

T형 합성보의 구조거동에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on the Structural Behavior for T-type Steel Composite Beam

○이 지 운* 김 성 배** 김 상 모*** 이 창 남**** 김 상 섭*****
Lee, Ji-Woon Kim, Sung-Bae Kim, Sang-Mo Lee, Chang-Nam Kim, Sang-Seup

Abstract

Composite action can be achieved by providing shear connectors between steel top flange and concrete topping. Composite sections have larger stiffness than the summation of the individual stiffness of slab and beam, therefore, can carry larger load or similar loads with appreciably smaller deflection and are less prone to transient vibration. T-type Steel Composite beam(TSC-beam) is developed and tested. The test results of TSC beam are compared with the theoretical results based on composite actions.

키워드 : T형 합성보, 콘크리트 채움, 쉬어커넥터, 수평전단력, 합성효과

key word : T-type Steel Composite Beam, Concrete Filled, Shear Connector, Horizontal Shear, Composite Effects

1. 서론

현재 국내에서 건설되는 주거용 건축물의 골조형식은 최대 연면적 확보를 위해 내력벽식 구조형식을 일반적으로 사용해 왔다. 그러나 내력벽식 구조형식은 입주 후 구조적 변경이 불가능하기 때문에 급변하는 사회적 요구를 만족시키지 못하고 있는 실정이다. 최근에 이러한 문제점을 극복하고자 공간의 자유도를 높일 수 있는 강재를 활용한 골조-전단벽식 구조형식을 사용한 주거용 고층건축물이 도입되고 있다. 하지만 이러한 강구조 건축물도 원자재비 상승과 층고의 증가에 따른 경제성뿐만 아니라 처짐, 진동과 같은 사용성에 문제점을 드러내고 있다.

이러한 문제점을 극복하기 위해 새롭게 제안된 T형 합성보(이하 TSC라 칭함; T-type Steel Composite beam)는 하부 강판과 양측 면에 한 장의 플레이트를 벤딩기로 절곡한 U형태의 강판을 사용한다. 즉, 팔이 큰 데크플레이트 형상으로 시공시 거푸집의 기능과 인장재 역할을 극대화함으로써 휨 강성을 증가시킨 보로 기존 RC보를 강판으로 감싼 구조형식이다. 따라서, TSC보는 철골구조와 철근콘크리트구조의 장점을 조합한 구조로서 즉, 철근콘크리트구조의 경제성과 철골구조의 공기단축 그리고 휨 강성 개선에 의한 층고절감 및 처짐, 진동 등의 사용성을 개선시킨 구조형식이다.

본 연구는 새로운 합성보 시스템이라 할 수 있는 TSC 합성보에 대한 연구결과의 일부로, TSC보의 구조성능을 실험에 의해 분석하고, 내력평가를 통하여 TSC보의 구조설계 및 시공에 필요한 기초 자료를 제시하고자 한다.

* 정회원, 한국기술교육대학교 대학원 건축공학과 석사과정
** 정회원, (주)센구조 연구소 연구개발팀 팀장, 공학박사
*** 정회원, (주)센구조 연구소 부장
**** 정회원, (주)센구조 연구소 대표이사
***** 정회원, 한국기술교육대학교 건축공학과 교수, 공학박사

2. 실험계획

2.1 실험체

실험체의 단면형상은 그림 1과 같다. TSC보의 내력을 평가하기 위해 판두께를 3.2mm, 4mm, 6mm로 변화시켰으며, 또한 인장철근 보강과, PC강선 보강, 하부 플레이트에 뒷판을 대어서 인장보강 효과를 확인하고자 하였다. 그리고, 하부 쉬어키의 간격에 대한 영향과 스티드와의 비교를 위해 하부 쉬어키의 종류와 간격을 변수로 하였으며, 시공의 편리성을 위해 C-Channel의 쉬어커넥터를 사용하여 변수로 계획하였다. 표 1은 본 연구의 실험체 종류와 변수를 정리한 것이다.

모든 실험체의 압축철근은 3-HD22 (SD40)로 배근되었으며, 상부 플레이트의 쉬어커넥터는 D16 이형철근을 200mm 간격으로 갈매기 모양(ㄷ)으로 하여 보 안쪽 웨브에 용접하여 설치하였다. 하부 플레이트의 쉬어키는 콘크리트와 플레이트를 일체화 시키고, 하부에서 발생할 인장균열의 집중현상 등을 제어하기 위해 HD25 이형철근을 200mm 간격으로 배치, 설치되었다. 쉬어키 설치에 대한 간격 등은 계속 연구 중이며 본 연구에서는 상부 쉬어커넥터와 동일한 간격으로 배치하였다. 실험체의 지점간 거리는 400cm (실험체 길이 : 440cm)이고, 슬래브 폭은 70 cm로 계획하였다.

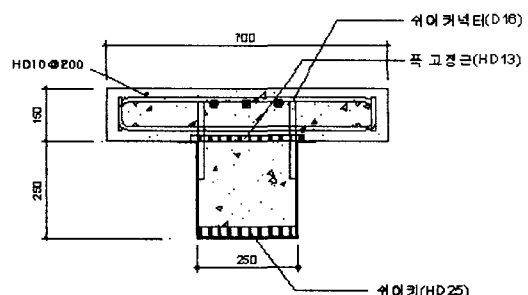
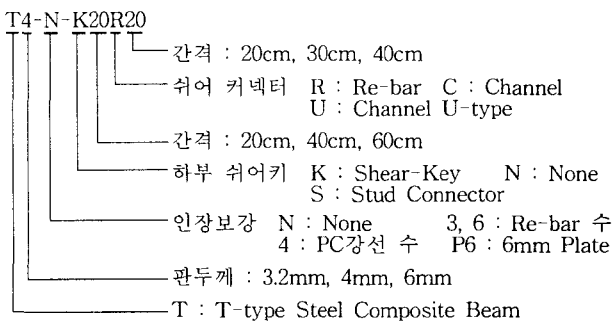


그림 1. 실험체의 형상

표 1. 실험체 일람표

실험체	판두께	인장보강	하부쉬어키	쉬어커넥터
T4-N-K20R20	4	×	HD25@200	D16@200
T3.2-N-K20R20	3.2	×	HD25@200	D16@200
T6-N-K20R20	6	×	HD25@200	D16@200
T4-3-NR20	4	3-HD22	×	D16@200
T4-4-K20R20	4	4-φ15.2	HD25@200	D16@200
T4-6-K20R20	4	6-HD22	HD25@200	D16@200
T4-P6-K20R20	4	Plate 6t	HD25@200	D16@200
T6-N-K40R20	6	×	HD25@400	D16@200
T6-N-K60R20	6	×	HD25@600	D16@200
T6-N-S20R20	6	×	Stud@200	D16@200
T6-N-S40R20	6	×	Stud@400	D16@200
T4-N-K20C30	4	×	HD25@200	C@300
T4-N-K20C40	4	×	HD25@200	C@400
T4-N-K20U40	4	×	HD25@200	U@400



2.2 가력 및 측정방법

실험체의 가력은 그림 2와 같이 200tf의 만능시험기(UTM)를 사용하여 2점 가력을 하였으며, 처짐량을 측정하기 위해 가력점 하부와 보의 중앙부 및 하중점과 지점부 중앙에 변위계를 설치하였다. 또한 지점 외측의 회전각을 측정하기 위해 변위계를 설치하였다.

스트레인게이지는 인장응력을 받는 하부 인장플레이트 중앙부에 2개를 부착하였으며, 상부 콘크리트 슬래브 중앙부 1개소에 콘크리트용 스트레인게이지를 부착하였다. 또한 중립축의 위치를 파악하기 위해 철판부재의 웨브에 3개, 콘크리트 슬래브 측면 중앙부에 1개의 스트레인게이지를 부착하였다.

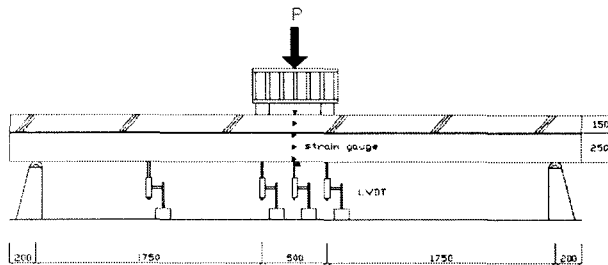


그림 2. 실험체 설치도

2.3 소재 시험

실험체에 사용된 각 두께별 철판(SS400)과 철근(SD30, SD40)의 인장강도 시험결과는 표 2와 같다. 콘크리트의 배합비는 표 3과 같다. 공시체는 시험체 제작 시 동일한 조건으로 제작하여 양생(28일) 후 시험한 결과 압축강도 243.7 kgf/cm²을 얻었다.

표 2. 인장강도 시험결과

시험편	항복강도 (tf/cm ²)	인장강도 (tf/cm ²)	탄성계수 (10 ⁶ kgf/cm ²)	연신율 (%)
P3.2	3.86	4.20	2.08	32.20
P4	3.53	4.05	2.16	33.15
P6	3.07	3.63	2.17	42.97
D16	4.21	6.28	2.23	30.72
D22	4.47	7.27	1.97	26.77
D25	5.17	6.37	2.25	32.02

표 3. 콘크리트의 배합비

설계강도 (kgf/cm ²)	W/C	S/A	단위 골재량 (kgf/m ³)			
			W	C	S	G
240	50.4	46.9	177	353	843	943

주) W : 물 C : 시멘트 S : 잔골재량 G : 굵은 골재(최대치수 25mm)

3. 실험 결과 및 분석

3.1 판두께에 따른 비교

그림 3은 실험체의 판두께에 따른 하중-변위 곡선을 나타낸 것이다.

판두께가 4 mm인 T4-N-K20R20 기준형 실험체는 최대하중에 도달한 후에도 큰 내력저하 없이 변형능력을 유지하였으며, 상부 플레이트 및 웨브에 국부좌굴이 발생하지 않고, 그림 4와 같이 콘크리트 슬래브가 압괴되면서 파괴되었다.

두께가 3.2 mm인 T3.2-N-K20R20 실험체는 기준형과 비교하여 철판 두께가 얇지만 초기강성 및 최대하중은 비슷하게 나왔다. 그러나 지속적인 연성거동을 하다가 최대하중 도달 후 콘크리트 슬래브가 압괴 파괴되었고, 하부 플레이트가 찢어지면서 인장파괴 되었다.

판두께가 6 mm인 T6-N-K20R20 실험체는 기준형과 비교하여 판두께가 두껍기 때문에 초기강성이 우수하고 최대내력도 높게 나타났다. 파괴 양상은 상부 콘크리트 슬래브 압괴 되어 파괴되었으나, 결국 이형철근으로 제작한 쉬어커넥터가 충분한 합성능력을 발휘하여 콘크리트 슬래브의 압괴 후에도 급격한 내력 저하 없이 충분한 변형능력을 발휘하였다.

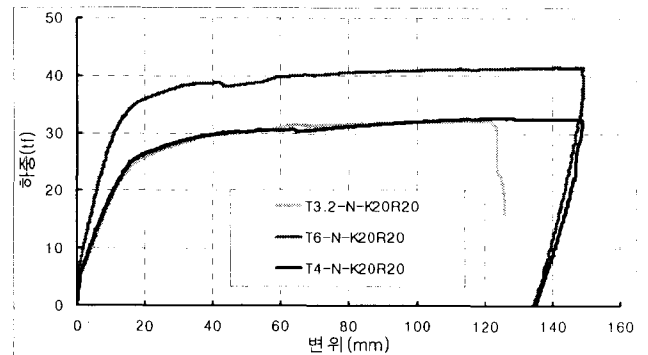


그림 3. 판두께에 따른 하중-변위 곡선

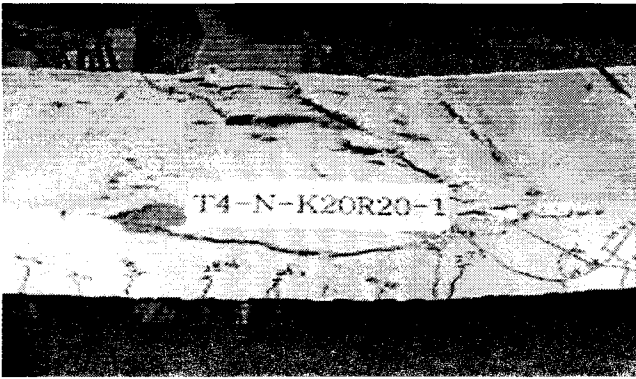


그림 4. T4-N-K20R20 실험체의 압괴파괴 성상

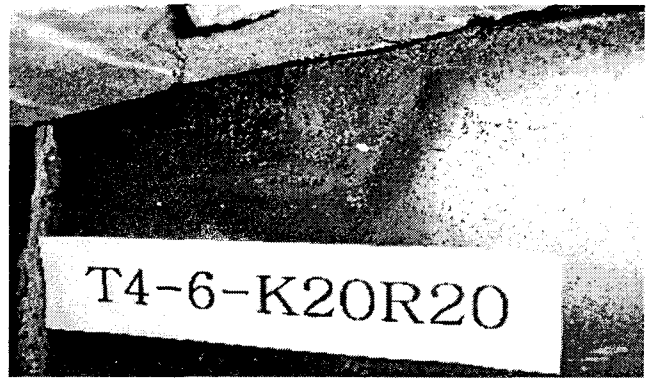


그림 6. T4-6-K20R20 실험체의 국부좌굴 성상

3.2 인장보강에 따른 비교

그림 5는 실험체의 인장보강에 따른 하중-변위 곡선을 나타낸다. 인장보강을 한 실험체는 모두 인장보강이 없는 기준형 실험체보다 초기강성, 최대내력이 모두 크게 나타났다. 인장보강을 한 모든 실험체가 최대내력 후에도 급격한 내력 저하 없이 충분한 변형능력을 발휘하였다.

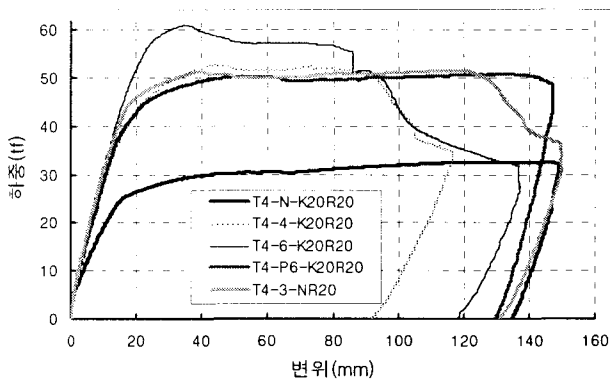


그림 5. 인장보강에 따른 하중-변위 곡선

φ15.2mm PC강선 4개를 보강한 T4-4-K20R20 실험체는 기준형보다 초기강성 및 최대내력은 크나, 콘크리트 슬래브 압괴로 인해 상부 플레이트에 좌굴이 발생하여 연성능력이 떨어졌다.

이형철근 HD22를 6개를 배근한 T4-6-K20R20 실험체는 강성 및 최대내력은 가장 높았지만 최대내력 후 콘크리트 슬래브가 압괴 되면서 그림 6과 같이 상부 플레이트 및 웨브에 국부좌굴로 인한 파괴 양상을 보였다.

T4-P6-K20R20 실험체는 하부에 6mm 플레이트가 보강되어서 기준형보다 강성 및 최대내력이 크게 나왔다. 최대내력 후에도 상부 플레이트 및 웨브에 국부좌굴이 발생하지 않고, 최대내력을 지속적으로 유지하였으며 콘크리트 슬래브의 압괴로 인한 파괴 양상을 보였다.

T4-3-NR20 실험체는 하부 쉬어키가 없지만 인장철근을 3-HD22로 배근하여서 기준형보다 강성 및 최대내력이 크게 나타났다. 최대내력 후 콘크리트 슬래브의 압괴로 인한 상부 플레이트에 국부좌굴이 발생하였다. 인장철근을 배근해서 하부 쉬어키가 없어도 내력 및 변형능력에 큰 영향이 없었다.

3.3 하부 쉬어키에 따른 비교

그림 7은 하부 쉬어키에 따른 하중-변위 곡선을 나타낸다. 하부 쉬어키는 HD25 이형철근을 400mm, 600mm 간격으로 배치하였으며 또한 D16 Stud를 200mm, 400mm 간격으로 배치하여 기준형 실험체와 비교한 결과 강성과 최대내력 및 변형능력에서 큰 차이가 없었다. 모든 실험체에서 상부 플레이트나 웨브에 국부좌굴은 발생하지 않았다.

쉬어키를 변수로 한 T6-N-K40R20, T6-N-K60R20, T6-N-S20R20, T6-N-S40R20 실험체 모두 콘크리트 슬래브 압괴에 의한 파괴 양상을 보였다.

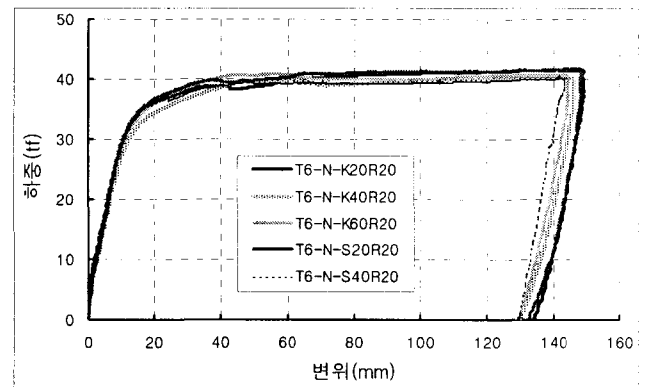


그림 7. 하부 쉬어키에 따른 하중-변위 곡선

3.4 쉬어키벡터에 따른 비교

그림 8은 실험체의 쉬어키벡터에 따른 하중-변위 곡선을 나타낸다. 쉬어키벡터를 변수로 한 T4-N-K20C30, T4-N-K20C40, T4-N-K20U40 실험체 모두 쉬어키벡터가 전단파괴 되어 기준형 실험체보다 강성 및 최대내력이 약간 적게 나타났다. 쉬어키벡터의 수평전단파괴로 콘크리트 슬래브 하부에 길이 방향으로 크랙이 발생하면서 상부 플레이트와 콘크리트 슬래브가 분리되었지만, 상부 플레이트 및 웨브에 국부 좌굴이 발생하지 않았으며, 최대내력 후 콘크리트가 압괴 되었지만 급격한 하중저하를 가져오지 않고 충분한 변형능력을 유지하였다. 최대내력 도달 이후에도 내력이 저하되지 않았으며 최대내력을 유지하면서 파괴 되었다.

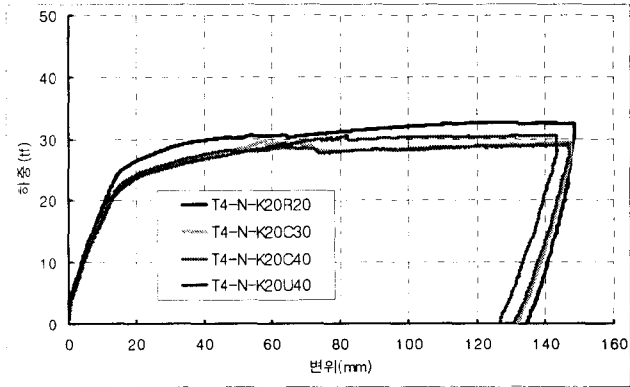


그림 8. 쉬어커넥터에 따른 하중-변위 곡선

3.5 항복하중 및 최대내력

실험결과에서 항복하중은 그림 9와 같은 방법으로 평가하였다(참고문헌 5). 항복하중은 초기강성과 최대내력의 선을 교차 시켜 만나는 점을 항복변위로 산정하였고, 이 항복변위와 실험곡선이 만나는 점의 하중을 항복하중으로 정의하였다. 초기강성은 실험곡선 상의 직선 구간의 기울기를 기준으로 산정하였다.

표 4는 실험결과를 바탕으로 항복하중과 최대내력 및 항복비를 정리한 것이다. 항복비는 대체로 0.7~0.8 정도 이고 평균값은 0.82로 나타났다. 최대하중시 변위에 대한 항복하중시 변위의 값은 0.10~0.54까지 다양하게 나왔다.

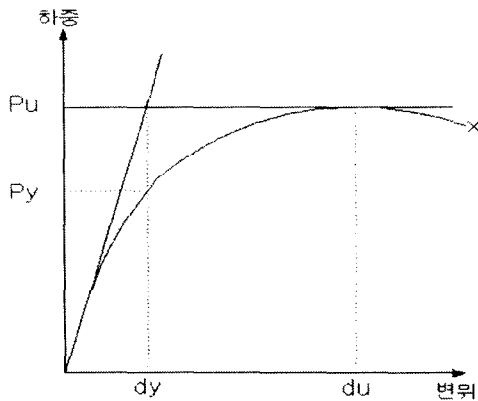


그림 9. 항복하중 산정법

4. 결론

본 연구에서는 내력과 변형능력이 우수한 합성보를 계획하여, 실험을 통해 구조성능을 검증하는데 그 목적을 두었으며, 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 판두께가 3.2mm, 4mm일 경우는 최대내력 및 변형능력에서 큰 차이가 없었다. 다만 3.2mm 철판을 사용할 경우 판두께가 얇아 하부 플레이트가 찢어져 인장 파괴될 우려가 있다. 판두께 6mm일 경우는 기존형인 4mm보다 강성 및 내력이 우수하게 나타났다.

표 4. 실험 결과

실험체	항복하중시		최대하중시		(1)	(2)
	하중	변위	하중	변위		
T4-N-K20R20	26.63	25.31	32.57	128.11	0.86	0.20
T3.2-N-K20R20	25.63	21.43	32.12	122.87	0.80	0.17
T6-N-K20R20	33.86	17.75	41.53	143.15	0.82	0.12
T4-3-NR20	45.03	20.86	51.57	118.66	0.87	0.18
T4-4-K20R20	44.88	25.45	52.81	47.25	0.85	0.54
T4-6-K20R20	50.15	19.65	60.95	36.25	0.82	0.52
T4-P6-K20R20	42.19	21.03	50.83	129.23	0.83	0.16
T6-N-K40R20	32.01	16.27	40.30	137.27	0.79	0.12
T6-N-K60R20	33.00	15.54	40.81	57.74	0.81	0.27
T6-N-S20R20	33.71	15.49	41.73	148.29	0.81	0.10
T6-N-S40R20	33.23	14.79	40.12	144.39	0.83	0.10
T4-N-K20C30	23.58	19.93	29.72	60.13	0.79	0.33
T4-N-K20C40	23.24	19.07	28.97	140.47	0.80	0.14
T4-N-K20U40	23.21	21.54	30.43	84.54	0.76	0.25

주) * 하중 : tf, 변위 : mm

** (1) : 항복하중 / 최대하중

*** (2) : 항복하중시 변위 / 최대하중시 변위

2. 하부 플레이트 보강은 철근을 이용하여도 동일한 내력 및 변형능력 확보가 가능하였다. 하부에 철근을 배근하면 쉬어키가 없어도 내력 및 변형능력에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

3. 하부 쉬어키의 배치에 있어서 이형철근 사용시에는 600mm 정도까지, 스테드는 400mm 정도까지 내력 감소가 없는 것으로 나타났으며 모두 유사한 최대내력과 변형능력을 보이고 있으므로 쉬어키의 종류와 배치간격에 의한 영향은 적은 것으로 판단된다.

4. 쉬어커넥터는 이형철근, C-Channel 모두 적용이 가능한 것으로 판단된다. 절곡 이형철근을 사용하는 경우 상부 플레이트와 콘크리트 슬래브 사이에 수평전단파괴가 일어나지 않았으나 C-Channel을 사용하는 경우에는 상부 플레이트와 콘크리트 슬래브 사이에 수평전단파괴가 일어났다. 그러나 급격한 내력 저하 없이 최대내력까지 변형이 계속 유지되었다.

참고문헌

1. 선병택(1981), "이형철근을 이용한 합성보의 Shear Connector내력에 관한 연구", 대한건축학회지 25권101호 pp.47-51.
2. 한상윤(1987), "합성보에 있어서 이형철근을 사용한 Shear Connector의 내력에 관한 실험적 연구", 대한건축학회학술대회 논문집7권 제1호, pp.445-448.
3. 홍순조(1982), "합성보 Shear Connector 설계 및 시공에 관한 연구", 대한건축학회지 26권105호 pp.48-53.
4. 황만규, 이은택(1986) "합성보에 있어서 Bond Shear Connector의 내력에 관한 실험적 연구(I)(II)", 대한건축학회학술대회 논문집, pp.193-196.
5. 建設省建築研究所(1994.12), (社)鋼材俱樂部, '鋼構造物の耐震保有性能評價のための標準試験方法及び評價基準の提案'.