在来軸組構法における構造用製材の信頼性解析 II

ヤング係数の特性値と使用限界状態および許容応力度に基づく信頼性

RELIABILITY-BASED ANALYSIS ON THE STRUCTURAL TIMBERS USED
FOR CONVENTIONAL CONSTRUCTION IISpecified values of young's moduli and reliability levels between at serviceability
limit states and based on the current working stress design

中村 昇*

Noboru NAKAMURA

Distribution models and specified values of Young's Moduli of the structural timbers used for conventional construction were analyzed and reliability levels were obtained at serviceability limit states. And based on the current Working Stress Design, reliability levels were also obtained at ultimate and serviceability limit states. The results are summarized as follows:

- (1) Same safety levels as steel structures and 2x4 wood frame structures were gotten at serviceability limit states.
- (2) The current allowable unit stress in Building Law Enforcement Orders seem to be a little small from the point of view of the reliability level comparing to those of steel structures and 2x4 wood frame structures.
- (3) The values of Young's Moduli recommended by The Architectural Institute of Japan also seem to be a little small from the point of view of the reliability level.
- (4) Size effect couldn't be seen in the structural timbers used for conventional construction.

Keywords : limit states design, conventional construction, serviceability limit states, working stress design, allowable unit stress, size effect

限界状態設計, 在来構法, 使用限界状態, 許容応力度設計, 許容応力度, 寸法効果

1. はじめに

前報¹⁾では、現行の許容応力度設計から信頼性設計への移行の必要性²⁾から、在来軸組構法に用いられている構造用製材の強度分布と特性値について解析を行い、固定荷重と積載荷重および固定荷重と積雪荷重の組み合わせについて、曲げ応力を受ける床梁と小屋梁について、終局限界状態における信頼性解析を行った。

本報では、構造用製材のヤング係数の分布モデルと特性値について解析を行い、前報で示した荷重条件を用い、たわみについての使用限界状態における信頼性解析を行った。これらの解析から、設計固定荷重に対する設計積載荷重および設計積雪荷重の比の影響、「製材に係わる日本農林規格」(旧 JAS:ひき角類)、「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」(新 JAS-VG(目視等級区分):甲種構造用Ⅱ、新 JAS-MG(機械的等級区分))における、信頼性指標(β)と耐力係数(ϕ)の関係、枠組壁工法における解析結果³⁾との比較について考察を行った。

また、現在わが国の木質構造の設計⁴⁾は、許容応力度によるものである。現行の許容応力度設計から信頼性設計に移行して行くために、現行の許容応力度に基づいた信頼性についても言及した。旧 JAS、新 JAS-VG、新

JAS-MGにおける許容応力度の値は、建築基準法施行令(施行令)により決められている。旧 JASについては、各樹種の許容応力度の値は1つしかない。しかし、日本建築学会木質構造計算規準(学会規準)では、構造材を普通構造材と上級構造材に分け、旧 JASの1等、特等に見合うものとして、それぞれの値を推奨している。そこで、施行令にはないが、学会規準における普通構造材と上級構造材の許容応力度を用いて、信頼性解析を行った。また、ヤング係数についても、施行令には定められていないので、学会規準である普通構造材と上級構造材の値を用いた。新 JAS-VGについては、学会規準にも定められていないので、1級、2級に対し、それぞれ学会規準の上級構造材、普通構造材の値を用いた。

信頼性解析は、各樹種、各等級について行ったが、住宅金融公庫木造住宅工事共通仕様書では、旧 JASに定める1等以上の製材の使用を推奨しているため、旧 JASについては、特等と1等を一緒にした等級についても解析を行った。新 JAS-VGについては、参考のため1級と2級を一緒にした等級についても解析を行った。なお、解析を行った部材は前報と同様、床梁と小屋梁である。

* 東京大学農学部附属北海道演習林 助手・農博

Research Assistant, The Tokyo University Forest in Hokkaido, Dr. Agr.

2. 使用限界状態(たわみ)における信頼性解析

2. 1 在来構法構造用製材におけるヤング係数の

特性値と分布モデルにおけるパラメータ

実大材の強度データベース⁵⁾に基づき、ヤング係数の特性値と2 Pワイブル分布への当てはめを行った。前報と同様、正規分布、対数正規分布、2 Pワイブル分布、3 Pワイブル分布への当てはめを行い、 β と ϕ の関係を求めたが、概ね2 Pワイブル分布モデルが4つの分布モデルの平均的な傾向を示していたからである。2 Pワイブル分布への当てはめは、強度と異なり全体の分布を用いるため、実大材のデータ100%を用いて行った。

表1、2にそれぞれ旧JAS、新JAS-VGにおけるヤング係数の特性値とパラメータの値を示した。これらの表には、信頼性解析を行えると判断できるサンプル数50⁵⁾に足りるデータ数を有する樹種、等級のみ示した。

表1 ヤング係数の特性値とパラメータ(旧JAS)

樹種	等級	個数	平均* ¹	COV* ²	α * ³	m * ⁴
スギ	特等* ⁵	212	80.271	21.9	86.679	5.5513
	1等* ⁶	157	76.154	20.0	81.850	6.0803
	特等+1等	369	78.519	21.3	84.597	5.7786
トマツ	1等	42	86.448	15.1	91.296	8.3014
	特等+1等	63	92.298	17.6	97.737	7.5148
ヒノキ	特等+1等	48	110.37	10.5	114.73	12.314
カラマツ	特等	86	88.671	18.6	94.350	6.9799
	1等	58	82.380	19.8	87.405	6.9421
	特等+1等	144	86.137	19.4	91.626	6.9054
ベイマツ	特等+1等	44	113.58	13.3	119.19	9.5340
アカマツ	特等+1等	38	106.85	15.4	113.22	7.9117

(注)*1,*3:単位はtf/cm²、*2:変動係数(%),*3,*4:データ100%を2 Pワイブル分布にフィットさせたときのパラメータ、*3:尺度パラメータ、*4:形状パラメータ。

表2 ヤング係数の特性値とパラメータ(新JAS-VG*)

樹種	等級	個数	平均* ¹	COV* ²	α * ³	m * ⁴
スギ	1級	75	85.301	21.9	92.034	5.5524
	2級	383	73.889	22.2	79.906	5.3862
	1級+2級	458	75.758	22.9	81.977	5.3103
トマツ	2級	63	88.295	16.1	93.276	8.1018
	1級+2級	80	90.013	17.7	95.173	7.6541
ヒノキ	2級	41	88.295	16.1	113.96	12.513
	1級+2級	48	90.013	17.7	114.73	12.314
カラマツ	1級	41	89.229	19.3	93.987	7.4258
	2級	149	80.443	20.6	85.990	6.2673
	1級+2級	190	82.339	20.7	87.970	6.3372
ベイマツ	1級+2級	48	113.06	13.1	118.48	9.8460
アカマツ	1級	42	103.50	16.4	109.68	7.6776
	1級+2級	44	104.19	16.2	110.44	7.6660

(注)*:目視等級区分、*1,*3:単位はtf/cm²、*2:変動係数(%),*3,*4:データ100%を2 Pワイブル分布にフィットさせたときのパラメータ、*3:尺度パラメータ、*4:形状パラメータ。

一部に50に若干満たない樹種、等級も存在するが、比較のため解析を行った。強度と同様、旧JAS、新JAS-VGにおけるヤング係数の特性値に大きな差が存在しない。また、前報で示した強度と同様、鋼材²⁾に比べ、製材のヤング係数のバラツキは大きい。

本研究では、文献(5)における基のデータベースを貸与していただき、解析前のデータを用いた。また等級区分の基準が異なること、その後データ数が増えたことにより、文献(5)に掲載された解析後のデータ数とは異なっている。

2. 2 使用限界状態(たわみ)における β と ϕ の関係

梁のたわみは、スパンに比例した値または特定値⁴⁾より制限している。つまり、

$$\delta_{max} \leq \delta_{allow} = L/T \text{ または } d_{allow}$$

ここで、 δ_{max} は最大たわみ、 δ_{allow} は許容たわみ、 L は梁のスパン、 T はたわみ制限係数(=300)、 d_{allow} はたわみ制限の特定値(=2cm)である。

等分布荷重における単一の部材における最大たわみは、床梁の場合、

$$\delta_{max} = \frac{5 \cdot (D_n + L_n) \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot \phi \cdot E_s \cdot I} \leq \delta_{allow}$$

小屋梁の場合、

$$\delta_{max} = \frac{5 \cdot (D_n + 0.9 S_n) \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot \phi \cdot E_s \cdot I} \leq \delta_{allow}$$

ここで、 δ_{max} は E_s に対応した最大たわみ、 δ_{allow} は許容たわみ、 D_n 、 L_n 、 S_n はそれぞれ等分布固定荷重、等分布積載荷重、等分布積雪荷重の設計値、 w は梁のピッチ、 E_s は樹種、等級ごとのヤング係数の平均値、 I は梁の断面2次モーメントである。

限界状態における機能関数 G は、床梁の場合、

$$G = \delta_{allow} - \frac{5 \cdot (D + L) \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot \phi \cdot E \cdot I} \quad (1)$$

また小屋梁の場合、

$$G = \delta_{allow} - \frac{5 \cdot (D + S) \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot \phi \cdot E \cdot I} \quad (2)$$

と表せる。ここで、 D は固定荷重、 Q は積載荷重、 E は梁のヤング係数、 S は積雪荷重を表し、いずれも確率変数である。

適当な変換により、(1)、(2)式は以下のように書き換えられる。床梁の場合、

$$G = 1 - \frac{(d\gamma + l) \cdot \phi \cdot E_s}{(\gamma + 1) \cdot E} \quad (3)$$

一方、小屋梁の場合は、

$$G = 1 - \frac{(d\gamma + s) \cdot \phi \cdot E_s}{(\gamma + 1) \cdot E} \quad (4)$$

ここで、 $d = D/D_n$ 、 γ は床梁の場合 D_n/L_n 、小屋梁の場合 D_n/S_n 、 $l = L/L_n$ 、 $s = S/S_n$ である。使

用限界状態解析のための確率変数 L と S については、前報における 8 年再現期間におけるパラメータを用いた。

表 3 使用限界状態における耐力係数(旧 J A S)

地域	等級	β		
		2.0	1.5	1.0
札幌 ($\gamma=0.14$)	全等級	0.63	0.74	0.86
	特等+1等	0.65	0.76	0.87
新潟 ($\gamma=0.46$)	全等級	0.64	0.76	0.88
	特等+1等	0.66	0.77	0.89
東京 ($\gamma=1.39$)	全等級	0.65	0.76	0.88
	特等+1等	0.68	0.78	0.89
大阪 ($\gamma=5.00$)	全等級	0.64	0.75	0.86
	特等+1等	0.67	0.77	0.87
居室 ($\gamma=0.34$)	全等級	0.64	0.74	0.85
	特等+1等	0.65	0.76	0.86
全平均	全等級	0.64	0.75	0.86
	特等+1等	0.66	0.77	0.87

(注) 数値は全樹種の平均、 γ : 設計積載荷重に対する設計固定(積雪)荷重の比。

表 4 使用限界状態における耐力係数(新 J A S-V G*)

地域	等級	β		
		2.0	1.5	1.0
札幌 ($\gamma=0.14$)	全等級	0.63	0.74	0.86
	1級+2級	0.64	0.75	0.86
新潟 ($\gamma=0.46$)	全等級	0.64	0.76	0.88
	1級+2級	0.65	0.76	0.89
東京 ($\gamma=1.39$)	全等級	0.66	0.77	0.88
	1級+2級	0.67	0.78	0.89
大阪 ($\gamma=5.00$)	全等級	0.65	0.75	0.85
	1級+2級	0.66	0.76	0.86
居室 ($\gamma=0.34$)	全等級	0.64	0.75	0.85
	1級+2級	0.65	0.76	0.86
全平均	全等級	0.64	0.75	0.86
	1級+2級	0.65	0.76	0.87

(注) 数値は全樹種の平均、*: 目視等級区分、 γ : 設計積載荷重に対する設計固定(積雪)荷重の比。

表 5 使用限界状態における信頼性指標(旧 J A S)

耐力係数	全等級	特等+1等
0.6	2.2	2.3
0.7	1.8	1.8
0.8	1.3	1.4
0.9	0.9	0.9
1.0	0.4	0.4

(注) 数値は全樹種の平均である。

表 6 使用限界状態における信頼性指標(新 J A S-V G*)

耐力係数	全等級	1級+2級
0.6	2.2	2.3
0.7	1.8	1.8
0.8	1.3	1.3
0.9	0.9	0.9
1.0	0.4	0.4

(注) 数値は全樹種の平均、*: 目視等級区分。

ϕ の値を決めることにより、(3)、(4)式から G が負となる破壊確率 P_f を算出する。次に P_f と β の関係式 $P_f = \Phi(-\beta)$ (Φ は標準正規分布関数) から、 β が求められ、 β と ϕ の関係が得られる。算出は、FORM (First Order Reliability Methods) により、REL AN⁶⁾ を用いて行った。

4 地域、つまり 4 種類の γ の値に対する、耐力係数 ϕ の値を表 3、4 に、また ϕ の値 0.6 ~ 1.0 に対する β の平均値を表 5、6 に示した。これより以下のことが分かる。

- (1) γ の値および地域によらず、 ϕ の値はほぼ等しい。
- (2) 強度と同様、旧 J A S、新 J A S-V G におけるヤング係数の値に大きな差はないので、 ϕ の値はほぼ等しい。
- (3) 鋼構造限界状態設計規準(案)では、 $\beta = 1.0$ に対し $\phi = 0.9$ を推奨しているが、いずれの規格においても鋼構造とほぼ同レベルの信頼性が得られる。鋼材のヤング係数に比べ、バラツキが大きいにもかかわらず同レベルの信頼性が得られたのは、前報¹⁾ で示したように変動係数の値が 30% 以下であれば、2 次モーメント法による近似式を用いて算出した値と大きな差はないためである。枠組壁工法の屋根の垂木、床のジョイストに用いた S-P-F について同様の解析を行った結果³⁾ も、ほぼ同様であった。

3. 現行の許容応力度に基づいた信頼性解析

3. 1 終局限界状態(曲げ強度)における信頼性解析

現行の建築基準施行令から、設計式は床梁の場合、

$$D_n + L_n \leq R,$$

小屋梁の場合、

$$D_n \leq R, \quad (\text{一般地域})$$

$$D_n + S_n \leq 2R, \quad (\text{一般地域})$$

$$D_n + S_n \leq R, \quad (\text{多雪地域})$$

となる。ここで、 D_n 、 L_n 、 S_n はそれぞれ固定荷重、積載荷重、積雪荷重の設計値であり、 R は長期許容応力度である。

床梁の場合、機能関数 G は

$$G = R - (D + L) \quad (5)$$

ここで、 R は強度、 D は固定荷重、 L は積載荷重であり、いずれも確率変数である。

(5) 式は、適当な変換により

$$G = R - \frac{R_n \cdot (d\gamma + l)}{(\gamma + 1)} \quad (6)$$

となる。ここで、 $\gamma = D_n / L_n$ 、 $d = D / D_n$ 、 $l = L / L_n$ である。

一方小屋梁の場合、機能関数 G は

$$G = R - (D + S) \quad (3)$$

と表される。積雪の一般地域では、積雪荷重は一時的な荷重とみなされるので、一般地域において $D_n \leq S_n$ ならば、 $D_n + S_n \leq 2R_n$ となり、短期許容応力度を用いるこ

となる。しかしながら、前報で示したように東京、大阪ともにこのケースには当てはまらない。つまり、 $D_n \geq S_n$ であり $D_n \leq R_n$ となるので、固定荷重のみを考慮すればよいことになる。したがって、東京、大阪における機能関数 G は、適当な変換により

$$G = R - \frac{R_n \cdot (d\gamma + s)}{\gamma} \quad (8)$$

となる。また、多雪地域においては

$$G = R - \frac{R_n \cdot (d\gamma + s)}{\gamma + 1} \quad (9)$$

となる。ここで、 $\gamma = D_n / S_n$ 、 $d = D / D_n$ 、 $s = S / S_n$ である。

表7 許容応力度に基づいた信頼性指標(旧JAS)

樹種	等級	小屋梁				床梁
		札幌 (0.14)	新潟 (0.46)	東京 (1.39)	大阪 (5.00)	居室 (0.34)
スギ	特等*	4.504	4.464	3.358	4.301	4.534
	特等	4.958	4.922	3.932	4.775	4.988
	1等	4.907	4.869	3.854	4.721	4.939
	特等+1等	5.017	4.977	3.963	4.837	5.233
トマツ	1等	4.212	4.178	3.083	3.997	4.225
	特等+1等	4.145	4.117	2.956	3.934	4.143
ヒノキ	特等+1等	5.412	5.370	4.382	5.250	5.466
	特等*	3.652	3.633	2.761	3.448	3.628
カラマツ	特等	3.964	3.946	3.148	3.775	3.942
	1等	4.405	4.369	3.296	4.198	4.424
	特等+1等	4.141	4.118	3.205	3.939	4.130
	特等+1等	2.879	2.870	2.238	2.716	2.843
アカマツ	特等+1等	5.079	5.026	3.883	4.917	5.163

(注)()内は、積載荷重(設計値)または積雪荷重(設計値)に対する固定荷重(設計値)の比の値。*:日本建築学会木質構造設計規準における上級構造材の許容応力度値に基づいて算出、その他については建築基準法における許容応力度(日本建築学会木質構造設計規準における普通構造材の許容応力度)に基づいて算出。

表8 許容応力度に基づいた信頼性指標(新JAS-VG*)

樹種	等級	小屋梁				床梁
		札幌 (0.14)	新潟 (0.46)	東京 (1.39)	大阪 (5.00)	居室 (0.34)
スギ	1級	4.187	4.164	3.259	4.083	4.269
	2級	4.858	4.811	3.571	4.677	4.918
	1級+2級	4.796	4.752	3.546	4.608	4.844
ヒノキ	2級	4.906	4.860	3.650	4.725	4.962
	1級+2級	4.929	4.883	3.678	4.750	4.986
カラマツ	1級	6.608	6.458	4.621	7.081	7.590
	2級	4.495	4.457	3.359	4.292	4.524
	1級+2級	4.401	4.368	3.344	4.196	4.412
ベイツガ	1級+2級	3.216	3.206	2.640	3.068	3.184

(注)()内は、積載荷重(設計値)または積雪荷重(設計値)に対する固定荷重(設計値)の比の値。*:目視等級区分。

表9 許容応力度に基づいた信頼性指標(新JAS-MG*)

樹種	等級	小屋梁				床梁
		札幌 (0.14)	新潟 (0.46)	東京 (1.39)	大阪 (5.00)	居室 (0.34)
スギ	E110	4.912	4.844	3.542	4.772	5.047
	E90	4.510	4.466	3.303	4.309	4.554
	E70	4.968	4.911	3.704	4.809	5.067
	E50	4.610	4.576	3.571	4.413	4.626
ベイツガ	E130	3.721	3.696	2.673	3.498	3.707
	E110	3.578	3.554	2.531	3.351	3.560
	E90	3.878	3.704	2.524	3.499	3.739
ヒノキ	E130	4.322	4.290	3.257	3.151	4.331
	E110	4.214	4.187	3.223	2.824	4.210
	E90	3.777	3.760	2.922	2.635	3.754
カラマツ	E130	5.701	5.537	3.911	6.210	6.402
	E110	3.582	3.563	2.664	3.373	3.558
	E90	4.193	4.164	3.160	3.983	4.193
	E70	5.291	5.233	4.086	5.150	5.398
	E50	4.225	4.240	3.545	4.086	4.233
ソ連カラマツ	E150	2.962	2.951	2.209	2.776	2.926
	E130	2.627	2.618	1.894	2.444	2.588
	E110	3.052	3.037	2.156	2.841	3.018
	E90	3.152	3.134	2.181	2.929	3.121
ベイツガ	E150	4.669	4.620	3.434	2.976	4.480
	E110	2.938	3.502	2.565	2.229	3.307

(注)()内は、積載荷重(設計値)または積雪荷重(設計値)に対する固定荷重(設計値)の比の値。*:機械的等級区分。

(7)~(9)式より、 β の値が得られる。算出は、FORMによりRELAN⁶⁾を用いて行った。 β の値を、表7~9に示した。これらの表より、以下のことが分かる。

(4)札幌、新潟、大阪に比べ、東京における β の値が小さい。これは、機能関数が同じであれば、 γ の値が大きくなるにしたがい β の値も大きく(札幌より新潟の方が、東京より大阪の方が β の値は大きく)なるが、札幌と新潟、東京と大阪で機能関数が異なるためである。

(5)鋼構造限界状態設計規準(案)では、 $\beta = 2.5$ を推奨していることや、枠組壁工法に使用されているS-P-Fについて同様の解析を行った結果³⁾、 β の値が2.5~3.5であることからすると、いずれの規格においても、信頼性という観点からすると、許容応力度の値は小さいのではないと思われる。

3.2 使用限界状態(たわみ)に対する信頼性解析

単一的小屋梁と床梁について、短期の応力に対するたわみについて信頼性解析を行った。建築基準法施行令より、短期の応力における荷重の組み合わせとして、床梁の場合、 $D_n + L_n$ 、小屋梁の場合 $D_n + S_n$ である。ここで、 D_n 、 L_n 、 S_n はそれぞれ積載荷重、積載荷重、積雪荷重の設計値である。

また、等分布荷重における単一部材の最大たわみは

$$\delta_{max} = \frac{5 \cdot (D_n + Q_n) \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot E_n \cdot I} \leq \delta_{allow}$$

と表せる。ここで、 δ_{max} は最大たわみ、 δ_{allow} は許容たわみ、 D_n 、 Q_n はそれぞれ等分布固定荷重、等分布積載荷重または等分布積雪荷重の設計値、 w は床梁のピッチ、 E_s は樹種、等級ごとのヤング係数(建築学会の推奨値)、 I は断面2次モーメントである。

たわみの限界状態における機能関数 G は、

$$G = \delta_{allow} - \frac{5 \cdot (D + Q) \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad (10)$$

ここで、 D 、 Q 、 E はそれぞれ固定荷重、積載荷重、梁のヤング係数を表し、いずれも確率変数である。

(10)式は適当な変換により、

$$G = 1 - \frac{(d\gamma + q) \cdot E_s}{(\gamma + 1) \cdot E} \quad (11)$$

となる。ここで、 $d = D/D_n$ 、 $\gamma = D_n/Q_n$ 、 $q = Q/Q_n$ である。

(11)式より、 β の値が得られる。算出は、FORMによりRELAN⁶⁾を用いて行った。 β の値を、表10、11に示した。これらの表より以下のことが分かる。

(6)旧JAS、新JAS-VGにおけるヤング係数の値に大きな差はないので、両者における β の値はほぼ等しい。

(7)鋼構造限界状態設計規準(案)では、 $\beta = 1.0$ を推奨していることや、枠組壁工法に使用されているS-P-Fについて同様の解析を行った結果³⁾、 β の値が1.0~2.3であることからすると、いずれの規格においても、信頼性という観点からすると、日本建築学会におけるヤング係数の推奨値は、許容応力度と同様小さいのではないと思われる。

4. 寸法調整係数

カナダの木構造設計規準⁷⁾における限界状態設計では、ディメンションランバーにおける寸法効果を設計式にとり入れ、寸法調整係数 K_2 を考慮している。つまり、製材をリンクモデルと考え、その強度は体積中の最弱な部分の強度を表すと考えることができる、いわゆる“最弱リンクモデル”から導き出されている。式で表すと次のようになる。

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left[\frac{V_2}{V_1} \right]^{1/K_2} \quad (12)$$

ここで、 σ_1 、 σ_2 は製材の強度、 V_1 、 V_2 は体積である。このことが、わが国の製材に当てはまるか検討してみる。

(12)式を、次のように変形する。

$$\sigma_1 = \sigma_2 \cdot V_2^{1/K_2} \cdot V_1^{-1/K_2} = a \cdot V_1^{-1/K_2} \quad (13)$$

ここで、 $a = \sigma_2 \cdot V_2^{1/K_2}$ である。いま基準となる製材の強度を σ_2 、体積を V_2 とすれば、製材の強度は(13)式で表されるはずである。さらに(13)式の両辺の対数をとることにより、

$$\ln(\sigma_1) = \ln(a) - \frac{1}{K_2} \ln(V_1)$$

表10 ヤング係数の推奨値に基づいた信頼性指標
(旧JAS)

樹種	等級	小屋梁				床梁
		札幌 (0.14)	新潟 (0.46)	東京 (1.39)	大阪 (5.00)	居室 (0.34)
スギ	特等*	1.501	1.552	1.255	0.686	0.839
	特等	1.819	1.859	1.610	1.125	1.257
	1等	1.779	1.818	1.560	1.029	1.176
	特等+1等	1.806	1.846	1.593	1.089	1.227
トマツ	1等	2.373	2.380	2.335	1.762	1.905
	特等+1等	2.446	2.458	2.303	1.864	1.993
ヒノキ	特等+1等	2.605	2.581	2.579	2.183	2.310
カラマツ	特等*	1.615	1.658	1.370	0.729	0.910
	特等	1.937	1.966	1.735	1.195	1.350
	1等	1.726	1.764	1.497	0.895	1.066
	特等+1等	1.849	1.882	1.636	1.075	1.235
ベイマツ	特等+1等	2.333	2.237	2.099	1.570	1.735
アカマツ	特等+1等	2.538	2.544	2.408	1.978	2.106

(注)()内は、積載荷重(設計値)または積雪荷重(設計値)に対する固定荷重(設計値)の比の値。*:日本建築学会木構造設計規準における上級構造材のヤング係数の推奨値に基づいて算出、その他については普通構造材のヤング係数の推奨値に基づいて算出。

表11 ヤング係数の推奨値に基づいた信頼性指標
(新JAS-VG*)

樹種	等級	小屋梁				床梁
		札幌 (0.14)	新潟 (0.46)	東京 (1.39)	大阪 (5.00)	居室 (0.34)
スギ	1級*	1.512	1.758	1.869	1.956	1.034
	1級	1.953	1.990	1.758	1.304	1.428
	2級	1.459	1.713	1.830	1.926	0.980
	1級+2級	1.508	1.755	1.869	1.961	1.045
トマツ	1級	2.343	2.431	2.437	2.419	1.946
	1級+2級	2.329	2.432	2.446	2.434	1.935
ヒノキ	1級	2.611	2.550	2.500	2.443	2.300
	1級+2級	2.623	2.563	2.513	2.454	2.310
カラマツ	1級*	1.519	1.749	1.840	1.910	0.945
	1級	1.984	2.010	1.791	1.243	1.403
	2級	1.450	1.703	1.811	1.897	0.914
	1級+2級	1.526	1.766	1.866	1.943	1.006
ベイマツ	1級+2級	2.187	2.252	2.257	2.247	1.746
アカマツ	2級	2.355	2.455	2.467	2.451	1.966
	1級+2級	2.372	2.470	2.481	2.464	1.985

(注)数値は全樹種の平均である。*:目視等級区分。()内は、積載荷重(設計値)または積雪荷重(設計値)に対する固定荷重(設計値)の比の値。*:日本建築学会木構造設計規準における上級構造材のヤング係数の推奨値に基づいて算出、その他については普通構造材のヤング係数の推奨値に基づいて算出。

と表せる。したがって、体積の対数と強度の対数は線形性を有することになる。文献(5)のデータベースにインプットされている、スギ(*Cryptomeria japonica*)、トマツ(*Abies sachalinensis*)、エゾマツ(*Picea jezoensis*)、ベイツ

ガ (*Tsuga heterophylla*)、ソ連カラマツ (*Larix gmelini*)、ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*)、カラマツ (*Larix leptolepis*)、アカマツ (*Pinus densiflora*)、ベイマツ (*Pseudotsuga menziesii*) それぞれの樹種について、スパン内に含まれる体積 (V) の対数 $\ln(V)$ と、曲げ強度 (σ) の対数 $\ln(\sigma)$ の関係を得た。スギにおける例を図1に表した。スパン内に含まれる体積としたのは、試験方法が3等分点2点荷重方式、中央荷重方式の2種類あること、3等分点2点荷重方式について中央モーメント一定区間部分の体積と強度の関係も、これらの図とほとんど変わらなかったからである。同図より、寄与率がかなり低く、強度と体積には際だった関係は認められないことが分かる。他の樹種についても同様の傾向を示した。

一方、比較的断面寸法の小さい無欠点試験体を用いて行った結果⁹⁾では、寸法効果を認めている。同試験結果では体積の対数 $\ln(V)$ と強度 σ との関係をプロットしており、文献(5)におけるデータについても、 $\ln(V)$ と σ との関係をプロットしてみたが、やはり寄与率はかなり低く、無欠点試験体で認められたような寸法効果は認められなかった。

以上をまとめると、わが国においてこれまで収集された実大材の強度データには、ディメンションランバーにおいて認められたような寸法効果は見られない。したがって、設計式に寸法調整係数を含めることはできないと考えられる。

図1 $\ln(V)$ と $\ln(\sigma)$ の関係(スギ)

(注) 図中の直線は回帰直線を表している。

V : 試験体の体積、 σ : 試験体の曲げ強度、 r^2 : 決定係数、 n : 試験体数。

5. まとめ

実大材の強度データを用い、現行の建築基準施行令における許容応力度、日本建築学会の許容応力度およびヤング係数の推奨値に基づいて、在来構法構造用製材の信頼性解析を行った。以下のようなことが分かった。

使用限界状態(たわみ)について：

(1) 強度と同様、鋼材に比べ、製材のヤング係数のバラツ

キは大きい。

(2) γ の値、地域によらず ϕ の値がほぼ等しい。

(3) 強度と同様、旧 J A S および新 J A S-V G における β と ϕ の関係は同じである。

(4) いずれの規格においても鋼構造、枠組壁工法とほぼ同レベルの信頼性が得られる。

許容応力度に基づいた終局限界状態(曲げ強度)について：

(5) 札幌、新潟、大阪に比べ、東京における β の値が小さい。

(6) 信頼性という観点からすると、いずれの規格においても、許容応力度の値は小さいのではないと思われる。

建築学会におけるヤング係数の推奨値に基づいた使用限界状態(たわみ)について：

(7) 強度と同様、旧 J A S、新 J A S-V G における β の値はほぼ等しい。

(8) 信頼性という観点からすると、いずれの規格においても、日本建築学会におけるヤング係数の推奨値は、許容応力度と同様小さいのではないと思われる。

また、わが国においてこれまで収集された実大材の強度データには、ディメンションランバーにおいて認められたような寸法効果は見られない。

謝辞

本研究を行うに当たり、データベースを貸与していただいた秋田県木材高度加工研究所飯島泰男教授(当時富山県林業技術センター)、ならびにデータを提供いただいた各研究機関の方々、また多くの助言をいただいたブリティッシュコロンビア大学 R.O.Foschi 教授に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 中村 昇: 在来軸組構法における構造用製材の信頼性解析 I, 日本建築学会構造系論文報告集, 第479号, pp77-82, 1996. 1.
- 2) 日本建築学会: 鋼構造限界状態設計規準(案)・同解説, 1990.
- 3) Tomoi, M.: RELIABILITY-BASED DESIGN FOR JAPANESE TIMBER STRUCTURES USING CANADIAN S-P-F DIMENSION LUMBER, Thesis submitted in partial fulfilment of the degree of M.Sc., Dept. of Forestry, Faculty of Graduate Studies, UBC, 1991.
- 4) 日本建築学会: 木質構造設計規準・同解説, 1994.
- 5) 木材学会・木質構造研究会編: 構造用木材-強度データの収集と分析, 1988.
- 6) R.O.Foschi, B.R.Folz: RELAN: RELiability Analysis USER'S MANUAL, DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA, 1990.
- 7) Canadian Wood Council: Wood Design Manual, 1990.
- 8) Borg MADSEN: STRUCTURAL BEHAVIOUR OF TIMBER, TIMBER ENGINEERING LTD., 1992.
- 9) 角谷和男, 杉原彦一: 木材の引張および曲げ破壊強度における寸法効果について, 木材学会誌, pp. 168-173, 1957.

(1995年12月14日原稿受理, 1996年2月29日採用決定)