

탄소섬유시트의 전단부착강도에 관한 연구

Adhesive Shear Strength of Carbon Fiber Sheet

김 윤 칠*

Kim, Yoon-Chil

Abstract

In order to test the adhesive capacity of carbon fiber sheet, a static loading method for bending-behavior-type beam specimens, cut in half was developed and test was conducted with compressive strength of concrete set as the test parameter. The tests were performed to prescribe adhesive shear strength based upon the result of shear failure as well as verification of testing method. First of all, the test method proved to be reliable in determining the adhesive shear strength. The test result also exhibited two types of variations in adhesive shear strength. Among two types of variations, average and minimum values for adhesive shear strength, relatively stable results, 3.41MPa and 2.11MPa, respectively. Particularity in the adhesive shear strength with respect to compressive shear strength was not found.

요 지

탄소섬유시트의 부착성능을 조사하는 방법으로써 중앙을 절단한 보 공시체를 이용한 휨 거동 형식의 시험기를 개발하여, 콘크리트의 압축강도를 변수로 정적 재하 실험을 실시하였다. 탄소섬유시트의 파단의 결과를 이용하여 이 시험기의 검증과 함께 전단부착강도의 산출식을 도출하려고 노력 하였다. 그 결과, 첫 번째로 새로운 형식의 시험기에 의한 부착강도시험의 타당성이 증명되었다. 두 번째는 CFS 표면 변형률의 결과로부터 구해진 전단부착강도는 2종류의 경향이 있음이 발견되었다. 그 데이터 중에서 비교적 안정성이 높은 전단부착강도의 평균치는 3.41MPa, 하한치는 2.11MPa이었다. 이번 실험에서는 콘크리트의 강도가 전단부착강도에 미치는 특별한 영향을 볼 수 없었다.

Keywords : Adhesive shear strength, Adhesive strength test, Carbon fiber sheet

핵심 용어 : 전단부착강도, 부착강도실험, 탄소섬유시트

* 정희원, 경주대학교 건축공학과 조교수

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

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 2008년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

탄소섬유시트(Carbon Fiber Sheet, 이하 CFS)는 강재의 10배 이상의 인장강도를 갖고 있고, 최근에는 콘크리트 바닥판이나 교각 등의 내하력 및 내구성이 부족한 RC 부재의 보강에 자주 이용되고 있다. Matsui 등⁽¹⁾은 CFS로 인장축을 보강한 바닥판을 이용하여 운하중 주행 시험으로 많은 실험을 실시하여 내구성 향상의 효과를 평가해 왔다. 그러나, CFS와 콘크리트의 부착강도에 관해서는 충분한 연구결과가 없을 뿐만 아니라 그 메커니즘이 파악되어 있지 않아서 현 단계에서 설계 수법의 정확한 과정에 개발에 관해서는 언급하기가 곤란하다. 그 이유로서 부재의 부착거동을 명확하게 설명해 줄 표준적 시험방법이 아직 확립되어 있지 않은 것을 들 수 있다.

과거, Matsui 등이 수행한 운하중 주행 시험기에 의한 CFS 보강 바닥판의 피로재하실험⁽¹⁾에서도 다음과 같은 두가지 문제점을 제기하였다. ① 이미 부착되어진 CFS 위에 새롭게 시트를 붙일 경우, 작업 중에 용재가 기존의 수지층에 나쁜 영향을 미칠 가능성이 있다. ② 동일한 물성치를 갖는 CFS라도 접착제의 차이에 의해 보강효과의 차이가 있을 수 있다.

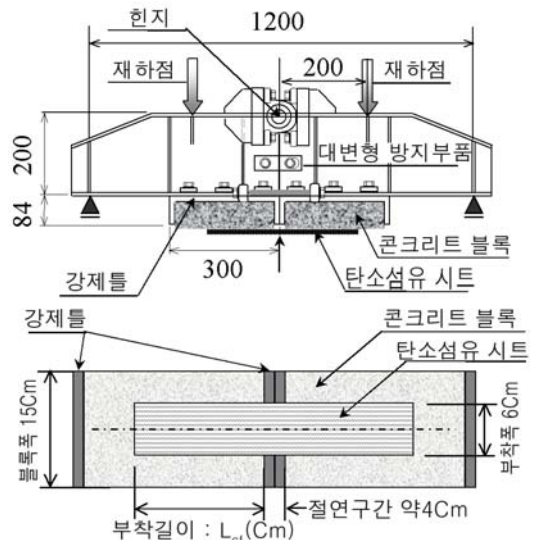
이러한 문제점을 조사하기 위해 다시 운하중 주행 시험을 수행하기에는 시간과 비용 그리고 너무나 많은 노력이 필요하다. 또한, 구조실험인 운하중 주행 시험에서는 CFS의 부착특성이라고 하는 미세한 메커니즘을 파악하기에는 무리가 있다. 따라서 본 연구에서는 CFS의 부착문제의 기초적 실험으로써 정적실험과 피로실험이 가능한 새로운 형식의 장치를 제안하고 우선적으로 CFS와 콘크리트의 부착특성을 파악하는 것을 목적으로 한 정적시험을 수행하였다. 본 논문에서는 이러한 정적 시험의 결과와 CFS의 부착성상에 대해서 고찰한다.

2. 시험개요

2.1 시험기의 개발

부착시험은 사각형 공시체에 의한 단순인장시험법이

가장 이상적이라고 생각되어 왔고, 시험방법도 간편하기 때문에 부착강도를 산정하는 기초실험으로써 폭넓게 사용되고 있지만 ① 재하시에 편심되기 쉽고, 4개의 부착면에 균등하게 응력이 전달되기 어렵다.⁽²⁾ ② 실제의 부재 성상과 반듯이 일치하지 않는다.⁽²⁾ ③ 피로 재하가 곤란하다는 3가지 문제점을 생각할 수 있다. 이러한 문제점들을 해소할 목적으로 본 연구에서는 보의 휨 실험의 형식을 기본으로 한 시험기를 개발하는데 착안하였다. 공시체 전체를 콘크리트 보로 제작하는 경우, 파괴는 CFS의 박리뿐만 아니라 콘크리트 보 상연부에서의 압괴, 하연부에서는 휨·전단파괴가 생기는 등 콘크리트 보 자체의 파괴와 복합되기 때문에 순수한 부착강도를 산정하기에는 장애가 생길 수 있다고 생각할 수 있다. 그래서 Fig. 1에서 나타난 새로운 형식의 시험기를 개발하였다. 이 시험기는 중앙부에서 좌우 2개로 분리된 H형강 보를 기본으로 하고 있고, 이들은 보상부에서 힌지로 결합되었다. 하부 플랜지부에는 CFS를 부착한 콘크리트 블록(내부에 D6의 메쉬 철근을 배치)을 설치하였다. 한쪽 공시체에 6개, 총 12개의 볼트에 의해 공시체는 고정되어 있다. H형강에 연직하중을 재하하는 방법에 의해 시험기 중



상: 장치전체 길이(단위mm)

하: 시험기 하면에서 본 시트 부착 부분(단위mm)

Fig. 1 신형식 시험기의 개요

양에 분리되어 있는 슬릿(Slit)를 통해서 CFS에 순 인장력이 발생할 수 있도록 한 장치이다. 보의 스패는 1200mm, 보의 높이는 H형강·콘크리트 부를 합쳐서 284mm이다. 재하는 Fig. 1에서 보는 것과 같이 부품들을 이용하여 시트 부착영역 부분을 걸치듯 재하하였고, CFS 부착 구간은 동일한 모멘트 구간이 되도록 하였다. 또, 콘크리트 블록은 H형강에 접합하기 쉽게 강재 틀 내부로 수납되도록 하였고, CFS는 슬릿 부분이 있는 강재 틀의 중심부 약 40mm의 절연구간을 포함하여 연속되는 형태로 부착되어 있다. 공시체 축의 직각방향으로 CFS를 부착하였고 부착 폭은 일률적으로 60mm로 하였다.

2.2 실험 공시체

기존의 단순 인장형 공시체에 의한 전단 부착시험에 의해서 CFS의 전단부착강도에는 다음과 같은 영향 인자를 생각할 수 있다.⁽³⁾ ① 접착제의 탄성계수 ② 접착 경계면의 표면상태 ③ CFS의 인장강성 ④ 콘크리트의 압축강도. 여기서 참고문헌⁽³⁾⁻⁽⁹⁾에 보고된 기존의 연구 데이터를 정리하여 각 변수의 영향에 대한 경향을 파악해 보기로 하였다. 단, CFS의 전단부착강도의 산정은 3.3절에 표시한 것과 같이 CFS 표면의 변형을 게이지에 의해서 구하는 방법이 일반적이다. 하지만, 표준적 산출법은 아직 규정되어 있지 않고, 평가방법은 논문들 마다 제각기 다양하다.

본 논문에서는 비교 지표로써 전단부착강도 대신으로 CFS가 박리할 때, 공시체에 작용하는 최대 하중에 착안을 하여 이 값을 CFS의 부착 폭으로 나누어 정리하였다. 단위 폭 당 인장하중: Pw (kN/cm)를 이용하여 각 변수 내에서 비교하면서 결과를 고찰하였다. ①을 변수로 비교하기 위해 참고문헌⁽⁴⁾⁽⁵⁾를 정리하여 Fig. 2와 같이 나타내었다. 탄성계수가 낮으면서 연성이 있는 접착제를 사용한 경우의 Pw 값이 커진다는 것을 알았다. 다음 ②에 관한 비교를 위해 참고문헌⁽⁶⁾을 정리하여 Fig. 3에 나타내었다. 정리하면 드라이아이스블라스트, 디스크샌드, 고압워터제트 순으로 Pw 값이 커지는 것을 알 수 있었다. 그러나, 실제 현장에서는 콘크리트 표면 처리 과정에서 부착 경계면의

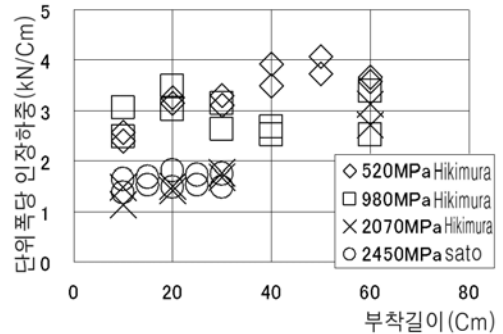


Fig. 2 접착제의 탄성계수와 단위 폭당 인장하중의 관계⁽⁴⁾⁽⁵⁾

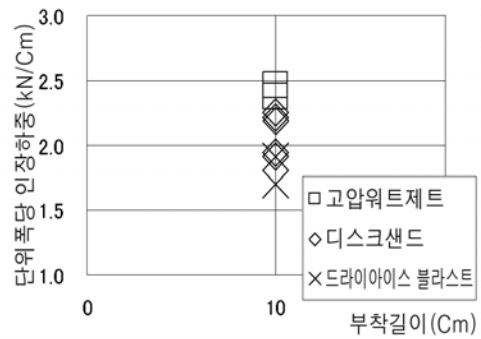


Fig. 3 접착경계면의 상황과 단위 폭당 인장하중의 관계⁽⁶⁾

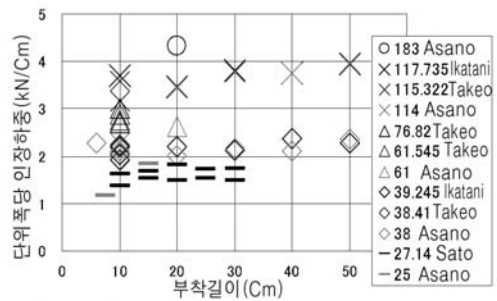


Fig. 4 CFS인장강성과 단위 폭당 인장하중의 관계⁽⁴⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾
(범례내 단위: GPa·mm)

결손을 그대로 남겨두는 경우도 있고, 주위 환경적 요인으로 반드시 이 결과를 현장에 적용할 수는 없을 것으로 생각된다.

마지막으로 ③의 영향도를 파악하기 위해 참고문헌⁽⁴⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾을 정리하여 Fig. 4에 나타내었다. 여기에서는 CFS 강성을 식(1)과 같이 평가한다.⁽⁷⁾

$$G = E_{cf} \cdot t_{cf} \quad (1)$$

위의 식에서 G: CFS의 인장강도(GPa, mm)
 Ecf: CFS의 탄성계수(GPa) tcf: CFS의 총두께
 (mm)=(한층의 두께)×(층수)

Fig. 4에서 CFS의 강성의 증감에 따라서 Pw도 증감하는 경향이 있는 것을 알았다. 이러한 각 변수 내에서 일정한 경향은 발견되지만, 종합적으로 변수의 영향도를 판정하기에는 어려운 점이 많았다.

그러나, CFS의 부착성상이 부착물·접착층·부착대상 3요소에 의해 결정된다는 것은 확실하다고 판단된다. 때문에 ④에 관해서도 이것이 부착 성상에 영향을 준다는 것은 예측되지만 Fig. 5에 나타낸 것과 같이 데이터의 양이 적고 또한, 일정한 경향도 발견할 수 없었다. 이상의 결과로부터 본 연구에서는 Table 1에 CFS의 재료 물성치 및 콘크리트의 물성치와 같이 정적 실험으로 공시체 파라미터를 콘크리트의 압축강도로서 물/시멘트비 63% 및 75%의 2종류의 콘크리트 블록을 작성하여 실험을 실시하였고, 전단부착강도의 합리적 평가방법으로써 검토하였다. 또한, 부착 길이에 의한 전단부착강도의 영향을 조사하기 위해 각

공시체 모두 150mm 와 200mm 2종류의 공시체를 각 2개, 총 4개에 대해서 실험을 수행하였다.

2.3 실험방법

재하는 재하능력 200kN의 유압 액츄에이터 구조용 프레임을 이용하여 정적으로 수행하였다. 재하속도는 CFS 박리 시에 표면 변형률 분포의 전이를 측정하기 위해 50N/sec 이하로 하였다. 측정대상은 CFS의 표면 변형률과 보 중앙부에서의 H형강과 콘크리트 블록에서 각각의 수평상대변위(균열폭)를 측정하였다. 또한, CFS의 표면 변형률을 정확히 파악하기 위해 측방향에 있어서, 부착한 CFS의 폭 방향의 중심선상에서 절연구간을 제외하고 20mm 간격으로 스트레인게이지를 부착하였다. 단, 일부 공시체에서는 10mm 간격으로 관측하였다.

3. 시험결과와 고찰

3.1 신형식의 시험기의 검토

시험기에 대한 타당성의 검토목적은 CFS를 구속하여 전단부착강도의 산출을 저해하는 요소 즉, 유해한 면외력이 발생하지 않는 것을 확인하는 것이다. 측정 항목으로부터 다음과 같은 사항을 검토 하였다.

유해한 면외력은 미소한 콘크리트 블록 상호간에 상대변위가 부가되어 H형강의 좌우 콘크리트 블록의 변위차가 발생하면서 생긴다. 이번의 시험기에서는 Table 2에 표시한 것과 같이 최대 0.4mm 까지 변위차가 발생하고 있다. 그러나 이 변위차에 의해서 발생한 면외력은 기하학적인 계산식^{*1)}으로부터 최대에서도 0.2N/mm² 전후이고 유해하지 않을 정도의 값이라고 생각된다.

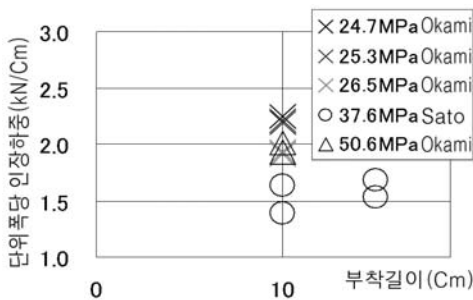


Fig. 5 콘크리트 압축강도와 폭당 인장 하중의 관계⁽⁴⁾⁽⁶⁾

Table 1 공시체의 파라미터와 각 재료의 물성치

w/c	CFS 물성치				콘크리트 물성치		부착길이 (cm)
	탄성계수 (GPa)	인장강도 (N/mm ²)	두께 (mm)	질량 (g/m ³)	탄성계수 (GPa)	압축강도 (N/mm ²)	
63-15	230	3400	0.167	300	26.3	35.8	15
63-20							20
75-15					24.2	29.1	15
75-20							20

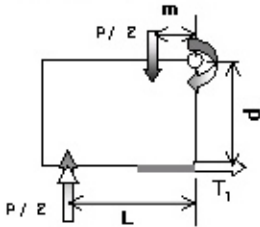
*1) 여기에서 말하는 기하학적 계산식이라 함은 수평방향의 H형강 및 콘크리트 블록의 상대변위를 슬릿의 회전각으로 변환시켜 면외력으로 계산하는 것을 지칭한다. 참고로 단위하중법에 의해서 H형강 자체의 변형도 고려했지만 강성이 충분하였기 때문에 그 값은 미소하였다.

Table 2 각 공시체의 시험결과

	Pmax(kN)	Tmax(kN)	Pmax/P75-15a	변위차
63-15a	15.553	11.390	1.153	0.366
63-15b	14.239	10.464	1.056	0.324
63-20a	13.484	9.933	1.000	0.170
63-20b	15.612	11.431	1.158	0.284
75-15a	13.553	9.981	1.005	0.320
75-15b	14.239	10.464	1.056	0.067
75-20a	14.426	10.596	1.070	-0.200
75-20b	15.799	11.562	1.172	0.213

※ 63,75 : w/c비, 15,20 : 부착길이, ab : 공시체 수
 P_{max} : 최대하중, T_{max} : 최대 계산 인장력
 변위차 : H형강과 콘크리트 블록의 수평상대 변위

다음으로, 실제로 CFS에 발생하는 인장력을 검토하였다. Fig. 6에 나타난 것과 같이 하중에 의한 계산 인장력 T와 CFS 표면 변형률에 의한 계산 인장력 T'을 비교 검토하였다. 그리고 하중에 의한 계산 인장력 T에 대한 힌지 주변의 모멘트 합에 평형방정식은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.



$$T_1 \cdot d = \frac{P_{max}}{2} \cdot L - \frac{P_{max}}{2} \cdot m$$

$$T_2 = (w/d) \cdot \left(\frac{L^2}{2} - \frac{s^2}{8} \right) \quad (2)$$

여기에서 w: 단위 길이당 자중,
 s: 지점에서 시험체 단부까지의 길이.
 최대하중에 의해 CFS에 작용하는 인장력은 T=T1+T2가 된다. 또한, Fig. 6에 있어서 중앙부의 직선은 하중에 의해서 계산되어 도입 되어야 하는 인장력이고, CFS의 표면 변형률에서 구해진 T'가 이 값에 근접할수록 적절하게 재하 되고 있다고 평가할 수 있다. 또, 그래프 상에서 절연 구간을 제외한 축방향 중심부에서 20~50mm의 구간에서 10mm마다 부착한 스트레인게이지에 의해 측정된 데이터를 나타내고 있다.

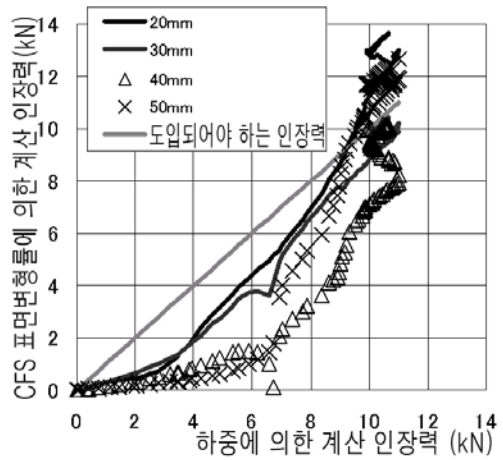


Fig. 6 계산인장력의 비교 (63-20b)

여기에서, 박리가 발생한 후 T'를 보면, 즉, CFS의 변형률이 구속되지 않을 때부터는 T와 T'의 값이 거의 일치하고 있고, 신형식의 시험기에 의한 재하가 적정하다는 것을 표시하고 있는 것이다.

이러한 것들로부터 신시험기에 있어서 유해한 면의력의 발생은 없었다고 생각되고 신형식 시험기에 의한 부착시험결과도 타당한 값이라고 판단된다.

3.2 하중-수평상대변위 관계

Fig. 7에 표시한 하중과 콘크리트 블록의 수평상대 변위 관계를 보면 콘크리트의 압축강도 및 CFS의 부착 길이에 관계없이 전체 공시체에서 거의 비슷한 성

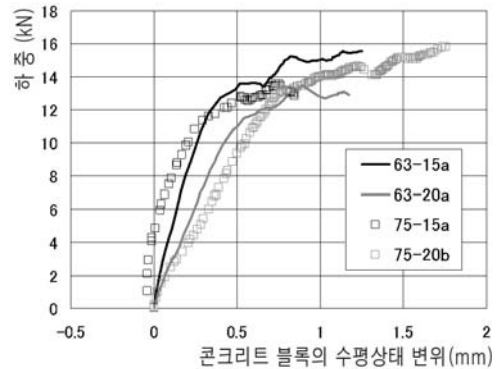


Fig. 7 하중-수평상대변위관계

상을 나타내고 있다는 것을 알 수 있었다. 또한, 박리가 시작되었다고 생각되는 소성구간에서는 큰 하중 변동은 없고, 전체 공시체가 같은 조건 하에서 박리현상이 진행한 것을 알 수 있었다.

3.3 CFS의 표면 변형률

전단부착강도의 산정은 CFS의 표면변형률의 분포로부터 다음과 같이 수행한다.⁽²⁾ 최대하중의 90%에 하중이 도달한 후 변형률 분포에 있어서 Fig. 8과 같이 변형률이 증가하고 있는 중앙부의 평탄한 구간을 박리 영역이라고 생각하고, 그 양단부의 선형 변형률 증가 구간 Sg의 변형률 증분량 $\Delta \epsilon_{cf}$ 을 구한다. 그 후 축 방향력을 계산하고 그것과 동일 구간에서 전단 부착력이 평형된다고 가정해서 계산하면 식(3)과 같이 전단부착강도 τ_y 가 구해진다. 여기에서 E_{cf} 탄성계수, A_{cf} : CFS의 단면적, Sg : CFS 표면 스트레인게이지의 부착간격

$$\tau_y = E_{cf} \cdot \Delta \epsilon_{cf} \cdot A_{cf} / Sg / b \quad (3)$$

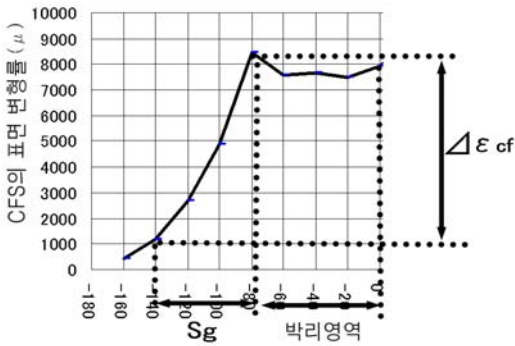


Fig. 8 전단 부착강도의 도출

이 방법으로 계산된 τ_y 를 Table 3에 표시하였다. 또한 변형률 증분의 극대치를 기록할 때 마다 데이터와 특징적인 데이터를 추출하여 변형률이 전이되는 결과를 표시한 그래프를 Fig. 9에 나타내었다. 우선, 이 그래프 전체를 보면 재하에 의해서 박리가 계속 진행됨에 따라, 변형률 증분의 구배가 슬릿트 중앙부에서부터 차차 바깥쪽으로 이동하고 있는 것을 알 수 있었다. 기존의 선행연구에 의하면 재하와 동시에 부착영역이 부분적으로 바깥쪽으로 전이되어 박리구간이 진행하고 있다는 것이 보고되어 있다.⁽²⁾ 다음으로 전이하고 있는 변형률 증분의 구배에 착안하였다. 그 결과를 종합하면 ①→②→③... 과 같은 순서로 옮겨감에 따라 변형률 증분의 구배의 완급이 반복되고 있는 것을 알 수 있었다. 이것으로부터 전단부착강도 τ_y 를 구해보면 Table 3과 같이 ①·③에서는 거의 5MPa 이상의 값을 나타내는 것에 비하여 ②에서는 4MPa 전후와 2개의 그룹으로 나눌 수 있었다. 이것은 부착강도의 분담영역의 길이가 바뀌기 때문이고 이 거리를 일반적으로는 유효부착 길이로 부르고 있다. 이 유효부착 길이가 박리 현상 중에 변동하고 ①·③에 상당하

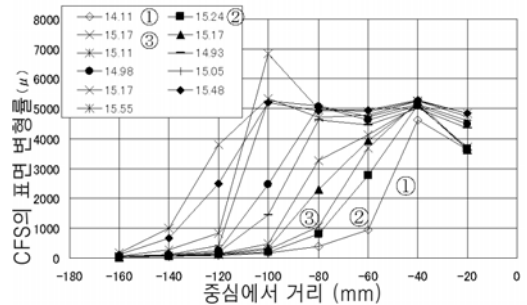
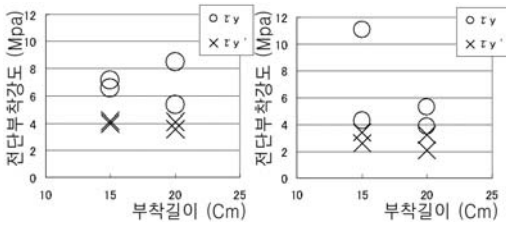


Fig. 9 CFS표면변형률의 축방향분포의 전이 (63-15a) (범례 내 단위:kN)

Table 3 전단부착 강도의 산출결과

①	P = 14.111kN	$\Delta \epsilon_{cf} = 4618.9 - 930.1 = 3688.8\mu$ Sg = 20mm	$\tau_y = 7.10\text{MPa}$
②	P = 15.239kN	$\Delta \epsilon_{cf} = 5113.6 - 2755.8 = 2357.8\mu$ Sg = 20mm	$\tau_y = 4.54\text{MPa}$
	P = 15.239kN	$\Delta \epsilon_{cf} = 2755.8 - 814.3 = 1941.5\mu$ Sg = 20mm	$\tau_y = 3.74\text{MPa}$ ave = 4.14MPa
③	P = 15.170kN	$\Delta \epsilon_{cf} = 3688.8 - 1043.9 = 2644.9\mu$ Sg = 20mm	$\tau_y = 5.09\text{MPa}$



	τ_y (MPa)	τ_y' (MPa)		τ_y (MPa)	τ_y' (MPa)
63-15a	7.14	4.14	75-15a	4.31	2.60
63-15b	6.58	4.00	75-15b	11.08	3.44
63-20a	5.33	3.59	75-20a	5.27	3.26
63-20b	8.49	4.11	75-20b	3.91	2.11
Ave.	6.88	3.96	Ave.	6.14	2.85

좌 : 63시리즈 공시체 우 : 75시리즈 공시체
Fig. 10 각 공시체에 의한 전단부착 강도의 평균값

는 최대전단 부착 강도 τ_y 와 ②에 상당하는 전단부착 강도 τ_y' 의 2종류의 강도가 존재하는 가능성이 있다. 앞에서 설명했던 그래프에서 구해진 τ_y 와 τ_y' 에 대해서는 각 공시체에 있어서 평균값을 취해서 부착 길이 당 정리한 그래프를 Fig. 10에 나타내었다. 그래프를 보면 τ_y 값의 편차가 크지만 τ_y' 는 콘크리트 강도 및 부착 길이에 관계없이 3~4MPa 전후에서 수렴하고 있는 것을 알 수 있다. 이렇듯 τ_y 에 관해서는 위치마다 표면 상태 등의 영향에 의해 편차를 포함하는 값이고, τ_y' 에 관해서는 그 경향이 없고 데이터 자체도 안정되어 있다고 말할 수 있다. 이 때문에 후자를 설계에 사용하는 전단 부착강도로써 평가하는 것이 바람직하다고 생각되어진다. 여기에서 후자의 전 공시체에



Photo 1 CFS측에서 박리면의 모양 (63-15a)

대해서 평균값은 3.41MPa이고, 하한치는 2.11MPa이다. 그리고 기존의 연구결과에 있어서 같은 방법으로 후자에 해당하는 2~5MPa을 전단 부착강도로써 산출하고 있다.⁽²⁾ 그런데 Fig. 10에서 알 수 있듯이 $\tau_y \cdot \tau_y'$ 의 두 가지 모두 그 평균값은 콘크리트 압축강도의 63시리즈가 75시리즈에 비하여 약간 크게 나타났다지만, 이 차이가 어느 정도 유익한 값인지에 대해서는 현재 진행 중에 있는 50시리즈(압축강도 50.6N/mm²)에 의한 결과를 보고 판단할 것이다.

3.4 파괴성상

Photo 1에 시험후의 박리면의 사진을 나타내었다. 이 결과를 보면 파괴면 위의 대부분이 콘크리트 표면의 입자로 덮혀져 있고, 접착제 층이 아닌 콘크리트 표면의 박리에 의해서 공시체가 파괴했다고 보여진다.

4. 결론

본 실험에서 얻어진 결론은 다음과 같이 나타났다.

- 1) 신형식의 시험기를 이용한 CFS의 전단부착강도 시험의 결과는 타당하다.
- 2) CFS의 표면 변형률에서 구해진 전단 부착강도는 2종류의 경향이 나타났다.
- 3) 본 시험에 의해 추정된 전단부착강도의 평균값은 3.41MPa로 하한값은 2.11MPa로 나타났다.
- 4) 이번의 시험에서 콘크리트 강도 및 CFS의 부착 길이에 의해 CFS의 전단부착강도에 미치는 영향은 보여지지 않았다.

참고문헌

- 1) 例えは, 板野次雅, 松井繁之, “炭素纖維シートによる床版補強に関する研究”, 平成10年度土木學會年次學術講演會, 1998.10, I -59-1.
- 2) 日本コンクリート工學協會, 連續纖維補強コンクリート研究委員會 報告書(II), 1998.5, pp. 7-9, pp. 10-11, pp. 66-68.
- 3) 松下博通ほか, “炭素纖維接着工法の CFS離耐力向上

-
- 方法に関する一考察”, pp.Ⅱ69-Ⅱ75.
- 4) 佐藤裕一ほか, “CFRPシートとコンクリートの付着挙動(その1)”, 日本建築學會構造系論文集, 1999.10, pp. 75-82.
 - 5) 曳村俊貴ほか, “CFRPによるRC床版の上面補強設計について”, pp.Ⅱ119-124.
 - 6) 岳尾弘洋ほか, “CFRP接着工法におけるCFSの付着特性”, コンクリート工學年次論文報告集, 1997, pp. 1599-1604.
 - 7) 浅野靖幸ほか, “一軸引張力を受けるCFSの付着特性について”, 土木學會北海道支部論文報告書, 第52号, pp. 680-683.
 - 8) 池谷純一ほか, “CFSとコンクリートの付着性状”, 日本建築學會大會學術講演概要集關東支部, 1997.9, pp. 397-398.
 - 9) 大谷俊浩ほか, “コンクリート補強用の炭素纖維シートの付着剝離試験”, 日本建築學會大會學術講演概要集, 1996. 9, pp. 675-676.
- (접수일자 : 2006년 5월 10일)