

목재 접합부의 강도특성 및 장기 내력 평가 (I)*¹

- 소나무재의 Bolt 및 Drift pin 접합부 耐力 성능 평가 -

홍순일*² · 황원중*² · 김은삼*² · 진광성*²

Studies on Evaluation for Long-term Loading of Composite Wood-joint and Characteristics of Joint Strength (I)*¹

- The strength properties of mechanical joints of *Pinus densiflora* with drift pin and bolt

Soon-Il Hong*² · Won-Jung Hwang*² · Eun-Sam Kim*² · Kwang-Sung Jin*²

요 약

본 실험은 강판삽입형에 드리프트 핀, 볼트를 이용한 2가지 형태의 접합부의 강도 특성을 검토하였다. 하중 방향은 섬유평행방향 하중 (0도 하중)과 섬유직교방향 하중 (90도 하중)을 가하여 하중방향의 차이 및 접합구에 따른 강도 특성을 비교하였다. 소나무재의 강판 삽입의 드리프트 핀, 볼트 인장형 전단강도 실험에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 같은 단거리의 섬유평행방향 하중시 최대하중은 접합구의 직경이 증가함에 따라 증가되는 경향을 보였으며, 90도 하중인 경우 드래프트핀, 볼트 접합부는 2가지 접합구 직경(10 mm, 12 mm)에서 모든 소나무 시편이 할렬파괴 되었다.

2. 하중-변형 곡선의 초기 직선영역을 나타내는 직선과 접합구 직경의 5% 만큼을 횡축의 정방향으로 평행 이동시킨 접합부의 항복하중(Py)과 최대 하중비의 증가 정도는 0도 하중의 경우가 높고, 볼트의 접합에서 높았다. 또한 세장비가 증가될수록 높은 경향을 나타냈다.

3. 항복 추정치으로 구한 항복하중과 실험값에서 5% 차감한 항복하중은 볼트 접합부에 비해 드리프트 핀 접합부가 추정치와 실험치가 잘 일치되었다.

* 1 접수 2000년 11월 23일, 채택 2001년 10월 4일

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음.

* 2 강원대학교 산림과학대학 College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the strength and stiffness of drift pinned and bolted joints with steel-plates by the tension-type lateral strength tests. Specimens were solid wood of *Pinus densiflora*. Bolt and drift pin were jointed with inserted steel plates. Tests were conducted with combinations of two loading directions (parallel to the grain : 0 degree, perpendicular to the grain : 90 degree) and three diameters of fasteners ($d = 6$ mm, 10 mm, 12 mm).

The results obtained were as follow:

1. In the test of the parallel to the grain, maximum loads were increased with increasing of the diameter of bolt and drift pin in the same end distance. In the test of perpendicular to the grain with diameter 10 mm and 12 mm, specimens mostly were failed with horizontal splits in woods reaching the yield load of drift pinned and bolted joints.

2. The ratio of maximum load to the yield load determined by the so-called "5% offset method", was great in bolted joints in the parallel to the grain. This trend become more remarkable as the slenderness ratio was increased.

3. The calculated yield strength was agreed well with the experimental results of drift pinned joint(0 degree).

Keywords: parallel to the grain, 0 degree, perpendicular to the grain, 90 degree, yield load, slenderness ratio

1. 서 론

목조건축물의 설계는 골조의 전체적인 해석과 부분적인 접합부의 해석이 동시에 행하여져야 할 필요가 있다. 목구조물의 내력 성능은 목재 그 자체의 내력 성능뿐만 아니라 목재 접합부의 내력 성능에도 좌우되고 있으며 목질 구조물의 비선형특성, 이력 특성은 거의 접합부의 변형, 이력 특성에 지배된다고 하여도 과언이 아니다. 이 경우 고려해야 할 중요한 점은 접합부의 구조특성이 목조건축물의 변형과 하중의 분배에 많은 영향을 미치고 있다는 점이다. 금속 접합구를 사용한 목재 접합부의 대표적인 볼트 및 드리프트 핀 접합부는 각각 고유의 특성을 갖고 있으며 그 특성은 강도에 반영되고 있다. 볼트, 드리프트 핀 접합부의 항복하중의 추정은 섬유평행 하중의 실험결과는 항복이론(Johansen, 1974)에 의한 계산값이 잘 일치되고 있으나(Larsen, 1974; Soltis & Wikinson, 1987; 安村 등, 1983)

섬유직교 방향에서는 일치되고 있지 않다(Soltis & Wilkinson, 1987). 이는 섬유직교 하중시의 최대하중은 接合具 자신의 휨항복 및 接合具의 목재 압입에 의해 결정되기보다도 목재의 할렬 파괴에 의해 결정되는 경우가 많고 특히 연거리(Edge distance), 단거리(End distance)의 영향이 크다(平井, 1983; 安村 등, 1987). 목재는 강도 이방성 재료이므로 접합부의 변형, 내력성능도 당연히 이 영향을 받는다. 그러나 접합 내력의 이방성은 목재 자체의 강도이방성에 비하면 적다. 이것은 목재의 접합구 강도특성이 하중방향에 의해 달라지는 것에 기인한다. 또 접합내력 이방성의 程度는 접합구의 종류와 세장비에 의해 크게 차이가 생기는 것으로 보고되고 있으며, 일반적으로 볼트접합과 드리프트 핀 접합에서는 이방성은 크고 못 접합에서는 작다고 보고되고 있다(Komatsu, 1989; 平井 등, 1984; 平井, 1987; 前田, 1987). 최대내력 이방성은 접합구의 직경이 클수록 크다. 이것은 목재의 섬유외 수직방향에 하중된 경우에는 목재의 할렬 파괴에

대해 파괴 역학적인 치수효과(Smith & Whale, 1987; 銅材, 1976; 日本建築センタ, 1988)가 발생하고 접합구의 직경이 클수록 최대 평균 지압응력(bearing stress)이 저하되기 때문이다. 이와 같은 치수 효과는 물론 목재의 섬유방향에 하중된 경우에도 발생된다고 생각해야한다. 그러나 섬유방향 하중에서는 활렬이 생기는 목재부분이 그것보다 앞서 국부적인 섬유 좌굴을 일으켜 소성 응력 상태로 되고 선형 취성 파괴 조건을 만들게된다. 이 때문에 섬유의 수직방향 하중일수록 현저하게 치수효과는 작아진다. 목재접합부의 최대 내력을 지배하는 중요한 인자에 단거리, 연거리 및 접합부의 간격이다. 하중이 목재섬유에 수직방향으로 가해지는 경우에는 단·연부 거리, 特히 연거리가 증가될수록 최대내력은 커진다(川元 등, 1992; 平井, 1993). 여기서 중요한 것은 연거리의 접합구 직경에 대한 비가 문제되는 것이 아니고 연거리 그 자체에 주목해야하는 점이다(銅材, 1976; 平井, 1993).

그러나 국산재를 이용한 접합구의 단거리 및 연거리가 최대하중에 미치는 영향을 조사한 보고는 많지 않으며, 실험을 통한 접합부의 장기내력 평가는 전무한 상태이다. 접합부의 장기내력 평가는 접합부의 단기 내력의 검토를 기초로 하여 온·습도 변동에 따른 크리프변형과 내력의 저감을 사용조건과의 관계를 중심으로 한 고찰이 필요하므로, 본 연구에서는 단기내력의 고찰로서 국산재 공급율의 50% 이상을 차지하며 나무결이 곧고 침엽수 중에 비교적 강도가 큰 편이어서 예로부터 구조용재 및 건축자재를 이용되고 있는 소나무재에 강판을 삽입한 드립트 핀, 볼트 접합의 인장형 실험을 행하여 각 접합구의 강도 및 비례한도 이후의 변형특성, 단거리에 따른 볼트 및 드립트 핀 접합의 내력 성능 및 接合具 직경에 따른 강도 특성을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

본 실험은 강판삽입형에 드립트 핀, 볼트를 이용한 2가지 형태의 접합을 행하여 실시하였다. 하

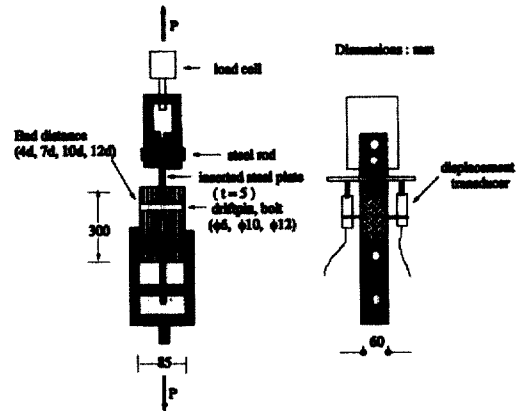


Fig. 1. Test of drifpined joint inserted steel plate and bolted joint with inserted steel plate in parallel to the grain loading (0 degree).

중 방향은 섬유평행방향 하중 (0도 하중)과 섬유직교방향 하중 (90도 하중)을 행하여 하중방향의 차이 및 접합구에 따른 강도 특성을 비교하였다.

시편은 두께 40 mm, 폭 60 mm, 길이 300 mm 인 소나무재 2개에 5 mm 강판을 삽입하여 시편두께를 85 mm로 하였다. 이 시편의 두께(L)와 접합구의 직경 d의 비(L/d : 세장비)에 따른 강도특성을 검토하였다.

0도 하중용 시험체는 그림 1에 표시하였다. 접합구의 접합 위치는 폭방향의 중심으로 상단으로부터 단거리는 각 접합구의 직경(d = $\phi 6$, $\phi 10$, $\phi 12$ mm)에 대응하여 4d, 7d, 10d, 12d로 하였다. 0도 하중용 시험체는 볼트, 드립트 핀의 직경 (d = $\phi 6$, $\phi 10$, $\phi 12$ mm)에 따라 각 단거리별로 3개씩 모두 72개의 시편을 제작 실험을 행하였다. 90도 하중용의 시험체는 그림 2에 표시하였다. 시편의 두께는 삽입 강판 포함 85 mm이며 길이는 100 mm로 하였다. 상단으로부터 25 mm의 연거리에 접합구의 직경($\phi 10$ mm, $\phi 12$ mm)에 대응하여 단거리 2d, 4d, 6d, 8d의 시험체를 각각 3개씩 전부 48개의 시편을 제작하여 실험을 행하였다. 0도 및 90도 하중의 인장형 전단시험은 그림 1과 2에 표시된 금속치구를 이용하여 시험체가 연직 방향에 거의 평행이 되게 한 다음 하중을 가하여 실험을 개시하였

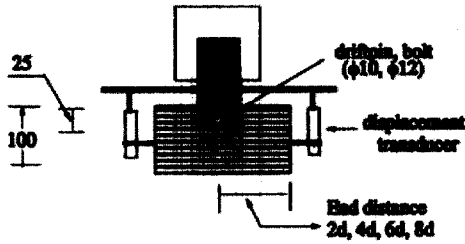


Fig. 2. Test of drift-pinned joint with inserted steel plate and bolted joint with inserted steel plate in perpendicular to the grain loading (90 degree).

다. 소나무재와 강관간의 변형은 양측에 부착된 2개의 변위계를 이용 측정하여 평균값을 사용하였다. 하중은 유압하중장치 및 컴퓨터 제어가 가능한 Data logger (TDS303) 사용하여 하중 및 변형을 측정하였다. 실험에 사용된 소나무재의 기건비중은 0.54, 함수율은 10~12%, 초음파 시험기(pundit plus)를 이용하여 측정한 탄성계수는 80,000~100,000 kgf/cm² 범위였다. 삽입용 강관 및 드리프트 핀의 재질은 ss41로 드리프트 핀은 주문제작 하였으며, 볼트는 시판되고 있는 것을 구입하여 사용하였다. 직경 10 mm의 드리프트 핀 및 볼트의 중앙 집중 하중 시의 최대 하중은 950 kgf, 700 kgf였으며, 12 mm는 1700 kgf, 1200 kgf였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 하중-변형 곡선의 특성

각 접합구의 대표적인 하중-변형 곡선으로서 단거리 7d (0도 하중), 8d (90도 하중)의 볼트 및 드리프트 핀의 변형곡선을 그림 3에 표시하였다. 0도 하중인 경우 강관 삽입형 드리프트 핀과 볼트 접합의 변형곡선은 비례한도를 주변까지는 변형형태가 유사하나 비례한도를 경과한 후부터 다른 곡선 경향을 보여주고 있다. 볼트의 경우 비례한도를 지나서 경사가 완만해지나 곧 경사가 급격해지면서 최대하중에 달하여 파괴되었으며 같은 직경의 드리프트

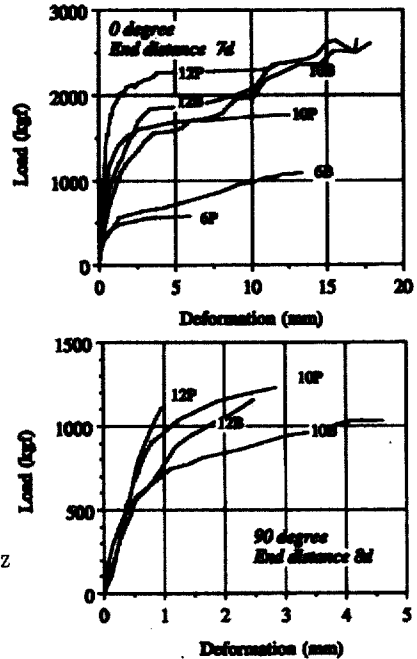


Fig. 3. Typical - deformation curves.
Legend : P : drift pinned joint with steel-plate
B : bolted joint with steel-plate.

핀에 비해 높은 강도값을 나타내었다.

비례한도를 지나면서부터 최대하중에 달하기까지의 최대 변형량이 커서 韌性은 볼트 접합부가 양호함을 보여주고 있다(그림 3).

90도 하중인 경우 드리프트 핀, 볼트 접합부는 2가지 접합구 직경(10 mm, 12 mm)에서 모든 소나무 시편이 할렬 파괴되었다. 각접합구 직경에 대한 각 시험체의 최대 지압응력(최대하중/지압면적)을 단거리별로 Table 1에 표시하였다. 접합구 직경과 지압 응력의 관계를 보면 0도 하중에 있어서는 접합구 직경이 커짐에 따라 지압 응력은 증가되었으나, 90도 하중의 경우는 접합구 직경이 커짐에 따라 동일 단거리에서 지압 응력이 작아지는 경향을 보이고 있다. 볼트의 경우는 10d 이상, 드리프트 핀은 7d 이상의 단거리에서 이러한 경향을 보이고있으며, 섬유방향을 따라 할렬이 발생하여 파괴되었다. 이러한 경향은 할렬을 발생

Table 1. Summary of connection properties.

Type	Loading direction	Diameters of fasteners (mm)	Bearing stress (kgf/cm ²) ^a			
			4d (2d)	7d (4d)	10d (6d)	12d (8d) ^b
Bolt	Parallel to the grain loading (0 degree)	6	185.6	215.3	209.5	190.0
		10	195.5	296.0	298.0	291.2
		12	146.5	279.7	292.7	303.1
	Perpendicular to the grain loading (90 degree)	6	-	-	-	-
		10	51.2	96.4	105.2	120.4
		12	52.8	102.9	97.3	104.2
Drift pin	Parallel to the grain loading (0 degree)	6	166.7	147.7	163.1	171.8
		10	185.9	206.2	201.7	222.9
		12	205.7	235.9	238.0	251.8
	Perpendicular to the grain loading (90 degree)	6	-	-	-	-
		10	57.5	121.8	126.3	133.9
		12	63.0	94.4	93.1	106.7

a : Bearing stress = maximum load/d · l
Each value is the average of the three specimens

b : End-distance of perpendicular to the grain loading

시키는 하중은 접합구의 직경이 클수록 작아지는 것으로 추측되어진다.

3.2 세장비(L/d)와 최대하중과의 관계

0도와 90도 하중의 세장비와 최대하중과의 관계는 Fig. 4에 표시하였다. 그림의 각 plot점은 3本の 평균치로 나타냈다. 0도 하중과 90도 하중의 최대하중을 비교하면 명확히 0도 하중이 높음을 확인할 수 있다. 세장비가 증가함에 따라 0도 하중의 경우 볼트가 드리프트 핀에 비해 최대하중이 컸다.

90도 하중의 경우 볼트, 드리프트 핀의 단거리가 2d인 경우 각 접합구의 최대 하중값의 차이는 별로 없었으며 4d, 6d, 8d인 경우 접합부의 목재가 할렬 파괴되어 세장비의 증가에 따라 최대 하중이 증가되는 경향을 보이고 있다. 90도 하중의 경우 접합구의 직경이 커짐에 따라 소나무재의 할렬 파괴으로 인해 최대 하중은 감소되는 경향을 보이고 있다.

3.3 접합구의 파괴형태

본 시험을 통한 접합구의 파괴형태는 Fig. 5에

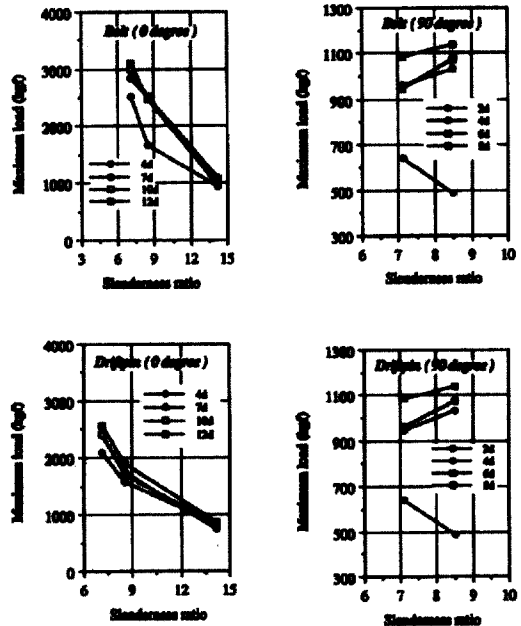


Fig. 4. Effect of slenderness of fasteners ratio on maximum loads.

표시된 바와 같이 3개의 형태로 구분되어졌다. 0도 하중인 경우 볼트는 단거리 4d인 경우 소나무재가 할

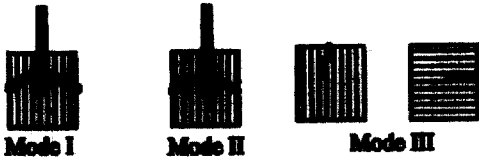


Fig. 5. Failure modes.

렬 파괴되었으나 단거리가 커짐에 따라 볼트 자체가 절단되는 형태를 나타냈다(Mode II).

드리프트 핀의 경우는 단거리 4d의 경우 소나무재가 할렬 파괴되었으나 그외의 단거리에서는 드리프트 핀이 삽입철제를 중심으로 한 점에서 굴곡되는 형상을 나타냈다(Mode I).

90도 하중인 경우 접합부의 소나무재가 단거리에 관계없이 할렬 파괴되는 형상이 나타냈다(Mode III).

3.4 항복하중과 최대하중

접합부의 항복하중(P_y)은 Fig. 6과 같이 하중-변형 곡선의 초기 직선영역을 나타내는 직선과 접합구 직경의 5% 만큼을 횡축의 정방향으로 평행 이동시킨 직선과 하중-변형 곡선의 교점의 하중으로 구하였다. Fig. 7은 세장비와 최대하중의 항복하중에 대한 비의 관계를 나타낸 것이다. 종축의 값은 항복점에서 최대하중에 도달할 때까지의 하중 증가정도를 나타낸 것으로 이 값이 클수록 접합부의 강도적 여유가 큰 것을 의미한다. 이 하중 증가의 정도는 0도 하중의 경우가 높고, 세장비가 클수록 높은 경향을 나타냈다. 이것은 0도 하중의 경우 볼트의 접합에서 현저하였으며 항복 후에도 2~2.5배 하중이 증가되고 있음을 확인할 수 있었다. 드리프트 핀의 경우는 1.5배 이내에 최대하중에 달하였다. 90도 하중의 경우 볼트는 1.5배 이내 드리프트 핀 접합부는 10 mm 직경의 접합부는 항복하중 후 바로 최대하중에 달하였으나 직경 12 mm의 경우는 초기 직선영역 내에서 목재가 할렬 파괴되었다.

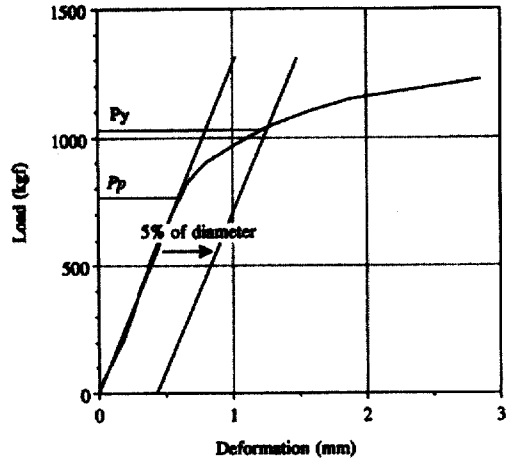


Fig. 6. Connection yield load defined.

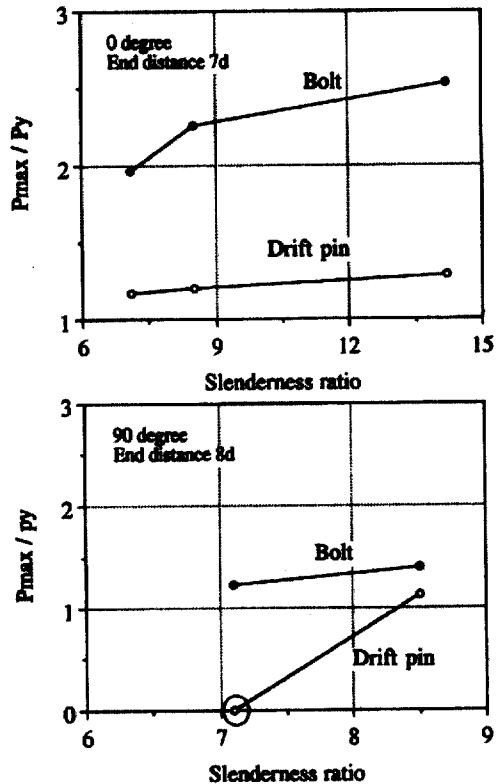


Fig. 7. Relationship between slenderness ratio and ratios of maximum loads to yield load(P_y).

3.5 항복하중의 추정

소나무재의 압입강도와 접합구의 휨 항복 모멘트를 이용하여 접합부의 항복하중을 추정은 Larsen의 항복 추정식을 이용하였다(Larsen, 1977).

접합구의 휨모멘트는 중앙 집중 하중 실험으로부터 구하였으며, 소나무재의 압입 응력은 장기허용 압축 응력의 3배의(일본 목구조계산기준·동해설, 1988; Larsen, 1994) 값을 적용시켜 계산하였다.

$$P_y = s \cdot d \cdot l \cdot \left(\sqrt{\frac{16M}{s \cdot d \cdot l^2} + 2} - 1 \right)$$

s = embedding strength of main member

(kgf/cm²)

d = diameter of drift pin(bolt) (cm)

l = thickness of main member (cm)

M = bending yield moment (kgf · cm)

Table 4는 0도 하중인 경우 단거리 7d의 각 접합부에서 위의 추정식을 이용하여 구한 항복하중과 실험값에서 5% 차감한 항복하중을 비교한 것이다. 볼트 접합부에 비해 드리프트 핀 접합부가 추정치와 실험치가 잘 일치되는 경향을 보였다.

90도 하중인 경우 접합부의 소나무재가 단거리에 관계없이 할렬 파괴되는 형상이 나타났으므로 위식의 적용은 적합하지 않았다.

Table 2. Relationships between L/d and failure modes(0-degree loading)

Type	Diameter	Failure modes			
		4d	7d	10d	12d
bolt	6	III	II	II	II
	10	III	II(III)	II	II
	12	III	I	II	II(III)
driftpin	6	III	III	I	I
	10	III	I	I	I
	12	III	I	I	I

Table 3. Relationships between L/d and failure modes(90-degree loading)

Type	Diameter	Failure modes			
		2d	4d	6d	8d
bolt	10	III	III	III	III
	12	III	III	III	III
driftpin	10	III	III	III	III
	12	III	III	III	III

Table 4. Comparison of calculated yield strength of joint with the experimental result.

Type	Diameters (mm)	Experimental value (kgf)	Calculated value (kgf)
Bolt	10	1150	1230
	12	1360	1750
Drift pin	10	1480	1440
	12	2037	2210

4. 결 론

강판 삽입형의 드리프트 핀, 볼트의 0도 하중과 90도 하중의 인장형 전단 실험의 결과, 0도 하중과 90도 하중의 최대하중을 비교하면 명확히 0도 하중이 높음을 확인할 수 있다. 세장비가 증가함에 따라 0도 하중의 경우 볼트가 드리프트 핀에 비해 최대하중이 컸다.

항복점 이후의 하중의 증가는 0도 하중의 경우 명확하게 나타나고 있다. 또한 하중 증가의 정도는 0도 하중의 경우 볼트 및 드리프트 핀 접합부의 세장비가 증가될수록 높은 경향을 보였으며, 90도 하중의 경우 항복 하중에 도달한 후에 최대하중에 달하였다. 접합부의 항복하중을 추정은 Larsen의 항복 추정식을 이용하였으며 드리프트 핀 접합부가 잘 일치되었다.

참 고 문 헌

- Johansen, K. W. 1974. IUFRO-V: 646.
- Komatsu, K. 1989. Behaviour of nailed timber joint with steel side plates, Proc. 2nd PTEC, Auckland: 89-94.
- Larsen, H. J. 1974. IUFRO-V: 646-654.
- Larsen, H. J. 1977. Design of bolted joints. Proceedings of CIB-W 18: 12-7-2.
- Larsen, H. J and Ehlbeck, J. 1994. design of timber structures : joints. International workshop on wood connectors. session I: 9-23.
- Smith, I. and Whale, L. R. J. 1987. Characteristic Properties of Nailed and Bolted Joints under Short-term Lateral Load. Jouranal Inst. Wood Sci. 11(2): 60-64.
- Soltis, L. A. and Wilkinson, T. L. 1987. FRL General Tech. Rep. FRL-GTR54, FPL: 1-21.
- 鋼材弘之. 1976. "線形破壊力學入門" 培風館.
- 平井卓郎. 1983. 木材學會誌 29(2): 118-122.
- 安村 基, 中村 昇, 杉山英男. 1983. 昭和58年度日本建築學會大會 學術講演梗概集(北陸), 構造系: 2213-2214.
- 平井卓郎, 堀江和美. 1984. 側材として鋼板を用いたボルト 接合部のせん断耐力(荷重方向の影響). 木材學會誌 30(12): 965-972.
- 平井卓郎. 1987. 木材接合部の基礎性能 1. 木材と合板の1面せん短曲線(1). 北大農演研報 44(4): 1307-1328.
- 前田典昭. 1987. 丸鋼ジベルのせん断耐力試験, 木造化推進標準施工マニュアル作成等事業報告書(3). 日本住宅木造技術センター: V-215.
- 安村 基, 坂井英明. 1987. 昭和62年度日本建築學會大會 學術講演梗概集(近畿), C構造II: 1419-1420.
- 日本建築センター編. 1988 大断面木造建築物設計施工マニュアル.
- 木構造計算規準・同解説. 1988. 168-176.
- 川元弘雄, 小松華平, 金曲弘行. 1992. ドリフトピン接合部の繊維に直交する方向のせん断耐力(第1報). 木材學會誌 38(1): 37-45.
- 平井卓郎. 1993. 木材のボルト接合せん断 耐力に及ぼす端部寸法影響. 木材學會誌 29(2): 118-122.