

尿素樹脂接着合板の二、三の電氣的特性について

齋 藤 寿 義⁽¹⁾

1. ま え が き

木材の電氣的諸特性については、古くから多くの研究がなされており、それらの成果にもとづいて電氣式木材含水率計が考案され、木材加工関係において広く使用されている。一方、木材の合理的利用面の発展にともない、合板をはじめとする合成樹脂接着剤を用いて加工された、いわゆる木質材料が種々出現しているが、含水率計のこれらの木質材料への適応試験はあまり行なわれていない。

木材の電氣的特性は材中に含まれる水分および水分中の電解物質の変動によつて大きく変化する。種々の接着剤を用いた木質材料は、一般に、接着剤とそれに添加される硬化促進剤等により、素材に比べ多分に電解質的要素が含まれるものと考えられ、電氣的特性も異なつたものになることが十分に予想される。この報告は、このような観点から、尿素樹脂接着合板を対象にし、その構成および含水率と電氣的特性、すなわち高周波的には誘電率と高周波抵抗を、直流的には抵抗のみを、接着剤に添加する硬化剤（この場合、塩化アンモン〔 NH_4Cl 〕）の添加率を変化せしめて測定し、同程度の比重をもつ素材との相違を検討し、さらにその結果、尿素樹脂接着合板に対する電氣式木材含水率計の適性がどのようにあらわれるかをあわせて検討したものである。

2. 実 験 方 法

1. 試験片の作製

試験に用いた合板は、一般に最も多く使用されているラワン合板を対象として当场接着研究室にある熱板面積 $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ のホットプレスで作製した。作製にあたり、合板の表裏板はすべて 1mm 単板を使用し、市販合板に近い条件とした。試験片の種類は、まず尿素樹脂に添加する硬化剤の添加量で 3 グループに分け、その 1 グループについて、第 1 表に示すような合板構成で $25\text{cm} \times 25\text{cm}$ のものをおのおの 2 枚ずつ計 18 枚を作製した。

第 1 表

プ ラ イ 数	3			5			7		
心 板 の 厚 さ (mm)	1	2	3	1	2	3	1	2	3

ただし、表・裏板は 1mm 単板

測定試験片はこのおのおのについて縦横 3 等分し、9 枚の小片 ($8.3\text{cm} \times 8.3\text{cm}$) に切断して、1 種類につき 18 枚、硬化剤添加量 1 グループについて計 162 枚、総計 486 枚とした。

(1) 木材部材料科物理研究室員

合板の製作条件は次のとおりである。

a. 接 着 剤

イ. 種 類 尿素ホルマリン縮合樹脂, 東洋高压, T120

ロ. 配 合 比 尿素脂素 10 : 小麦粉 5 : 水 10

ハ. 硬 化 剤 塩化アンモン 20%水溶液

ニ. 硬化剤添加率 2.5%, 5.0%, 7.0% (水溶液)

b. 塗 付 量 22.8g, 25cm² (心板塗付)

c. 圧 締 条 件 冷圧 10kg/cm² 2hr

熱圧 8kg/cm² 1min/mm

圧締温度 110°C

d. 単板初期含水率 7.0% (平均)

2. 調 湿

硬化剤添加率の異なつた3グループの試験片(1グループ: 18×9=162枚)は作製後, 研究室内で1週間放置し, その後, 各グループのそれぞれ1種類18枚を無作為に6枚1組として3組に分け, 室温20°C, 関係湿度 50%, 65%, 85% の恒温恒湿室内で含水率が平衡に達するまで調湿をほどこした。全乾試験片としては, 関係湿度 50%の室内で調湿したものを測定後, さらに 105°C の恒温器にて全乾として使用した。

3. 測 定 器

使用した測定器は, 高周波用として,

a. 複同調型微小容量計¹¹⁾ (研究室自作)

b. 試作高周波型水分計 (既製品)

を用い, 直流用としては,

直流抵抗式含水率計 (真空管電圧計型) (既製品)

を直流抵抗計として使用した。

電極は

a. 複同調型計器用としては 6.5cm×4.3cm の矩形平行平板電極を使用した。

b. 試作高周波型水分計用としては, 平行格子電極で, 極の長さ 5.0cm, 幅 0.5cm, 電極間隔 2.0cm のものを使用した。

c. 直流抵抗計には, 実効長 0.7cm, 太さ 0.2cm の針が 1.7cm 間隔で正方形を形成するように並んだ針状電極で, 対角線方向の一对が同極になっているものを使用した。

4. 測 定

a) 誘電率および高周波抵抗

測定に使用した研究室自作計器のブロックダイアグラムと電極を Fig. 1 に示す。図中, Gは同調指示用のメーターMと並列に接続した箱型反射検流計で, 同調時の精度を高めるために使用した, V.C.は横河電機製精密可変空気蓄器 (total capacity : 138.2 p.f., stray capacity : 26.6 p.f., accuracy : 0.03 p.f./degree) で, 試料の容量を置換方式で測定するものに用いた。なお, 計器の発振周波数は 1 M.C.である。E.D. は電極で上下夾圧方式であり, マイクロメーターを具備し, 厚さを測定するととも

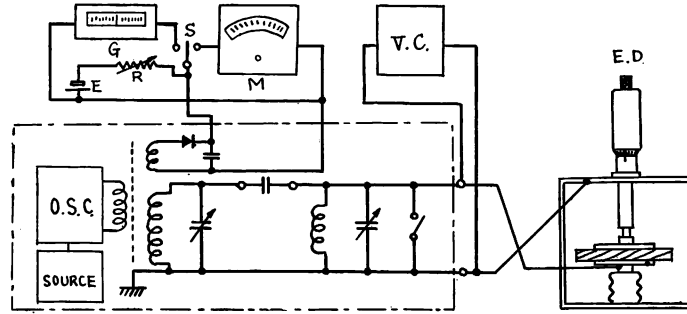


Fig. 1 高周波特性測定用計器のブロックダイアグラム
Block-Diagram of the apparatus for measuring the radio-frequency properties.

に夾圧力をほぼ一定にするようにしてある。このような装置で試験片の電気容量 C を測定し、

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{4\pi d} \cdot \frac{10}{9} \div \frac{\epsilon \cdot A}{11.3d} \quad (p.f.) \dots\dots\dots (1)$$

から

$$\epsilon \approx 11.3dc/A \dots\dots\dots (2)$$

によつて誘電率 ϵ を求めた。ここで C は測定された電気容量 ($p.f.$)、 d は試料の厚さ (cm)、 A は電極面積 (cm^2) である。さらにこの値にふくまれる電極の端影響を除くための補正式¹⁾

$$\epsilon_t = \epsilon_m \left[1 + \frac{d \cdot l}{A} \left\{ 0.165 + 1.20 \log \left(1 + \frac{1}{Ad} \right) \right\} \right] \dots\dots\dots (3)$$

によつて ϵ_t を求め真の誘電率とした。ここで ϵ_m は式 (2) で求めた ϵ 、 A は電極面積、 l は極板の周辺長さ、 d は試験片の厚さである。

高周波抵抗は、あらかじめメーター M のフレと電極端子に接続した既知の高周波無誘導抵抗の値との関係を求め、メーターのフレ対高周波抵抗値曲線を作り、メーターのフレから試料の抵抗値を求めるようにした。この場合も求められた抵抗値 R_m から

$$R = R_m \times A \cdot d \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 A = 電極面積 (cm^2)、 d = 試料の厚さ (cm)

によつて固有抵抗 R (Ωcm) を求め、さらに誘電率の端影響補正式をそのまま応用して¹⁾

$$r = R \left[1 + \frac{d \cdot l}{A} \left\{ 0.165 + 1.20 \log \left(1 + \frac{l}{A \cdot d} \right) \right\} \right] \dots\dots\dots (5)$$

より端影響を除いた固有抵抗 r を求めた。

以上の高周波による測定は、すべて周波数 1 M.C. である。

b) 直流抵抗

前項で述べたごとく直流抵抗式含水率計をそのまま直流抵抗計として用いたため、この場合もあらかじめ標準抵抗とメーターのフレとの関係曲線を作り、それから試料の抵抗 R を求めた。この場合 R は電極が針状であるためと、4本の針がおのおのの独立しており前述のごとく対角線方向の一对が同極になっている関係上、体積固有抵抗としては求められず、単なる抵抗値として求めたものである。したがつて、求められた値はあくまで比較値である。

3. 試験結果および考察

1. 誘電率

Fig. 2, 3, 4 にそれぞれ 1mm 単板, 2mm 単板, 3mm 単板を用いた合板を中板の厚さによるグループ別に, 誘電率 ϵ_t と含水率 u との関係をプライ数をパラメーターにして示し, Fig. 5, 6, 7 にプライ数別に厚さをパラメーターにして図示した。各図中, 測点は試験片 6 枚の平均値を示す。また各図中に太い実線で示したものは各合板の平均比重と同比重の素材の標準的な曲線¹⁾である。これら含水率の変化による誘電率測定の結果をみると, まず, 各図に共通していえることは, 中板の厚さ, プライ数および硬化剤の添加率のいかに問わず, 含水率がほぼ 15% 付近から, それ以下では大体標準曲線に沿うか, 若干下回っていた測定曲線が, その付近を変曲点にして標準曲線の上側に上昇していく傾向をしめすことである。さらにこれらの結果におけるコア単板の厚さ, プライ数, すなわち接着層の数, および硬化剤の添加率の違いの影響については, まず心板の厚さでは Fig. 5, 6, 7 を見ると 0 から 10~15% くらいの含水率範囲で心板の厚さが大きくなるにつれて誘電率が少しずつ増加しているが, これ以上の含水率範囲では互いに交錯して厚さによる差異がみられなくなる。プライ数についても, プライ数が多くなるにつれほぼ同様のことがいえるが, 厚さによる差異ほどに明りようではない。硬化剤の添加率の場合は, 逆に 15% 以下の低含水率域では差異がみられず, これを越えると, 2.5% および 5.0% 添加したものの間では判然としないが 7.0% 添加したものは比較的是つきりした差異がみとめられる。

高周波型水分計を用いて合板の含水率を測定した場合, グルーラインの数がその測定値に影響するであ

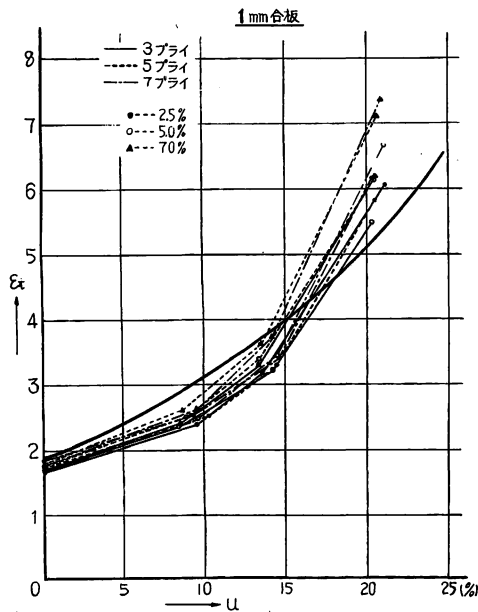


Fig. 2 1mm 単板を用いた尿素樹脂接着合板の誘電率と含水率の関係

The relation between dielectric constant ϵ_t and moisture content u determined by oven-drying for plywood with urea resin used 1mm thickness of veneer.

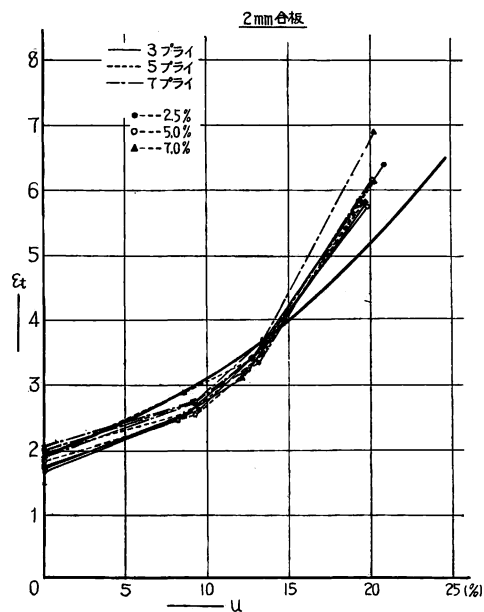


Fig. 3 2mm 単板を用いた合板の誘電率と含水率の関係

The relation between dielectric constant ϵ_t and moisture content u determined by oven-drying for plywood used 2mm thickness of veneer.

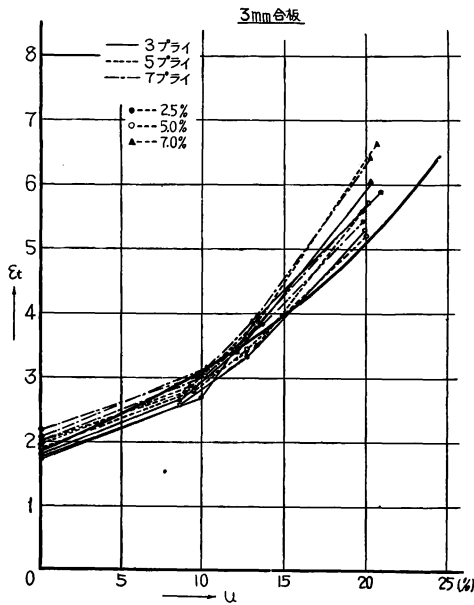


Fig. 4 3mm単板を用いた合板の誘電率と含水率の関係

The relation between dielectric constant ϵ_t and moisture content u determined by oven-drying for plywood used 3mm thickness of veneer.

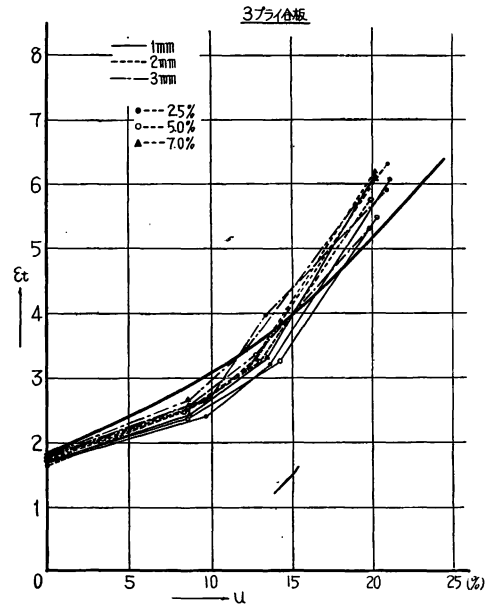


Fig. 5 3プライ合板の誘電率と含水率との関係

The relation between dielectric constant ϵ_t and moisture content u determined by oven-drying for 3 ply plywood.

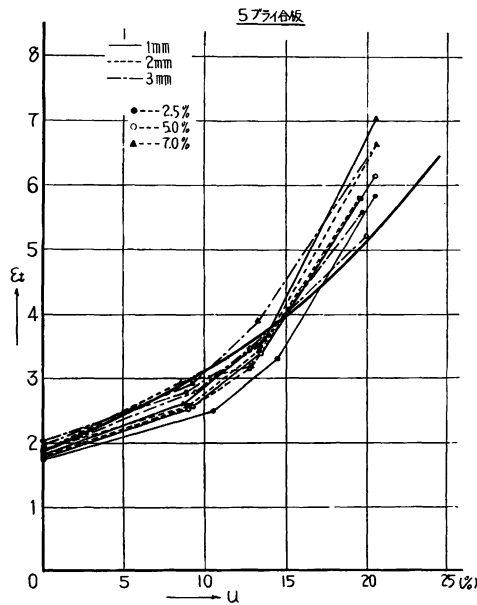


Fig. 6 5プライ合板の誘電率と含水率の関係
The relation between dielectric constant ϵ_t and moisture content u determined by oven-drying for 5 ply plywood.

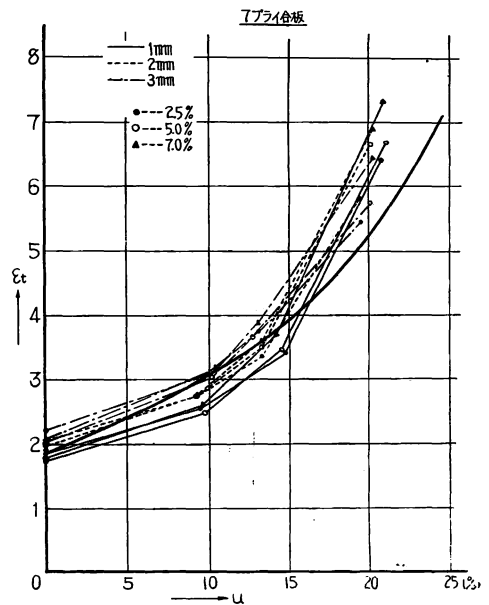


Fig. 7 7プライ合板の誘電率と含水率との関係
The relation between dielectric constant ϵ_t and moisture content u determined by oven-drying for 7 ply plywood.

ろうとの報告⁹⁾もあり、実験の当初は、木材部分に対する接着層の占める割合が大きいものほど誘電率も高い値を示すものと予想されていたところであるが、これらの結果はそれにもまして、硬化剤添加率がより以上に影響することをしめしており、グルーラインの数の影響はむしろ低含水率域のみにみられるようにおもわれる。

以上誘電率の測定結果から考えられることは、電波領域における誘電体分極は、双極子回転にもとづく双極子分極とイオン移動にもとづく界面分極によるものがあり、本実験のような高周波領域にあつては前者が支配的である⁹⁾とされるが、しかし天然の繊維素と尿素樹脂接着剤とからなり立つている合板のような材料においては、双極子分極と界面分極が同時に存在して両者の区別を困難にすると考えられ²⁾、材料に含まれる水分の変動によつていずれかが支配的になるものと考えられる。そこで接着層における尿素樹脂接着剤は合板の製造過程において、硬化剤 (NH_4Cl) の添加、加熱圧縮等の操作で急速に高分子化していくわけであるが、その際、反応副生成物として、水、ホルマリン、クロール、アンモニア等が木材部分を透して揮散していき、これらの物質は合板製造後も揮散総量の何割かは木材内部にとどまっていることが十分考えられ、製造後に合板のおかれる周囲条件によつては相当期間木材内部に吸着していると考えられる。

したがつて、これら電解性の反応副生成物が合板の誘電特性に大きく影響するものとみななくてはならない。このことが実験の結果として、先に述べたごとく各図に共通した点として、含水率が15%付近を越えると測定曲線が上昇することの主因であろう。すなわち、合板の含水率が低い範囲では、電解物質のイオン移動が不活発でほぼ木材のみの値をとるが、含水率が増すにしたがつてイオンの易動度も増し、界面分極による誘電率が急増するものと考えられる。このことは食塩および水溶性防腐剤を注入した木材の場合にも同じような結果を得ている⁴⁾。

一方、接着層そのものの電気特性が硬化するにしたがつてどのように変化していくかを確かめる試みとして、直径 8.5cm のシャーレーに $0.5 \times 0.5\text{cm}^2$ の平板電極を 5.0cm の間隔をおいておき、尿素樹脂に硬化剤 (NH_4Cl) 10% 溶液を5% 添加したもの 80g を流し込んで、硬化時間に対する誘電率と高周波抵抗の変化を測定器 (a) を用いて常温で測定した (Fig. 8)。樹脂が流動状態の時は非常に低い抵抗値を保

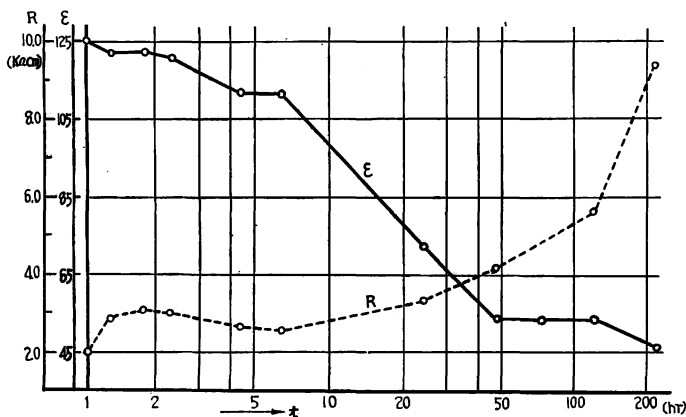


Fig. 8 常温硬化させた尿素樹脂の ϵ , R と硬化時間の関係
The relation between ϵ , R and curing time for urea resin cured at room temperature.

持して、その測定が至難であり、かつ上記のような電極および測定容器を用いたので正確な値は求められなかつたので、 ϵ , R の値は別に直径 1.2cm の硝子管内で管径いつばいの円型電極を用いて測定した結果、すでに報告¹⁸⁾されている値と大体一致していたので、その値を用いたが、しかもなお、その変化の度合は一応傾向的にたしかめえたものとする。これによると、樹

脂と硬化剤を調合してから約 200 時間を経過したのちに樹脂にクラックがはいつたが、誘電率は約 1/2、高周波抵抗が約 5 倍に変化したのみで、依然として変化を続ける状態にあつた。したがつて、尿素樹脂を常温硬化させた場合、高周波電気特性は非常に緩慢に変化するものとみてよく、もし合板に常温硬化で使した場合、合板の電気特性に相当の影響を与えるものと考えられる。しかし、実際の合板製造作業においては熱圧硬化で使用するので、この結果からただちにその特性を類推することはできないが、このような特性変化を非常に短時間に経過し、硬化していくものと一応考えると、合板の製造直後でも接着層はかなり高い抵抗値と低い誘電率を有するものと推定しうる。したがつて、尿素樹脂接着層そのものが木材部分に比し誘電率を高め、高周波抵抗を低める方向に働くことは、その厚さの非常に薄いこと（圧縮力 10kg/cm^2 で平均 $10\mu^{10)}$ とを考え合わせると、あつても、おそらく僅少であろうといえる。そこで、接着層の数が多いことによって電気特性はいちじるしく変化するというのではないと考えられ、むしろ接着層が多くなることによって揮散性の副生成物質の濃度が強められ、その結果、合板の電氣的特性に変化がもたらされると考える方が妥当のように思われる。したがつて、合板の置かれる周囲条件および製造後の放置期間が、電気特性をきめる大きな要素になるものと予想され、この点についてはさらに追究する必要があると考える。

2. 高周波抵抗

一般に木材の直流抵抗と含水率との関係は、木材の含水率全域にわたつて対数的もしくは二重対数的な関係にあるが¹⁰⁾、高周波抵抗の場合も同様の関係が知られている¹¹⁾。したがつて含水率が増加するにつれて、はじめは急激に抵抗値が減少するので低含水率域（0～20%）では含水率と抵抗値の対数がほぼ直線的な関係をもつて急減する。

尿素樹脂接着合板の高周波抵抗測定結果を Fig. 9, 10, 11 に示すが、図中太い実線は合板の平均比重に最も近い比重 0.5 の素材の標準的な直線である¹²⁾。

図は中板の厚さ別のみであるが、プライ数別に図示しても誘電率の測定結果と同様の傾向を得た。すなわち、全般的に含水率が低い範囲（0～10%）では、プライ数および硬化剤添加率の多少にかかわらず、測定線は標準線より若干平行して下まわつており、含水率が 10～20% を越えるとさらに抵抗値は減少し、この場合も硬化剤の添加率による差異を示している。またしいていえば中板の薄いものほど抵抗値が低くなる傾向がみられる。

このような測定結果は高周波抵抗における尿素樹脂接着剤の影響は誘電率におけるそれよりやや大きいことを示しているものと考えられる。すなわち、

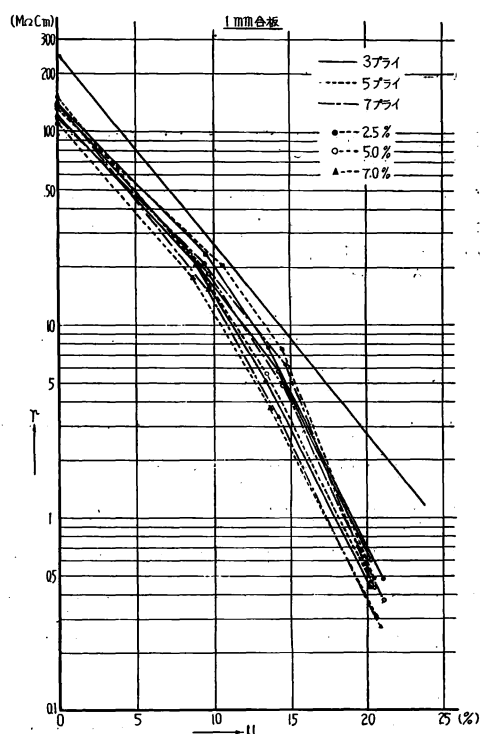


Fig. 9 1mm 単板を用いた合板の高周波抵抗と含水率の関係

The relation between radio-frequency resistance r and moisture content u determined by oven-drying for plywood used 1mm thickness of veneer.

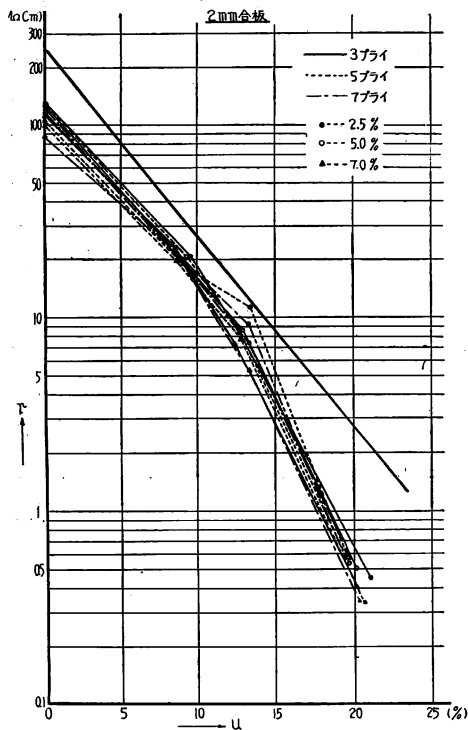


Fig. 10. 2mm単板を用いた合板の高周波抵抗と含水率の関係

The relation between radio-frequency resistance r and moisture content u determined by oven-drying for plywood used 2mm thickness of veneer.

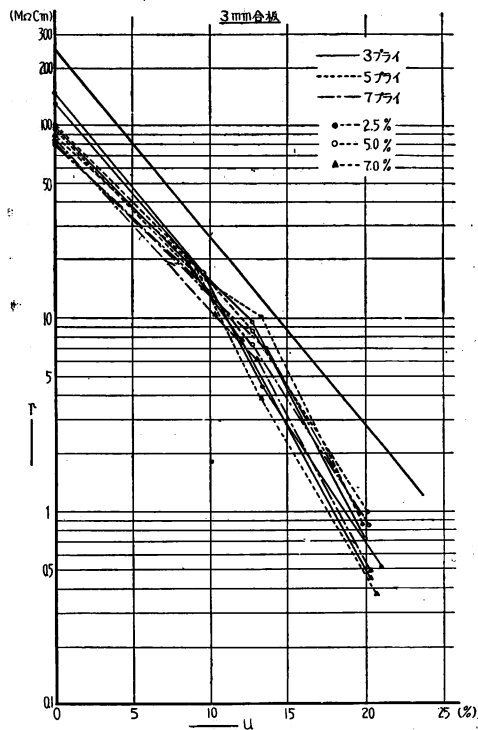


Fig. 11. 3mm単板を用いた合板の高周波抵抗と含水率の関係

The relation between radio-frequency resistance r and moisture content u determined by oven-drying for plywood used 3mm thickness of veneer.

誘電率測定におよぼす接着剤によるイオンの影響が、合板含水率が15%を越えるあたりからあらわれてくることは、本実験に使用した周波数帯域における誘電成極が前述のごとく双極子回転にもとづくものが支配的であつて、それに界面成極が加わっていると考えられるものであり、また、高周波抵抗すなわち試料の誘電体損失による抵抗作用の場合は、試料が有する純粋な誘電体損失と接着剤の電解性によるイオン化損失とが重畳され、合板の高周波抵抗を低めているものと考えられる。このため合板は全乾状態でも素材に比べ若干低い値をとり、含水率が増すにしたがいさらにその差は大きくなつており、誘電率測定では判然としなかつた中板の厚さによる差異が、この場合比較的はつきりしていたことなども、接着剤の電解性が誘電体損失を大きくする結果によるものとする。

3. 直流電気抵抗

木材の含水率と直流電気抵抗との関係は、相当以前から研究がなされ明らかにされていて、高周波抵抗の場合と同様に対数的もしくは二重対数的な関係にある⁵⁾⁶⁾ことは前節でも述べた。Fig. 12, 13, 14 にコア単板の厚さ別に合板の測定結果を示したが、図中の太い曲線は使用した測定器によつて、求められた素材の標準的な曲線であり、それは二重対数的変化をあたえている。この場合も含水率が約12~13%を境にして、それ以下ではほぼ標準曲線の上下にちらばり、それを越えると測点は、すべて標準曲線の下側にブ

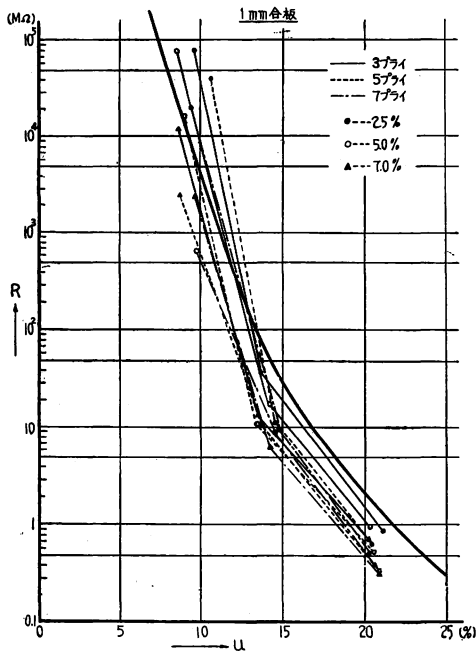


Fig. 12 1mm 単板を用いた合板の直流抵抗と含水率の関係

The relation between direct-current resistance R and moisture content u determined by oven-drying for plywood used 1mm thickness of veneer.

ロットされているが、このことは各関係図に共通しており、高周波特性ではみられたような硬化剤添加率の影響はあまりみとめられず、コアの厚さによる影響が測点のバラツキとなつてあらわれている。

高周波抵抗測定の場合には、厚さの影響が若干みとめられ、その主因として揮散性電解物質の濃度が中板の薄いものほど強まり、電気伝導作用がイオン損失によつて増加することにあると考えられたのであるが、直流電気伝導においては、イオン伝導がより大きいためその影響が多くなると思われる。

一般に固体誘電体に関する電気伝導現象は非常に複雑であつて特に木材のごときものについてはさらに複雑な要素が加わるわけであるが、大体において電気伝導はイオンによるものと電子の自由移動によるものとの2とおりによつて行なわれるものといえる²⁾。そこで、合板の直流電気抵抗は接着層形成過程で揮散する電解性物質の影響が、高周波帯の測定に比べてより大きいことが、中板の厚さによる抵抗

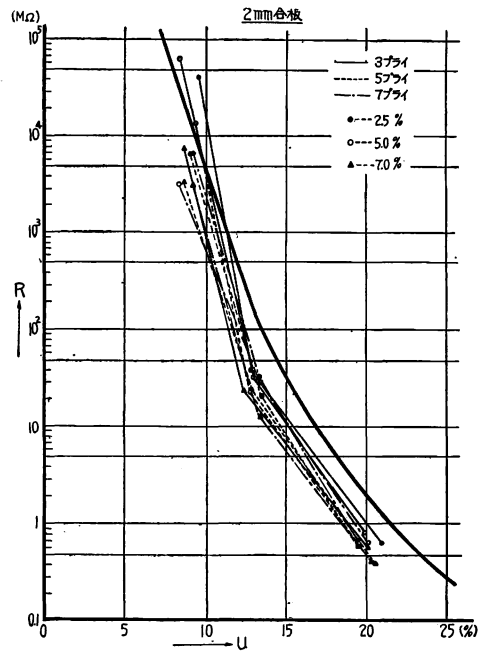


Fig. 13 2mm 単板を用いた合板の直流抵抗と含水率の関係

The relation between direct-current resistance R and moisture content u determined by oven-drying for plywood used 2mm thickness of veneer.

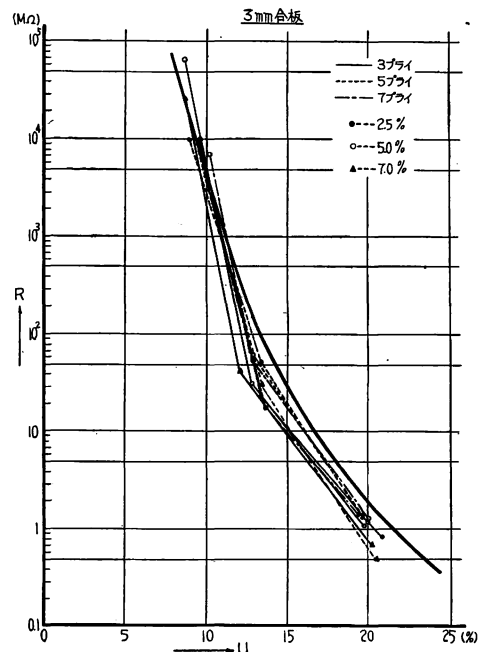


Fig. 14 3mm 単板を用いた合板の直流抵抗と含水率の関係

The relation between direct-current resistance R and moisture content u determined by oven-drying for plywood used 3mm thickness of veneer.

値の差異からも考えられる。

ここで尿素樹脂そのものの直流電気抵抗はといえば約 $10^{12} \sim 10^{13} \Omega/\text{cm}$ (25°C , R.H. 50%)⁷⁾であつて、木材の全乾状態のそれとほぼ同程度の値であり、硬化した接着層は非常に高い抵抗値を有していると思われるので、それが合板の抵抗値を低くすることはまずないと考えてよく、木材の含有水分も樹液として単なる水とは若干差異があるのでイオン伝導も考えられるわけではあるが、木材の含水率が20%以下では、ほとんどその影響がないようである⁸⁾。これらのことから、やはりこの場合も揮散性電解物質が問題になるといえる。

このように直流電気抵抗がイオン伝導に大部分支配されるのであるが、本実験に使用した合板が電解性物質の影響を示しているにかかわらず、素材に比べてさほど大きな差異をみとめることができなかつたのは、合板含水率が比較的低い範囲にあつたことがあげられるだろう。このことは、逆に、合板の含水率が20%以下であれば、電解物質の影響については実用的にはほとんど問題とする必要がないともいえる。

4. 電気式水分計測定

これまで尿素樹脂接着合板について、主に誘電率を中心にその電気的特性を述べてきたのであるが、ここで、その結果が実際に電気式水分計で合板の水分を測定した場合、どのように現われるかを検討した。Fig. 15, 16 に、それぞれコア—単板の厚さ1mmの合板について、直流電気抵抗式（針状電極）と高周波誘電率式（押当電極）の水分計で含水率を実測した結果を全乾法による含水率と比較して示した。両図中の太い実線はいずれもラワン素材（ $8.5\text{cm} \times 7.0\text{cm} \times 1.3\text{cm}$ ）を測定した場合の関係曲線である。

Fig. 15は直流抵抗式の場合であるが、計器目盛がかならずしも適正でないため、素材の測定値は15%付近より含水率が増すと低めにあたえられている。合板の測定値は、含水率10%付近ではおおむね全乾含

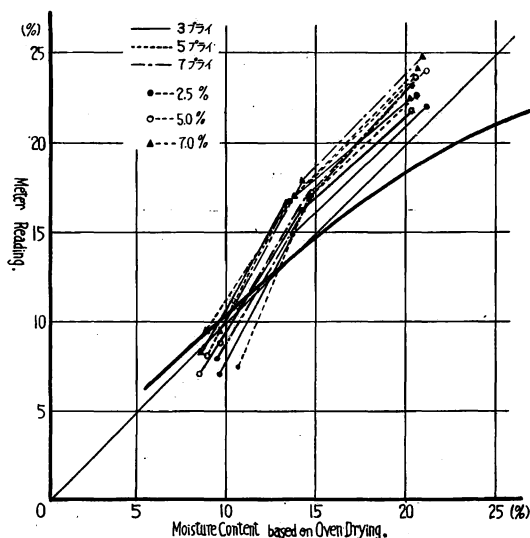


Fig. 15 1mm単板を用いた合板の直流抵抗式計器の指示含水率と全乾含水率の関係

The relation between meter reading of direct-current type moisture meter and moisture content determined by oven-drying for plywood used 1mm thickness of veneer.

含水率に合致した値を得ているが、それから含水率が増すにしたがつてしだいに高めに測定されている。素材の測定値は低めになるのでそれとの比較ではしだいに差が大きくなっている。この測定結果は先に直流電気抵抗を測定した結果とかなり類似した傾向である。すなわち、接着剤によるイオンの影響が硬化剤添加率のいちばん多い7.0%のものについて若干の差異がみられ、プライ数による差異も電気抵抗を測定した場合とほぼ同様の結果を得た。そこで尿素樹脂接着合板に直流電気抵抗式の水分計を使用する場合は、合板の含水率が約12~15%以上からは素材の測定値に対しほぼ比例的に1.5~2.0割高く測定されるものと思われる。

高周波誘電率式の水分計での実測結果はFig. 16のとおりであるが、高周波型計器で押当電極を用いるものは電極からの電磁波の

浸透度合の影響があり、被測定物は十分な厚さを有することが必要となるのであるが、この場合は、3 プライ合板がかなり低めに測定されている結果となつてゐる。これは厚さ補正をほどこすことによつて5, 7 プライ合板とほぼ同じ位置まで引き上げられ、プライ数による差異をなくすることができると思われる。しかしながら、誘電率測定において、ただ 7.0 % 添加した場合にのみしか若干の差異がみとめられなかつた硬化剤添加率の影響が、ここでは合板含水率が10%を越えると明らかにあらわれてきていることがみとめられる。一般に使用されている高周波型計器では、試料の電気容量変化が計器指示としてあらわれるのであるが、試料の高周波抵抗が十分に大きくないと損失分が指示値に影響を与える場合が普通である。水分が非常に多い場合は、そのため測定が不能になつたり、測定値が非常に不安定になる。合板における接着剤によるイオンの影響もそれが大きい場合には、同様のことがいえる。この場合はおそらく、高周波損失の影響を受けて誘電率測定ではみられな

かつた硬化剤添加率の差異が著しく現われたものとする。この点についてはさらに検討を要する。

総合的には、直流電気抵抗式と同様に素材の関係曲線に比べて、含水率が10%を越えると測定値は急上昇して行く。これも誘電率測定結果と同様の傾向であるが、実際に高周波型水分計を用いて合板の含水率を知るためには、さらに若干の検討が必要であらう。

以上の結果から尿素樹脂接着合板に電気式水分計を用いる場合には、直流電気抵抗式によるときは上述の若干の補正をほどこすことで測定しようと考えられ、高周波押当電極式によるときは厚さ補正を加味することによつて直流式同様に測定しようものと思われる。

4. 要 約

合板の需要が木材の合理的利用化の発展とともに急増し、その用途が広範なものになるにしたがい、その性質も諸々な観点から検討されているが、ここではその一端として、若干の電氣的諸特性を検討した結果、次のごとく結論を得た。

1. 尿素樹脂接着合板は含水率が12~15%を越えると素材に比べ誘電率は高くなり、高周波抵抗および直流電気抵抗はいずれも低くなる。
2. その原因としては尿素樹脂の接着層そのものでなく、接着層が形成される過程で揮散する副生成物

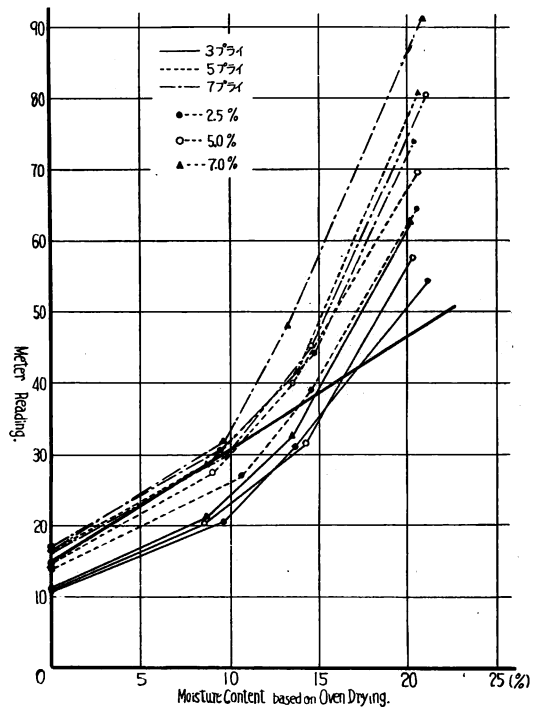


Fig. 16 1mm 単板を用いた合板の高周波型計器の指示と含水率の関係

The relation between meter reading of radio-frequency type moisture meter and moisture content determined by oven-drying for plywood used 1mm thickness of veneer.

の影響が考えられる。

3. 電気的特性上、コア単板の厚さおよびプライ数、換言すれば接着層の数および木材部分と接着剤との比率は、その相互間で明りような差異がみとめられず、ただ抵抗値測定で若干みとめられた程度であるが、硬化剤添加率については相当な差異がみとめられた。

4. 実際に電気式水分計を合板に用いた場合、電気的特性と相まつて合板含水率が12~15%を越えると高周波誘電率式(押当電極)、直流電気抵抗式(針状電極)のいずれも素材に比べ高めに測定され、前者は当然ながらその補いに厚さ補正を加味すれば、後者とともに、合板含水率が15%を境にしてそれ以上の場合はメーター指示値より1.5~2.0割差し引くことによつて補正しうのではないかと考える。

5. 本実験に用いた試験片は、製造後ただちに使用したため、揮散性副生成物の影響について、経年変化をさらに検討すべきであると考ええる。

おわりにあたり、本実験に機会と便宜を与えられた小倉木材部長、実験に際し種々ご指導、ご指摘を下さった上村材料科長、蕪木研究室長、ならびに試験片の製造にあたつて終始ご指導下さった接着研究室柳下枝官に深く謝意を表します。またともに試験片製造にご協力下さった応用研究室榎本技官に深く謝意を表します。

文 献

- 1) 上村 武：誘電率による木材含水率の測定に関する基礎的研究，林試研報，119，(1960)
- 2) 沼倉秀穂：誘電体論，オーム社，(1947)
- 3) YAVORSKY, J.M.: A review of electrical properties of wood, Tech. Pub. 73, N. Y. S. College of For. at Syracuse Univ., (1951)
- 4) 上村 武・斎藤寿義・中山公男：薬液が浸透した木材の含水率測定，木材工業，15，17，(1960)
- 5) 小倉武夫・大沼加茂也：電気抵抗による木材水分分布の推定について，林試研報，53，(1952)
- 6) KOLLMANN, F.: Technologie des Holzes und Der Holzwerkstoffe, I, (1951)
- 7) 合成樹脂工業技術研究会編：合成樹脂便覧，産業図書，(1951)
- 8) 畔柳 鎮：木材学会講(要旨 4, 1957. 要旨 8, 1959)
- 9) BELL, E.R. & N.T. KRUEGER: Effect of plywood glue lines on the accuracy of moisture-meter indications. F.P.R.S., (1949)
- 10) 堀岡邦典：材質改良に関する研究(第4報)接着層の形成について，林試研報，89，(1956)
- 11) 一条文二郎：電気水分計について，計測，8，10，(1956)
- 12) 星合正治監修：電気式水分計，日刊工業新聞社，(1960) p. 22.
- 13) MILLER Donald G. & T.J.S. COLE: The dielectric properties of resin glues for wood. F.P.R.S., (1957) p. 345.

Some Electrical Properties of Plywood using Urea Resin Adhesive.

Hisayoshi SAITO

(Résumé)

Recently, a means of rapid moisture measurement for plywood is being keenly felt, pertaining particularly to plywood of high quality, the demand for which covers a wide field. For this reason, we investigated the fundamental electrical properties of plywood in order to get a practical detection of the moisture by electric methods.

One of the purpose of this study was to determine the effects of the electrolytes in the glue lines of plywood.

I. Samples

The plywood used for the test are summarized in the following tabulation ;

- a) Tree kind : Lauan (sp. indistinct)
- b) Formation :

Number of plies	3			5			7			
Thickness of core veneer (mm)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	

- c) Manufacturing condition

- 1) Adhesive :

i) Resin : Urea formaldehyde resin.

ii) Mixed proportions ratio : Resin Wheat flour Water
 10 5 10

iii) Hardener : Ammonium chlorid 20% water-solution.

iv) Addition ratio of hardener : 2.5%, 5.0%, 7.0%, (Solution)

- 2) Spread : 22.8g/25cm²

- 3) Pressing : cold press 10kg/cm² 2hr
 hot press 8kg/cm² 1min/mm
 pressing temperature 110°C

- 4) Initial moisture content of veneer : 7.0% (average)

II. Conditioning

Three groups of panels (25cm squares)glued with the urea resin mixed with the hardener at respective addition ratio were left for at least one week in the research room. Thereafter, each panel was cut into nine 8cm squares which were classified into 3 groups freely ; then they were placed in three conditioning rooms which were maintained at 20 C with 50, 65 and 85 percent of relative humidity.

III. Apparatus

Apparatus for measuring the radio-frequency properties of samples were the following :

- a. Double resonant type micro capacity meter.
- b. Radio-frequency dielectric constant type moisture meter. And the direct-current character of samples were measured by a resistance type moisture meter.

The parallel plate electrodes were used to measure the dielectric properties, surface contacts electrode was used to measure the moisture content by dielectric type moisture meter, and needle electrodes the direct-current resistance type moisture meter.

IV. Procedure

1. Measuring the radio-frequency properties

1) Measuring the dielectric constant

The capacitance C of samples was measured by the apparatus (a) and measured dielectric constant ϵ_m was got from the following equation :

$$C = \frac{\epsilon_m \cdot A}{4\pi d} \cdot \frac{10}{9} \approx \frac{\epsilon_m \cdot A}{11.3d} \quad \therefore \epsilon_m \approx 11.3d \cdot C/A \dots \dots \dots (1)$$

where d is the thickness of sample and A is the area of the electrode plate.

The true dielectric constant ϵ_t not including the edge effect of electrode is calculated from the following equation :

$$\epsilon_t = \epsilon_m / \left[1 + \frac{d \cdot 1}{A} \left\{ 0.165 + 1.20 \log \left(1 + \frac{1}{Ad} \right) \right\} \right] \quad (1)$$

where ϵ_m is the measured dielectric constant by the equation (1), d is the thickness of the sample, A is the area of the electrode plate, and 1 is the total length of the circumference of the electrode.

2) Measuring the resistivity of radio-frequency R . The resistivity of radio-frequency R was measured by the above apparatus (a), too. And the edge effect of electrode was corrected by the same equation as in the case of ϵ .

2. Measuring the direct-current resistance r .

The resistance of direct-current was measured by the vacuum-tube voltmeter type Ω meter with the electrode of four needles ($\phi 0.2cm$, effective length $0.7cm$).

The values of ϵ , R and r were determined by the procedure as mentioned above, and they were related with each moisture content.

V. Results

The electrical properties of plywood might be expected to differ from that of the solid wood, because it depends on the adhesive. This difference is most probably due to the electrolytes in the adhesive that diffuse into the wood during hot-pressing and subsequent conditioning.

1. Dielectric constant

The curves in Figs. 2, 3 and 4 show the relation between dielectric constant ϵ_t and moisture content u determined by oven-drying method, on each plywood made of the core veneers in respective thickness of $1mm$, $2mm$ and $3mm$ and the curves in different thickness as mentioned above.

The points in these figures are plotted by the average values of results of six test pieces, and the standard curves of solid wood with the same specific gravity as plywood are shown by the bold curves.

a) The dielectric constant of Lauan plywood using urea resin tends to become higher than solid wood when the moisture content is beyond 15%.

b) The differences of the dielectric constant of any number of plies and any thickness of veneer are small at any moisture content. The differences of dielectric constant caused by the addition of hardner at respective ratios are also not distinct at the power moisture content, although at the higher moisture content they are distinct

and increase in accordance with the moisture content.

- c) The difference of the dielectric constant between plywood and solid wood depends not so much upon the glue line as upon the volatile sub-products due to the chemical reaction at the glue line forming.

2. Radio-frequency resistivity

The curves in Figs. 9, 10 and 11 show the relations between the radio-frequency resistivity and the moisture content for each plywood made of the core veneers in respective thickness of l and show by the bold curves the cases of solid with the same specific gravity as plywood for standard.

- a) The radio-frequency resistivity of plywood with the adhesive of urea resin has nearly the same tendency as in the case of measurement of the dielectric constant.
- b) The effect of the hardener tends to the result of the case of the dielectric constant, too.
- c) In this case, the difference of the resistivity by the thickness of veneer is recognized, the influence of the electrolytes in the glue line being probably larger than in the case of the dielectric constant.

3. Resistance of direct-current

The curves in Figs. 12, 13 and 14 show the relations between the direct-current resistance R and the moisture content u for each plywood made of the core veneers in respective thickness of 1 mm , 2 mm and 3 mm . The bold curves in the figures are the standard curves of solid wood with the same specific gravity as plywood.

- a) It is the same tendency as the radio-frequency properties of plywood that the resistance of direct-current of plywood increases more than that of solid wood when the moisture content is beyond 13%.
- b) In this case, the influence of the hardener in the glue is recognized on all samples, especially on the plywood with the thin veneers.

4. Application to moisture meter

The curves in Fig. 15 and Fig. 16 show the results of the practical moisture measuring tests with the radio-frequency dielectric constant type and the direct-current resistance type moisture meter on the plywood using urea resin.

The moisture meter indicated higher values than the normal curve of solid Lauan wood when the moisture content of plywood was beyond 12~15% in response to their electrical properties, and their behavior was similar or both types of the moisture meter the so-called radio-frequency and the resistance types. These should be most probably due to the electrolytes in the adhesive.

The moisture meters will be able to be utilized for plywood when the difference of the moisture content between the standard values of solid wood and the moisture meter errors are corrected.

Correcting the errors of the radio-frequency type moisture meter will be a little more complicated than the direct-current resistance type meter because of the radio-frequency dielectric properties of wood.

However, as far as the direct-current resistance type meter is concerned, calibration can be made by applying 15~20% smaller value than the meter readings when the moisture content is higher than 15%