

1. 研究プロジェクト

乾燥スケジュールを指標とした構造材の強度性能評価

2. 研究領域

乾燥、材料変換および高機能化

3. 研究代表者氏名

加藤英雄（森林総合研究所）

4. 研究組織

岩手県林業技術センター（東野正）、長野県林業総合センター（吉田孝久）、富山県林業技術センター（中谷浩）、広島県立林業技術センター（藤田和彦）、大分県林業試験場（城井秀幸）、熊本県林業指導所（池田元吉）、宮崎県木材利用技術センター（小田久人）、森林総合研究所（本田敦子、井道裕史、長尾博文、黒田尚宏）

5. 研究実施状況

乾燥材の強度試験に関するデータは、試験研究機関ごとに設定した目的が異なることから、まずは、供試体の概要、乾燥条件、強度試験方法、測定項目を精査した。供試体の概要は、樹種および材種について、研究組織で行われた実験を中心に行った。その結果、樹種については、スギが最も多く、次いで、カラマツ、アカマツの順であった。材種については、正角が最も多く、次いで、平角、平割りであった。なお、正角の寸法は、105～120 mmの範囲であり、樹種と地域性が反映されていた。

乾燥条件は、まず天然乾燥と人工乾燥に大別される。天然乾燥は、本来自然条件下での乾燥であるが、乾燥技術の進歩に伴い、人工乾燥と組み合わせたスケジュールの場合もあった。乾燥スケジュールと強度性能との関係を検討する上で、乾燥条件を組み合わせた影響は現段階では不明であることから、まずは、乾燥工程の情報を最大限取り入れた状態で検討を進めることにした。人工乾燥のスケジュールは、乾燥室内の温度および湿度を保つべき基準であり、樹種、材種、最終的な仕上がり状態を考慮した上で作成される。そのため、樹種および材種によって異なるのはもちろんのこと、樹種および材種が同一であっても様々である。そこで、天然乾燥の場合と同様、乾燥工程の情報を最大限取り入れた状態で検討を進めることにした。

強度試験方法は、実験の目的により様々な方法が行われている。荷重別で整理すると、3等分点荷重に方式による曲げ試験が最も多く、次いで、縦圧縮試験、縦引張り試験であった。試験に供試した試験体の総数は、現段階で2,320体である。

測定項目は、乾燥前、乾燥後、強度試験時ごとに区分した。乾燥前および乾燥後の測定項目は、寸法、質量および縦振動法によるヤング係数があり、これらの有意差検定の結果を元に、構造材の強度性能を比較検討を進めることとした。最も数が多い曲げ強度試験の測定項目は、寸法、質量、振動法によるヤング係数、荷重変形曲線から算出したヤング係数、最大荷重、最大荷重時の変形量、比例限、含水率が挙げられた。なお、現段階でとりまとめが終了したデータは、別添資料の通りである。

曲げ試験に関するデータ整理の結果 (1)

組織	樹種	試験体数	材幅(mm)	材せい(mm)	乾燥条件				乾燥前のデータ	試験条件	
					最高乾燥温度	最高乾燥時間	平均乾燥温度	総乾燥時間		荷重条件	スパン材せい比
					宮崎	スギ	64	110		110	130
	スギ	65	110	110	110			96	Eのみ	90-90-90	24(8.2)
	スギ	64	110	110	70			336	Eのみ	90-90-90	24(8.2)
大分	スギ	10	105	180	120	72	120	94	有	3等分点	20
	スギ	10	105	210	120	72	120	94	有	3等分点	17.1
	スギ	10	105	240	120	72	120	94	有	3等分点	15
	スギ	10	105	180	85	264	85	290	有	3等分点	20
	スギ	10	105	210	85	264	85	290	有	3等分点	17.1
	スギ	9	105	240	85	264	85	290	有	3等分点	15
	スギ	5	120	149	120	120	120	146	有	3等分点	24
	スギ	5	120	180	120	120	120	146	有	3等分点	20
	スギ	5	120	210	120	120	120	146	有	3等分点	17.1
	スギ	5	120	270	120	120	120	146	有	3等分点	13.3
	スギ	5	120	300	120	120	120	146	有	3等分点	12
	スギ	5	120	150	85	294	85	308	有	3等分点	24
	スギ	5	120	180	85	294	85	308	有	3等分点	20
	スギ	5	120	210	85	294	85	308	有	3等分点	17.1
	スギ	5	120	269	85	294	85	308	有	3等分点	13.3
	スギ	5	120	299	85	294	85	308	有	3等分点	12
	スギ	4	120	150	120	12	120	38	有	3等分点	24
	スギ	4	120	180	120	12	120	38	有	3等分点	20
	スギ	4	120	210	120	12	120	38	有	3等分点	17.1
	スギ	4	119	269	120	12	120	38	有	3等分点	13.3
	スギ	4	119	300	120	12	120	38	有	3等分点	12
	スギ	4	120	150			天然		有	3等分点	24
	スギ	4	120	180			天然		有	3等分点	20
	スギ	4	120	210			天然		有	3等分点	17.1
	スギ	4	119	270			天然		有	3等分点	13.3
	スギ	4	120	299			天然		有	3等分点	12

曲げ試験に関するデータ整理の結果 (1)

組織	樹種	試験体数	材幅(mm)	材せい(mm)	乾燥条件				乾燥前のデータ	試験条件		
					最高乾燥温度	最高乾燥時間	平均乾燥温度	総乾燥時間		荷重条件	スパン材せい比	
広島	スギ(H9)	38	105	210	80	554	80.0	554	*要野帳調査	3等分4点	18	
	スギ(H9)	50	105	210	108	21	102.8	226	*要野帳調査	3等分4点	18	
	スギ(H10)	49	105	210	80	492	80.0	492	*要野帳調査	3等分4点	18	
	スギ(H10)	50	105	210	108	17	101.0	252	*要野帳調査	3等分4点	18	
	アカマツ(H9)	49	105	210	80	118	80.0	118	*要野帳調査	3等分4点	18	
	アカマツ(H9)	47	105	210	110	11	101.9	62	*要野帳調査	3等分4点	18	
	アカマツ(H10)	49	105	210	80	118	80.0	118	*要野帳調査	3等分4点	18	
	アカマツ(H10)	50	105	210	110	8	101.1	77	*要野帳調査	3等分4点	18	
長野	スギ	36	105	105	天乾						3等分点	
	スギ	38	120	120	天乾				有		3等分点	10.5/270
	スギ	39	120	120	天乾				有		3等分点	12/270
	スギ	20	120	120	80	96 (0)		336	一部有り		3等分点	12/198
	スギ	20	120	120	120	18 (96)		102	一部有り		3等分点	12/198
	スギ	20	120	120	120	18 (72)		78	一部有り		3等分点	12/198
	スギ	20	120	120	120	18 (18)		150	一部有り		3等分点	12/198
	スギ	20	120	120	120	18 (18)		192	一部有り		3等分点	12/198
	スギ	20	121	120	120	18 (18)		246	一部有り		3等分点	12/198
	スギ	42	120	119	120	24 (96)		102	有		3等分点	12/270
	スギ	41	105	105	120	24 (24)		198	有		3等分点	12/270
	カラマツ	40	105	105	天乾				有		3等分点	12/270
	カラマツ	21	120	120	天乾						3等分点	12/270
	カラマツ	32	120	120	天乾				一部有り		3等分点	12/180
	カラマツ	32	120	120	天乾				一部有り		3等分点	12/180
	カラマツ	32	120	120	110	12 (12)		12	一部有り		3等分点	12/180
	カラマツ	32	120	120	120	12 (12)		12	一部有り		3等分点	12/180
	カラマツ	32	120	120	120	24 (24)		24	一部有り		3等分点	12/180
	カラマツ	32	120	120	120	48 (48)		48	一部有り		3等分点	12/180
	カラマツ	32	120	120	90	220 (0)		220	一部有り		3等分点	12/180
	カラマツ	30	120	120	120	24 (24)		126	有		3等分点	12/270
	カラマツ	20	120	120	120	87 (87)		96	有		3等分点	12/180
	カラマツ	28	116	115	120	24 (24)		222	有		3等分点	12/270
カラマツ	48			120	48 (72)		102	有		3等分点	12/270	

曲げ試験に関するデータ整理の結果 (1)

組織	樹種	試験体数	材幅(mm)	材せい(mm)	乾燥条件				乾燥前のデータ	試験条件	
					最高乾燥温度	最高乾燥時間	平均乾燥温度	総乾燥時間		荷重条件	スパン材せい比
熊本	スギ	10			70	126		126		三等分点4点荷重	22.5
	スギ	10			150	48				三等分点4点荷重	22.5
	スギ	10			122			5		三等分点4点荷重	22.5
	スギ	10			120			85		三等分点4点荷重	22.5
岩手	スギ	238	○	○	75	—	○	218	有	3等分点	
	スギ	80	120	240	95	—	○	13日間	有	3等分点	
	スギ	189	40	140	○	—	○	○	有	3等分点	
	アカマツ	60	120	240	85	—	85	204	有	3等分点	
森林総研	スギ	54	108	108	90			174	有	3等分点	18
	スギ	54	108	109	120			72	有	3等分点	18
	スギ	54	108	108	135			45	有	3等分点	18
	スギ	50	110	110	天乾				有	3等分点	18
	スギ	50	110	110	90			168	有	3等分点	18

曲げ試験に関するデータ整理の結果 (2)

組織	樹種	試験体数	材幅 (mm)	材せい (mm)	強度試験データ								試験データに関する情報	
					ヤング係数(kN/mm ²)		曲げヤング係数(kN/mm ²)		最大応力(N/mm ²)		含水率 (%)		個別データ	荷重変形曲線
					平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		
宮崎	スギ	64	110	110	5.60	1.08	5.60	1.13	32.8	4.4	26.2	10.4	あり	あり
	スギ	65	110	110	5.52	1.15	5.52	1.18	32.2	5.2	26.2	10.1	あり	あり
	スギ	64	110	110	5.79	1.14	5.94	1.26	37.8	5.5	19.2	2.6	あり	あり
大分	スギ	10	105	180	6.36	2.03	6.88	1.62	35.8	6.0	35.5	24.4	有	有
	スギ	10	105	210	6.13	0.88	6.38	0.86	30.4	4.5	25.6	10.5	有	有
	スギ	10	105	240	5.99	0.81	6.20	0.82	33.0	3.1	23.8	9.2	有	有
	スギ	10	105	180	5.66	0.97	5.99	1.19	31.8	5.9	42.1	21.9	有	有
	スギ	10	105	210	5.60	0.97	5.86	1.11	31.6	3.3	41.3	11.9	有	有
	スギ	9	105	240	5.50	0.84	5.82	0.84	31.1	4.0	34.4	15.1	有	有
	スギ	5	120	149	9.66	1.90	9.44	1.74	38.6	9.9	6.9	0.3	有	有
	スギ	5	120	180	8.80	1.68	8.53	1.70	36.6	8.0	7.1	0.1	有	有
	スギ	5	120	210	8.60	1.80	8.63	1.12	36.1	10.2	7.6	0.8	有	有
	スギ	5	120	270	6.22	1.40	6.24	1.19	33.7	5.8	10.0	2.3	有	有
	スギ	5	120	300	6.35	1.29	6.28	1.04	35.1	7.7	10.6	2.3	有	有
	スギ	5	120	150	9.51	1.75	9.32	1.66	50.8	3.2	10.4	0.3	有	有
	スギ	5	120	180	8.56	1.43	8.44	1.09	46.2	7.4	11.7	0.5	有	有
	スギ	5	120	210	8.14	1.68	8.52	1.46	40.9	9.8	11.9	1.0	有	有
	スギ	5	120	269	5.49	1.16	5.51	1.27	35.4	9.3	15.4	1.5	有	有
	スギ	5	120	299	6.05	1.33	5.95	1.42	33.6	8.1	16.7	3.2	有	有
	スギ	4	120	150	8.72	1.84	9.33	1.71	47.6	4.5	14.2	0.4	有	有
	スギ	4	120	180	8.62	1.19	8.98	0.88	48.5	10.5	14.7	0.4	有	有
	スギ	4	120	210	8.18	1.15	8.59	1.34	50.1	7.1	14.8	0.2	有	有
	スギ	4	119	269	4.96	0.93	5.68	1.01	40.0	4.9	15.4	0.4	有	有
	スギ	4	119	300	5.41	1.00	5.41	1.32	31.4	10.0	16.6	0.4	有	有
	スギ	4	120	150	9.09	1.46	9.56	1.22	57.5	5.4	15.6	0.4	有	有
	スギ	4	120	180	7.05	1.25	7.88	1.41	54.5	8.1	16.1	0.5	有	有
スギ	4	120	210	8.11	1.90	9.02	2.18	52.0	12.4	16.0	0.7	有	有	
スギ	4	119	270	5.97	1.51	6.29	1.48	40.7	2.7	17.0	0.5	有	有	
スギ	4	120	299	6.09	1.74	6.06	1.78	35.7	12.1	17.2	0.4	有	有	

曲げ試験に関するデータ整理の結果 (2)

組織	樹種	試験体数	材幅 (mm)	材せい (mm)	強度試験データ								試験データに関する情報	
					ヤング係数(kN/mm ²)		曲げヤング係数(kN/mm ²)		最大応力(N/mm ²)		含水率 (%)		個別データ	荷重変形曲線
					平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		
広島	スギ(H9)	38	105	210			7.54	1.14	37.4	7.6	15.0	6.4	有	データ読込要
	スギ(H9)	50	105	210			7.42	1.21	34.9	6.6	18.4	7.7	有	データ読込要
	スギ(H10)	49	105	210			7.95	1.25	40.6	9.2	15.1	6.4	有	データ読込要
	スギ(H10)	50	105	210			7.72	1.26	33.6	8.2	14.7	7.6	有	データ読込要
	アカマツ(H9)	49	105	210			9.38	1.65	33.1	11.3	16.7	0.5	有	データ読込要
	アカマツ(H9)	47	105	210			10.60	1.92	40.2	11.2	19.0	1.1	有	データ読込要
	アカマツ(H10)	49	105	210			10.81	2.23	42.9	12.7	20.6	1.5	有	データ読込要
	アカマツ(H10)	50	105	210			10.07	1.98	37.6	12.1	22.1	3.4	有	データ読込要
長野	スギ	36	105	105			8.65	1.30	46.2	7.5				
	スギ	38	120	120			6.61	1.29	39.8	5.6	14.0	1.1		
	スギ	39	120	120			7.47	1.16	41.0	6.1	17.1	2.0		
	スギ	20	120	120	8.26	0.69	8.20	0.72	44.7	6.8	36.1	23.5		
	スギ	20	120	120	7.94	1.17	7.74	1.00	40.6	7.0	19.5	10.3		
	スギ	20	120	120	8.31	0.78	8.65	0.94	46.6	7.8	26.8	13.2		
	スギ	20	120	120	8.13	0.72	8.22	1.21	45.0	7.5	23.6	12.4		
	スギ	20	120	120	7.06	1.03	7.83	1.18	43.3	7.7	17.5	8.9		
	スギ	20	121	120	8.50	0.74	8.18	0.98	45.7	7.4	21.0	9.5		
	スギ	42	120	119	8.36	1.37	8.64	1.23	46.0	7.8	13.9	2.2		
	スギ	41	105	105	7.69	1.43	8.62	1.34	49.0	7.6	13.4	2.5		
	カラマツ	40	105	105			11.29	1.81	53.3	10.9	15.3	0.3		
	カラマツ	21	120	120			10.33	1.21	46.1	7.4	14.9	0.4		
	カラマツ	32	120	120	11.82	1.39	11.02	1.50	53.9	10.5	17.2	1.3		
	カラマツ	32	120	120	11.20	1.56	10.99	1.69	52.0	10.2	18.9	2.5		
	カラマツ	32	120	120	11.46	1.41	10.14	1.39	45.5	8.3	20.6	1.8		
	カラマツ	32	120	120	11.34	1.51	10.09	1.44	45.0	7.9	21.8	2.0		
	カラマツ	32	120	120	11.20	1.56	10.76	1.58	42.6	7.4	19.3	1.9		
	カラマツ	32	120	120	11.82	1.62	11.19	1.53	42.3	9.1	16.0	2.0		
	カラマツ	32	120	120	12.14	1.79	11.20	1.89	49.2	11.8	14.0	1.5		
	カラマツ	30	120	120			10.99	1.55	44.5	10.3	15.4	2.4		
	カラマツ	20	120	120	13.48	1.97	12.51	1.59	43.6	11.0	13.7	3.4		
	カラマツ	28	116	115	11.34	1.55	11.10	1.53	46.1	11.2	13.8	3.8		
カラマツ	48					11.60	1.57	49.2	10.4	12.7	1.4			

曲げ試験に関するデータ整理の結果 (2)

組織	樹種	試験 体数	材幅 (mm)	材せい (mm)	強度試験データ								試験データに関する情報	
					ヤング係数(kN/mm ²)		曲げヤング係数(kN/mm ²)		最大応力(N/mm ²)		含水率 (%)		個別 データ	荷重変形 曲線
					平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		
熊本	スギ	10					6.89	0.55	50.1	6.8			有	有
	スギ	10					7.03	0.89	46.4	8.9			有	有
	スギ	10					6.80	0.64	46.5	4.8			有	有
	スギ	10					6.74	1.12	47.4	6.1			有	有
岩手	スギ	238	○	○									○	△ (紙のみ)
	スギ	80	120	240									○	△ (紙のみ)
	スギ	189	40	140									○	○
	アカマツ	60	120	240									△	-
森林総研	スギ	54	108	108			7.40	1.09	55.6	9.1	18.3	1.2	有り	有り
	スギ	54	108	109			7.18	1.12	36.4	8.2	18.0	10.4	有り	有り
	スギ	54	108	108			7.37	1.17	34.9	7.8	11.3	2.0	有り	有り
	スギ	50	110	110									有り	△ (紙のみ)
	スギ	50	110	110									有り	△ (紙のみ)