

ㄱ형 Perfobond 리브 전단연결재의 적용성 평가

Applicability Evaluation of ㄱ Type Perfobond Rib Shear Connectors

이흥수* 정철현** 김병석*** 강재윤**** 손유식*****

Lee, Heung-Su · Chung, Chul-Hun · Kim, Byung-Suk · Kang, Jae-Yoon · Sohn, You-Shik

ABSTRACT

The ㄱ type perfobond rib shear connector is a ㄱ type flat steel plate with a number of holes punched through. This connector can be effectively used in girder with high shear. The ㄱ type perfobond rib shear connector exhibit very stiff behaviour under service load conditions and also had the characteristic of retaining a significant amount of load after the attainment of ultimate capacity. The ㄱ type perfobond rib shear connector with safety factor of 3 is applied shear connector of CFT composite girder. From static test result of CFT composite girder, relative displacement of 0.01mm measured at the service load moment. At design of the ㄱ type perfobond rib shear connector, applying safety factor of 3 was more conservative than test result.

1. 서론

구조물에 사용되는 대표적인 전단연결재는 스테드 방식의 전단연결재(headed stud)가 많이 사용되고 있으나, 스테드 전단연결재는 합성작용을 성취하기 위한 과정 중에 어느 정도의 상대변위가 발생되며, 강거더와 콘크리트 사이의 전단연결재에 발생하는 상대변위는 사용하중 하에서 콘크리트 슬래브의 균열의 원인이 될 뿐만 아니라 용접부에 피로문제를 유발한다. 스테드 전단연결재의 여러 문제점을 해결하기 위하여 최근 들어서는 피로특성과 시공성이 우수한 ㄱ형 perfobond 리브 연결재가 주목을 받고 있다. ㄱ형 perfobond 리브 전단연결재는 구조적으로는 소수의 전단연결재로 많은 스테드의 대체가 가능하기 때문에 파형복부강판 합성거더와 같이 수평전단응력이 크게 발생하는 거더 형식에 효과적으로 적용이 가능하다. 또한, ㄱ형 perfobond 리브 전단연결재는 스테드 전단연결재의 시공이 매우 어려운 그림 1과 같은 원형강판 내부에 콘크리트를 충전한 충전강관(CFT) 거더에 적용시 시공성을 향상시키는 것이 가능하다.

2. ㄱ형 Perfobond 리브 전단연결재의 설계

ㄱ형 perfobond 리브 전단연결재에 대한 전단실험과 비선형 유한요소해석 결과에 근거하여 전단내력을 예측할 수 있는 정적 수평전단강도 평가식이 개발되었다(정철현 등, 2005b). 강도평가식은 리브

* 정회원, 비비엠코리아(주) 기술연구소 실장

** 정회원, 단국대학교 토목환경공학과 교수

*** 정회원, 한국건설기술연구원 연구위원

**** 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원

***** 정회원, 비비엠코리아(주) 기술연구소 상무

전면 콘크리트에 의한 지압저항의 효과, 리브 홀에 의해 형성된 콘크리트의 다웰작용의 효과, 횡방향 철근의 효과, 머리부분의 효과를 고려하여 식 (1)과 같이 구성되었다.



그림 1. 충전강관거더(CFT girder) 교량

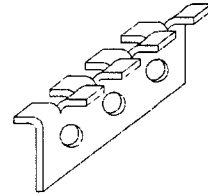


그림 2. 2형 perfobond 리브 전단연결재

$$Q(kN) = 4.5 h_r t f_{ck} + 1.1 n d^2 \sqrt{f_{ck}} + 1.1 A_{tr} f_y + 1.6 m t B f_{ck} \quad (1)$$

여기서, $Q(kN)$ 는 2형 perfobond 리브 전단연결재의 개당 정적 극한강도, $h_r(mm)$ 은 리브의 높이, $t(mm)$ 는 리브의 두께, $f_{ck}(MPa)$ 는 콘크리트 압축강도, n 은 홀 개수, $d(mm)$ 는 홀 지름, $A_{tr}(mm^2)$ 은 횡방향 철근 단면적, $f_y(MPa)$ 는 횡방향 철근의 항복응력, m 은 보강된 머리 개수, $B(mm)$ 는 보강된 머리의 내민 길이이다.

스터드 전단연결재는 대부분 스테드 자체 또는 용접부의 파단에 의해서 전단파괴가 발생하여 거더와 바닥판 콘크리트가 분리되지만, 2형 perfobond 리브 전단연결재는 변위연성도(δ_u/δ_y)가 10 이상의 값을 가지며 그림 3에서 볼 수 있듯이 최종파괴 후에도 바닥판 콘크리트와 강관이 분리되지 않는다(정철현 등, 2005a). 또한 그림 4에서 볼 수 있듯이 2형 perfobond 리브 전단연결재는 항복 후 파괴에 대한 여유도가 충분하며 스테드에 비하여 초기강성이 우수하고 파괴시 상당한 변위를 갖는다.

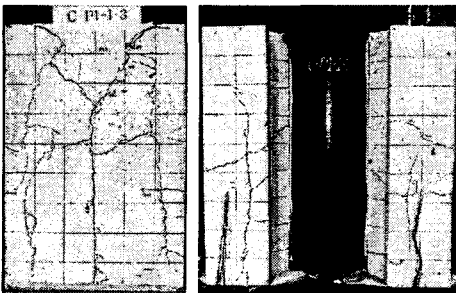


그림 3. 2형 perfobond 리브 전단연결재의 파괴 후 형상

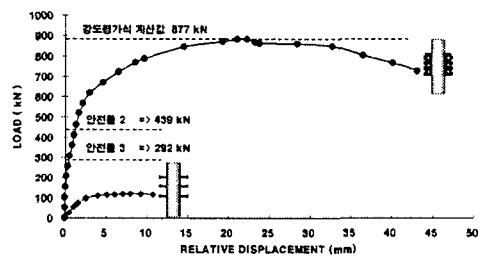


그림 4. 2형 perfobond 리브와 스테드 전단연결재의 하중-상대변위 곡선

그림 4에서 전단실험에 의한 최대전단하중은 883kN이며, 강도평가식에 의한 계산값은 877kN으로서 실험값/계산값의 비율은 1.0068로 계산값이 약간 작으나 강도평가식이 실험값을 거의 정확하게 예측함을 볼 수 있다. 계산값에 안전율을 3을 적용하면 허용전단력이 292kN이 되며 이 전단하중에서 실험시 발생된 상대변위는 0.6mm 정도이다. 그림에서 안전율로 2를 적용해 보면 439kN의 하중이 되며 이 전단하중에서 실험시 발생된 상대변위가 1.2mm 정도로서 전단내력시 상대변위(δ_u)값의 대략 1/17 정도이며, 하중-상대변위 곡선도 선형상태에 있는 것을 볼 수 있다.

3. CFT 거더의 정적가력실험

7형 perfobond 리브 전단연결재는 전단실험 결과 안전율을 2를 적용하여도 수평전단력 전달에는 큰 문제가 없을 것으로 판단되나, 안전을 고려하여 안전율을 3을 적용하여 CFT 합성거더의 전단연결재로 사용하였다. 실험체는 CFT 합성거더의 진동특성을 확인하기 위한 것으로 철도교로 설계된 것을 전단연결재의 거동 특성을 파악하고자 정적가력을 추가로 실시하였다. 강관의 강종은 SM520, 직경은 1320mm, 두께는 26mm이며, 강관 내부에 경량기포콘크리트를 충전하였다.

거더 자중과 궤도와 자갈의 고정하중 및 LS-22 철도하중에 의한 사용하중 모멘트는 10570kN·m로 계산되었으며, 건조수축과 온도차를 고려하여 계산된 수평전단력에 따라 그림 5와 같이 7형 perfobond 리브 전단연결재를 지점부에서는 70cm 간격으로 3줄, 중앙부에서는 100cm 간격으로 2줄로 배치하여 총 52개를 사용하였다. 본 실험체에 대한 전단연결재를 스테드로 설계하면 총 460개가 필요한 것으로 계산되어 7형 perfobond 리브 전단연결재 1개당 스테드 8.85개를 대체하는 것으로 나타났다.

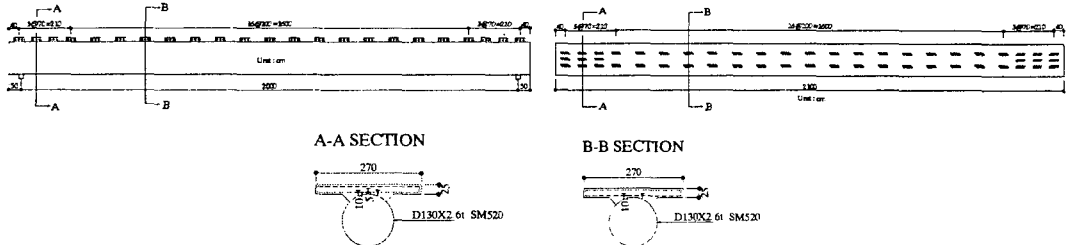


그림 5 CFT 합성거더의 제원

실험체의 가력상황은 그림 6과 같으며 3000kN의 가력기를 사용하여 3점재하 가력하였다. 실험시에 실험체 끝단에 그림에서와 같이 LVDT 변위계를 설치하여 강관과 바닥판 콘크리트의 상대변위를 측정하였다.

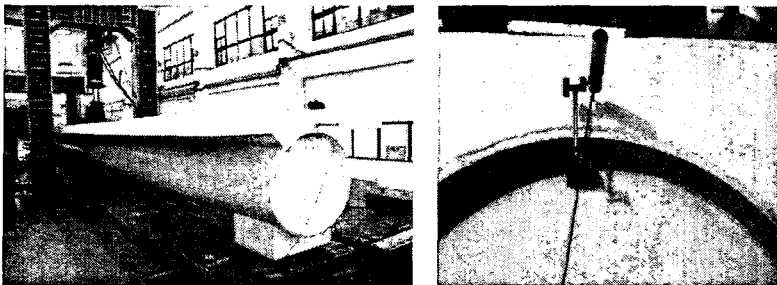


그림 6 CFT 합성거더의 정적실험 및 상대변위 측정 상황

실험시에 가력기의 한계에 도달함에 따라 파괴에 도달하지 못하고 가력을 중단하였다. 그러나, 실험시 가력모멘트의 값이 고정하중과 철도하중에 대한 사용하중 모멘트의 3배 정도에 도달한 상태이므로 구조물의 거동 파악은 가능하다고 판단된다. 그림 7과 8을 보면 허용용력설계법에 따른 사용하중 모멘트 발생시의 하중-처짐 곡선이 선형상태에 존재하고, 부재 끝단에서의 상대변위의 발생은 0.01mm 정도 발생한 것을 볼 수 있으며, 사용하중 모멘트의 3배 정도에 해당하는 모멘트 발생시에도 상대변위가 0.1mm 정도만 발생한 것을 볼 수 있다. 상대변위의 발생만으로 본다면 사용하중 모멘트

발생시에 0.6mm 정도의 상대변위 발생이 예상되나 0.01mm의 상대변위가 발생되어 전단실험 결과와 휨실험 결과가 많은 차이를 나타내었다. 거더 단면이 허용응력에 도달하더라도 전단연결재의 변위는 거의 발생하지 않아 ㄱ형 perfobond 리브 전단연결재 설계시에 안전율을 3으로 주는 것은 상당히 과다 설계된 것으로 보이며 안전율의 재조정이 필요한 것으로 판단된다.

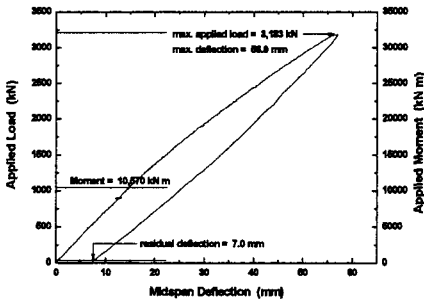


그림 7 CFT 합성거더의 하중-처짐 곡선

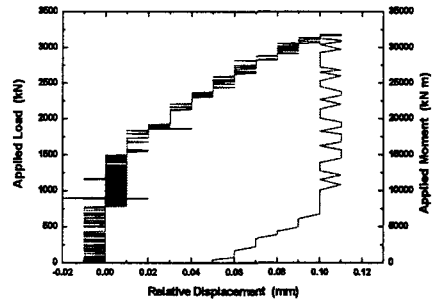


그림 8 ㄱ형 perfobond 리브 전단연결재의 하중-상대변위 곡선

4. 결론

ㄱ형 perfobond 리브 전단연결재를 CFT 합성거더에 적용하여 하중 작용에 따른 부재 끝단의 상대변위의 발생을 고찰하였다. CFT 합성거더의 설계시에 허용응력설계법이 적용됨에 따라 강관 거더와 바닥판 콘크리트를 연결하는 전단연결재도 허용전단력을 파악하여 설계가 이루어져야 한다. 전단연결재의 허용전단력을 계산함에 있어서는 부재의 거동을 충분히 고려하여 안전율을 산정하여야 할 것이다.

ㄱ형 perfobond 리브 전단연결재는 전단실험 결과에 의하면 변위연성도(δ_u/δ_y)가 10 이상의 값을 가지며, 최종파괴 후에도 바닥판 콘크리트와 강관이 분리되지 않으며, 항복 후 파괴에 대한 여유도가 충분하며, 스티드에 비하여 초기강성이 우수하고 파괴시 상당한 변위를 갖는다. 이와같은 특성을 갖는 ㄱ형 perfobond 리브 전단연결재를 도입한 CFT 합성거더에 대한 정적실험 결과, 사용하중 모멘트 발생시의 하중-처짐 곡선이 선형상태에 존재하고, 부재 끝단에서의 상대변위의 발생은 0.01mm 정도 발생하였으며, 사용하중 모멘트의 3배 정도에 해당하는 모멘트를 가력하는 경우에도 상대변위가 0.1mm 정도만 발생하였다. 거더 단면이 허용응력에 도달하더라도 전단연결재의 변위는 거의 발생하지 않아 ㄱ형 perfobond 리브 전단연결재 설계시에 안전율을 3으로 주는 것은 상당히 과다설계된 것으로 보이며, 안전율을 보다 감소시켜 적용하여도 ㄱ형 perfobond 리브 전단연결재는 수평전단력을 충분히 전달할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 정철현, 이홍수(2005a) ㄱ형 perfobond 리브 전단연결재의 전단강도 평가, 대한토목학회논문집, 제25권 제5A호, pp.879~888.
2. 정철현, 이홍수, 유성근, 최외호(2005b) 원형강관 거더와 콘크리트 바닥판 사이 ㄱ형 perfobond 리브 전단연결재의 실험적 연구, 대한토목학회논문집, 제25권 제1A호, pp.201~212.
3. Oguejiofor, E.C. and Hosain, M.U. (1995) Tests of full-size composite beams with perfobond rib connectors, *Can. J. Civ. Eng.* 22, pp. 80~92.