

木質構造ボルト接合部の弾性相互作用に関する研究

Study of elastic interaction on bolted timber joints

近畿大学 産業理工学部 建築・デザイン学科 講師 松原独歩

(研究計画ないし研究手法の概略)

本研究は、木質構造ボルト接合部のボルト締め付けにおいて、ボルトを逐次締め付けると、ボルト周辺の変形が影響し合うことにより、隣接するボルトの軸力が変化する現象である弾性相互作用に関して有益な知見を得ることを目的とした。

我々は、木材同士もしくは木材と鋼板をボルト等で締め付けることで生じる部材間の摩擦抵抗力を利用した木材摩擦接合部とそれを応用した耐力壁の開発を進め、その有効性を振動台実験等により明らかにした。しかし、この木材摩擦接合部の実現のためには、木材の長期応力緩和挙動の解明とボルト初期軸力の管理方法の確立が不可欠となっている。この内、初期軸力の管理方法について、これまで単一ボルト接合部に対して、トルクレンチ等の工具で管理するトルク法が適用可能であること等を明らかにしたが、複数本ボルト接合部に適用した場合、弾性相互作用を回避するための締め付け順序が問題となっていた。全てのボルトを同時に締め付けることで、この問題を回避できるが、コスト等の問題から現実的ではなく、極力弾性相互作用を回避可能な締め付け順序を明らかにする必要がある。そこで本研究では、直列複数本ボルト接合部を対象として、締め付け順序、材厚、ボルト間隔をパラメータとした実験を行った。

代表的な試験体の様子を図1に、実験概要図を図2に示す。木材はスギ(*Cryptomeria japonica*)を用いた。ボルトはピッチ1.75mmのM12スタッドボルトとした。座金は直径35mm、厚さ4.5mmの丸座金とした。ボルト間隔 S を48、60、72、84mmの4水準、木材厚さ T_h を30、45、60mmの3水準とし、試験体は各1体実験に供した(合計12体)。締め付け順序は図2に示したように、Se.1: A→B→C→D、Se.2: A→D→B→C、Se.3: A→C→B→D、Se.4: B→C→A→Dの4パターンとした。ボルトの中央に穴を空けひずみゲージを挿入し、ボルト軸力をデータロガーにより計測した。なお、ひずみゲージの挿入位置は、ナット下の遊びねじ部とした。ボルトの初期締め付け力は2kNとし、トルクレンチにて締め付け、2kNに達した時点で締め付けをストップし1分間待機した後に次のボルトを締め付けた。締め付け方向は繊維直交方向とした。

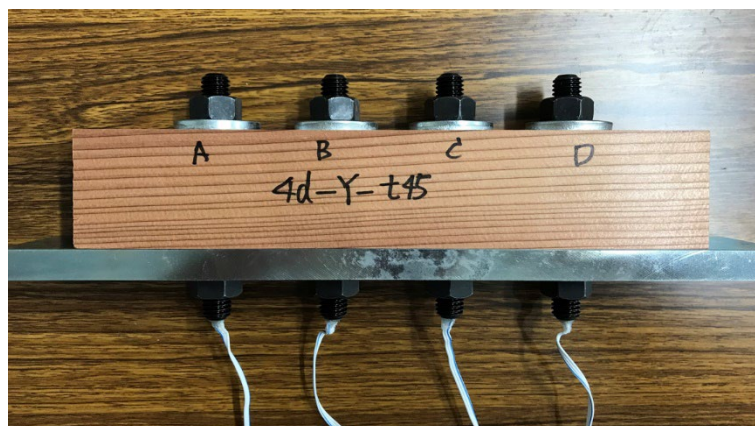


図1 代表的な試験体の様子

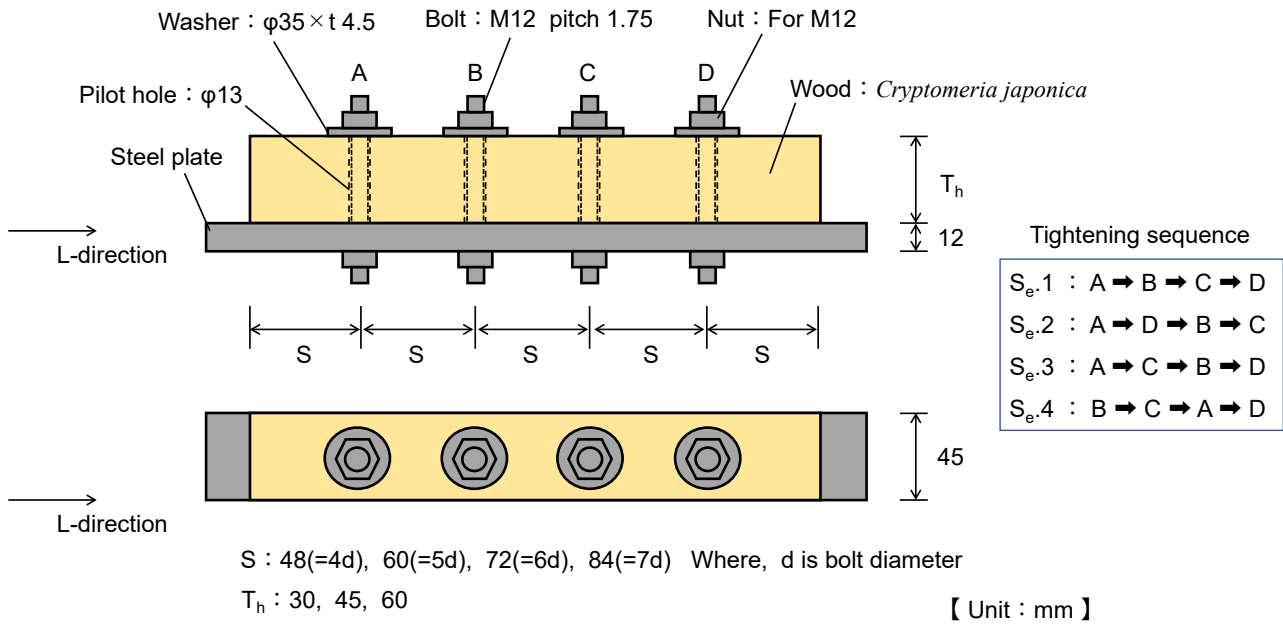


図 2 実験概要図

(実験調査によって得られた新しい知見)

図 3 に材厚 T_h : 30mm、ボルト間隔 S : 48mm の試験体の応力比-時間線図を示す。まず Se.1 を見ると、順次ボルトを締付けると締付け直後に先に締付けたボルトの軸力が急激に低下することがわかった。Se.2 においても同様である。一方、Se.3, 4 を見ると、両隣のボルトを締付けると 2 度軸力が低下する現象が見られることがわかった。

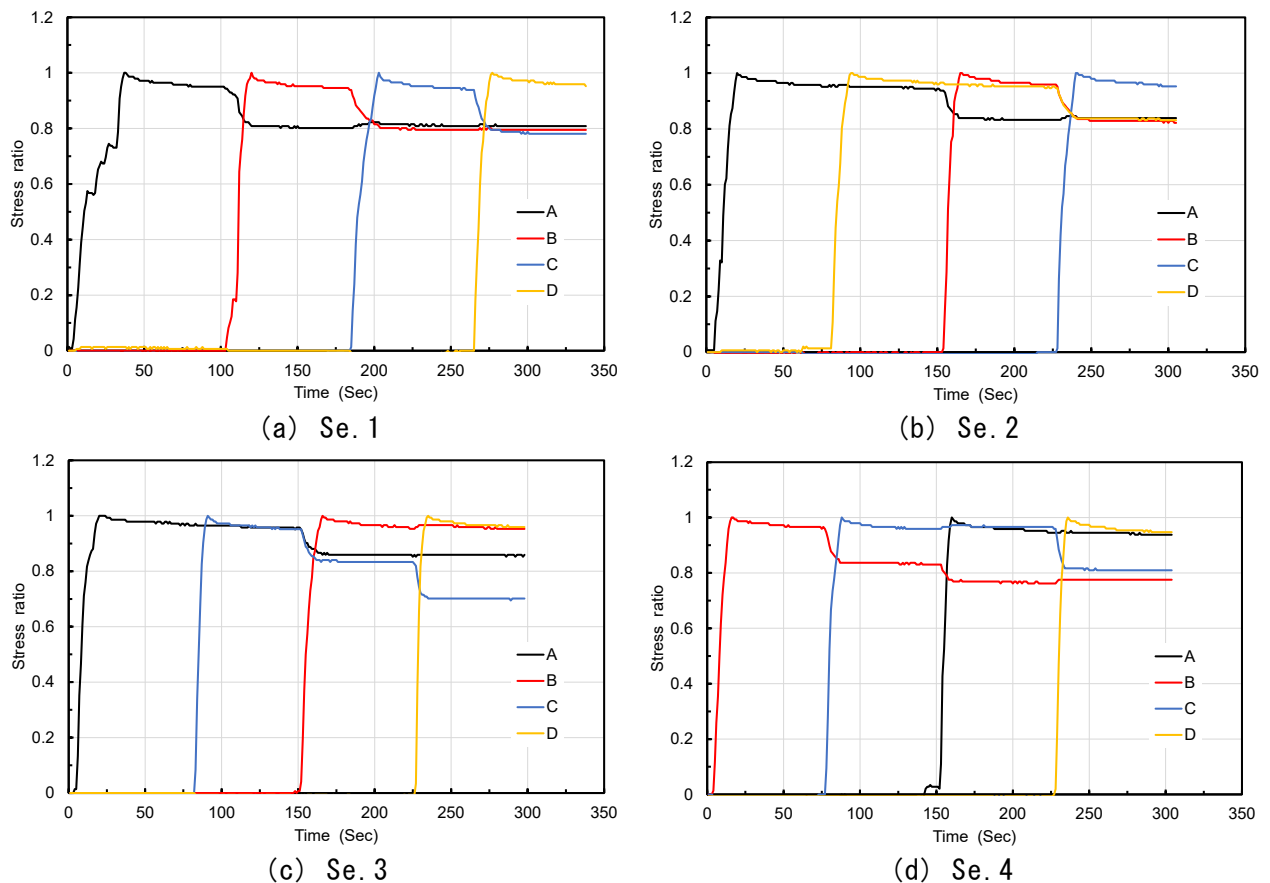


図 3 応力比-時間線図の関係 (T_h : 30 mm、 S : 48 mm)

表 1 に締付け完了後の応力比の一覧を示す。表には最大応力比と最小応力比の比 (Max./Min.) も併せて示した。まず $T_h : 30 \text{ mm}$ 、Se.1, 2 について見ると、ボルト間隔を大きくするに従い、Max./Min. は低下傾向にありほぼ 1 に漸近する傾向にあった。すなわち、各ボルト軸力がほぼ均一である状態を示している。一方、Se.3, 4 について見ると、2 度軸力の低下が生じたボルト (Se.3 の場合はボルト C、Se.4 の場合はボルト B) の影響で、Max./Min. は Se.1, 2 よりも高い傾向を示したが、ボルト間隔 $S : 84 \text{ mm}$ の場合は Se.1, 2 と同様にほぼ 1 となった。次に、 $T_h : 45 \text{ mm}$ について見ると、 $T_h : 30 \text{ mm}$ の場合よりも全体的に Max./Min. は高い傾向を示し、特に $S : 48 \text{ mm}$ 、Se.3, 4 の場合は、 $T_h : 30 \text{ mm}$ の場合と比べ 4 倍以上の値を示した。しかし、 $S : 84 \text{ mm}$ の場合は、 $T_h : 30 \text{ mm}$ の場合と同様にいかなる締付け順序においてもほぼ 1 となった。ここで注目すべきは、Se.3, 4 の場合、ボルト C、ボルト D において応力比がそれぞれ 0.95、0.92 となっており、2 度軸力の低下の影響をほとんど受けていない結果となった。同様に、 $T_h : 60 \text{ mm}$ について見ると、Max./Min. は、 $T_h : 45 \text{ mm}$ と同様に全体的に $T_h : 30 \text{ mm}$ よりも高い傾向を示した。 $S : 84 \text{ mm}$ の場合は、 $T_h : 30, 45 \text{ mm}$ のようにほぼ 1 とはならず、Se.3, 4 については 1.5 以上の値を示した。ここで、 S と T_h の比 (S / T_h) を横軸に、縦軸に Max./Min. を示した図を図 4 に示す。これによれば、 S / T_h が 1 付近において Se.3, 4 の Max./Min. は 3 以上の値を示すが、 S / T_h が大きくなるに従い減少傾向にあり、ほぼ 1 に収束する傾向にあることがわかった。以上のことから、本実験の範囲内では、 S / T_h の比を大きくすることで、具体的には 1.6 以上とすることで、いかなる締付け順序においても弾性相互作用による軸力減少と軸力のばらつきを回避できる可能性があることがわかった。

本研究で得られた知見をまとめると以下の通りであった。

- (1) 両隣のボルトが締付けられる締付け順序をとると、ボルトの軸力は 2 度低下し、軸力のばらつきが大きくなった。ただし、ボルト間隔を大きくするとその影響は小さくなった。
- (2) ボルト間隔 S と材厚 T_h の比を大きくするに従い、いかなる締付け順序においてもボルトの軸力はほぼ均等となる傾向にあった。本実験の範囲では、 S / T_h が 1.6 以上において Max./Min. の比がほぼ 1 に収束傾向にあった。

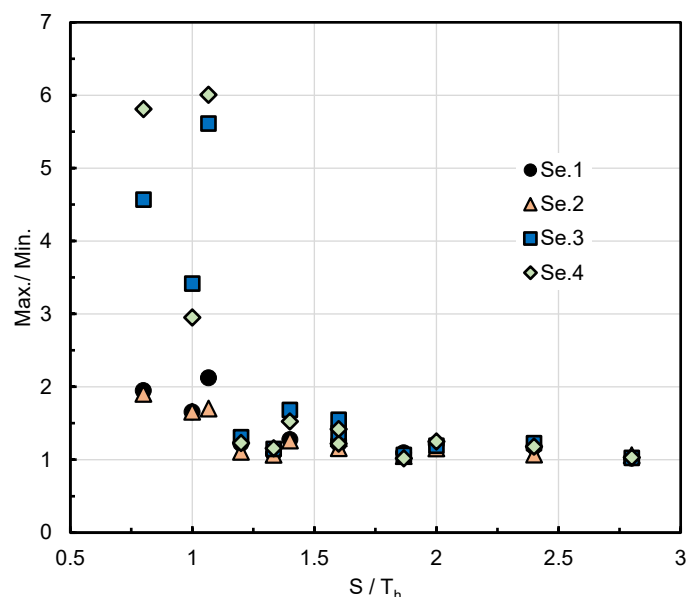


図 4 Max./Min. と S / T_h の関係

表 1 締付け完了後の応力比

T _h 【mm】	S 【mm】	Bolt No.	Stress ratio			
			Se.1	Se.2	Se.3	Se.4
			A→B→C→D	A→D→B→C	A→C→B→D	B→C→A→D
30	48	A	0.81	0.84	0.86	0.94
		B	0.79	0.82	0.95	0.78
		C	0.78	0.95	0.70	0.81
		D	0.95	0.83	0.96	0.95
	Max./Min.	1.22	1.16	1.37	1.22	
	60	A	0.76	0.78	0.79	0.91
		B	0.75	0.82	0.90	0.74
		C	0.84	0.90	0.78	0.84
		D	0.91	0.87	0.93	0.93
	Max./Min.	1.22	1.15	1.19	1.25	
	72	A	0.80	0.83	0.85	0.90
		B	0.78	0.86	0.91	0.78
C		0.75	0.88	0.74	0.83	
D		0.88	0.83	0.91	0.92	
Max./Min.	1.18	1.07	1.23	1.18		
84	A	0.89	0.90	0.89	0.91	
	B	0.88	0.92	0.91	0.92	
	C	0.88	0.92	0.90	0.90	
	D	0.88	0.86	0.90	0.93	
Max./Min.	1.02	1.06	1.03	1.03		
45	48	A	0.64	0.57	0.55	0.96
		B	0.55	0.54	0.92	0.16
		C	0.44	0.92	0.17	0.57
		D	0.93	0.57	0.94	0.93
	Max./Min.	2.12	1.70	5.61	6.01	
	60	A	0.85	0.89	0.89	0.94
		B	0.82	0.86	0.92	0.81
		C	0.84	0.91	0.81	0.89
		D	0.89	0.85	0.93	0.94
	Max./Min.	1.08	1.07	1.15	1.16	
	72	A	0.77	0.81	0.77	0.93
		B	0.73	0.73	0.94	0.65
C		0.73	0.94	0.61	0.78	
D		0.91	0.77	0.91	0.93	
Max./Min.	1.26	1.29	1.55	1.42		
84	A	0.85	0.90	0.89	0.92	
	B	0.88	0.91	0.93	0.92	
	C	0.92	0.95	0.95	0.94	
	D	0.93	0.92	0.94	0.94	
Max./Min.	1.09	1.05	1.07	1.02		
60	48	A	0.68	0.62	0.54	0.98
		B	0.49	0.50	0.93	0.17
		C	0.48	0.94	0.21	0.56
		D	0.94	0.49	0.94	0.93
	Max./Min.	1.95	1.90	4.57	5.81	
	60	A	0.71	0.68	0.61	0.97
		B	0.58	0.59	0.98	0.33
		C	0.57	0.94	0.29	0.64
		D	0.95	0.57	0.96	0.95
	Max./Min.	1.65	1.66	3.42	2.95	
	72	A	0.84	0.87	0.86	0.93
		B	0.81	0.83	0.94	0.77
C		0.75	0.92	0.72	0.84	
D		0.92	0.83	0.94	0.94	
Max./Min.	1.22	1.11	1.31	1.23		
84	A	0.78	0.81	0.78	0.95	
	B	0.76	0.77	0.96	0.62	
	C	0.72	0.95	0.57	0.78	
	D	0.92	0.75	0.95	0.95	
Max./Min.	1.28	1.26	1.68	1.52		

(発 表 論 文)

論文投稿準備中