

南極昭和基地第10居住棟パネル合板の
経年変化と接着耐久性

関口洋嗣*・田中邦明*

Effect of aging and adhesive durability on panel plywood of the old living
hut built in 1969 at Syowa Station, Antarctica

Hirotsugu Sekiguchi* and Kuniaki Tanaka*

Abstract: We herein report on an evaluation of durability of plywood of the old living hut built in 1969 brought back to Japan in terms of adhesiveness as well as adhesive strength between of wooden frame and plywood. Measuring water absorption percentage of test samples taken from wooden panel, we tested on adhesive bonding between veneers and compressed shearing of plywood and wooden frame, and then measure their adhesive bonding. As a result, we conclude that plywood used for interior obtains high adhesive strength due to low water absorption percentage of the plywood on the other hand, the absorption strength of plywood for exterior is remarkably weakened because of the high water absorption percentage. In addition to that, since adhesive strength between panel plywood and wooden frame is stronger than that of between veneers, epoxy resin is suitable, yet we recognized that adhesion specs on metal panel for exterior should be reviewed in future. After all, weakened adhesive strength of plywood is mainly caused by moisture content in the plywood, and in order to improve panel durability, it is necessary to prevent wooden materials from rising moisture content with countermeasures of incoming of snow melting water, anti-condensation, and anti-rust of steel plate for exterior wall, as well as improve performance of water resisting adhesive.

要旨: 日本に持ち帰られた第10居住棟合板の耐久性を接着という観点から評価した結果と、合板の接着耐久性と並び重要である枠材と合板の接着性能について報告する。木質パネルから試験体を採取し、含水率を測定した上で、単板接着力試験と合板-枠材圧縮せん断試験を行い、接着力を測定した。その結果、室内側合板の含水率は低いため接着力は高いが、それに対して屋外側合板は高含水率化しており接着力の低下が著しかったこと、また合板と枠材の接着力は単板間接着力よりも高く、本エポキシ樹脂が適当であること、屋外面鉄板の接着仕様については今後検討を要することなどが分かった。総じて、合板の接着力低下には水分が大きく関与し、パネルの耐久性向上には、融雪水の進入対策、結露対策、外壁鋼板の防錆対策等による木材の高含水率化の防止と、接着剤の耐水性向上が必要であると思われる。

* (株) ミサワホーム総合研究所技術開発部。Misawa Homes Institute of Research and Development Co. Ltd., 1-19, Takaido-nishi 1-chome, Suginamik-ku, Tokyo 168-0071.

1. はじめに

第10居住棟は1969年昭和基地に建設され、1998年その任務を終え、日本に持ち帰られた。昭和基地周辺の気象は南極の他の基地からみれば穏やかで12月から1月にかけては平均気温 0°C くらいになるものの日本では考えもつかないほど厳しく、6月から10月にかけては最低気温 -30°C から -40°C 、最大瞬間風速 50 m/s ともなる。このような気象条件から建物の設計は次のような条件で行われた。

夏季平均気温： $-5^{\circ}\text{C} \sim +5^{\circ}\text{C}$

冬季最低気温： -50°C

最大風速： 60 m/s

相対湿度： $40 \sim 80\%$

室内温度： $+18^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 保持すること(暖房有り)

施工性：隊員が短期間で施工できること(屋外作業できる期間が短いため)

原則的に人力だけで建設できること(敷地条件によっては重機が使えない)

これらの条件を満足する構法として木質パネル構法が選択され設計建設に至った。

この木質パネルは枠組みした木材の両面に合板を接着剤で貼り合わせた一体構造となっている。この合板は構造耐力を確保する上で重要な部材であり、その耐久性能を把握することは今後建物を設計する上で非常に有用である。

合板は単板を繊維方向が直角になるように接着積層した物であり、接着なしではその優れた諸性能が発揮されない材料である。すなわち接着性能が合板性能を左右するといっても過言ではなく、その接着耐久性を評価することは合板の耐久性、建物の耐久性を評価することになると考えられる。

本報では日本に持ち帰られた第10居住棟の合板の耐久性を接着という観点から評価した結果を報告するとともに、合板の接着耐久性と並び重要である枠材と合板の接着性能についても報告する。また合板及び枠材の含水率を測定した結果も併記する。

2. 試験体採取と採取時の状況

2.1. 外壁パネル

外壁パネルは設計図のW1-1Dのパネルを解体した。パネルの屋外面には室外側合板の上からポリ酢酸ビニル系接着剤にて鉄板が張り付けられていたが施工時の塗布むら、圧縮不足による接着不良、及び30年もの間過酷な条件(高湿)に置かれていたためか、簡単に剥がすことができた。鉄板を剥がした後、パネルの上下方向及び、室内外での接着力の差を見るために、室内側、屋外側合板の両面の上部、中部、下部各部より単板間接着試験用試験体各10個、合板-枠材接着試験用試験体各5個を採取した。なお、パネルは部分的に傷みが激しく、

表1 外壁パネルの含水率
Table 1. Water absorption percentage of exterior wall panel.

部 材	含水率 (%)		
	上 部	中 部	下 部
屋外側合板	20	28	29
室内側合板	13	13	12
枠 材	11	11	11

サンコウ電子研究所製 TG-100 にて測定 (最大 35% まで測定可能)
 含水率は各部 6 点の平均値

合板がめくれている等が認められたため比較的状态がよく試験体の加工が可能な部分から採取した。なお合板、枠材の含水率は表1の通りであった。

2.2. 内壁パネル

内壁パネルは設計図の W²-13'B のパネルを解体し、室内側のパネル合板を内壁 A、ホール側の合板を内壁 B とした。パネルの傷みは少なく、外観上特に問題ないよう見受けられた。試験体はパネルの上下方向及び、室内外での接着力の差を見るために、室内側、ホール側合板の両面につき上部、中部、下部の各部より単板間接着試験用試験体各 10 個、合板-枠材接着試験用試験体各 5 個を採取した。なお合板、枠材の含水率は表2に示すように合板より枠材の方が小さくかつ両者共、下部の方が大きな値となった。

表2 内壁パネルの含水率
Table 2. Water absorption percentage of interior wall panel.

部 材	含水率 (%)		
	上 部	中 部	下 部
合 板 A	17	16	17
合 板 B	16	16	18
枠 材	9	9	10

サンコウ電子研究所製 TG-100 にて測定 (最大 35% まで測定可能)
 含水率は各部 6 点の平均値

2.3. 床パネル

床パネルは設計図の F-3D のパネルを解体した。パネルには外壁パネルと同様、屋外側合板の上から鉄板が張り付けられており、接着剤にはエポキシ樹脂が用いられていた。エポキシ樹脂が用いられていたにも関わらず鉄板を簡単に剥がすことができた。鉄板を剥がした後、パネルの長さ方向及び、室内外面での接着力の差を見るために、室内側、屋外側両面から、通路側(居住棟中央部)中心部、外壁側の各部より単板間接着試験用試験体各 10 個、合板-枠材接着試験用試験体各 5 個を採取した。なお、パネルは部分的に傷みが激しく、合板がめくれている等が認められたため比較的状态がよく試験体加工可能な部分から採取した。室内

表3 床パネルの含水率
 Table 3. Water absorption percentage of floor panel.

部 材	含水率 (%)		
	通路側	中心部	外壁側
屋外側合板	19	23 以上	23 以上
室内側合板	18	23 以上	23 以上
枠 材	11	11	15

PROTIMETER MINIにて測定(最大23%まで測定可能)
 各部2点の平均値

側にはフローリング仕上げ12mm合板が枠材と接着されていたが、合板-枠材接着試験体切り出しの際、合板の単板部で剥離してしまい試験体を作成することができなかった。また屋外側合板外壁部に関しても、すでに合板-枠材接着部の合板が劣化によりめくれており、試験体を作成することができなかった。表3に床パネル各部の含水率を示す。

2.4. 屋根パネル

屋根パネルは設計図のC-2'のパネルを解体した。パネルには外壁パネルと同様、屋外側合板の上から鉄板が張り付けられているために、まず鉄板をはがした。鉄板と合板はポリ酢酸ビニル系接着剤で接着されていたが、施工時の塗布むら、圧縮不足による接着不良、及び30年もの間過酷な条件(高湿)に置かれていたためか、簡単に剥がすことができた。屋外側パネル合板は劣化が激しく、既に単板間で剥離している部分、鉄板を剥がす際に単板間で剥離した部分がかかなり多く見られ、外壁側に近づくほど劣化が激しい傾向であった。また見た目では接着しているように見えても試験体の切り出し時における鋸の力で単板間が剥離してしまう部分も多かった。

室内側合板も外壁側では劣化が激しかった。このため、パネルの長さ方向及び、室内外での接着力の差を見るために、室内側、屋外側の両面につき、室内通路側(居住棟中央部)居室中心部、外壁側の各部より単板間接着試験用試験体各10個、合板-枠材接着試験用試験体各5個を採取しようとしたが、実際に試験体を採取加工できた部位は屋外側では通路付近

表4 屋根パネルの含水率
 Table 4. Water absorption percentage of roof panel.

部 材	含水率 (%)		
	通路側	中心部	外壁側
室外側合板	17	25	35 以上
室内側合板	17	20	27
枠材(屋根側)	13	17	17
枠材(室内側)	11	11	15

サンコウ電子研究所製TG-100にて測定(最大35%まで測定可能)
 各部2点の平均値

(居住棟中心部付近)の単板接着力試験体, 室内側では通路寄, 中心部の単板接着力試験体及び合板-桧材接着試験体であった. なお合板, 桧材の含水率を表4に示す.

3. 試験方法

3.1. 合板単板間接着力試験

日本農林規格 (JAS) の試験法に従い, 常態接着力試験を行った (図1). ただし床パネル室内側合板は12 mm, 5プライで通常であれば3プライまで単板をはぎ取ってから試験するが, 合板の劣化がどの程度あるか分からず, はぎ取る際に, 必要な接着層へダメージを与える可能性があるため, 単板を剥ぎ取るのをやめ図2のような試験体とした. 作成した試験体の両端をつかみ両端の方向に2 mm/minの荷重速度で引っ張り, その破壊時における最大荷重をインストロン, 平均木部破断率を目視で求めた. 測定した最大荷重から次式により接着力を計算した.

$$\text{接着力 (N/mm}^2\text{)} = \text{最大荷重 (N)} / \text{接着面の幅 (mm)} / \text{接着面の長さ (mm)}.$$

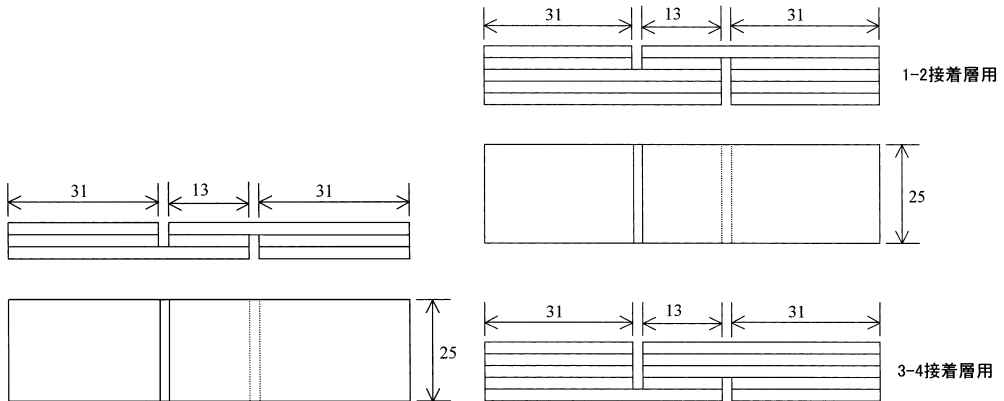


図1 3プライ合板単板間接着試験体の形状
Fig. 1. Sample for testing on adhesive bonding between 3-layer plywood and veneer.

図2 5プライ合板単板間接着試験体の形状
Fig. 2. Sample for testing on adhesive bonding between 5-layer plywood and veneer.

3.2. 合板-桧材接着力試験

試験体は図3のように加工し, 日本工業規格 (JIS) の圧縮せん断試験法に準じて行った (常態). インストロン万能試験機を用い破断時の最大荷重 (N) を測り, 次式でせん断強さを計算した. この時の木部において破断した面積のせん断面積に対する百分率を10%刻みで目視にて読みとり木部破断率とした. なお, クロスヘッド移動速度は毎分2 mmで行った.

$$\text{接着力 (N/mm}^2\text{)} = \text{最大荷重 (N)} / \text{接着面の幅 (mm)} / \text{接着面の長さ (mm)}.$$

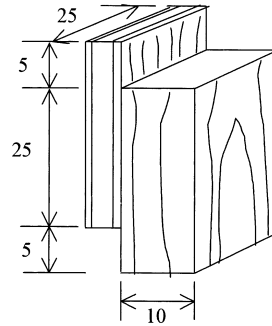


図3 圧縮せん断試験体の形状
Fig. 3. Test sample for compressed shearing.

4. 合板, 芯材及び使用されている接着剤

4.1. 合板

合板の単板構成と厚みを実測したところ次の通りであった。また材質はすべてのパネルともラワン材であった。

- 外壁パネル屋外側：1.0-3.3-1.2 mm
- 室内側：1.7-2.6-1.7 mm
- 内壁パネ 両 面：1.7-2.6-1.7 mm
- 床パネル 屋外側：1.0-3.3-1.2 mm
- 室内側：1.8-3.6-1.8-3.6-1.8 mm
- 屋根パネル屋外側：1.0-3.3-1.2 mm
- 室内側：1.7-2.6-1.7 mm

4.2. 枠材

枠材はパネル製造時のデータよりスプルース(カナダ産ヒノキ)である。

4.3. 使用接着剤

合板単板間接着に用いられている接着剤は製造当時の資料に記載されておらず詳しいことは不明であるが、資料にタイプ1の合板との記載があること、また接着層を目視したところ接着層が透明である等を考慮すると尿素-メラミン系接着剤と推測される。また合板と枠材の接着にはエポキシ系接着剤が用いられていた。

5. 試験結果と考察

5.1. 単板接着力試験

表5, 表6は壁パネル, 床パネル, 屋根パネル合板の単板接着力を測定した結果である。表中の数値は厚みによって乗じるべき計数を乗じていない値である。各壁パネル室内側合板

表5 壁パネル合板の単板接着力試験結果

Table 5. Test results of adhesive bonding wall panel plywood.

部 位	上 部		中 部		下 部	
	接着強度 (N/mm ²)	木破率 (%)	接着強度 (N/mm ²)	木破率 (%)	接着強度 (N/mm ²)	木破率 (%)
内壁パネル A	1.03	97	0.99	100	1.17	100
内壁パネル B	1.28	96	1.13	93	0.95	93
外壁パネル屋外側	0.59	85	0.63	92	0.27	29
外壁パネル室内側	0.78	100	1.40	83	1.27	74

表6 床及び屋根パネルの単板接着力試験結果

Table 6. Test results of adhesive bonding floor/roof panel plywood.

部 位	通路側		中央部		外壁側	
	接着強度 (N/mm ²)	木破率 (%)	接着強度 (N/mm ²)	木破率 (%)	接着強度 (N/mm ²)	木破率 (%)
床パネル屋外側	0.57	96	0.40	93	0.22	91
床パネル室内側 (1-2 接着層)	1.27	52	1.47	34	1.52	44
床パネル室内側 (3-4 接着層)	1.19	89	1.57	57	1.50	59
屋根パネル屋外側	0.66	46	***	***	***	***
屋根パネル室内側	0.91	26	0.61	3	***	***

注) *** は試験体が作成できなかったもの

は、上部、中部、下部での強度差は見られず、また単板間接着強度も比較的高い。製造時の測定データがないため断定することはできないが劣化は少ないと思われる。一方、屋外側合板に関しては下部の強度が低い傾向にある。湿気が下部にたまりやすく、合板の劣化を促進したためと思われる。実際に解体時の合板含水率も下部の方が高い傾向であった。

床、屋根パネルは、室内側床合板を除き、通路側から外壁側にいくほど単板接着力が低くなる傾向を示した。また両パネルとも屋外側合板(鉄板張り付け面)の接着強度がかなり低くなっている。これらの部位は含水率がかかなり高く、水分により接着剤が劣化したと考えられる。床パネル室内側合板はパネル内部にスタイロフォーム、表面にフローリング貼りと水分や熱の出入りが起きにくいため、劣化の進行が遅かったものと考えられる。

この一連の試験において接着強度が低下している部位の含水率が高く、含水率が接着力低下の原因となっていることが伺える。木材の含水率を高くしてしまう原因としては、鉄板の腐食やコーキング不良による融雪水の侵入及び結露が考えられ、今後建物を設計する際には融雪水、結露の対策をする必要があると同時に合板用接着剤の耐水性向上も必要であると考えられる。

5.2. 合板一桝材圧縮せん断試験

合板一桝材圧縮せん断試験の結果を表7、表8に示す。合板一桝材接着試験では強度にバ

表7 壁パネルの合板-芯材接着力試験結果

Table 7. Test results of adhesive bonding between wall panel plywood and wooden frame.

部 位	上 部		中 部		下 部	
	接着強度 (N/mm ²)	木破率 (%)	接着強度 (N/mm ²)	木破率 (%)	接着強度 (N/mm ²)	木破率 (%)
内壁パネル A	5.11	100	6.01	100	6.44	100
内壁パネル B	5.99	100	5.30	100	5.10	100
外壁パネル屋外側	4.23	100	2.75	100	5.08	100
外壁パネル室内側	5.33	100	5.91	100	6.39	100

表8 床及び屋根パネル合板と芯材接着力試験結果

Table 8. Test results of adhesive bonding between floor/roof panel plywood and wooden frame.

部 位	通路側		中央部		外壁側	
	接着強度 (N/mm ²)	木破率 (%)	接着強度 (N/mm ²)	木破率 (%)	接着強度 (N/mm ²)	木破率 (%)
床パネル室外側	3.8	100	3.7	100	***	***
床パネル室内側	***	***	***	***	***	***
屋根パネル屋外側	***	***	***	***	***	***
屋根パネル室内側	4.0	100	2.8	100	***	***

注) *** は試験体が作成できなかったもの

ラツキがあるもののすべての試験体が合板の単板間で破壊した。よって合板-枠材間の接着力を測定することができなかった。しかしながら合板の単板接着力よりは強固に接着していることは確認できた。

6. ま と め

第10居住棟の木質パネルから試験体を採取し、含水率、接着力を測定した結果以下のことが分かった。

- 1) 室内側合板の含水率は低く接着力が高かった。
- 2) 屋外側合板は高含水率化しており接着力の低下が著しかった。
- 3) 合板と枠材の接着力は単板間接着力よりも高く、本エポキシ樹脂でよいと思われる。
- 4) 屋外面鉄板の接着仕様については今後検討を要する。

以上のことから合板の接着力低下には水分が大きく関与し、パネルの耐久性向上には、融雪水の進入対策、結露対策、外壁鋼板の防錆対策等による木材の高含水率化の防止と、接着剤の耐水性向上が必要であると思われる。

(2001年7月16日受付; 2002年6月6日改訂稿受理)