없기 때문에 클램프의 인터록 작용에 의해 충분히 응력 전달을 하고 있다고 추측할 수 있다. 또, 변형률 3000 $\mu$ 를 넘어 인장축 철근이 항복했다고 생각되는 하중 이후에 대해서는 클램프 조인트, 루프 조인트 공시체 모두 중립축이 상승하여 압축축 철근이 인장력을 부담해 내하력이 증가하였다는 것을 알 수 있다. 휨 공시체의 최종 균열 상황을 Fig. 6에 표시하였다. 각 공시체의 파괴는 조인트부의 타설면 및 중앙부에서 균열이 발생 한 후, 인장축 철근이 항복하고 압

축 콘크리트가 압괴되는 파소철근보의 일반적 패턴을 보인다.

## 2.2 순 인장 시험

조인트부의 인장 저항 메카니즘을 파악하기 위해 순 인장 시험을 실시했다. 시험에 이용한 공시체는 바닥 판 두께 180mm로 교축방향으로 철근 2개를 포함하는 보 모델을 이용해 실시하였고, 재하하중은 10kN씩 단조 증가시켜 파괴까지 재하 하였다. 시험 장치의 개요와 공시체의 구조를 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다. 조인트부의 루프 철근의 겹침길이를 루프조인트는 DIN1045의 규정을 만족하도록 222mm로 하고, 클램프 조인트의 경우는 루프 조인트와 같게 222mm의 것(2.5D)과 겹침이음길이를 132mm로 짧게 한 공시체(1.5D)도 준비했다. 또, 재하는 공시체를 무구속으로 재하 하는 경우를 case1으로 하고, 실교 바닥 판의 교축방향의 연속성을 고려해, 조인트부에 최소으로 1N/mm<sup>2</sup>의 압축력을 도입한 것을 case 2로 하였다. 그리고, 비교를 위해 조인트부에 압축력은 동일하게 도입하지만 조인트부가 없는 공시체를 case 3으로 준비하여 비교하였다. 공시체의 재료 특성을 Table 3에 나타내었다.

Fig. 9는 재하 케이스 별 각 공시체의 하중과 철근의 변형률 관계를 나타내었다. 하중-변형률 곡선의 결과로부터 루프 조인트, 클램프 조인트의 1.5D, 2.5D 모두 전 케이스에 걸쳐 거의 차이가 없다는 것을 알 수 있었다. 또, 각 공시체의 파괴 하중은 대체로 270kN전후이고 이 하중은 철근 4개가 항복하는 이론 하중과 거의 일치하는 값이므로 조인트부의 파괴 형상은 루프 조인트, 클램프 조인트 모두 초기하중에서 콘크리트의 타설면에 균열이 발생하고, 그 이후 하중에

Table 3 재료 실험 결과

		Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Young's modulus (kN/mm <sup>2</sup> )
Concrete	Precast slab	$f_{ck} = 48$	32.1
	Joint (expansive)	$f_{ck} = 54$	30.4
Reinforcement		$f_y = 370$	194

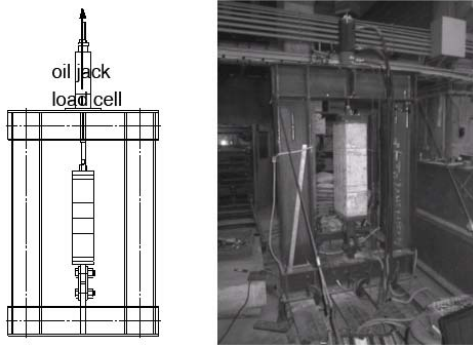


Fig. 7 순인장 시험 전경 사진

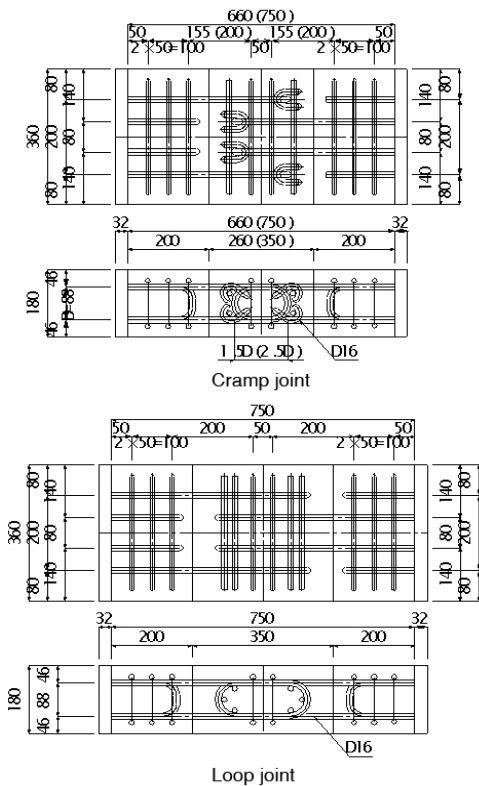
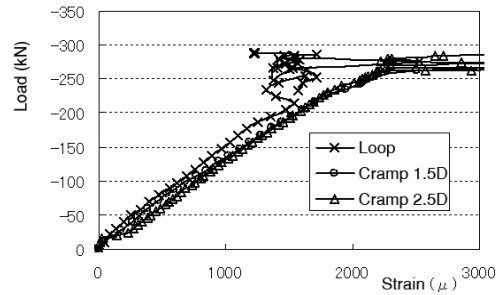
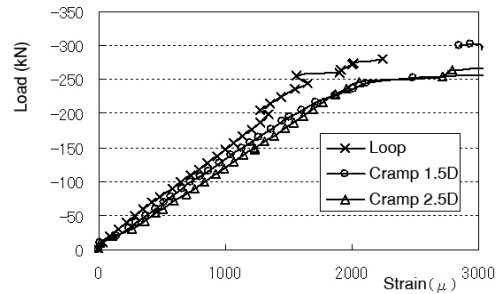


Fig. 8 순인장 시험 공시체

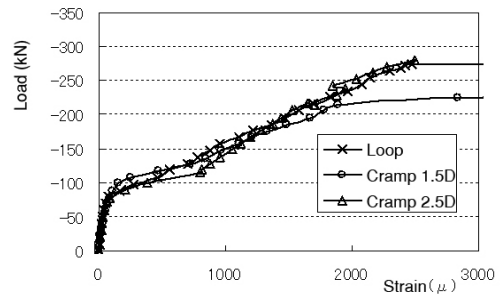
대해서는 철근만으로 저항하여 최종적으로 철근이 항복하는 것으로써 내하력을 상실하는 메카니즘인 것을 확인할 수 있었다. 그렇지만, 조인트가 없는 공시체는 100kN정도까지의 하중에 대해서 다른 케이스와 비교하면 철근의 변형률이 현저하게 작다. 이것은 조인트



case 1



case 2



case 3

Fig. 9 하중-철근 변형률의 관계

가 없이 일체로 되어 있기 때문에 동일 위치에서 초기 균열이 발생하지 않고 콘크리트가 인장응력을 부담하고 있기 때문이라고 생각된다. 그 이후, 콘크리트에 균열이 발생하면 철근의 변형률은 조인트가 있는 공시체의 거동과 거의 같아질 때까지 급속히 증가하고, 그 후는 조인트가 있는 공시체와 같은 경로의 메카니즘으로 파괴되는 것을 알 수 있었다. 또, 조인트가 있는 공시체를 이용하여 무구속의 case 1과 조인트부에 1 N/mm<sup>2</sup>의 압축력을 도입한 case 2에서는 거의 차이를 볼 수 없었다. 이것은, 공시체의 가로 폭을 바닥판 두

개의 2배 정도로 결정하였기 때문이고, 이 정도의 폭-바닥판 두께 비의 공시체를 이용하면 교축방향 연속성의 영향을 거의 무시할 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

### 3. 결 론

클램프 조인트의 보 공시체에 대한 정적재하시험으로 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 1) 클램프 조인트의 정적 휨 내하력시험에서 루프철근의 겹침길이 1.0D의 경우에서도 루프 조인트와 비교하여 손색이 없었고, 전단 내하력에 대해서도 충분한 강도를 가지고 있다는 것을 알았다.
- 2) 조인트부의 순인장 시험에 있어서 조인트부의 저항 메카니즘은 루프 조인트와 클램프 조인트 모두 초기 하중에서 콘크리트의 타설 조인트부에서 균열이 발생하고, 그 후의 하중에 대해서는 철근만으로 저항하고, 최종적으로 철근이 항복하는 것으로서 내하력을 잃는 메카니즘인 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 현행의 설계 하중 레벨에서는 클램프 조인트는 루프철근의 겹침이음길이에 상관없이 충분한 정적내하력을 가지고 있다는 것을 알았다.

### 감사의 글

본 연구는 오사카대학교의 Matsui교수님의 지도와 사카이철강의 Kubo씨의 지원으로 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 류형근, 장승필 외, "루프이음 프리캐스트 바닥판의 휨 실험", 콘크리트학회 논문집, 2003, pp.518~523.
2. 대우건설, "프리캐스트 상판 및 접합부의 거동에 관한 연구", 최종보고서, 1996.
3. 대우건설, "프리캐스트 콘크리트 교량 바닥판의 개발 및 실용화", '96연구개발사업 제2차년도 연차보고서', 1998.
4. Kim, Y.C., Matsui, S., Egashira, K., and Miyagawa, O., "Experimental Study on the Shear Strength of Shear Key Joints of Precast Slab", Proc. of 21th JCI annual conference, 1999, pp.829-834.
5. Kubo, K., Ishizaki, S. and Nose, K. "A jointing method of precast deck slab of highway bridges using cramps", Proceedings of the 54th annual meeting of JSCE, 1999.
6. JSCE, "General specifications of concrete, design", 1996.
7. Matsui, "Technology Development for Bridge Deck - Innovations on Durability and Construction -", J. of Bridge and Foundation Engineering, Vol. 31, S., 1997, No. 8, pp.84-94.
8. Leonhardt, "鐵筋콘크리트의配筋", 鹿島出版會, 1985.
9. Kim, Y.C., "Study on Mechanical Characteristics and Fatigue Durability of Joint of Precast Decks", Ph.D Thesis, Osaka University, 2001.

급행 (접수일자 : 2006년 6월 1일)