

注 入 木 材 に 関 す る 研 究

(第 6 報) 衝撃電圧に対する注入材および
積層材の閃絡特性

梶 田 茂*・大久保 達 郎**

(木材物理第1研究室)

Sigeru KADITA and Taturu OKUBO : Studies on the Impregnated Wood

VI. Impulse Flush-Over Characteristics for the Impregnated and Laminated Woods

1) 研究の目的

木材は、送配電線の腕木、変圧器或は遮断器等電気機器の支持物の如く、電気の絶縁用材料として広く使用せられる。

これ等の絶縁物は商用周波数の高電圧を常に受けているのみならず、更に直接又は間接の落雷或いは線路の開閉等による瞬間的な所謂衝撃電圧をも受ける事があるのであつて、これがため絶縁破壊又は表面に沿う火花閃絡の危険性がある。

特に送配電線の腕木の如く木材が大気に曝されている場合に於いては、大気中の水分又は降雨により木材の表面或いは内部の水分が増加し、これがためその火花閃絡電圧は一般に著しく低下する。この様な閃絡電圧の低下は木材に薬液を注入して水分の浸入を少しでも妨げる事により或程度軽減し得るものと予想せられるのであるが、従来注入処理を施した木材の衝撃電圧に対する閃絡特性については殆ど知られていない。

本研究は基礎的なものであつて、数種の薬液を注入した木材および積層材の衝撃閃絡特性、並びに浸水および注水による閃絡電圧の低下および閃絡による破損の状況を明らかにする目的をもつて行つたものである。

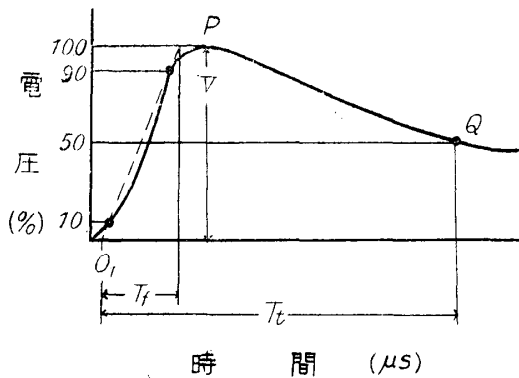
2) 測定の方法

送配電線および電気機器の絶縁は近来一般に衝撃電圧を対象として設計せられる様になつて来たのであるが、この衝撃電圧のうち最も激しきものは落雷によるものである。

落雷による衝撃電圧の波高値および波形は種々雑多であるが、これに対する絶縁の基準を定めるため、多数の観測の結果に基づき世界各国で夫々標準波形が規定されており、この標準波形は一般に第1図の如き単一衝撃波であつて、波高値 V 、波頭長 T_f および波尾長 T_r で決定せられる。現在わが国で用いられている標準波形は波頭長 $1\mu s$ 、波尾長 $40\mu s$ であり、本研究に於いてもこの規定に従い、 $(1 \times 40\mu s)$ の標準波形の衝撃電圧を用いた。

* 京都大学教授 (農 学 部 林 学 教 室)

** 京都大学教授 (工 学 部 電 気 工 学 教 室)



第1図 全波電圧 (full wave voltage)

- P ……波高点 (crest)
- Q ……半波高点 (half magnitude of crest value)
- O₁ ……規約零点 (nominal zero point)
- T_r ……波頭長 (duration of wave front)
- T_t ……波尾長 (time to half value of wavetail)
- V ……波高値 (crest value)

衝撃電圧に対する閃絡特性は一般に50%閃絡電圧と $V-t$ 曲線とで表現することが出来る。50%閃絡電圧とは同じ波高値の衝撃電圧を約10回印加した際、閃絡の起つた回数が全体の半分となるやうな波高値のものを云う。又種々の波高値の衝撃電圧を印加した場合に於ける閃絡までに要する時間（火花の遅れ）と衝撃電圧波高値 V との関係を示すものが $V-t$ 曲線である。

木材の閃絡に必要な最低の波高値は、一般に閃絡回数と共に低下するため、厳密に云えば50%閃絡電圧を定める事は困難である。本研究に於いては処女閃絡電圧（最初の閃絡を起すに必要な波高値をもつ電圧）と第2回以後の閃絡に必要なものとが甚だしく異なる場合には、その見

掛け上の50%閃絡電圧を採用した。閃絡回数を重ねると略々一定の閃絡電圧に達する場合にはこの見掛け上の50%閃絡電圧を見出し得るが、閃絡によつて試料の損傷する場合には、實際上処女閃絡電圧以外は損傷によつて既に状態の変化した試料に対する測定値を与えることになるが、準備した試料の数の関係上今回は止むを得ない。

衝撃電圧を印加するために試料に装着する電極の形状が閃絡特性におよぼす影響に就いては詳らかでないが、本研究に於ては試料に巾 3 mm、厚み 0.5 mm の編組銅線を捲きつけて電極とした。この方法は従来から用いられているものである。電極間の距離は試料の関係上注入材 300 mm、積層材 200 mm である。

含水量の影響を明らかにする目的で行つた浸水試験は、試料を先ず乾燥炉に入れ約 80°C に於いて充分乾燥せしめた後、水深約 300 mm の上水（比抵抗 $2.3 \times 10^4 \Omega \text{ cm}$ ）中に一定の時間浸し充分吸水せしめた上大気中に取り出し、湿度 80~90 %、室温 5~15°C 下で自然乾燥せしめ、その間吸水と乾燥のプロセスに於ける閃絡電圧の変化と閃絡による破損の状況とを観察したものである。

又降雨の状態に於ける現象を明らかにする目的で行つた注水試験は、注水条件に關し適当な規定がないため便宜上 JEC-106 に準拠し、毎分注水量 3mm 注水角度 45°, 水の比抵抗 $2.3 \times 10^4 \Omega \text{ cm}$ の下に、3時間注水後約 10°C、湿度 85%の室内に放置して自然乾燥せしめ、その間に於ける閃絡電圧の変化と閃絡による破損の状況とを観察したものである。

尙実際の落雷による衝撃電圧は多くの場合負極性であるが、本測定に於いては正極性のものを用いた。一般に大気中に於いては正極性の場合の方が閃絡電圧が低いと考えられているから、本研究の結果は安全側の値を与える事となる。

3) 試料

a. 注入材

注入装置の関係上 40mm 角、繊維の方向の長さ 350mm の大きさのスギ、ブナおよびナラの 3 種の素材に対して、フェノール、尿素およびメラミンの 3 種の樹脂（含脂率 30 %）を使用し、次の A, B および C の 3 条件の下に夫々注入したものである。

A : 10 分間、70 mm-Hg に減圧して後直ちに樹脂を注ぎ、10 分後 2.5 kg/cm² の圧力で 20 分間加圧する。

B : 20 分間、70 mm-Hg に減圧して後直ちに樹脂を注ぎ、20 分後 5 kg/cm² の圧力で 30 分間加圧する。

C : 20 分間、70 mm-Hg に減圧して後直ちに樹脂を注ぎ、20 分後 7 kg/cm² の圧力で 30 分間加圧する。

各材種および各注入条件に対し夫々 1 本の試料の外、未注入の素材各 1 本を用意した。但し尿素樹脂を上記の B の条件で注入したものは試料の関係上測定しなかつたので注入材の試料としては第 1 表の如くなる。

第 1 表

材種	注入	樹 脂	方 法
ス ギ		フェノール	A B C
		尿 素	A C
		メラミン	A B C
ブ ナ		フェノール	A B C
		尿 素	A C
		メラミン	A B C
ナ ラ		フェノール	A B C
		尿 素	A C
		メラミン	A B C

b. 積層材

3 種の石炭酸フオルムアルデヒド樹脂を 1, 7 又は 20 時間浸潤した厚さ 1.5mm、大きさ 230×175mm のブナ単板を繊維方向をそろえ積層し、30 気圧の圧力を加えて圧縮接着し、これを長さ 220mm、巾 30.5mm、厚さ 29.3~34.5mm に仕上げたものであつて、試料として各条件に対し夫々 5 枚用意し、2 枚は浸水試験に、3 枚は注水試験に使用した。即ち積層材試料としては第 2 表の如くであつてその比重、含脂率および圧縮率等は表示の如くなる。

第 2 表

仕 様 No.	樹 脂	単板 浸潤時間 (hr.)	比 重 (g/cm ³)	含脂率 (%)	圧縮率 (%)
1	PV-320	1	0.85	19	23.6
2		7	0.91	22	27.9
3		20	0.93	25	28.9
4	PE ※	20	0.84	15	30.4
5	PC ※	1	0.92	19	34.6
6		7	0.92	24	34.2
7		20	0.95	30	34.3

※ PE-Resin, PC-Resin 注入木材に関する研究第 I 報参照

4) 測定の結果

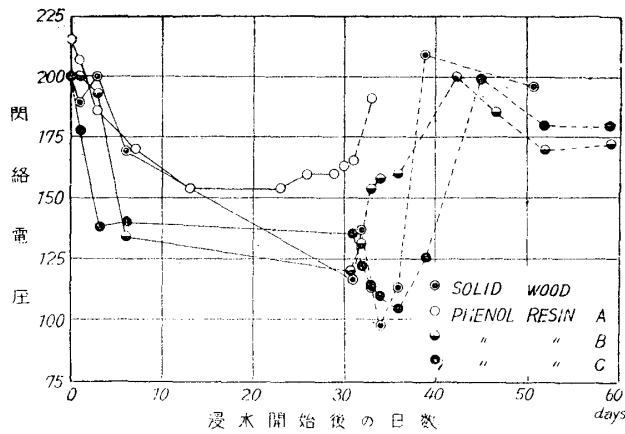
A. 注入材

a. 浸水試験

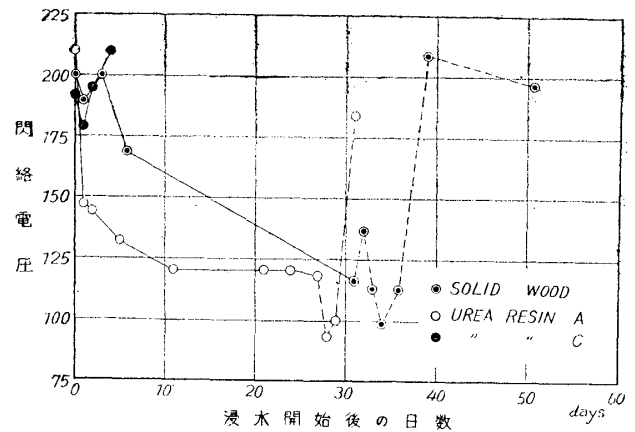
閉絡電圧……浸水と自然乾燥との過程に於いて日数の経過と共に閉絡電圧の変化する状況を示すと第 2 図の如くなり、この内第 2—1 図はフェノール樹脂注入スギ材、第 2—2 図は尿素樹脂注入スギ材、第 2—3 図はメラミン樹脂注入スギ材、第 2—4 図は尿素およびメラミン樹脂注入ブナ材、第 2—5 図はフ

エノールおよびメラミン樹脂注入ナラ材の場合である。

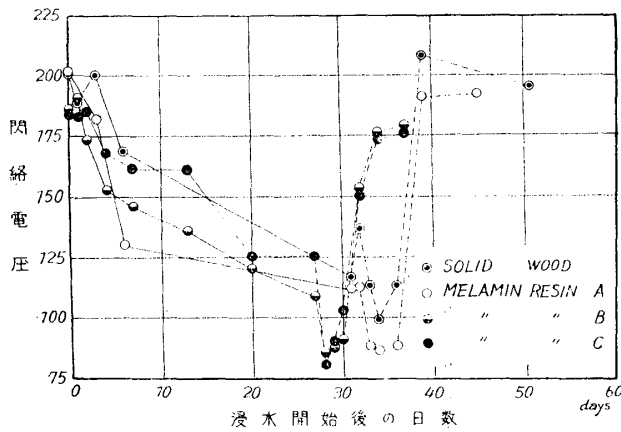
浸水期間は実線、自然乾燥期間は破線で示し、又スギに関するものには比較のため素材の結果も記入してある。準備した試料の内ここに記載なき分は、閉絡により破損したため引き続き測定が出来なかつたものである。



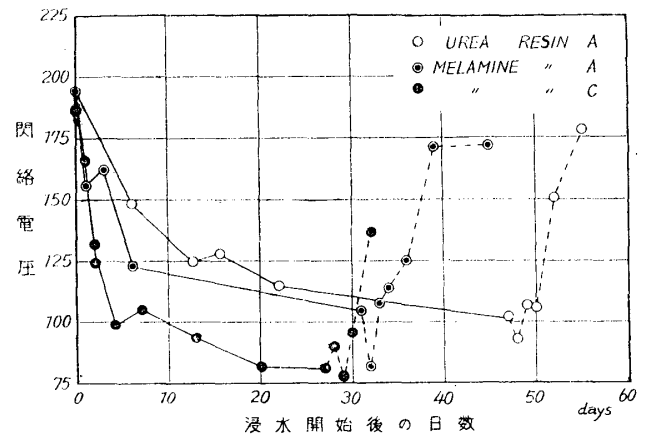
第2-1図 フェノール樹脂注入杉材



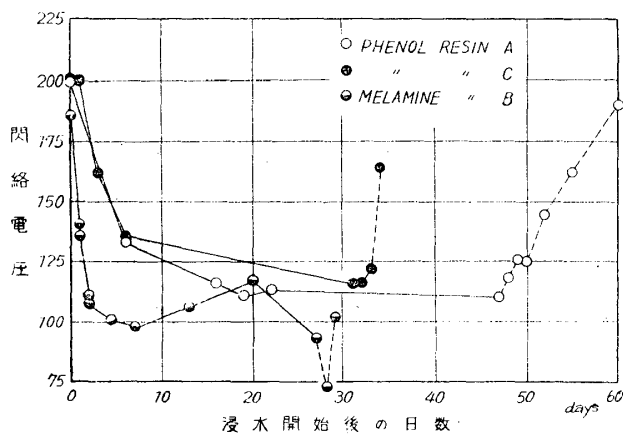
第2-2図 尿素樹脂注入杉材



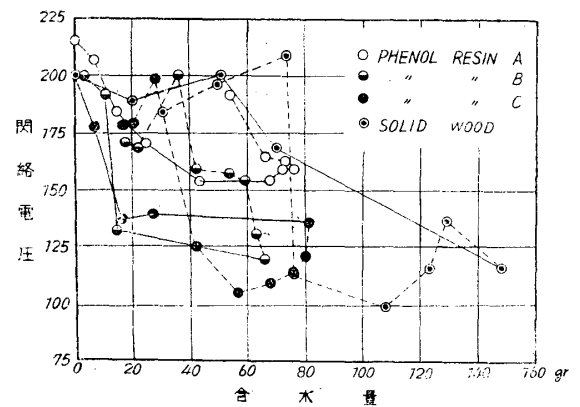
第2-3図 メラミン樹脂注入杉材



第2-4図 尿素及メラミン樹脂注入樺材



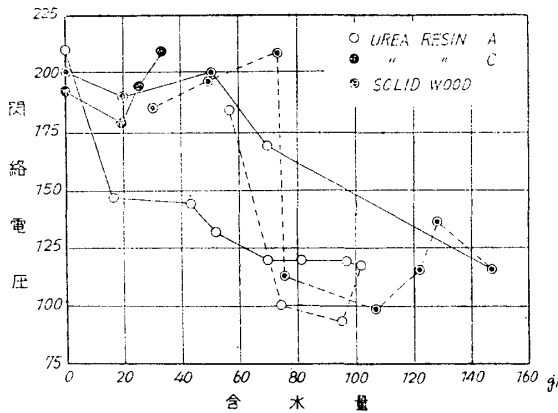
第2-5図 フェノール及メラミン樹脂注入樺材



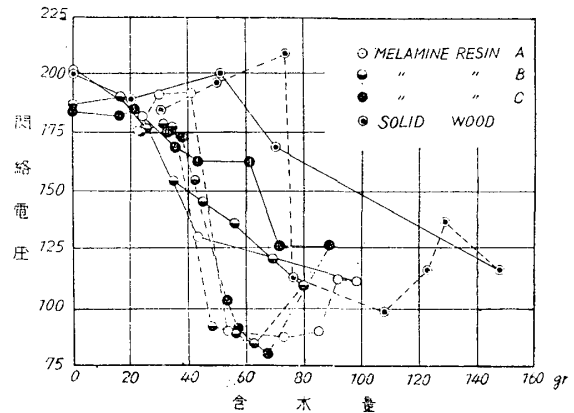
第3-1図 フェノール樹脂注入杉材

大氣中に於ける自然乾燥の条件を一定に保つことは困難であるから第2図は大略の傾向を示すに止まる。

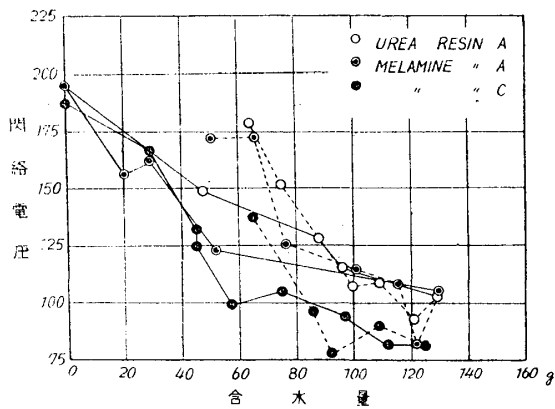
又同様に含水量と閃絡電圧との関係を示すと第3図の如くなり、この内第3—1図はフェノール樹脂注入スギ材、第3—2図は尿素樹脂注入スギ材、第3—3図はメラミン樹脂注入スギ材、第3—4図は尿素およびメラミン樹脂注入ブナ材、第3—5図はフェノールおよびメラミン樹脂注入ナラ材の場合である。



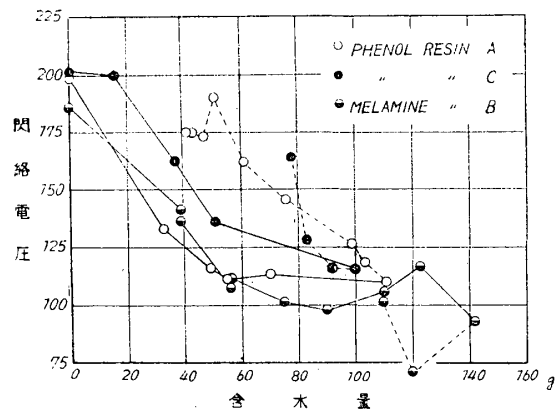
第3—2図 尿素樹脂注入杉材



第3—3図 メラミン樹脂注入杉材



第3—4図 尿素及メラミン樹脂注入樺材



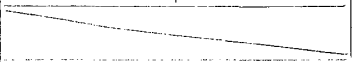
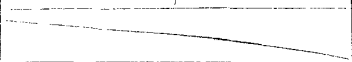
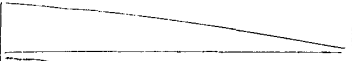
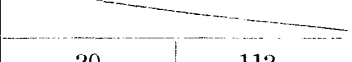
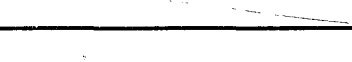
第3—5図 フェノール及メラミン樹脂注入楠材

これ等を表示すれば浸水中のものは第3—1表、水揚げ自然乾燥中のものは第3—2表の如くなる。

これを要約すると、

- (1) 浸水前の閃絡電圧は各試料の間に大きな差がない。
- (2) 多くの注入材の内スギはフェノール樹脂を A の方法で注入したものが、浸水中および水揚げ後に於いて閃絡電圧の低下が最も少く、低下率は28%に過ぎない。
- (3) スギの素材に比べてフェノール樹脂を A の方法で注入したスギの方が閃絡電圧の低下が少い。但し一般に素材に比べて注入材の方が閃絡電圧の低下が少いとは限らない。

第3—1表

材種	樹 脂	注入 方法	浸水前の 閃絡電圧 (kV)	浸水直後の閃絡電圧	閃絡電圧が略 々一定に達す るまでの日数	その時の含水量 (gr)	最低閃絡電圧 (kV)
ス	フェノール	A	215	徐々に降下	13	43	154
		B	200	3日目まで緩降, 以後急降			118
		C	200	急降	3	16	134
ギ	尿 素	A	210	〃	11	70	119
	メラミン	A	202	徐々に降下			112
		B	186				107
		C	184		20	73	126
	素 材		200	〃			116
	尿 素	A	194	〃			103
ナ	メラミン	A	194	〃			105
		C	187	急降	20	112	81
ナ ラ	フェノール	A	199	徐々に降下	18	55	110
		C	201				116
	メラミン	B	186	急降			94

第3—2表

材種	樹 脂	注入 方法	水揚げ直後の閃絡電圧			閃絡電圧の回復 に要する日数	その時の含水量 (gr)	最低閃絡電圧 (kv)
ス	フェノール	A	直ちに上昇			4	54	154
		B				11	36	118
		C	更に降下し, 5日目より上昇			13	28	105
ギ	尿 素	A	〃	2	〃	4	56	93
	メラミン	A	〃	5	〃	9	41	86
		B	〃	2	〃	7	35	85
		C	〃	〃	〃	9	38	80
	素 材		〃	3		8	73	97
	尿 素	A	〃	2	〃	8	64	93
ナ	メラミン	A	〃	〃	〃	8	66	82
		C	〃	3	〃			78
ナ ラ	フェノール	A	直ちに上昇			13	51	110
		C	〃					116
	メラミン	B	更に降下し, 2日目より上昇					73

試料の破損……………27本の試料の内、上記の総ての試験に耐えたものは僅かに9本であつて、他は沿面閃絡或いは試料内部の火花閃絡に際し破裂して引き続き試験に耐えなくなつた。殊にブナおよびナラ材にあつては素材および注入材も損傷が甚しく、浸水初期に特に著しい。上記の結果は、準備した試料の数の関係上未だ試験に耐え得る9本について得たものであり、或いは一般性を欠くものがあるかも知れない。

第4表は測定中破損した状況を示したものである。

第 4 表

注 入 材 種	樹 脂 注 入 方 法	フエノール			尿 素		メラミン			素 材
		A	B	C	A	C	A	B	C	
ス	ギ	○	○	○	○	×	○	○	○	○
ブ	ナ	×	×	×	△	×	△	×	△	×
ナ	ラ	○	×	△	×	×	×	△	×	×

注： ○……破損しなかつた。

△……破損の程度が少く使用に耐える。

×……破損が甚しく使用に耐えない。

又樹脂の注入量が少い方が比較的破損し難い。

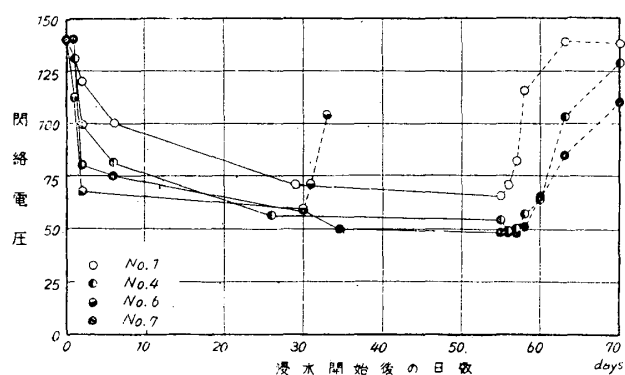
b. 注水試験

試料不足のため今回は測定していない。

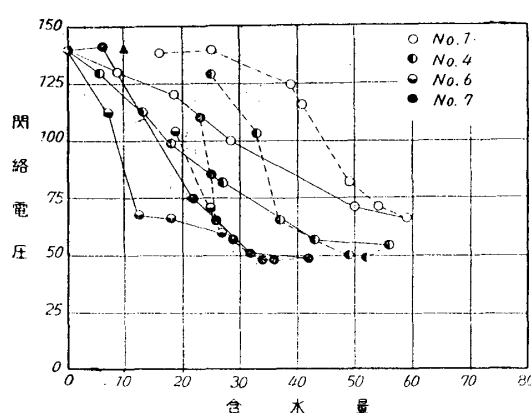
B. 積層材

a. 浸水試験

閃絡電圧……………浸水と自然乾燥との過程に於いて日数の経過と共に閃絡電圧の変化する状況を示すと第4図の如くなり、又含水量と閃絡電圧との関係を示すと第5図の如くなる。



第4図 積 層 材



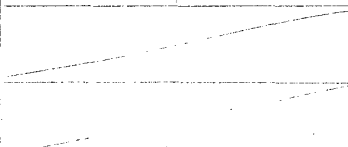
第5図 積 層 材

浸水期間は実線、自然乾燥期間は破線で示す。準備した試料の内ここに記載なき分は、閃絡により破損したため引き続き測定が出来なかつたものである。これ等を表示すれば浸水中のものは第5—1表、水揚げ自然乾燥中のものは第5—2表の如くなる。

第5—1表

No.	樹 脂	浸水前の 閃絡電圧 (kV)	浸水直後の閃絡電圧	閃絡電圧が略 々一定に達す るまでの日数	その時の含水量 (gr)	最低閃絡電圧 (kV)
1	PV-320	140	徐々に降下	29	50	66
4	PE	140	急降	26	43	54
7	PC	140	2日目まで緩降, 以後急降	35	33	48

第5—2表

No.	樹 脂	水揚げ直後の閃絡電圧	閃絡電圧の回復 に要する日数	その前の含水量 (gr)	最低閃絡電圧 (kV)
1	PV-320	直ちに上昇	8	25	56
4	PE	更に降下し3日目より上昇			49
7	PC	3日目より上昇			48

これを要約すると,

- (1) 浸水前の閃絡電圧は各試料とも同一の値である。
- (2) 閃絡特性は樹脂注入材とは異なり測定値があまりバラつかない。これは樹脂浸潤による材質均一化のためである。
- (3) 多くの試料の内 PV-320 樹脂を使用し且 No. 1 の方法で処理したものが, 浸水中および水揚げ後に於いて閃絡電圧の低下が最も少い。
- (4) 閃絡電圧は浸水後約30日で略々一定値に落着くが, その低下率は60%以上に達し, 又浸水当初に於ける低下率も甚しい点で注入材に劣っている。

試料の破損……………閃絡の際殆んど全部破損する。破損は浸水および乾燥の過程に於いて比較的一様に生ずる。第6表は破損の状況を示したものであつて, 試料は前記の如く夫々2本宛である。

第 6 表

No.	樹 脂	接着面に平行に2分	接着面に垂直に2分	斜方向に破断	表面のみ裂傷
1	PV-320			×	△
2		×		×	
3		×			×
4	PE	×			△
5	PC	×			×
6				×	△
7				×	×

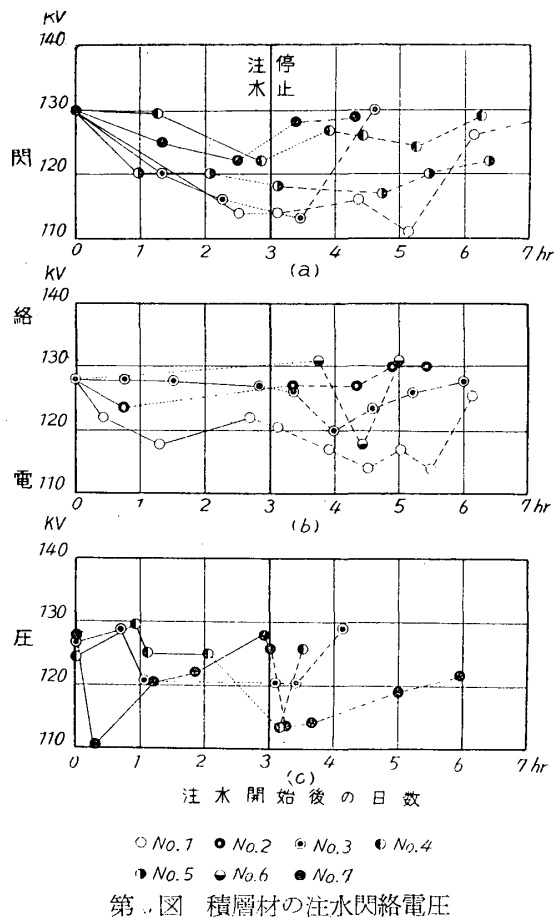
註 : △……………破損の程度が少く使用に耐える。
 ×……………破損の程度が甚しく使用に耐えない。

これを要約すると、

- (1) 多くの試料の内No. 4 が比較的破損が少ない。
- (2) 一般に龜裂は木部に於いて起り接着面で起つたものは殆んどない。これはブナ材自身が前記の如く閃絡により破損し易い事も影響している。

b. 注水試験

閃絡電圧……注水と自然乾燥との過程に於いて時間の経過と共に閃絡電圧の変化する状況を示すと、第6図(a), (b) および(c)の如くなる。注水時間は実線、自然乾燥時間は破線で示してあるが、測定の関係上注水停止直後のものは測定していないのでその間は点線で結んである。これを表示すると第7表の如くなる。



第 7 表

No.	樹脂	* 注水前の 閃絡電圧 (kV)	注水中の 最低閃絡 電圧 (kV)	自然乾燥 中の最低 閃絡電圧 (kV)	注水前の 閃絡電圧 に回復す るに要 する時間 (hr)
1	PV-320	129	114	111	4.2
2		129	123	127	1.9
3		128	116	113	3.0
4	PE	128	111	113	3.2
5	PC	129	120	118	
6		128		118	2.0
7		128	121	113	1.3

* ……第5—1表の値と比べて少いのは注水前時に乾燥爐により充分乾燥を行つてないためである。

これを要約すると、

- (1) 閃絡電圧は注水直後、図面には記入していないが一旦急落して後直ちに回復し図示の如き過程をたどる。
- (2) 閃絡電圧の最大低下率は約14%である。
- (3) 測定値はバラつきが著しく、時間の経過に対して一定の傾向をもたないが、注水停止後5時間以内に注水以前の値に復する。

- (4) No. 1 の試料は表面が変色して吸水し閉絡電圧の回復も他の試料に比べて最も遅れる。
- (5) No. 2~No. 7 の試料は表面が変色せず吸水しない。閉絡電圧は表面に若干の水滴を残留した状態で注水以前の値に復する。
- (6) (a)の No. 4 および(c)の No. 7 の閉絡電圧の回復が遅れているのは閉絡時に生じた龜裂部に水が透み込み、その水分が容易に蒸発しないためである。
- 試料の破損……………閉絡の際殆んど全部破損する。破損は注水の初期或いは自然乾燥の後期に生ずる。第8表は破損の状況を示したものであつて、試料は前記の如く夫々3枚宛である。

第 8 表

No.	樹 脂	接着面に平行に2分	接着面に垂直に2分	斜方向に破断	表面のみ裂傷
1	PV-320	×			△△
2		××		×	
3		×		×	△
4	PE	×		××	
5	PC	×		××	
6		×××			
7		×		×	△

註： △……………破損の程度が少く使用に耐える。
 ×……………破損の程度が甚しく使用に耐えない。

即ち、多くの試料の内 No. 1 が比較的破損が少い。

5) 結 言

3種の樹脂を3種の条件で注入した3種の木材に就いて浸水試験を実施した処、スギにフェノール樹脂を比較的低压で注入したものが閉絡電圧の低下および閉絡による破損少く、且スギの素材と比べてこれ等の点で優れている。

石炭酸フォルムアルデヒドを浸潤させた積層材は浸水試験に於いて注入材に劣っている。

本研究は基礎的な性質のものであり、又測定に使つた試料の数が少い関係もあつて、今後更に研究を進める必要がある。

報告を終るに当り、京都大学木材研究所後藤、西本助手、京都大学工学部電気工学教室西原助教授、星川助手並びに島原、藤田学生の諸君の労を謝す。

猶本研究は文部省試験研究費により行つたものである。

Résumé

In this paper, the impulse flash-over characteristics for the various kinds of impregnated and laminated woods in the dry and wet conditions are studied.

文 献

大久保，西原；木材の衝撃閃絡特性“（昭和28年電気三学会関西支部秋季連合大会予稿）