

Short Report

大径材を活用した壁厚 180mm 高断熱パネル工法の開発

中村昇¹¹ 秋田県立大学木材高度加工研究所

長伐期化した大径材の価格が低迷している。一方、CO₂削減および医療介護費削減のためには、高断熱・高気密化した省エネ住宅を推進する必要がある。そこで、大径材から断面の大きな材を挽き、壁を厚くすることにより、高断熱住宅を建てることを目的に、基礎的な試験として、乾燥実験および断熱パネルの熱貫流率測定実験を行った。次のような結果が得られた。プレカット工場のラインに入るように、幅などのモジュールを 150mm とし、まず、150mm×150mm の柱の乾燥を行った結果、心去り材であれば、時間はかかるが割れも少なく乾燥できることが分かった。また、グラスウールおよびロックウールを断熱材とし、スギ単板から製造した厚さ 6mm の薄物合板を表裏面とする断熱パネルを用いた熱貫流率測定では、あまゝ日本の基準値を上回り、欧州並みの性能を発揮することが分かった。今後、この知見を生かし、パネル化をさらに進化させ、外壁までも貼った壁の大型パネル化を進めて行きたいと考えている。

キーワード：大径材，高断熱パネル，スギ，熱貫流率，150mm 角材，乾燥

1. 研究の背景と目的

図 1 に示すように秋田県の森林資源は充実してきており、9 齢級（45 年生）以上の森林面積が 7 割弱を占める。再造林を行うためには原木価格で少なくとも 15,000 円/m³ は必要であるが、立木価格はスギで 2,833 円/m³ と低迷し、補助金がなければ再造林もままならない状況である。高齢級材を広範に活用し、伐採後に再造林していかないと、持続的な森林資源の利用が成り立たなくなる。しかし、高齢級の森林から伐採される大径材の価格は低い。例えば、秋田原木市場の昨年 7/5 および 7/20 の市では、中目材と言われる末口径 24~28cm が 12,590 円/m³ に対し、40cm 以上の丸太は 9,500 円/m³ と 25% も安い。

一方、川下側に目を転じれば、建築大工が大幅に減少し、2015 年で 1980 年比約 6 割減、2030 年にはさらに 17 万人が減り、高齢化率が増え、人手不足を補うシステムが必要である。また、2013 年度比約 40%CO₂削減をパリ協定で公約し、2014 年には 14 年

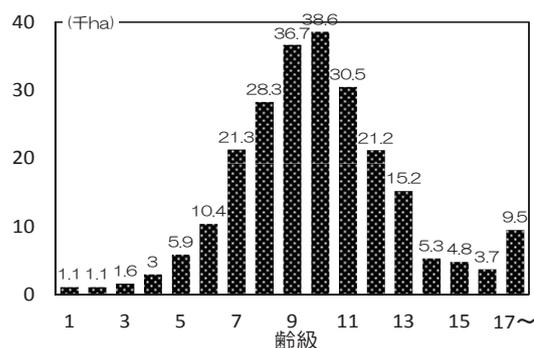


図 1 秋田県の森林の齢級構成

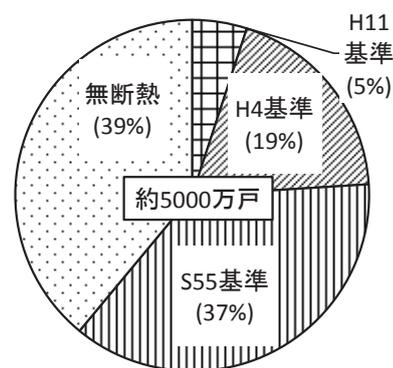


図 2 住宅ストックの断熱性

ぶりとなる省エネ基準を改正した。しかし、図2に示すように、住宅ストックの約4割（約2000万戸）が無断熱住宅であり、約17,000人もの人々がヒートショックに関連した入浴中急死をしたと推計され、その死亡者数は交通事故による死亡者数（4,611人）をはるかに上回っている。日本人は、寒い家に我慢して住んでいる状況である。

以上の状況を鑑み、次のような目標・目的を設定する。大径材の利用を推進するために、180mm×180mmの柱、180mm×210mm（あるいは240）mmの梁を用いた軸組木造とする。断熱にはグラスウールを充填したパネルを地場工務店で作成し、現場では嵌め込むだけとし省力化するため、人手不足を補える。また、小さな工務店でも製作が可能である。壁が厚いため、試算では北欧並みの熱損失が達成できる。実際にパネルを作成し、熱貫流率を測定しようとしたが、秋田県北秋田市にある古河林業（株）プレカット工場に相談したところ、プレカットのラインに入る寸法は150mmまでであるため、150mmモジュールで実験を行うことを提案された。そこで、150mm×150mmの柱材を用いて実験することにした。

2. 150mm 角材の乾燥試験

図1に示すように、165mm角、長さ4000mmの柱を、A-1～7、B-1～7に切断した。Aは心去り、Bは心持ちである。A、B-2、A、B-4、A、B-6は含水率推定のために、初期含水率を求めた試験体である。木口には、エポキシ樹脂でシールをし、約半日放置した。このときの様子を写真1に示した。

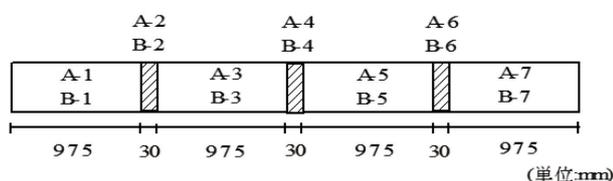


図1 長さ4mの柱材から乾燥試験体を採取

2.1 乾燥スケジュール

一般的な高温乾燥のスケジュールに沿って行った。具体的には、次のとおりである。

- (1) 蒸煮：95℃で3時間



写真1 木口にエポキシ樹脂でシール

- (2) 高温セット：乾球温度120℃、湿球温度90℃で24時間

- (3) 中温乾燥：乾球温度90℃、湿球温度60℃で乾燥するまで

図2に、乾燥スケジュールを示した。

乾燥釜に入れる前の様子を、写真2に示した。後部にある緑色が乾燥釜である。

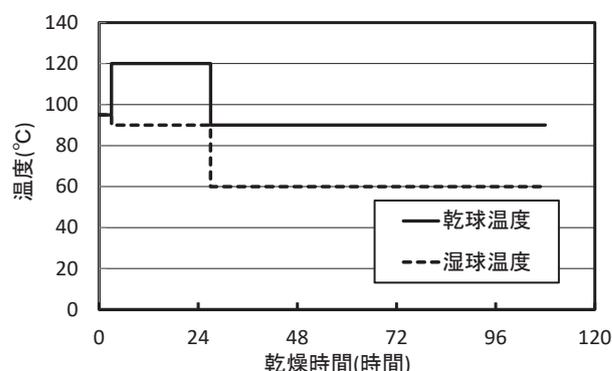


図2 乾燥スケジュール



写真2 乾燥釜と試験体

2.2 試験結果

2.2.1 初期含水率.

表 1 に、初期含水率の値を示した。A, B-2 は A, B-1 の含水率を推定するために用いた。同様に、A, B-2 と A, B-4 の平均は A, B-3 の推定に、A, B-4 と A, B-6 の平均は A, B-5 の推定に、A, B-6 は A, B-7 の含水率を推定するために用いた。

表 1 初期含水率

	A-2	A-4	A-6	B-2	B-4	B-6
初期含水率 (%)	77.4	86.2	109.7	80.4	88.7	100.5

2.2.2 中温乾燥における含水率の推移.

図 3 に含水率の推移を示した。横軸は、中温乾燥を始めてからの時間である。試験体の推定含水率が 15%を下回った時間までプロットしてある。推定含水率が 15%を下回るまでには、心去り材 (A) で 14 日、心持ち材 (B) で 20 日かかることが分かる。

2.2.3 材内部の含水率.

推定含水率が 15%を下回った時点で、乾燥釜から出し、材内部の含水率分布を測定した。中温乾燥に供した試験体から、図 4 に示すように、中央部の節を避けた部分から、幅約 30mm の板を切断し、

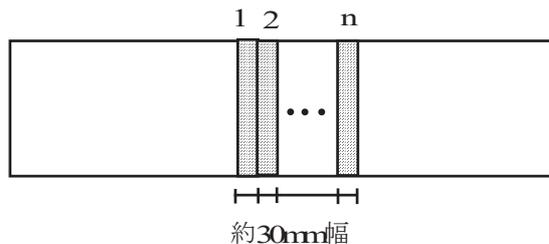


図 4 内部の含水率分布を測定するための試験体

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25

図 5 幅約 30mm の板を分割

内部の含水率部分を測定した。幅約 30mm の試験体の一部は、図 5 に示すように分割し、重さを測定した後、全乾状態として含水率を求めた。残りの幅約 30mm の板は、そのまま全乾とし、平均的な含水率を求めた。

まず、幅約 30mm の板の平均的な含水率を表 2 に示した。試験体 B-5 は現時点では全乾状態になっていないため、記していない。同表を見ると、推定含水率は 15%を割った

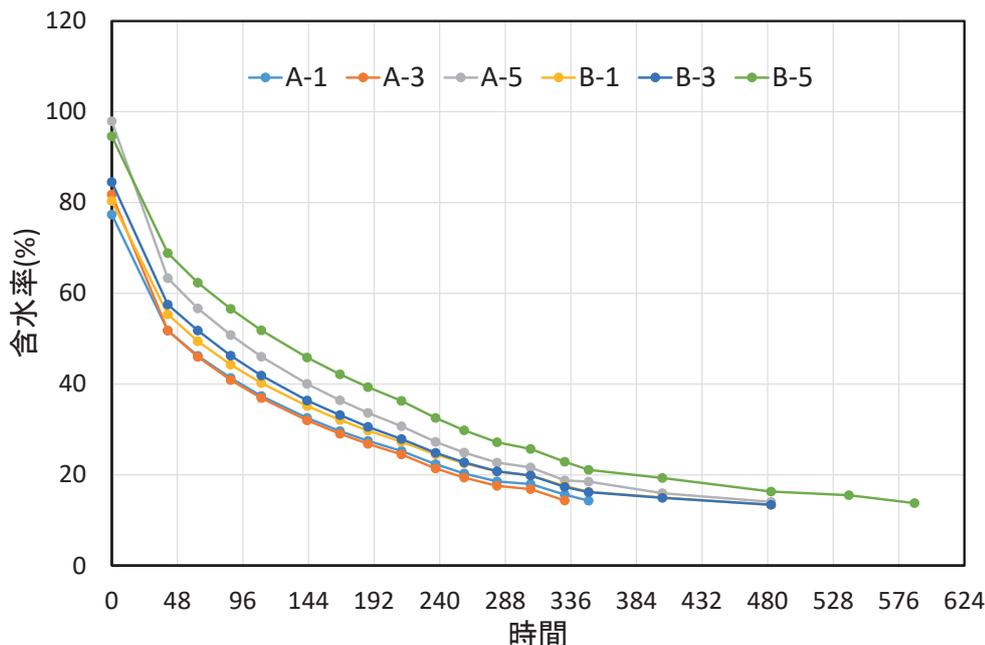


図 3 含水率の推移

くらいであるが、実際には 15%を下回っていることが分かる。試験体 A-5-5 の含水率が高いのは、大きな節があるためと考えられる。表 1 に示すように、番号が大きくなるほど含水率が高く、地際に使い箇所ではないかと推測される。このため、試験体 A-5 でも全体的に含水率は高い。

次に、含水率の内部分布を見てみる。

図 6～11 に試験体番号別の含水率分布を示した。いずれも内部が高く、外周部は低い。しかし、長期的に見れば、内部に含水率勾配があるが故に、いずれ平衡状態に達し、平均的には表 2 に示す含水率になると予想される。現在、板を採取した残部の両端をエポキシ樹脂でシールし、平衡状態に達したと考えられる時点で、同図に示すように分割して、含水率分布を求める予定である。

表 2 幅約 30mm の板の平均的な含水率 (%)

試験体番号	平均的な含水率	試験体番号	平均的な含水率	試験体番号	平均的な含水率
A-1-3	10.8	A-3-1	13.2	A-5-1	13.7
A-1-4	11.1	A-3-2	12.8	A-5-2	15.0
A-1-5	11.3	A-3-4	13.3	A-5-5	22.0
		A-3-5	13.0		
		A-3-6	13.0		
B-1-1	12.6	B-3-2	13.1	B-5-1	12.2
B-1-2	12.5	B-3-3	12.5	B-5-4	10.0
B-1-5	13.0	B-3-5	12.6		
B-1-3	12.7				

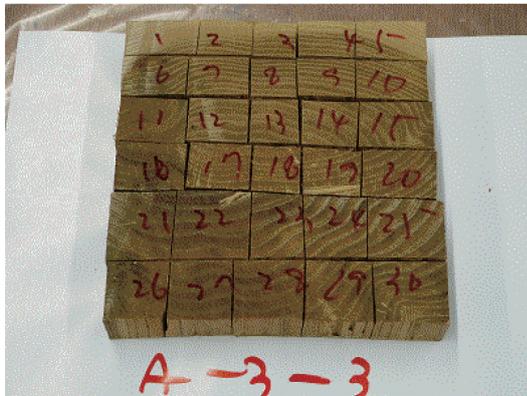


写真 4 幅約 30mm の板をサイコロ状に分割した様子

5.5	7.4	7.8	8.0	5.6	5.4	7.4	8.2	7.6	5.2
6.8	10.4	12.4	11.3	6.9	7.8	11.2	12.7	11.9	7.3
8.0	14.3	18.5	12.6	8.0	9.6	16.0	19.7	15.9	8.5
8.3	16.1	17.8	13.8	8.4	9.1	14.8	19.1	15.9	8.6
7.8	12.2	15.5	11.4	7.5	6.5	8.7	10.8	9.9	6.6
6.0	8.5	9.3	7.6	5.9					

図 6 内部の含水率分布 (左 : A-1-1、右 : A-1-2)

7.1	9.4	9.0	8.3	6.8	9.6	12.5	8.9	6.1
11.8	17.3	19.2	15.0	9.9	13.7	27.0	17.3	34.0
10.7	19.8	23.6	19.1	11.0	11.8	24.9	18.8	8.7
					8.1	12.3	10.1	6.6
8.2	12.4	14.6	11.9	7.7				
5.7	7.5	8.4	7.9	5.5				

図 7 内部の含水率分布 (左 : A-3-3、右 : A-3(中央))

6.0	9.3	13.4	15.1	8.9	6.0	10.2	14.5	14.9	8.4
8.9	16.8	39.3	44.2	15.1	9.2	20.5	59.5	42.9	14.2
9.3	18.0	34.9	46.5	17.1	9.7	20.3	45.4	45.4	16.6
7.8	12.8	18.6	20.5	12.7	8.3	14.1	20.1	20.7	11.7
6.1	7.9	9.6	10.7	8.0	6.1	8.2	9.5	10.2	6.9

図 8 内部の含水率分布 (左 : A-5-3、右 : A-5-4)

6.2	8.1	9.2	7.9	6.7
7.3	13.1	17.0	13.8	9.2
7.4	16.4	27.9	20.7	11.4
8.9	17.0	28.1	19.5	10.1
6.3	9.4	12.2	11.2	7.4

図 9 内部の含水率分布 (B-1-4)

6.3	8.5	9.0	7.9	6.0	6.2	8.6	9.2	7.9	5.9
7.6	14.1	17.1	14.0	7.1	7.7	14.2	18.1	13.7	7.8
8.3	19.1	28.0	20.7	8.6	8.5	18.0	26.1	19.1	10.0
9.6	20.3	31.3	20.9	10.0	9.9	18.6	23.5	18.1	9.7
7.5	10.5	12.3	11.3	7.5	7.1	10.2	9.9	10.0	7.1

図 10 内部の含水率分布 (左 : B-3-1、右 : B-3-4)

4.8	7.8	8.7	8.0	5.8	4.3	6.7	7.5	7.6	5.3
7.9	12.6	16.5	13.3	7.2	6.7	10.1	14.3	14.6	7.5
6.8	15.2	26.6	18.6	8.3	6.6	11.0	23.0	18.5	8.5
6.1	11.6	24.1	17.9	8.3	6.2	9.9	20.0	19.4	9.0
6.0	7.1	9.8	7.9	7.6	6.0	7.0	9.4	9.6	6.5

図 11 内部の含水率分布 (左 : B-5-1、右 : B-5-4)

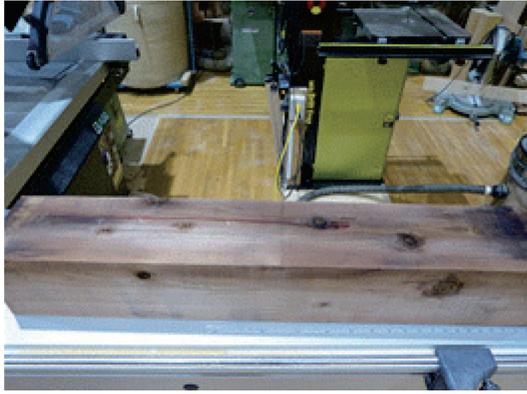


写真5 心持ち材の割れの様子(上：B-1、下：B-3)



写真6 心持ち材の割れの様子(B-5)



写真7 心去り材に割れは生じていない(A-3)

次に、割れの様子を写真5～7に示す。心持ち材は、すべての試験体で割れが生じている。中には、かなり大きな割れも見られた。一方、心去り材では、目で確認できる割れは生じていない。

3. パネルの旦那熱性能

3.1 パネルの作成

写真8に示すように、厚さ2.1mmのスギ単板を3層積層接着して、厚さ約6mmの合板を製造した。また、厚さ15mmのスギ板を用いて、写真9に示すように955mm×1255mmの枠を作成し、写真10に示すように、片面に製造した3プライ合板をタッカーで留め、写真11に示すように、その中にグラスウールおよびロックウールの断熱材を隙間なく入れ、写真12に示すように、その上から3プライ合板をタッカーで留めた。



写真8 プレスみよる薄物合板の製造



写真9 パネル枠の作成



写真 10 タッカーにより薄物合板を留める



写真 13 音響室を利用した熱貫流率の測定
(注)高温側

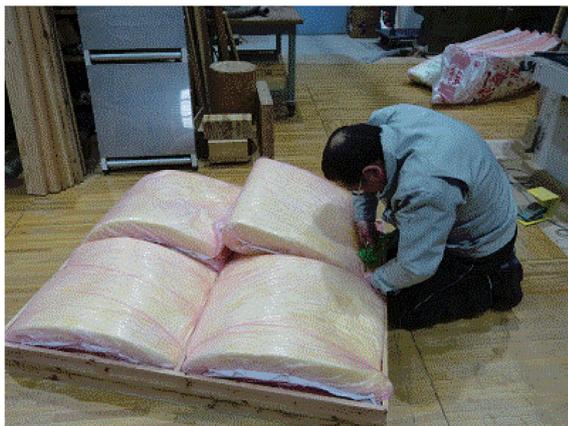


写真 11 隙間なく断熱材を入れる

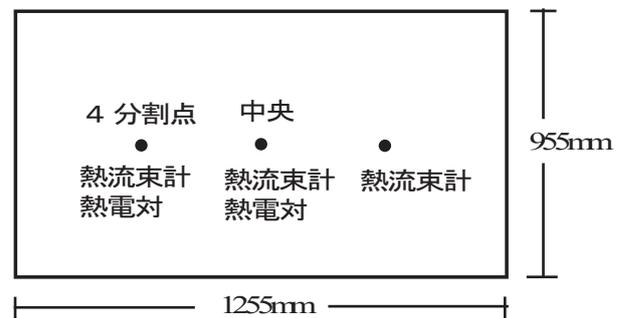


図 12 パネルの寸法とセンサー設置位置



写真 12 薄物合板で反対面を貼る

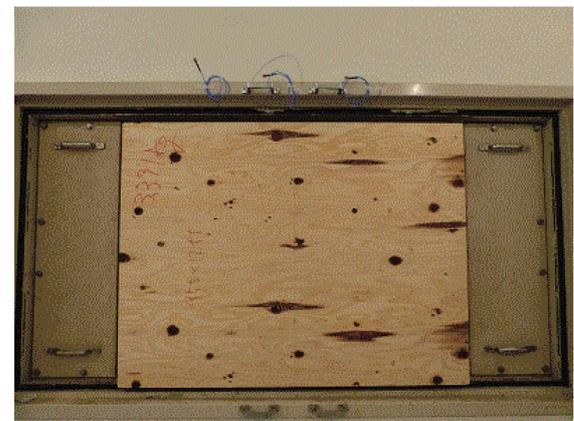


写真 14 高温側パネル全景と設置

3.2 パネルの熱還流率の測定

音響実験室を用いて、片側の室には写真 13 に示すように、ストーブで室内を温め、雰囲気とした隣の室の間に、作成したパネルを挿入し、図 12 に示す位置（反対側も同じ位置）に熱流束センサーと熱電対を設置し、熱流と温度を測定した。写真 14 および 15 に高温側と低温側のパネルの設置の様子を示した。

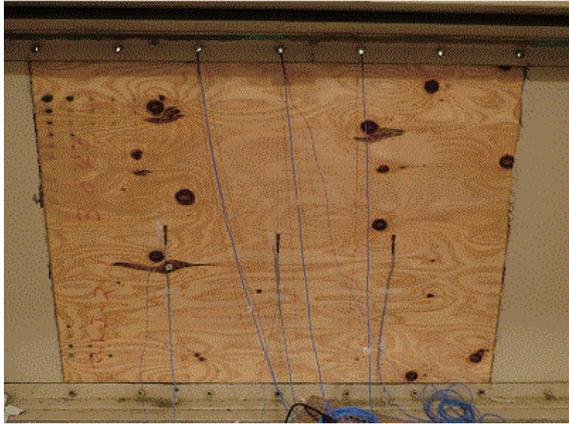


写真 15 低温側パネル全景とセンサー

3.3 結果

断熱材は、グラスウールとロックウールである。使用した材料の熱伝導率、厚さを用いて熱貫流率を計算し、その結果を表 3 に示した。次に、加温後の熱貫流率の推移を図 13、14 に示した。加温後 30 分ほどで平衡状態に達したと判断できたので、その時点で加温を止めた。平衡状態に達した状態で、高温側と低温側の熱流束計および温度の差から、熱貫流率を求めた。パネルの中央で、グラスウール 0.314 (W/(m²・K))、ロックウール 0.298 (W/(m²・K)) となった。これらの値は表 3 に示す計算値よりも大きい。この理由として、パネル以外の境界は断熱性が悪く、熱が貫流してしまっていることが考えられる。

表 3 熱貫流率の計算

	熱伝導率 (W/(m・K))	厚さ (m)	熱抵抗 (m ² ・K/W)
スギ薄物合板	0.087	0.006	0.069
断熱材	0.038	0.15	3.947
スギ薄物合板	0.087	0.006	0.069
パネル			4.085
熱還流率(W/(m ² ・K))			0.245

図 15 に、諸外国と日本の住宅外皮性能基準比較を示した。日本の規程が緩いことが分かる。今回得られた値は、基準の厳しい欧州の値よりも小さく、かなり高い性能と考えられる。

4. まとめ

以上、大径材の利用を推進するために、150mm モジュールを用い、壁に工場で製造した高断熱パネルを挿入した工法を提案した。まず、断面の大きい 150mm×150mm の柱の乾燥を行った結果、心取り材であれば、割れも少なく乾燥できることが分かった。また、グラスウールおよびロックウールを断熱材としたパネルの熱貫流測定試験では、欧州並みの性能

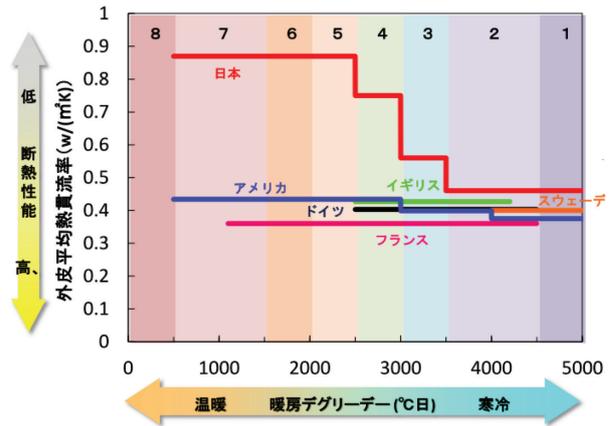


図 15 諸外国と日本の住宅外皮性能基準比較

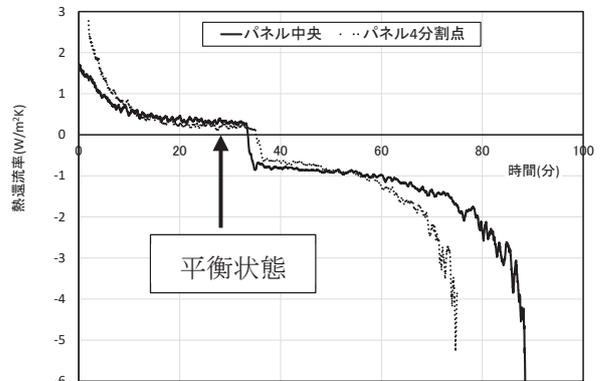


図 13 熱貫流率の推移(グラスウール)

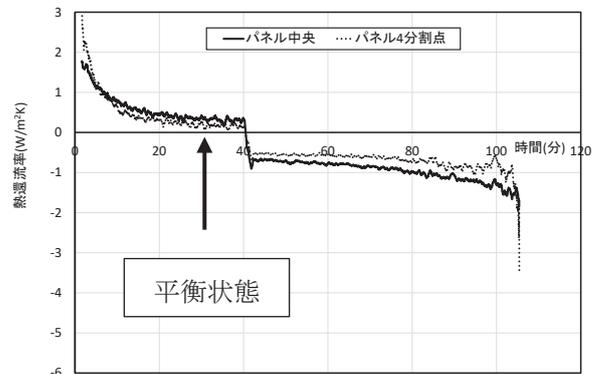


図 14 熱貫流率の推移(ロックウール)

発揮することが分かった。今後、この知見を生かし、
パネル化をさらに進化させ、写真 16 に示すような壁
のパネル化を進めて行きたいと考えている。



写真 16 外壁までついたパネル

〔 2019 年 6 月 30 日受付
2019 年 7 月 9 日受理 〕

Development of 180 mm thick wall with high thermal insulation panel utilizing large diameter logs

Noboru Nakamura¹

¹ *Institute of Wood Technology, Akita Prefectural University*

The felling time for large diameter logs is very long and the afforestation expense is lower than the income generated by selling standing trees, which remains low because they are not able to be sawn in popular saw mills. In addition, we must promote energy saving houses which are airtight and highly insulated to reduce CO₂ and healthcare costs. Therefore, I performed experiments by drying relatively large section columns and measuring thermal transmittance as the basis for manufacturing a high insulation house with thick walls using sawn large diameter logs. The following results were obtained. First we sawed 150 mm × 150 mm section columns and conducted a drying test. When constructing pitless timbers for columns, it is possible to dry them with fewer cracks than boxed heart timbers although more time is required than for normal small section columns. Next, I made high insulation panels and installed glass wool and rock wool as insulation materials covered with relatively thin plywood using Sugi veneers. Then I measured the panels' thermal transmittance. The values were very low compared to those indicated in Japanese National Standard Building Law, and were almost same as European values where the standard is very severe. I will make use of this knowledge and develop these panels into panels with exterior walls installed in the near future.

Keywords: large diameter log, thermal insulation panel, thermal transmittance, Sugi