電柱腕木の改良に関する研究

(予報) 注入木材の適用性について

西本孝一・布施五郎・井上吉之

(木材化学第2・3研究室)

Koichi NISHIMOTO, Goro FUSE and Yoshiyuki INOUYE :
Studies on the improvement of cross-arm.
(Preliminary Report)
Applicablity of the impregnated wood.

緒　　言

従来電柱の腕木はその約60%がケヤキで残りはカシ，ナラが使用されて来たが，近来殆んどケヤキのみが使用されている状態である。所がケヤキの蓄積量は決して多いとは言えず高価な樹種に属するものと思われる。かかる木材を腕木に使用する事は木材の合理的利用，経済上から考へても決して適当な事とは思われない。

所で腕木として電柱に施設した場合如何なる力が腕木にかかるかといふ問題については，木材以外の材料の実用的施設の場合と同様複雑で一概に簡単に断定し難いが，一応曲げ強度，が問題となると考えて差支えない。ケヤキが不合理な事実にも拘らず腕木として使用されているのは実はこの点にある。腕木として一応考えられる樹種中，曲げ強度に於てケヤキに対応するものは濶葉樹にはかなりあるが，針葉樹には無く，割裂抵抗に於ては針葉樹は勿論，濶葉樹に於てすら対応する樹種を見出す事は難しい程である。勿論割裂抵抗のみ大きい樹種は例えばミズキ、マメガキ、リンボク，ツバキ等が挙げられるがこれ等は量的にも常識的にも腕木として使用する事は考えられない。

かかる見地よりケヤキの代りに他の樹種を腕木として使用する事は素材のままでは不可能という結論に達する。それ故何等かの処理を木材に施してこの機械的強度を幾分でも増加し更には防腐効果をも高めんという意味を含みて，ここに木材に適当な合成樹脂を注入せしめた注入木材の活用を考えたのである。

本報文は関西電力株式会社技術研究所の甚大なる協力の下に行つたもので，所長山田真太氏，第二課長白藤直治郎氏に深く感謝の意を表する次第である。

実　験　之　部

最初から腕木等大の材料を用い実験する事は甚だ無策と思われたので，その第一歩として予報的

意味に於て本実験の如く比較的小なる試片を用いた。

1. 材　　料

樹　　種	スギ
	ブナ
	ナラ
試片の大きさ	4×4×35 (cm) (腕木の約1/4の体積)
合成樹脂	Phenol-formaldehyde resin (住友化工材K.K製接着剤)
	Urea-formaldehyde resin (同上)
	Melamine-formaldehyde resin (当研究室製)

2. 方　　法

上記の試片に各樹脂を注入するのであるが，各樹脂は 25% 濃度にメタノール又は水にて稀釈する。注入方法は防腐剤の場合に行う Bethell 法に依り Table 1 の如く三種の方法とする。

Table 1

略号	前排気		加圧		後排気		温度
	排気度 (mm)	時間 (分)	圧力 (kg/cm²)	時間 (分)	排気度 (mm)	時間 (分)	(℃)
A	70	10	2.5	30	80	20	常温
B	〃	20	5	〃	〃	〃	〃
C	〃	〃	7	〃	〃	〃	〃

〔註〕図表中の記号もこれを用いた。

但し phenol-formaldehyde resin 以外は試片材料の関係上 A,C のみとする。

注入後直ちに秤量し乾燥しない状態で2日間放置した後，関係湿度85%温度50°Cで7日間，60%温度 70°C で5日間乾燥し含水率は6～10%となる。但し各試片は木口割れを防ぐため end-coating した。これを接触圧で以つて熱板にて4時間 phenol resin 処理試片は 130°C, urea, melamine resin 処理試片は 110°C で樹脂を硬化せしめる。

Fig 1. 注入状態

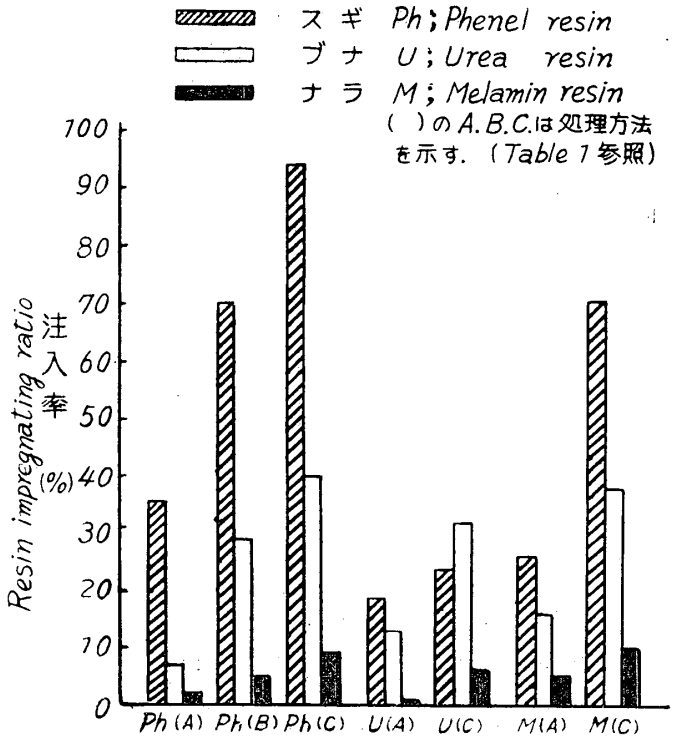


Table 2. 注入状態及び注入材の容積重

Resin	処理法[4]	処理前の容積重	注入量 (g)	注入率 (%)	処理後の容積重
ナラ					
Ph[1]	A	0.71	9	2.25	0.73
〃	B	0.76	21	4.87	0.80
〃	C	0.71	34	8.52	0.77
U[2]	A	0.77	2	0.57	0.78
〃	C	0.66	24	6.06	0.70
M[3]	A	0.78	23	5.24	0.82
〃	C	0.73	40	9.60	0.80
ブナ					
Ph	A	0.69	28	7.12	0.74
〃	B	0.64	103	28.5	0.83
〃	C	0.73	149	40.1	1.02
U	A	0.65	45	12.5	0.73
〃	C	0.66	120	32.0	0.87
M	A	0.67	60	15.9	0.77
〃	C	0.68	147	37.7	0.94
スギ					
Ph	A	0.41	84	36.1	0.55
〃	B	0.43	173	70.4	0.73
〃	C	0.40	210	93.6	0.77
U	A	0.43	5	19.0	0.43
〃	C	0.42	59	24.2	0.52
M	A	0.42	61	26.3	0.52
〃	C	0.41	160	69.2	0.67

1) Phenol-formaldehyde resin
2) Urea-formaldehyde resin
3) Melamine-formaldehyde resin
4) Table 1 参照

かくの如く注入処理した材の樹脂注入率は次式に依つて求め，各樹脂の注入程度，処理方法による相違，樹種別の注入の難易を調べたのであるが，その結果は Table 2,Fig. 1 に示す。

$$\frac{W_T - W}{W} \times 100 = \text{注入率}$$

但し　W：処理前の試片重量

W_T: 処理直後の試片重量

次いで注入処理材及び無処理材の数種の強度を測定したのであるが，処理材に於て木材中に樹脂が均等に中央迄滲透している事は難かしいと考えられるので，同一試片を両端と中央とに区分してその各区の強度をも夫々比較した。尚強度試験としては曲げ，割裂，衝撃の各試験を行つた。試験方法は J. E. S. の木材試験方法に依つた。

実　験　結　果

以上の実験方法に基き得られた実験結果は Table 3, 4, 5 にその実測値を，Fig. 2, 3, 4 にその増加率又は減少率を示した。

図表中に用いられた略号は夫々

Ph …… Phenol resin

U …… Urea resin

M …… Melamin resin.

を示し，A, B, C, は前述の処理方法を表す。（Table 1参照）

Table 3　曲　げ　試　験

	スギ kg/cm²	ブナ kg/cm²	ナラ kg/cm²
PhA—中	543	506	575
—端	532	602	693
PhB—中	537	622	665
—端	552	609	720
PhC—中	444	621	774
—端	509	601	768
UA—中	492	556	720
—端	498	551	747
UC—中	503	613	777
—端	579	625	798
MA—中	436	636	689
—端	520	623	682
MC—中	430	626	731
—端	532	622	776
無処理材	435	465	675

Table 4　割　裂　試　験

略　号	スギ kg/cm	ブナ kg/cm	ナラ kg/cm
PhA—中	18.2	38.5	41.9
—端	20.0	40.5	42.0
PhB—中	19.8	36.2	47.1
—端	22.0	39.2	47.3
PhC—中	19.5	44.4	46.8
—端	19.4	41.4	47.0
UA—中	23.0	35.4	48.2
—端	23.5	40.2	48.7
UC—中	23.4	38.0	50.0
—端	24.8	40.2	51.1
MA—中	21.9	36.9	41.7
—端	22.5	37.5	44.5
MC—中	20.6	37.8	47.3
—端	21.6	44.0	50.6
無処理材	17.7	33.6	40.6

Fig. 2.　曲　げ　試　験

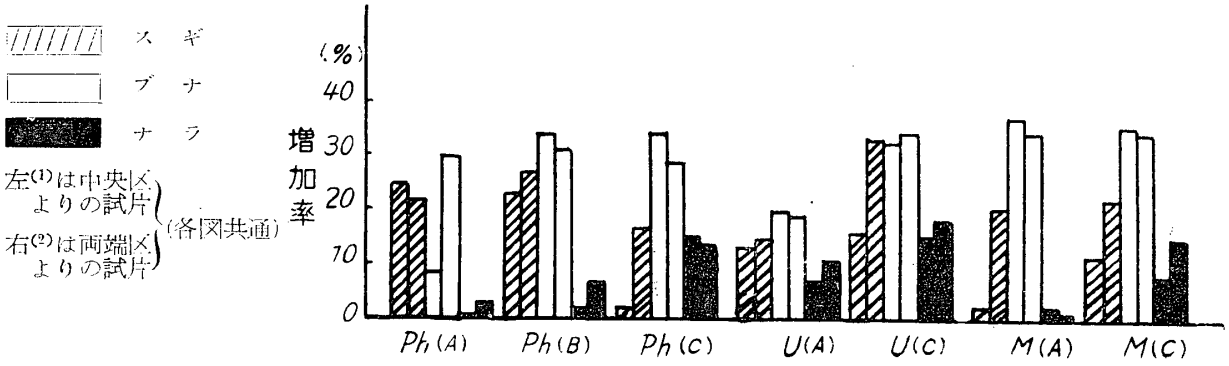


Table 5 衝 撃 試 験

	スギ kg・m/cm²	ブナ kg・m/cm²	ナラ kg・m/cm²
PhA—中	0.52	1.15	0.81
—端	0.51	0.77	0.52
PhB—中	0.59	1.13	0.90
—端	0.53	0.85	0.64
PhC—中	0.58	1.04	0.81
—端	0.49	0.97	0.78
UA—中	0.51	1.03	0.75
—端	0.48	0.88	0.62
UC—中	0.45	0.98	0.59
—端	0.41	0.88	0.61
MA—中	0.51	0.94	0.64
—端	0.44	0.93	0.58
MC—中	0.54	1.13	0.46
—端	0.48	0.78	0.38
無処理材	0.61	1.29	0.92

Fig 3 割 裂 試 験

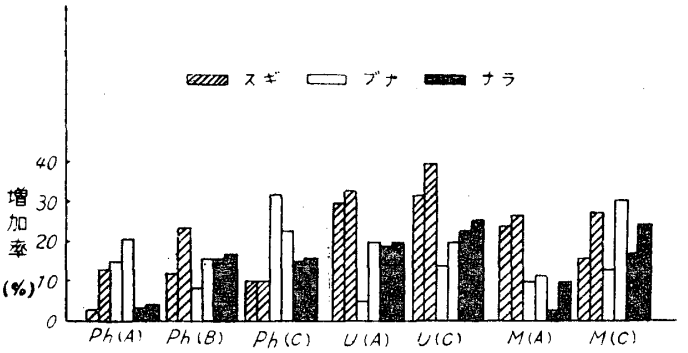
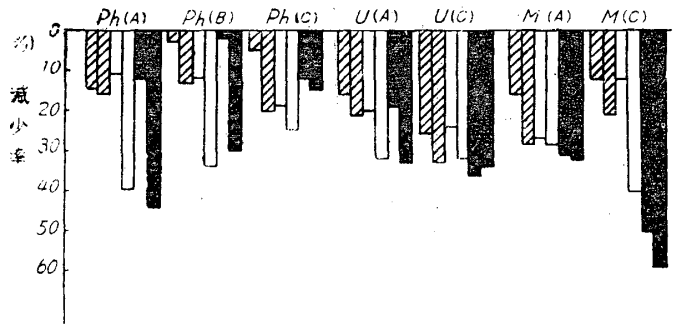


Fig 4 衝 撃 試 験



考 察

1. 注入状態

先ず樹種別の注入の難易を見るに，従来防腐剤については多くの研究を見るが，本実験に於ける合成樹脂の場合も大体同様な傾向を示し，Table 2 及び Fig. 1 に示す様に注入方法別に見る時，スギが非常に大きな注入率を示し，ナラはこれと対称的に注入困難なる事を示している。

例えばスギに於て最大の注入率は 93.6% を示し，ナラでは僅かに 9.6% しか注入されていない。ブナに於ては大体両者の中間で，40.1% を示している。

次に各合成樹脂の滲透の難易であるが，本実験はこれを主目的としていない。更に Phenol resin は methanol 溶液として注入し，他の二者は水溶液としたので，大体の傾向として Urea resin が最も滲透の遅い様な結果を示した。特にスギに対しては偶然的かも知れないが Urea resin は低き注入率を示している。この点については木材の化学的組成との関係が存するのではないかとの推測を有するものである。

いづれにしても，注入量が大きければ当然処理材の強度も又 dimensional stability も増大するので，注入困難な樹種に於ては勿論，容易なる樹種に於ても更に多く注入する事こそ重要な問題で，これを如何にせば解決するかは，温度の上昇が合成樹脂に及ぼす影響を考えると共に木材の含水率等の性質は最適のものを取るとして，物理的方法，例えば木材表面に何らかの疵をつけて表面積を大

きくする—化学的方法—滲透促進剤，緩衝剤を添加する—に依る以外，中程度の圧力— 7～10 kg/cm² —を長時間かけるより方法はないと思う。

2. 後処理

樹脂注入後2日間放置し乾燥スケジュールに依つて乾燥するのであるが，この処理は比較的面倒でこの点のみを取り上げても多々問題が存すると思うが，筆者等は専門外である故既往の研究及び M. A. Millett, A. J. Stamm の研究を参考として本実験の如く行つた。

3. 強度

前述の如く曲げ，割裂，衝撃の各強度を中央区と両端区とに試片を分け各々無処理材のそれと比較したのであるが，圧縮，剪断両強度は注入木材に於ては相当上昇する傾向があり既往の研究に於て多数発表もされているので割愛した。以下測定せる各強度につき考察を試みる。

(1) 曲げ強度

Table. 3 Fig.2 に示す如く全般的にブナ材の強度増加は著しく，各樹脂，各部分共に 20～40% の増加率を示している。注入量に応じて増加しており，Fig. 1 の注入率を示す図と見較べる時注入量を更に増大する事に依り曲げ強度を増大し得る可能性のある事を感ずる。

スギ材も相当の増加率を示すものもあるが，注入量に比例して増大していないものがある。例えば Phenol resin を注入した場合である。この事実はもうこれ以上強度を増大し得ない事を暗示するが如く感じられる。

ナラ材に於ては注入量が少ない為に，増加率は極めて小さい。

全般的にこの種の強度に於ては，一層の強化はブナ材に期待し得る。しかも Melamine resinを注入した材は Phenol resin 注入材より高き結果を示す如く，注入条件は中圧，長時間がよい様に思う。

(2) 割裂強度

一般に割裂度及び試験方法等について研究した文献が少く，甚だ不便を感じた次第であるが，本実験で最も困難を感じた試験であつた。本実験で用いた試験方法は楔式ではなく，木材試験法でこの両方法の善悪は今此処で論ずる積りはないが，強度関係を専門とされる方々でかかる点を明白にしていただき度いと思うものである。

さて，実験結果であるが，前述の曲げ強度と異りスギ材の増加率が全般的に大きかつた。特に注目すべきは Phenol resin 注入材より，Urea, Melamine resin 注入材の方が効果のあつた事である。但し本実験に用いた種類の樹脂に依つて言える事で，製造法，性質の異つた樹脂については不明なる事を附言する。

ブナ材に於ては一般に低調を極め，ナラ材と大差ないという結果を得たのであるが，この点については疑問の点が多く，新ためて試験する予定ではあるが，注入率等より考えもつと高い値を示すべきものと思う。

木材は一般に繊維に平行なる力で割裂する時は極めて小さい抵抗を示す傾向がある。この欠点は

特に腕木等に使用する場合には大きな欠点として現われる。割裂に際し，繊維間で分裂すか，細胞膜自体が破壊すか，又は両者が同時に起るかのいづれかであろう。勿論針葉樹と濶葉樹とでは趣を異にするであろうが，根本的には大差はないと思う。

合成樹脂を注入した場合，樹脂が細胞膜に滲透すると考えるならば当然細胞膜自体も強化され，更には繊維間の結合も強化されるので，割裂し難くなる。又細胞膜迄には滲透しないと考えるならば，繊維間の結合が強化されるが細胞膜自体は強化されないので当然割裂に対する抵抗は大して大きくはならない。

所で本実験の結果を見て細胞膜が強化されたと思える増大率とは考えられず合成樹脂は細胞間隙及び導管又は仮導管に附着していると思う。故に割裂抵抗を大ならしめるには，細胞膜に滲透せしめるか，滲透し得るが如き合成樹脂を作ることとなる。

(3) 衝撃強度

木材の空隙を比較的脆い性質の合成樹脂でつめるのであるから，注入木材の衝撃吸収エネルギーは低下すると予測していたが，実験結果は相当大巾な減少率を示した。特にナラ材に於て著しく，注入量の少ない材にこの傾向の大なるは奇妙なるも，ナラ材の容積重大なるより考えれば空隙容積は他の二樹種に比べ小なる事が言へ，その空隙を合成樹脂にて満たされた比率は案外に大きいとも考えられるのである。この衝撃吸収エネルギーの低下の比率は大体注入率と比例しているが，Phenol resin 注入材は各樹脂共に全く逆比であつた。これは Phenol resin のみ methanol 溶液であり，強度試験当時に於て未だ完全に硬化してない状態にあつたのではないかと考える。この事は他の二強度についても言える事である。

いづれにせよ衝撃吸収エネルギーの低下は大きく，これが改良に今後の問題があり，特殊なる可塑的な作用をする薬剤の添加が考えられている。

(4) その他

圧縮強度，剪断強度は注入木材に於ては共に非常に増大する事は既往の研究で明白であり，且つ腕木としては前述の三強度に比べその重要性は比較的小さい故割愛したがいづれ機会を見て試験し発表する予定である。

注入後の容積重は相当に増大するが，乾燥後のそれは 10～30% 位の増加率である。

強度試験はすべて中央区と両端区とに分けて比較したが，全般に両端区より取つた試片の方が高い強度を示したがこれは当然の事であるが，曲げ試験に於て特にブナ材に於て例外が生じたが，この場合中央区と両端区との差が極めて僅少であるので両区に於て差がないと考えてもよい。

以上にて考察は終るが，合成樹脂を注入する事により木材の強度は明らかに増大する事は明白になつた。

更に合成樹脂の性質を考え，市販の樹脂でなく注入用として適切なるものを調製し，充分に注入せしめるならば更によき結果が得られるものと確信する。

要　　約

1）現在腕木として使用されているヶヤキに代るべきものとして他の樹種の注入木材の活用を考え，本実験は実用的見地より腕木の約 $^1/_4$ の試片にて予備的に行つたものである。

2）樹種はスギ・ブナ・ナラの三種を選び，試片の大きさは 4×4×35 cm とした。注入せる合成樹脂はフェノール樹脂，尿素樹脂，メラミン樹脂を用い，前二者は住友化工材K・K・製接着剤，後者は当研究室にて調製した。各樹脂の濃度は 25% とした。

3）注入方法は Bethell 法に依り，Table 1 に示す如き条件で行つた。注入後一定の乾燥条件で乾燥し，最後に 130°C 又は 110°C にて樹脂を硬化せしめた。

4）注入処理した材について注入状態を重量差に依り調べ，注入条件，樹種並びに合成樹脂別の注入程度を Table 2 Fig. 1 に示した。

5）注入木材と無処理材の曲げ・割裂・衝撃の各強度試験を行い，比較検討したのであるが，その結果は実測値を夫々 Table 3, 4, 5 に，増加又は減少率を夫々 Fig. 2, 3, 4 に示した。

6）木材は合成樹脂を注入する事に依り，腕木の施行時に受ける強度の内最も重要な曲げ及び割裂強度は増強せしめ得るが，衝撃に対しては弱くなる事が分つた。スギ，ブナ，ナラ，の中，スギは素材の強度が余りに低いので，注入処理しても腕木として必要な強度迄到底増強出来ない。ナラは注入困難な為増強率をより高め得ず，ブナが最も本目的に達し易いと思う。本研究にはヒノキは採用しなかつたが，素材の強度，注入容易な事より考えれば，ブナと共に有望なる樹種と考える。

7）注入操作如何に依つては一層の増強も望めると共に，実物大の木材に対しても増強は可能と考える。なお，衝撃に対する増強にも適当なる薬剤を目下研究中である。

Résumé

This report is preliminary experiment on the improvement of crossarm of electirc pole. This improvement means to strengthen the weak wood by impregnating treatment of synthetic resin.

The used specimens measuring 4 × 4 × 35 cm. were taken from Japanese cedar (*Cryptomeria japonica D. Don*), Beech (*Fagus crenata Blum*) and Oak (*Quercus crispula Blume*) and impregnated phenol resin, urea resin and melamine resin, all at a resin forming-solids content of 25%, by impregnating methods as shown in Table 1.

Following this treament, the specimens were dried by schedule and cured at 110°C. or 130°C. for 4 hrs. The impregnating condition of specimen was determined by weight, and the resulte were shown in Table 2 and Fig. 1.

Bending-, split- and impact-strength of treated and untreated woods were measured and

the results of tests were shown in Table 3, 4, 5, and Fig. 2, 3, 4. Bending- and split-strength of treated woods increased in comparison with that of untaeated woods, but impact-strength decreased.

It seems that the treated beech is suitable, but japanese cedar and oak were not for the purpose of this study. Because, the strength of untreated japanese cedar is too weak to strengthen up to the necessary for purpose of cross-arm, and it is impossible to strengthen more than this strength of oak for its difficulty in imprengnation.

However, japan cypress was not used in this experiment, but we think that it is promising our purpose as like as beech for its strength of untreated material and its ease in impregnation.

Because the decreasing of impact-strength is a great weak point in practial use of the impregnated woods, we are studying, at present, the suitable chemicals to increase the impact-strength.