

입체트러스형 전단연결재를 갖는 합성판의 피로거동

Fatigue Behavior of Composite Beams with Pyramidal Shear Connector

이 경 동* 한 재 익**
Lee, Kyeong-Dong Han, Jae-Ik

Abstract

A steel plate-concrete composite slab with pyramidal shear connectors, named TSC composite slab, is expected to have sufficient bending strength and flexural rigidity for loads during and after construction. Fatigue problems play an important role in designing composite slab as bridge decks under traffic conditions. In this paper, a series of fatigue tests was carried out on TSC beam specimens under various loading conditions, in order to evaluate the fatigue strength of TSC composite slabs. The results are as follows : (1) the fatigue failure of TSC composite beams results from the tensile fracture of bottom steel plate and shear connector, and (2) fatigue strength of the steel plate for two million cycles can be estimated to be 1144kgf/cm^2 from the S-N curves.

keywords : Fatigue, Composite Slabs, Pyramidal Shear Connectors, S-N Curves, Repeated Loading

1. 서 론

최근, 교량 바닥판의 사하중 경감이나 인건비 절약 등의 목적으로 종래의 RC바닥판을 대신해서 강판상에 콘크리트를 타설한 각종의 합성판이 실용화되고 있고, 역학적으로 중요한 역할을 맡는 콘크리트와 강판의 접

착면에 있어서의 변위 방지구조도 각종의 전단연결재가 고안 개발되어 있다.^{2),5)}

이와 같은 합성판 중, 입체 트러스(Pyramid)형 전단연결재를 갖는 강·콘크리트 합성판 구조(이하, TSC 합성판이라 칭한다.)는 가설 또는 콘크리트 타설 시에 있어서 강판, 철근 및 피라미드형 전단연결재로

* 정희원, 순천대학교 토목환경공학부 부교수, 공학박사
** 정희원, 서남대학교 토목공학과 조교수, 공학박사

E-mail : lkd@sunchon.sunchon.ac.kr 061-750-3510

• 본 논문에 대한 토의를 2002년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2002년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

이루어지는 입체골조구조로서 거푸집이나 동바리공이 필요 없으며 완성된 후에는 TSC가 강한 전단보강부재로서 활하중에 저항 가능한 합리적인 구조형식이다. 또한, 지금까지의 RC판과 비교해서 사하중을 경감시킬 수 있으며 현장시공이 신속하고 간단한 이점이 있다. 이러한 이점이 있는 TSC합성보의 정역학적 특성에 대해서 지금까지 일련의 실험적, 이론적 해명을 수행하여 유용한 결과를 얻음과 동시에 설계방법의 확립을 시도해 왔다.^{1),3),4)} 그러나, 심각한 교통하중이 예상되어지는 노선의 교량에 본 합성판을 적용시키기 위해서는 반복하중하에서의 피로성상의 해명과 피로설계법의 확립이 중요하다.

본 논문은 실교량을 대상으로 TSC의 가공성을 고려해, 강관에 피라미드 형태가 되도록 구멍을 뚫어 휨가공한 전단연결재를 이용해서 제작한 TSC합성보 9체를 이용하여 얻어진 피로시험의 결과에 대해서 언급한다.

2. 실험개요

2.1 TSC 합성 판의 보공시체

TSC 합성보의 피로시험에 이용한 공시체는 Fig. 1에 표시한 바와 같이 지간장이 200cm이고, 저부강판과 전단연결재를 용접하여 총 9체를 제작하고, 각각의 피로성상이나 피로수명 및 그 요인 등을 조사해 보았다. 단면 제원은 Fig. 2와 같이 폭 24cm, 높이 16cm의 장방형단면이고 TSC는 지간방향으로 1열 배치했다.

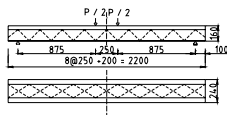


Fig. 1 공시체의 제원

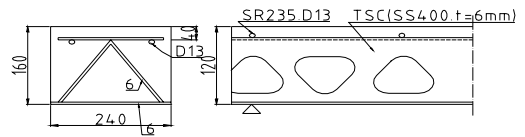


Fig. 2 공시체의 단면제원

본 구조에서는 가설계뿐 아니라 콘크리트 타설 후의 완성계에 있어서도 TSC 사재를 인장재, 압축재의 순으로 교차해서 배치하였으며, 공시체의 제작에 있어서는 각부에서 교차하는 쌍방 TSC 사재의 편심축력에 의한 국부적인 휨의 발생을 억제하기 위하여 TSC 사재의 축선을 저부강판의 도심에 일치시켰다.

2.2 재료의 역학적 성질

전단연결재는 강판 (판두께 : 6mm, SS400)을 방사선으로 구멍을 뚫어서 형성하고, 바닥판도 SS400 (판두께 : 6mm)의 규격강판을 이용했다. Table 1에 강재의 역학적 성질을 나타낸다. 사용재료는 보통시멘트를 이용하고 굵은골재의 최대치수는 20mm로 했다. 콘크리트 배합 및 역학적성질을 각각 Table 2와 Table 3에 나타내었다.

Table 1 재료의 역학적 성질

	Yield Strength (kgf/cm ²)	Tensile Strength (kgf/cm ²)	Modulus of Elasticity (kgf/cm ²)
t=6.0(SS400)	3130	5140	2.02×10 ⁶
φ13(SR295)	2690	4360	2.04×10 ⁶
D16(SD295)	3520	5500	1.92×10 ⁶
D19(SD295)	3530	5400	1.87×10 ⁶

Table 2 콘크리트의 배합

Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Unit Content(kg/m ³)			
				Water	Cement	Fine Aggregate	Coarse Aggregate
8	5.0	40.0	39.7	170	425	660	1070

Table 3 콘크리트의 물성

Specimen	Compressive Strength (kgf/cm ²)	Poisson's ratio	Modulus of Elasticity (kgf/cm ²)
H-1	480	0.19	3.63×10 ⁹
H-2	471	0.20	4.27×10 ⁹
H-3	483	0.19	4.33×10 ⁹
H-4	469	0.20	3.47×10 ⁹
H-5	455	0.18	3.38×10 ⁹
H-6	436	0.20	3.36×10 ⁹
H-7	458	0.19	3.55×10 ⁹
H-8	462	0.19	3.66×10 ⁹
H-9	464	0.19	3.62×10 ⁹

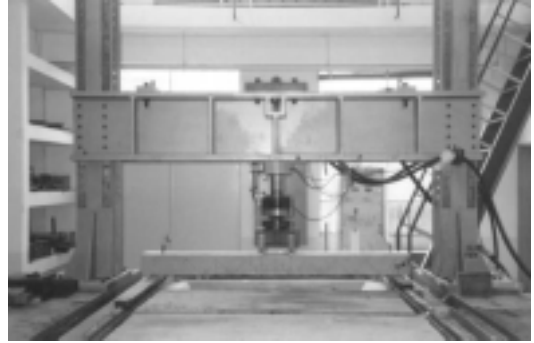


Photo 1 피로시험 전경

2.3 재하방법

재하방법은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 단순지지하에서 중앙 2점 선재하에 의한 1방향 휨모멘트 시험으로 했다. 재하하중의 하한치는 모든 공시체에 대해서 4.0tonf로 일정하게 하고 상한치를 변화시켜 재하했다. 하한치를 4.0tonf로 일정하게 한 것은 사하중에 대한 저부강판의 휨응력도가 400kgf/cm²(지간중앙)이 발생할 때의 하중이 4.0 tonf이기 때문이다. 사용한 시험기는 Photo 1에 나타난 바와 같이 피로시험기(Servo Pulser EHF-30)이고 정적 최대하중이 45tonf, 동적 최대하중이 30tonf이다. 반복속도는 2~3Hz의 편진정현파로 했다. 피로 시험중, 일정 회수를 반복 재하한 후, 일단 시험기를 멈추고 정적 재하를 실시하여 데이터 수집 및 균열을 관측하였다. 하부의 지점은 시험체의 축방향의 변형을 구속하지 않도록 테플론(Teflon)을 삽입한 롤러(Roller)로 하고 상부의 하중 분배점 및 하중 재하점은 진동에 의한 어긋

남을 적게 하기 위해서 핀(Pin) 지지로 하였다. 또한, 파괴점을 구하기 위하여 보의 하단부에 멈춤센서를 설치하여 처짐이 갑자기 증가하는 경우 하중 재하를 멈추도록 하였다. 처짐의 측정은 변위계(CDP-50, Tokyo Sokki제)를 사용하였으며 지간 중앙점과 중앙점으로부터 양방으로 1/4부분을 측정했다. 지간중앙의 콘크리트 압축연과 강판, 보강재의 변형은 스트레인게이지(Strain Gauge)로 측정하였으며 특히 강판과 보강재의 변형은 동일한 측정위치의 앞뒷면 2매를 사용하여 평균을 취하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 파괴상황

TSC 합성보의 공시체가 피로파괴에 도달한 때의 재하 반복 회수의 일람을 Table 4에 나타내었다. 파괴형식은 모든 공시체에서 피라미드형 전단연결재 각

Table 4 재하반복회수 일람

Specimen	Applied Load(tonf)		Cycles of Failure	Failure Mode
	Maximum	Minimum		
H-1	15.0	4.0	250,000	Failure Fracture in bottom plate and shear connector
H-2	11.0	4.0	1,120,000	
H-3	13.0	4.0	510,000	
H-4	13.0	4.0	1,030,000	
H-5	14.0	4.0	150,000	
H-6	11.0	4.0	710,000	
H-7	12.0	4.0	200,000	
H-8	9.7	4.0	1,530,000	
H-9	10.5	4.0	1,500,000	

부의 용접점 부근에 있어서 저부강판 및 전단연결재의 파괴에 의한 취성파괴임을 알 수 있었다. TSC 합성판의 파괴시험에서는 저부강판의 균열이 인정되어진 시점을 파괴로 하였다. 이것이 반드시 재하 불능의 상태를 의미하는 것은 아니나 대부분의 공시체에 있어서 파괴전후에서의 처짐 등의 변형성상에 어느 정도의 차이가 보여졌다. 콘크리트의 균열 발생상황도 직접 눈으로 관찰하여 기록하고 실험 종료 후에 공시체 및 기록지에 그렸다.

3.2 균열 상황

콘크리트 측면의 균열은 모든 시간에 걸쳐서 분산되어 나타났으며 거의 모두가 초기 재하 시에 발생해서 조금씩 압축재를 따라서 균열이 진행하고 있었다. 저부 바닥판의 파괴위치는 재하점의 외측에서 나타났으며 압축재와 인장재의 축선이 교차하는 부분의 압축재 측 저면에 공통으로 나타났다. 이것은 트러스 축력에 의한 응력의 집중, 용접에 의한 열응력의 집중 등의 영향이라고 생각되어졌다.

이상으로부터 본 구조의 파괴파괴는 단순한 휨모멘트에 의한 것이 아니고 강판의 휨인장, 전단력 그리고 트러스 각부부근의 응력 집중의 3요인이 합성되어 생긴 것으로 판단되어 진다. H-1, 2, 3 공시체의 파괴 후의 콘크리트 측면과 저부 바닥판의 균열 상황을 Fig. 3에 나타내었으며, 공시체의 콘크리트를 제거한 후 내부에 있는 전단연결재의 파괴상황을 Photo 2에 나타내었다.



Photo 2 파괴부 상황

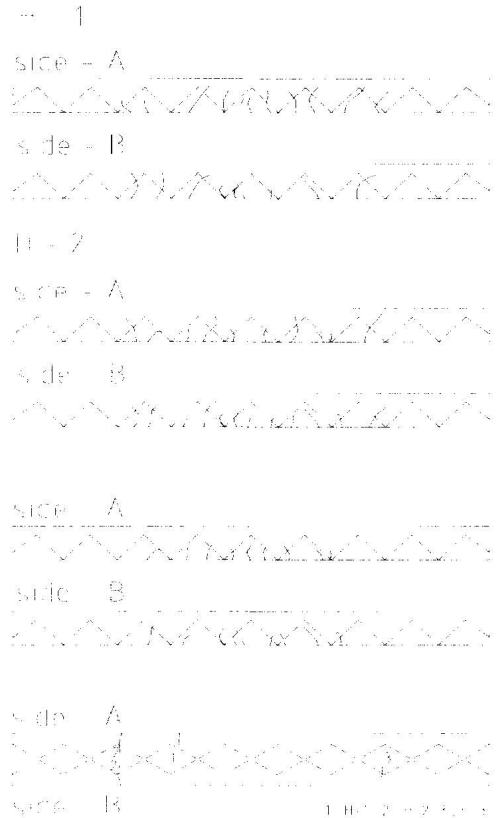


Fig. 3 콘크리트와 저부강판의 크랙 분포

3.3 처짐 성상

H-5와 H-7 공시체의 반복 재하 회수와 보의 지간 중앙에 있어서 처짐 진폭(상한하중 재하시와 하한하중 재하시의 처짐의 차)과의 관계를 Fig. 4에 나타낸다. 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 처짐 진폭은 모든 공시체에서 거의 유사한 경향을 나타내고 있으며 재하 회수가 증가하여도 거의 변화하지 않고 파괴시까지 거의 일정하였다. 즉, 반복 재하에 의한 단면강성의 저하는 거의 없었다. 이로서 TSC 합성판의 파괴파괴는 연성파괴가 아니라 갑자기 발생하는 취성파괴임을 알 수 있었다.

3.4 S-N곡선

파괴시험을 수행한 공시체의 파괴형식은 모두가 피

라미드형 전단연결재각부의 용접점 부근에 있어서 저부강판의 피로에 의한 취성파괴였다. 따라서 강판(SS400)의 피로진폭강도 f_{sr} 을 이형철근의 피로강도 식을 이용해서 규정하기로 한다.⁶⁾

$$f_{sr} = \left(1 - \frac{f_{\min}}{f_{su}}\right) \cdot \frac{10^a}{N^k} \quad (1)$$

여기서, f_{sr} : 피로진폭강도 (kgf/cm²)

(= $f_{\max} - f_{\min}$)

f_{\max} : 작용최대응력도 (kgf/cm²)

f_{\min} : 작용최소응력도 (kgf/cm²)

f_{su} : 강재의 인장강도(kgf/cm²)

N : 피로수명

a,k : 재료정수

식(1)에 양대수를 취하면 다음 식을 얻는다.

$$\log f_0 = a - k \log N \quad (2)$$

$$\text{여기서, } f_0 = \frac{f_{sr}}{1 - f_{\min}/f_{su}} \quad (3)$$

피로시험에 이용한 모든 공시체에 대해서 식(2)에 의해 환산되어진 응력진폭과 피로수명의 관계를 구하여 Fig. 5에 S-N곡선을 나타냈다. 여기서, 직선은 최소제곱법을 이용해서 구하였으며, 얻어진 S-N곡선식은 다음과 같다.

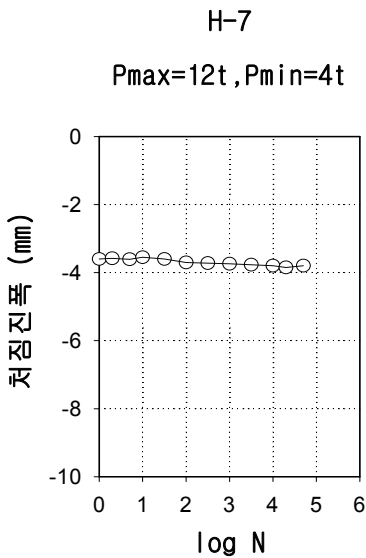
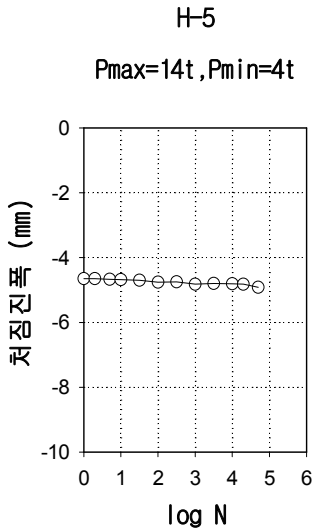


Fig. 4 시간중양점의 처짐진폭

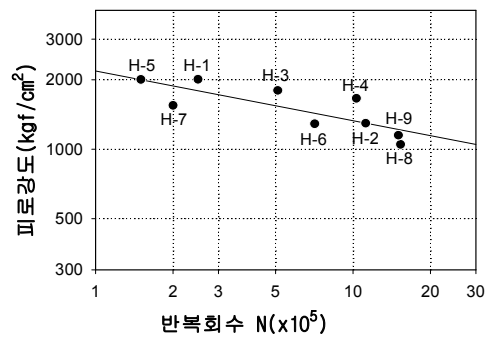


Fig. 5 S-N 곡선

$$\log f_{sr} = 4.415 - 0.2153 \log N \quad (4)$$

(상관계수 $r = -0.643$)

이로부터 200만회 피로강도(응력진폭)를 구하면, TSC합성보에 있어서 저부강판의 설계피로진폭강도의 환산치는 1144kgf/cm^2 로 평가되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 TSC 합성보 공시체의 일련의 피로 시험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) TSC 합성보를 이용한 피로시험에서의 파괴성상은 모든 공시체에 있어서 저부 바닥판 및 전단 연결재의 피로에 의한 취성파괴이고, 그 강도가 TSC 합성부재 전체의 피로강도를 결정한다고 생각되어 진다.
- 2) 본 구조의 파괴는 단순한 휨모멘트 만에 의한 것이 아니라, 전단력, 국부적 휨, 각부분근의 용접에 의한 응력 집중 등의 영향이 작용하여 발생한 것이라 생각된다.
- 3) 처짐 성상은 재하 회수가 증가하여도 거의 변화하지 않고 파괴시까지 거의 일정하였다. 즉, 반복 재하에 의한 단면강성의 저하는 거의 없었으며 TSC 합성판의 피로파괴는 연성파괴가 아니라 갑자기 발생하는 취성파괴임을 알 수 있었다.

- 4) 실험에서 얻어진 S-N곡선으로부터 TSC 합성보의 200만회 피로강도(응력진폭)를 구하면, 전 공시체에 대해서 1144kgf/cm^2 로 평가되었다.

감사의글

본 논문은 2001년도 순천대학교 공과대학 학술재단의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

1. 이경동,한상호(2000), 피라미드형 전단연결재의 전단 거동, 한국구조물진단학회 논문집 제4권 제2호, pp. 131-137.
2. 이경동(1993), 立體トラス型ジベルを有する合成版の疲労挙動に關する基礎的研究, 九州大學工學研究科學位論文.
3. 太田俊昭, 日野伸一(1989), 鋼板とコンクリートから成る合成版構造の開發研究, 電力 土木, No.219.
4. 興石正己(1992), 立體トラス型ジベルを有する合成版の力學性狀に關する基礎的研究, 九州大學工學研究科學位論文.
5. 松井繁之(1984), 道路橋コンクリート系床版の疲労と設計法に關する研究, 大阪大學工學研究科學位 論文.
6. 日本土木學會(1987), 콘크리트構造物의 耐久性 시리즈, 疲勞, 技報堂 出版.

(접수일자 : 2002년 1월 30일)