

南極昭和基地建物の木質壁パネル枠材の残存強度調査

高橋弘樹¹・半貫敏夫²・鮎川 勝³

Remaining strength of frame material in wooden wall panels of buildings at Syowa Station, Antarctica

Hiroki Takahashi¹, Toshio Hannuki² and Masaru Ayukawa³

(2005年8月23日受付; 2005年10月5日受理)

Abstract: The remaining strength of frame material in wooden wall panels of buildings being used now at Syowa Station in Antarctica was measured by wood screw pulling out tests. An initial value of pulling strength of wood screws was assumed referring to the test report by Hirai *et al.* (Nankyoku Shiryo, 46, 481, 2002). In that report, the relation between the strength of new wood and air-dried density of the material was presented. The air-dried density is almost the same as what in the frame material measured at Syowa Station. The strength has decreased gradually with the years after the construction of buildings. The remaining strength was roughly independent of facing direction of outside wall panels of buildings. Moreover, the mechanical properties of the frame material were assumed from the result of the wood screw pulling out test. Since the deterioration speed of structural properties has been very gradual, the wooden wall panels of buildings used now at Syowa Station are confirmed to maintain the structural performance required by the structural design.

要旨: 南極昭和基地で現在使用されている建物の木質壁パネル枠材の残存強度をビスの引抜き試験によって調査した。強度の基準値(初期値)は、昭和基地で調査した枠材とほぼ同じ気乾密度の新材について強度と気乾密度の関係を求めた実験報告(平居ら, 南極資料, 46, 481, 2002)を参照して推定した。残存強度は建物建設後の経過年数に伴って徐々に低下している。また、外壁が直面する方向による残存強度の違いはほとんど見られなかった。更に、今回の調査で用いたビスの引抜き試験から枠材の強度特性を推定した。その結果、構造部材の劣化速度は緩やかであり、現在昭和基地で使用されている建物は設計で要求される構造性能をまだ十分に保持していることが確かめられた。

¹ 日本大学大学院理工学研究科. Student, Graduate School of Science and Technology, Nihon University, 8-14, Kanda-Surugadai 1-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8308.

² 日本大学理工学部. College of Science and Technology, Nihon University, 8-14, Kanda-Surugadai 1-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8308.

³ 情報・システム研究機構国立極地研究所. National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

1. はじめに

これまでに行われた、非破壊試験による南極昭和基地建物・木質材料の残存強度に関する調査研究としては、1997年に解体して日本に持ち帰った放球棟（1967年建造）、第10居住棟（1969年建造）の壁パネルについて、「ビスの引抜き試験」により、木材の残存強度の推定を試みた例がある（平居ら，2002）。しかし、南極の昭和基地で現在使用中の建物を対象にしたこの種の調査は行われておらず、構造用木質材料の残存強度に関する蓄積された資料も少ない。そこで筆者らは平居らの手法（平居ら，2002）を参考にして、第43次南極地域観測隊の協力を得て南極・昭和基地において木質壁パネル枠材のビスの引抜き強度試験を計画・実施した。これらの結果から壁パネル枠材の残存強度の推定を行った。昭和基地で現在使用中の建物に使われている壁パネル枠材は、その製作段階で強度試験を行った例は少なく、ビスの引抜き強度の初期値もない。そこで耐久性の評価規準となる初期値は、木材の代表的な気乾密度（森林総合研究所，2004；岡野，1995）を用いて、平居らの研究（平居ら，2002）による新材のビス引抜き強度と木材の気乾密度の関係式から推定した。昭和基地で測定したビスの引抜き強度を、この推定した初期値と比較することで木質壁パネル枠材の残存強度を求めた。また、今回実施したビスの引抜き試験結果から木質壁パネル枠材の強度およびヤング係数を推定し、昭和基地で現在使用されている建物の構造性能を確認した。

2. 昭和基地の建物

昭和基地に建つ建物のほとんどは、図1に示すような木質パネルによる壁構造のプレハブ建築である。屋根、外壁、内壁、床等の建物部品が木質パネルで造られ、これらの面状構造要素を立体的に組み合わせることで建物が成り立っている。パネル相互の結合は結合用金物（コネクター）によって行われる。各パネルの基本構成は、周辺枠材と内部に配される芯材を



図1 昭和基地の高床式建物；「観測棟」

Fig. 1. A typical floor-elevated building of Syowa Station, "the Observation hut".

相欠きで組み合わせた格子構造の両面に構造用合板を接着接合したもので、格子間の空隙には断熱用の発砲ポリスチレン板などが充填されている。この外壁パネル表面は、必要に応じて焼付け塗装鋼板、ガルバリウム鋼板などの金属板張りあるいはオイルペイント塗装などの仕上げが施される。

昭和基地では低気圧の影響により北東を卓越風向とするブリザードが来襲する。その対策として昭和基地に建つ建物の多くは高床式で、壁構造の木質プレハブ建物の長辺方向を卓越風向にほぼ平行に配置し、雪の吹きだまりが出来やすい建物後流域の面積を減らし、耐風設計上、卓越風向に直面する壁面積を小さくするように工夫されている。

3. ビスの引抜き試験による外壁パネル枠材引抜き強度測定計画と概要

測定対象の建物として、その建設年代（1957–2000）を考慮して合計8棟を選択した（表1）。昭和基地の建物は先に述べたようにブリザードの影響を強く受けて、北東の卓越風に直面する壁は、吹き付ける雪粒子によって表面が侵食され、他の位置にある壁と比べて仕上げ材の痛みが激しい（半貫ら，2002a）。そこで壁パネルの直面する方位がその耐久性に影響する可能性を考慮して、選択した建物については外周4面の壁のビス引抜き強度を測定した。測定対象建物の壁パネルの材質を表1に、建物のオリエンテーションを図2に示す。ビスの引抜き強度の測定は、2002年1月29日から2月8日にかけて実施した。調査した建物はその建設年代順に旧娯楽棟（1957）、観測棟（1967，図1）、第2夏期隊員宿舎の旧棟（第9居住

表1 ビスの引抜き強度を測定した建物の建設年と木質壁パネルの概要
Table 1. Construction years of tested buildings and structure of wooden wall panels.

建物	旧娯楽棟	観測棟	第2夏宿(旧)	RT棟	地学棟	第1夏宿(旧)	衛星受信棟	第2夏宿(新)
建設年	1957	1967	1968	1969	1978	1979	1988	2000
合板	材料	「カバ」ロー ル材6プライ	ラワン材 難燃タイプ1	ラワン材 難燃タイプ1	ラワン材 難燃タイプ1	ラワン材 不燃材含浸	ラワン材 難燃タイプ1	ラワン材 難燃タイプ1
	厚さ(mm)	6	4	6	6	9	6	6
木質壁 パネル	枠材	尾州ヒノキ	スプルース	スプルース	スプルース	スプルース	スプルース	スプルース
	厚さ(mm)	100	100	100	75	100	150	120
外装仕上	材料	オイル ペイント塗装	塗装鋼板	亜鉛鋼板	オイル ペイント塗装	塗装鋼板	オイル ペイント塗装	フッ素樹脂 塗膜鋼板
	厚さ(mm)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

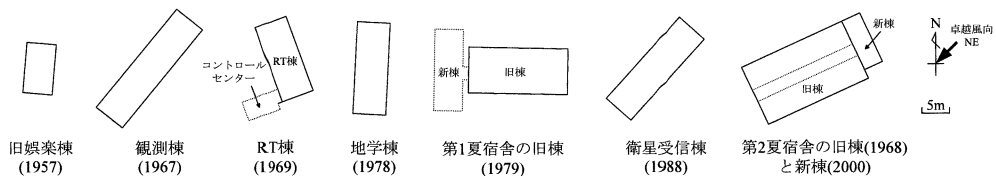


図2 引抜き強度試験を実施した建物の名称（建設年）と配置方位

Fig. 2. Names of buildings (construction year) and layout-orientation of buildings in pulling strength tests.

棟 (1968), 第 13 居住棟 (1972) を移築, 転用した建物), レーダーテレメーター室 (RT 棟) (1969), 地学棟 (1978), 第 1 夏期隊員宿舎の旧棟 (1979), 衛星受信棟 (1988), 第 2 夏期隊員宿舎の新棟 (増築部) (2000) の 8 棟である. 建物の形状はいずれも単純な箱型であり, 旧娯楽棟を除く建物すべてが高床式である. 尚, 第 2 夏期隊員宿舎は長辺 10 m × 短辺 5 m, 床面積 100 m² の第 9 居住棟と, 同一規模の第 13 居住棟を移築して, 長辺方向を卓越風向にほぼ平行に並列配置し, その風上側に新たに増築ブロック (新棟) を付け加えたものである (図 2). この新棟は, 並列した旧居住棟の風上 (北東) 側外壁面に接して増築された建物部分なので新棟の南西壁面は存在しない. そこで第 2 夏期隊員宿舎の新棟に関しては南西壁面を除いた 3 壁面について測定を行い, それ以外の棟では外周 4 壁面を測定した. 第 2 夏期隊員宿舎の旧棟の風上側 (北東側外壁) は現状では建物の入隅部になっているが, 2000 年に移築する前までは通路に続く前室で外気から保護されていた部分であり, 他の外壁面とは環境条件が異なり, 試験結果に差が生じる可能性が予測された.

引抜き強度は 1 壁面に対して 3 箇所測定を行った. 対象建物のほとんどが高床式建築だったので試験機セットの足場を確保する都合上, 測定位置は外壁パネル下端から約 200 mm 上がった位置を基点として高さ方向に測定間隔約 200 mm で 3 点の記録を採った. ただし観測棟の風上壁面のみ, 外階段を足場に利用したので, 外壁上端から 200 mm 下がった位置から 3 点を測定点に選んだ. 小西らによる第 10 居住棟 (1969) のパネル構成材の劣化状況調査 (小西ら, 2002) では, 一般的に外壁パネル構成材の劣化はその位置によって差があり, 中央部の構成材は比較的健全で, 屋根~外壁, 床~外壁の接合部に近い場所で劣化が著しかったと考察されている. この事実から推測すると, 今回の引抜き試験実施位置は比較的接合部寄りであり, 外壁パネル全体としては劣化を少し過大評価する結果となっていることも考えられる.

測定に使用したビスの寸法を図 3 に示す. このビスは, 全長 70 mm, 胴径 4 mm, ピッチ 3 mm, ねじ切り長さ 62 mm の鋼製品である. 引抜き強度測定では外壁面の所定位置に合板表面からビスを 62 mm ねじ込み (図 4), ねじ込んだビスを図 5, 6 に示すような建研式接着力試験機で引抜き, その時の引張荷重 P (N) と引抜き長さ δ (mm) の関係を求めた. 壁パネ

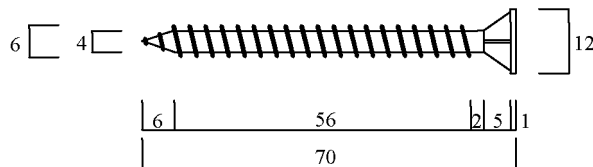


図 3 引抜き強度試験に用いたビスの寸法

Fig. 3. Size of wood screws used in pulling strength tests.



図 4 建物外壁面にねじ込んだビス

Fig. 4. A wood screw penetrating from the surface of an external wall into a panel frame.

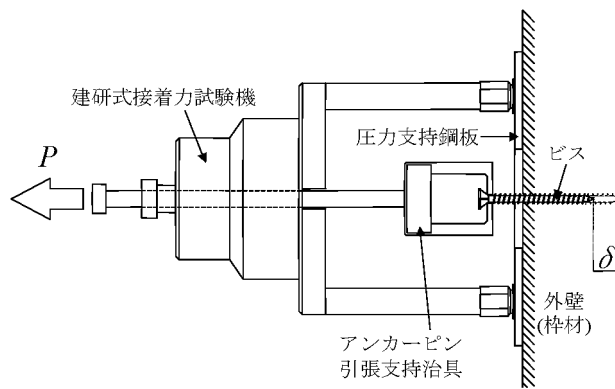


図 5 ビスの引抜き試験

Fig. 5. Test of wood screw pulling strength.

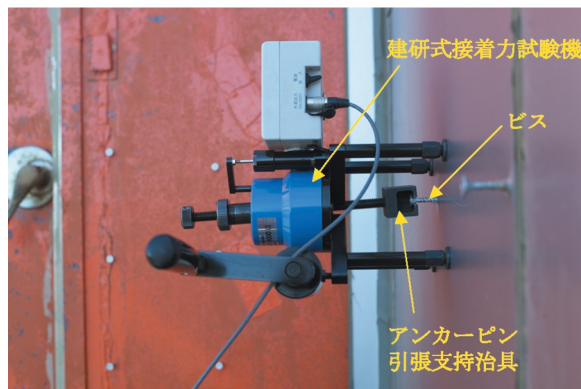


図 6 ビス引抜き試験機のセット状況

Fig. 6. Testing machine on surface of external wall panel.

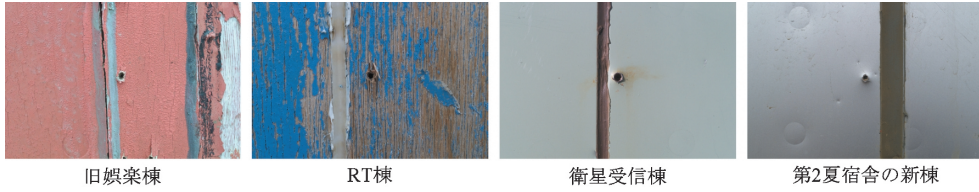


図 7 引抜き試験後のパネル表面

Fig. 7. Surface of external wall panel after screw pulling strength test.

ルの外装が鋼板張り仕上げでない場合は、外壁面の合板を傷つけないように試験機と外壁面の間に鋼板（3.2 mm 厚）を挟み、計測機から外壁にかかる反力を分散させて支点のめり込みを防いだ（図 5）。外装が鋼板張り（0.4 mm 厚）の場合は引抜き試験後、試験機の支点の跡が表面にわずかに残ることもあったが、これは鋼板が下地合板に完全に接着されていない箇所だけで、全般的に支点のめり込みはほとんど認められなかった。従って外装鋼板によって、木部にめり込みが生じない程度に試験機の反力は分散されたと考えられる。引抜き試験の跡（図 7）は表面合板の傷をパテで補修し、シール材で仕上げた。

4. 測定結果と考察

ビスの引抜き試験の結果をまとめて表 2 に示す。ビスの引抜き強度 T (N/mm) は、次式によって計算した。

$$T = \frac{F}{l}, \quad (1)$$

ここで、 F : ビスの引抜きに要した最大荷重 (N)、 l : ビスの先端部を含むビスのねじ込み深さ (mm) である。

表 2 ビスの引抜き試験結果と気乾密度の推定値

Table 2. Test results of wood screw pulling strength from wooden panel frames and estimated air-dried density of wooden frames.

建物	旧娯楽棟	観測棟	第2夏宿(旧)	RT棟	地学棟	第1夏宿(旧)	衛星受信棟	第2夏宿(新)
ビスの引抜き 強度	最小値 (N/mm)	61.1	94.1	15.4	100.7	60.5	111.9	84.9
	最大値 (N/mm)	131.8	119.9	142.5	193.7	129.4	157.0	138.3
	平均値 (N/mm)	96.1	105.2	89.5	143.2	97.5	130.3	105.4
	変動係数 (%)	19.0	6.7	44.5	15.5	21.4	9.8	17.6
ビスの引抜き 単位当たりの 仕事量	最小値 (N)	174.5	169.6	57.3	134.9	105.4	168.9	136.2
	最大値 (N)	383.1	324.8	474.3	365.5	710.4	381.6	980.3
	平均値 (N)	267.7	225.9	266.9	227.2	242.9	301.2	294.7
	変動係数 (%)	23.1	25.5	49.6	34.4	71.3	19.5	80.7
気乾密度 の推定値 (式4)	最小値 (g/cm ³)	0.23	0.35	0.06	0.38	0.23	0.42	0.32
	最大値 (g/cm ³)	0.49	0.45	0.53	0.73	0.48	0.59	0.52
	平均値 (g/cm ³)	0.36	0.39	0.34	0.54	0.37	0.49	0.39
	変動係数 (%)	19.0	6.7	44.5	15.5	21.4	9.8	17.6

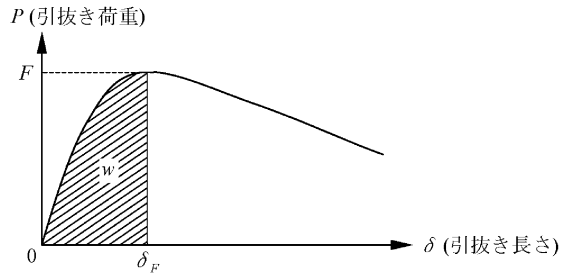


図 8 ビスの引抜きに要した仕事量 w

Fig. 8. Energy used in pulling out wood screw, w .

ビスの引抜き力が最大値 F (N) に達するまでに要した仕事量 w (N・mm) (図 8) は次式で表される。

$$w = \int_0^{\delta_F} P(\delta) d\delta, \quad (2)$$

ここで、 δ : ビスの引抜き長さ (mm), $P(\delta)$: δ におけるビスの引抜き荷重 (N), δ_F : 最大荷重時のビスの引抜き長さ (mm) である。

ビスねじ込み深さの単位長さ当たりの仕事量 U (N) は、次式によって計算した。

$$U = \frac{w}{l}. \quad (3)$$

木材の密度は木材の実質量を表し、木材強度はほぼ実質量に依存して定まる。平居ら (2002) はスギ、ヒノキ、ツガおよびカナダ産ヒノキの単材を使用してビスの引抜き試験を行い、ビスの引抜き強度も気乾密度に依存することを確認し、次式のようなビスの引抜き強度と気乾密度の関係を導いた。

$$T = 266.9 \cdot \rho_a, \quad (4)$$

ここで、 ρ_a : 木材の気乾密度 (g/cm^3) である。

表 2 中に示した気乾密度の推定値は、式 (4) を用いて昭和基地で得られたビス引抜き強度から求めたものである。今回、昭和基地で行った引抜き強度測定では、木質壁パネル枠材の含水率を測定していないが、測定対象の木材は構造用木材で、通常、仕上げ材で被覆され、直接外気にさらされていないので、含水率は 15% (気乾状態) 以下であったと推定できる (半貫ら, 2002b)。

代表的な木材単材の気乾密度 (森林総合研究所, 2004; 岡野, 1995) を用いて式 (4) から求めたビスの引抜き強度を表 3 に示す。昭和基地で現在使用されている建物の木質パネル枠材については、ビス引抜き強度の初期値が存在しないため、表 3 中の平均値を初期値として採用した。これらの初期値を基準にして強度残存率 (%) (= (表 2 に示すビス引抜き強度の実験値 / 表 3 の引抜き強度の平均値) $\times 100$) を求めた。旧娯楽棟と第 1 夏期隊員宿舎の新棟につ

表 3 代表的な木材のビスの引抜き強度の推定値と気乾密度
 Table 3. Estimated value of wood screw pulling strength and air-dried density of wood.

木材	ヒノキ	スプルース	
ビスの引抜き強度の推定値(式4)	最小値(N/mm)	90.7	109.4
	最大値(N/mm)	144.1	125.4
	平均値(N/mm)	117.4	120.1
気乾密度	最小値(g/cm ³)	0.34	0.41
	最大値(g/cm ³)	0.54	0.47
	平均値(g/cm ³)	0.44	0.45

いてはヒノキを基準に、それ以外の建物はスプルースを基準に計算した。ただし、今回、昭和基地で行った引抜き強度測定には、杵材両面に接着接合された合板の強度も含まれているので、強度残存率はやや過大評価された値となっているものと思われる。また、外装が鋼板張りのパネルの場合は 0.4 mm の鋼板を貫通して試験用ビスをねじ込んでいるが、これを逆方向に引抜くときの鋼板の抵抗はほとんど無視できるものと考えられる。

木質外壁パネル杵材の強度残存率と建物建設後の経過年数の関係を図 9 に示す。強度残存率の値は建物ごとに平均値を示した。強度残存率の個々の値は、外壁パネル上の測定位置の違いによって大きな差はなく、屋根パネルまたは床パネルの接合部に近い位置で測定値が低くなるという傾向も見られなかった。強度残存率は、第 2 夏期隊員宿舎の新棟（建設後 2 年経過）が最も高く約 126% であった。この値は初期値より高いことを示すが、第 2 夏期隊員宿舎の新棟は建設して間もなく、杵材が均質な集成材であることから、初期値に設定したヒノキ単材よりも強度が高くなったことが考えられる。式 (3) に示したビスねじ込み深さの単位長さあたりの仕事量 U (N) (表 2) も、第 2 夏期隊員宿舎の新棟が平均値で 302.5 N と最も高い値となった。また、第 2 夏期隊員宿舎の新棟以外にも強度残存率が 100% を超えているものがある (図 9)。昭和基地建物に使用されている木材はよく吟味、選定された高品質材であるため、一般的な木材の平均値よりも密度が高いことが推測され、引抜き試験用のビスが外壁表面から構造用合板を貫通して杵材にねじ込まれている効果もわずかながら含めて、強度残存率が 100% を超える結果になったと考えられる。それ以外の強度残存率は 75% から 90% の範囲にあり、建物建設後の経過年数による変動は少なかった。図 9 中に示した直線は、全計測データの最小 2 乗近似線で、次式によって表される。

$$\chi = -0.76y + 116, \quad (5)$$

ここで、 χ : 強度残存率 (%), y : 建物建設後の経過年数 (年) である。

上述のように強度残存率が 100% を超えているものもあり、値は多少ばらついているが、木質壁パネルは建物建設後の経過年数に伴って徐々に劣化していると考えられる。ただし先に述べたように引抜き強度測定位置が外壁パネルの下端あるいは上端に近いので、比較的

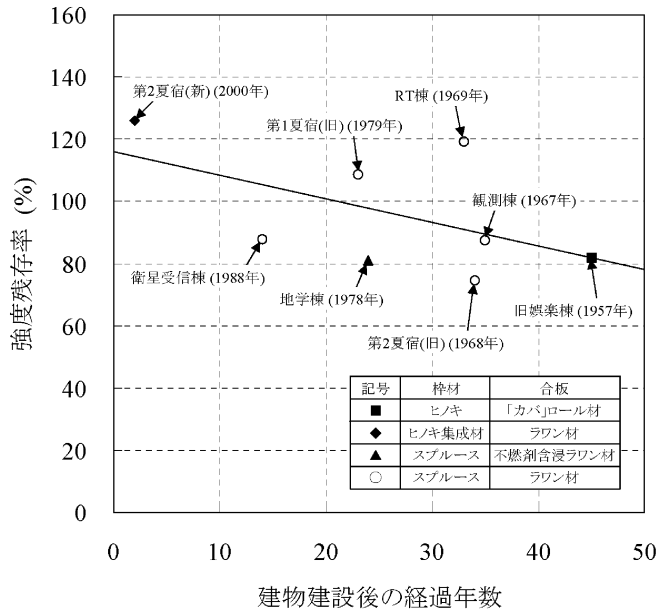


図9 引抜き強度残存率と建物建設後の経過年数の関係

Fig. 9. Relation between percentage of remaining strength and years since building construction.

安定していると思われる外壁パネル中央部に比べて、劣化傾向が顕著に現れている可能性も考えねばならない。

次に調査建物別に外壁パネルが直面する方位に注目してその強度残存率の整理を試みた。ブリザードの卓越風向が北東であり、北あるいは北東の外壁面の劣化が他の位置にある壁より進行している可能性を考えたためである。図10に外壁パネルの直面する方位と強度残存率の関係を示す。図中の強度残存率の値は各建物外壁の方向別の平均値である。建物別に示した8本の曲線は建物周囲4面の試験結果の最小2乗近似曲線で、次式のように表される。

$$\chi = a \cdot o_w^3 + b \cdot o_w^2 + c \cdot o_w + d, \quad (6)$$

ここで、 o_w : 建物外壁の位置 ($^{\circ}$); o_w の範囲は 0° (北)~ 360° (北)。式(6)の係数 a, b, c, d の値を表4に示す。

卓越風向に直面する壁(風上壁面)枠材の強度残存率が他の位置の壁枠材よりもわずかながら低い傾向を示すのは旧娯楽棟(1957)、観測棟(1967)、RT棟(1969)、地学棟(1978)の4棟のみで、これらは築後20~40年経過した独立建物である。第2夏期隊員宿舎旧棟の風上側の強度残存率が他と比べて著しく高いのは、この外壁には前室が付けられていて、2000年に移築されるまでのおよそ30年間、外気から遮断され、内壁に近い条件で経過したためと考えられる。

この他には特に顕著な傾向も見られず、図中に示す全データの平均分布曲線をみると明ら

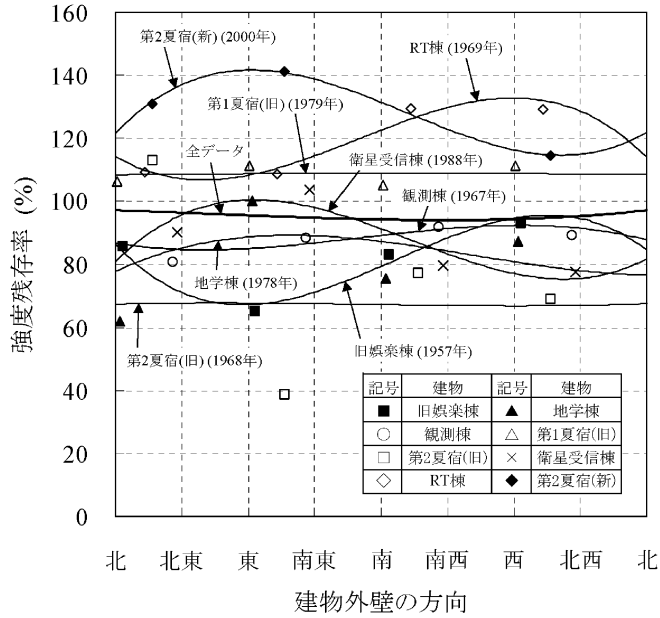


図 10 引抜き強度残存率と外壁配置方位の関係
 Fig. 10. Relation between percentage of remaining strength and facing direction of external wall.

表 4 式 (6) の係数
 Table 4. Coefficients of eq. (6).

建物	旧娯楽棟	観測棟	第2夏宿(旧)	RT棟	地学棟	第1夏宿(旧)	衛星受信棟	第2夏宿(新)	全データ
<i>a</i>	-6.47×10^{-6}	-1.57×10^{-6}	2.15×10^{-7}	-5.63×10^{-6}	1.66×10^{-6}	1.72×10^{-8}	5.46×10^{-6}	5.84×10^{-6}	2.96×10^{-7}
<i>b</i>	3.68×10^{-3}	7.91×10^{-1}	-1.10×10^{-4}	2.78×10^{-3}	-1.21×10^{-3}	-1.98×10^{-5}	-3.26×10^{-3}	-3.45×10^{-3}	-6.96×10^{-5}
<i>c</i>	-4.92×10^{-1}	-7.81×10^{-2}	1.20×10^{-2}	-2.71×10^{-1}	2.17×10^{-1}	5.51×10^{-3}	4.67×10^{-1}	4.87×10^{-1}	-1.32×10^{-2}
<i>d</i>	8.63×10	8.67×10	6.73×10	1.14×10^2	7.77×10	1.08×10^2	8.07×10	1.22×10^2	9.71×10

かなように壁の配置方位による杵材強度残存率の変動はほとんどないとみてよい。

最新の建物の事例（第2夏期隊員宿舎の新棟（2000））を参照して、±12%程度の強度残存率の変動は木材の基本的な材料特性に起因するものと考え、壁パネル杵材の強度残存率に与える風の浸食効果の影響は全体としてほとんど認められない。別の見方をすれば、オイルペイント塗装、鋼板張り等の壁パネル外装材が壁体内部の風による侵食を防ぎ、構造用パネル杵組み本体の耐久性を高めているものと考えてもよい（半貫ら、2002a）。

5. 木質壁パネル杵材の力学的特性の推定

木材は同一の乾燥状態であれば、密度の大きい材ほど強度や弾性係数は大きい。強度は単純に密度によって定まるわけではないので多少の誤差はあるが、密度に注目すると木材の力

学的特性についておおよその見当をつけることができる。木材の繊維方向の強度およびヤング係数と気乾密度の関係式（十代田，1961）として次式が提案されている。

$$F_c = 68.6 \cdot \rho_a, \quad (7)$$

$$F_t = 84.7 \cdot \rho_a, \quad (8)$$

$$F_b = 99.0 \cdot \rho_a^{1.2}, \quad (9)$$

$$F_s = 13.1 \cdot \rho_a, \quad (10)$$

$$E = 19.6 \times 10^3 \cdot \rho_a, \quad (11)$$

ここで、 F_c : 圧縮強度 (N/mm²)、 F_t : 引張強度 (N/mm²)、 F_b : 曲げ強度 (N/mm²)、 F_s : せん断強度 (N/mm²)、 E : ヤング係数 (N/mm²) である。

式(7)~式(11)に式(4)を代入すると、木材の繊維方向強度およびヤング係数とビスの引抜き強度の関係は次式のように表される。

$$F_c = 0.257 \cdot T, \quad (12)$$

$$F_t = 0.317 \cdot T, \quad (13)$$

$$F_b = 0.121 \cdot T^{1.2}, \quad (14)$$

$$F_s = 0.0492 \cdot T, \quad (15)$$

$$E = 73.4 \cdot T, \quad (16)$$

式(12)~式(16)を用いて、昭和基地で測定したビスの引抜き強度から木材の強度およびヤング係数を推定した。昭和基地で現在使用されている建物の木質壁パネル枠材における強度

表 5 引抜き強度試験結果から推定した木質壁パネル枠材の繊維方向の力学的特性

Table 5. Mechanical properties of frame material of wooden wall panel in fiber direction estimated from pulling strength test results.

建物	旧娯楽棟	観測棟	第2夏宿(旧)	RT棟	地学棟	第1夏宿(旧)	衛星受信棟	第2夏宿(新)	
圧縮強度 の推定値 (式12)	最小値 (N/mm ²)	15.7	24.2	4.0	25.9	15.5	28.8	21.8	24.3
	最大値 (N/mm ²)	33.9	30.8	36.6	49.8	33.2	40.3	35.5	45.3
	平均値 (N/mm ²)	24.7	27.0	23.0	36.8	25.0	33.5	27.1	38.9
	変動係数 (%)	19.0	6.7	44.5	15.5	21.4	9.8	17.6	17.4
引張強度 の推定値 (式13)	最小値 (N/mm ²)	19.4	29.8	4.9	31.9	19.2	35.5	26.9	30.0
	最大値 (N/mm ²)	41.8	38.0	45.2	61.4	41.0	49.8	43.8	55.8
	平均値 (N/mm ²)	30.5	33.4	28.4	45.4	30.9	41.3	33.4	36.0
	変動係数 (%)	19.0	6.7	44.5	15.5	21.4	9.8	17.6	17.4
曲げ強度 の推定値 (式14)	最小値 (N/mm ²)	16.8	28.2	3.2	30.7	16.6	34.8	25.0	28.4
	最大値 (N/mm ²)	42.3	37.8	46.5	67.2	41.4	52.2	44.8	59.9
	平均値 (N/mm ²)	29.1	32.3	27.2	46.9	29.6	41.8	32.5	50.1
	変動係数 (%)	22.8	8.1	50.6	18.6	25.3	11.8	21.2	20.3
せん断強度 の推定値 (式15)	最小値 (N/mm ²)	3.0	4.6	0.8	5.0	3.0	5.5	4.2	4.7
	最大値 (N/mm ²)	6.5	5.9	7.0	9.5	6.4	7.7	6.8	8.7
	平均値 (N/mm ²)	4.7	5.2	4.4	7.0	4.8	6.4	5.2	7.4
	変動係数 (%)	19.0	6.7	44.5	15.5	21.4	9.8	17.6	17.4
ヤング係数 の推定値 (式16)	最小値 (kN/mm ²)	4.5	6.9	1.1	7.4	4.4	8.2	6.2	6.9
	最大値 (kN/mm ²)	9.7	8.8	10.5	14.2	9.5	11.5	10.1	12.9
	平均値 (kN/mm ²)	7.1	7.7	6.6	10.5	7.2	9.6	7.7	11.1
	変動係数 (%)	19.0	6.7	44.5	15.5	21.4	9.8	17.6	17.4

表 6 木材の繊維方向の力学的特性 (中井ら, 2002; 森林総合研究所, 2004)
 Table 6. Mechanical properties of typical wood in fiber direction (Nakai et al., 2002; Forestry and Forest Products Research Institute, 2004).

木材	ヒノキ	スプルース	ヒノキ集成材	
基準材料強度 (N/mm ²)	圧縮 F_c	20.7	17.7	27.6
	引張 F_t	16.2	13.5	22.6
	曲げ F_b	26.7	22.2	34.2
	せん断 F_s	2.1	1.8	3.6
基準許容 応力度 (N/mm ²)	圧縮 f_c	6.9	5.9	9.2
	引張 f_t	5.4	4.5	8.2
	曲げ f_b	8.9	7.4	11.4
	せん断 f_s	0.7	0.6	1.2
基準ヤング係数 (kN/mm ²)	E	9.0	7.0	10.5

およびヤング係数の推定値を表 5 に示す。比較のため、ヒノキとスプルース (普通構造材) 単材の繊維方向の力学的特性 (中井ら, 2002) およびヒノキの同一等級構成集成材の繊維方向の力学的特性 (中井ら, 2002) を表 6 に示す。表 6 における集成材は積層数 4 枚以上、強度等級 E105-F345 (曲げ性能試験結果がヤング係数の平均値で 10.5 kN/mm², 曲げ強さで 34.5 N/mm² の材料) (森林総合研究所, 2004) についての値である。推定した強度およびヤング係数の平均値は、旧娯楽棟と第 2 夏期隊員宿舎旧棟のヤング係数を除いて基準材料強度、基準許容応力度および基準ヤング係数の値を上回った。旧娯楽棟と第 2 夏期隊員宿舎旧棟のヤング係数の推定値も最高値は基準ヤング係数の値を上回っており、今回測定した木質壁パネル枠材は、まだ十分な構造性能を保っていると言える。

6. ま と め

昭和基地で現在使用されている建物の木質壁パネル枠材の強度残存率をビスの引抜き試験によって推定した。建物製作当時の壁パネル枠材に対するビスの引抜き強度の初期値が存在しないので、正確な強度残存率は分からないが、昭和基地で測定した木質壁パネル枠材とほぼ同じ気乾密度の新材における引抜き強度と気乾密度の関係を求めた実験から初期値を推定し、強度残存率を計算した。その結果、枠材がヒノキの集成材の場合については、単材から推定した初期値を使ったため、強度は初期値よりも高くなり、強度残存率は 126% となった。それ以外の枠材; ヒノキとスプルースの単材における強度残存率の平均値は約 91% で、建物建設後の経過年数に伴って緩やかに劣化している様子がみられた。また、北東の卓越風による壁パネル構造材への影響を調べた結果、建物外壁の位置による強度残存率の変化はほとんど見られなかった。年平均風速 6.4 m/s という昭和基地の風の影響はパネル枠材にまで及ばないことが確かめられた。

更に、ビスの引抜き試験結果から、昭和基地で現在使用されている木質壁パネル枠材の強

度およびヤング係数を推定した。その結果、設計強度はまだ十分に維持しており、今後も南極で使える構造性能を保っていることが分かった。

謝 辞

昭和基地での測定にあたっては、夏作業の忙しい時にも関わらず第43次観測隊の多くの隊員の方々に測定作業の補助などご支援いただいた。また、建物を使用していた方々には、測定することを快く了承していただいた上、ビスを打ち込む際に騒音などでご迷惑をおかけした。南極から持ち帰った測定データをまとめる際には、日本大学理工学部建築学科半貫研究室の学部生に卒業研究の一環としてデータ整理をお願いした。この紙面を借りてお礼申し上げます。

文 献

- 小西敏正・中村成春・大島隆一・工藤大樹・田仲亮司 (2002): 南極昭和基地第10居住棟のパネル構成材の経年変化と耐久性. 南極資料, 46, 473-480.
- 半貫敏夫・岸 明・平山善吉・佐野雅史 (2002a): 南極昭和基地第10居住棟の復元組立てと耐久性の目視調査. 南極資料, 46, 456-472.
- 半貫敏夫・高橋弘樹・石鍋雄一郎・佐野雅史・平山善吉 (2002b): 南極昭和基地第10居住棟木質パネルの曲げ強度試験. 南極資料, 46, 490-503.
- 平居孝之・平山善吉・大谷俊浩・松田忠広 (2002): 南極昭和基地第10居住棟木質材料の残存強度. 南極資料, 46, 481-489.
- 中井 孝・藤井 毅・長尾博文・鈴木秀三・神谷文夫 (2002): 設計資料. 木質構造設計規準・同解説 許容応力度・許容耐力設計法, 日本建築学会編, 第3版. 東京, 丸善, 339-344.
- 岡野 健 (1995): 材の密度. 木材居住環境ハンドブック, 岡野 健ら, 初版. 東京, 朝倉書店, 15.
- 森林総合研究所監修 (2004): 木材工業ハンドブック. 改訂4版. 東京, 丸善, 1232p.
- 十代田三郎 (1961): 単一木材の力学的性質. 建築材料一般, 初版. 東京, 産業図書, 220.