

# キャストスティックの耐朽性 (完)\*

## 野 外 試 験

吉 村 貢

Resistance of Cast-sticks for Decay (Final)  
Field Stake Test

Mitsugu YOSHIMURA

## 1. 承 前

キャストスティックの実験室試験により予測した耐朽性を検証するため、野外試験を始め、その初期3か年の経過を報告した<sup>1)</sup>。それに引続く11年(初めより14年)の経過と結末について報告する。

キャストスティックはラワン材の厚さ1mmの乾燥したロータリー単板に計画した樹脂率に従い所定量の水溶性フェノール樹脂を両面塗布して乾燥後、幅5mmに繊維方向に長く裁断し、計画した比重に基づく一定量を定温(135~145°C)に保持した金型に入れて圧縮成型した直径約5mmの丸棒で、不整の両端を切って、長さ40~45cmとした人工杭である。

樹脂率10, 20, 30, 40%:比重0.7, 0.8, 0.9の人工杭に、径約5cmのマツ、スギの素丸太(そのうち、スギ3本はポリデンK-33 1%液に浸漬)を加えて、1970

年春~初夏、3か所の試験地に設置した(Table 1)。

## 2. 経 過

## 2.1 試験地の状況

第1試験地は泥岩層から成る丘陵地の山林の表層を削りとした黄色土壌で、初生地のため、植生はほとんどなかった。それ故、初期の3年は時に除草する程度でよかったが、試験地の周囲に牧草の栽培が始まるとともに、次第に雑草が生い茂り始め、1979, 1981年に雑草を刈払ったが、その後は管理不十分となり、セイタカアワダテソウ、チワラ、タズ等がはびこるに至り、杭は年中雑草に被われていた(写真2)。1976年全面の除草を行い、全杭を引抜いて調査の上、被害の少ない杭(1本を除く人工杭の全数とポリデン処理したスギ丸太杭3本)を再び原位置に設置して、有刺鉄線で囲繞した。

第2試験地は附属演習林内の宿舎下の北斜面の段丘地

Table 1 試験杭の配置本数

項 目	キャストスティック												素丸太			計	
	10			20			30			40			小	マ	ス		小
添加樹脂量(%)	0.7	0.8	0.9	0.7	0.8	0.9	0.7	0.8	0.9	0.7	0.8	0.9	計	マ	ス	小	計
計 画 比 重	0.7	0.8	0.9	0.7	0.8	0.9	0.7	0.8	0.9	0.7	0.8	0.9	計	マ	ス	小	計
第1試験地農場	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	33	3	6*	9	42
第2 " 演習林	—	—	3	3	—	1	2	—	—	2	3	—	14	3	3	6	20
第3 " 学内	—	—	—	1	2	—	3	2	—	3	2	—	13	2	3	5	18
計	3	3	6	7	5	4	8	5	6	7	6	6	60	8	12	20	80

\* 6本のうち3本はポリデンK33, 1%液に浸漬処理

昭和60年1月8日 受理

\* 前報三重大学農学部学術報告第46号75~91頁、昭和49年1月

本報の一部は昭和59年10月日本木材加工技術協会第2回年次大会(東京)において発表した。

の苗圃内のガラス室と約50年生(1970年当時)のスギ林分の林縁との間に設けられ、被蓋時間が長く多湿で苔が生え、雑草の進入は少く、時折、除草が行われ、環境の変化はほとんどなかった。

第3試験地は大学のキャンパス内にあって、山土の表土によって造成されたRI実験室敷地の一角にあり、王砂利が厚く敷かれていて、日当りは極めて良く、雑草の進入は少なく、又、定期的に敷地内の除草が行われていた(写真4)。

## 2.2 天然杭の耐朽性

径約5cmの素材丸太杭は数年の寿命しかない。特に、マツは弱い。第1試験地においては、マツ3本中1本は1973年、2本は1976年に腐朽、撤去した。第2試験地では3本中2本を1973年に、1本を1976年に撤去した。第3試験地では3本中1本を1973年に、1本を1976年に撤去した。

スギはマツよりやや耐朽性大で、1973年には第1試験地の1本を撤去したが、1976年には腐朽によって、ポリデン液に浸漬処理した3本を除く全ての杭を撤去した。浸漬処理したスギ丸太は14年間試験地に設置されたが、1本は地際部腐れで折れていた。他の2本は全長を保ったが、蟻に咬害され、且つ腐朽によって軟らかくなっていた。地上部材は僅かに強度(当初の1/5~1/3程度)を保った。

## 2.3 キャストスティックの耐朽性

樹脂率、比重を異にする60本の杭を3試験地に設置し、3年を経た1973年の調査においては、全ての杭が健全であった。1976年には第1試験地の1本(20-0.7-2;樹脂率20%,比重0.7,群中の杭番号2)が地際部で腐朽し、地上部が壊れたので撤去した。1980年9月における第2試験地のキャストスティックの状況は写真1の如く、全ての杭は健全で、外観的には何ら欠陥はなかった。第1・3試験地も同様で59本の杭は健全で、最終の1984年まで試験地にあった。

## 3. キャストスティックの野外試験結果

### 3.1 杭の掘取

杭の掘取りにあたり、まず全景を写真に撮り(写真2)、雑草を取除いて試験地における設置杭の状況を写真に撮り(写真3,4)、外観を調査した。各杭の根元の

土を取除いて、杭の地中の状況を写真におさめた(写真5)。掘取った杭は横たえて並べ、損傷の状況を写真に撮り(写真6)。1本ずつ雨傘用の長ビニール袋に入れて持ち帰った後、それぞれの杭について湿重量を記録した。

### 3.2 試験片の寸法・重量・縦圧縮強度の測定

杭の耐用性はその杭の最も弱い部分によって決定される。従って全長にわたる曲げ強度を測定するのが妥当と考えられるが、1杭から1測定値しか得られず、しかも頭部、地際部、地中部等に杭の折れや全断面にわたる欠損があると、杭の全長にわたる曲げ強度は測定できないので、その杭の強度は0となる。14年にわたる野外試験からなるべく多くのデータを得たいので、全長を4区分して、各区分の杭について圧縮強度を求めることにした。

杭の不整の両端を杭の主軸に直角に鋸断し、各杭からFig.1.Aの如く、約10cm長にI,II,III,IVの試験片を取った。頭部が欠損した杭は底部よりIV,III……に相応する試験片をとった。各圧縮試験片は湿重量、高さ(長さ)、中央部の長・短径を測定後、各杭について各区分の試験片を並べて写真を撮り(写真7)。直ちに縦圧縮破壊強度を測定した。再び各杭について区分試験片の破壊状態を写真に撮り(写真8)、105°Cで3日間乾燥後、乾燥重量を得た。

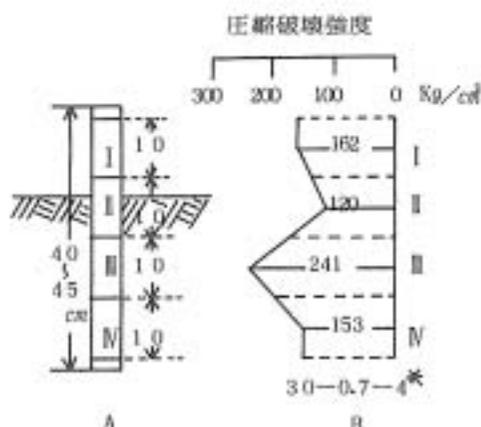


Fig.1 杭の設地状況と各区分(I~IV)の縦圧縮破壊強度  
\* フェノール樹脂率30%, 比重0.7, 杭番号4

### 3.3 測定結果の処理

前項の区分試験片の諸元から試験時の破壊強度(kg/cm<sup>2</sup>)、含水率(%), 比重(容積密度, 乾燥重量g/試験

時の容積  $\text{cm}^3$ ) を計算した。

木材の含水が繊維飽和点を超えると、それ以上水分が増加しても強度に余り影響しないが、それ以下では水分が減少するに伴って圧縮強さは曲線を書いて上昇する。立杭の土中の部分は繊維飽和点を超える含水状態にある。今回の試験においても、一部の杭の地上部 (区分 I の試験片 13 と区分 II の試験片 1 個) は繊維飽和点以下の含水状態にあった。それ故、使用中の杭の強度は繊維飽和点以上の湿潤状態の強度について比較するのが適当と考え、それ以下の水分量の試験片の測定強度を繊維飽和点

(28%とした) の強度に修正することにした。

Wilson は圧縮強さの対数と含水率との関係が一次関係にあることから次式を示している<sup>2)</sup>。

$$\log \sigma_2 = \log \sigma_1 - m(\varphi_2 - \varphi_1)$$

ここに  $\sigma_2$  は含水率  $\varphi_2$  における圧縮強度

$\sigma_1$  は含水率  $\varphi_1$  における圧縮強度

$\varphi_2$  は試験片の繊維飽和点の含水率 (28%とした)

$\varphi_1$  繊維飽和点以下の含水の区分試験片の試験時の含水率

Table 2 圧縮強度と含水率の一次関係式の勾配 (m)

樹 種	m*			
	I	II	III	
トネリコ	white ash	0.0217	0.0208	0.0226
カバ	yellow birch	0.0258	0.0265	
クサ	chestnut	0.0241	0.0214	
ブナ	Buche			0.0228-0.0233
ナラ	Eiche			0.0270
シナノキ	Linde			0.0198
ニレ	Röster			0.0189
Grand average		0.02287		

\* I After Newlin and Markwadt

II After Goss and Tiemann

III After Kollmann

Table 3 乾燥試片 (MC 28%以下) の圧縮強度測定値 ( $\sigma_1$ ) の湿潤強度 ( $\sigma_2$ ) への修正

杭番号と区分	測 定 値		修 正 値	試験地
	MC%	$\sigma_1$ $\text{kg/cm}^2$	$\sigma_2$ $\text{kg/cm}^2$	
10-0.8-3 ①	21.93	251.18	182.46	1
20-0.8-2 ①	24.67	200.23	168.03	2
20-0.9-1 ①	17.52	385.97	222.27	3
20-0.9-2 ①	25.59	318.21	280.28	1
20-0.9-4 ①	26.03	243.11	219.15	3
30-0.8-8 ①	23.36	197.40	154.61	1
30-0.9-1 ①	21.78	305.95	220.50	1
30-0.9-4 ①	21.93	264.82	192.36	1
40-0.9-1 ①	19.36	351.79	223.20	2
40-0.9-2 ①	24.10	132.49	107.89	1
40-0.9-4 ①	26.67	154.32	143.88	1
40-0.9-5 ①	23.11	223.22	172.54	1
" ②	26.74	203.21	190.16	1
40-0.9-6 ①	25.36	314.50	273.68	2

Table 4 14年の野外試験を終えた人工杭の比重と圧縮強度

A. 第1試験地 (附属農場)					
杭番号	比 重	強度 kg/cm <sup>2</sup>	杭番号	比 重	強度 kg/cm <sup>2</sup>
10-0.7-1	0.48	177	30-0.8-6	0.28	22
-2	0.52	222	-7	0.57	198
-3	0.44	127	-8	0.59	184
Av.	0.48	175	Av.	0.48	135
10-0.8-1	0.48	156	30-0.9-1	0.67	290
-2	0.52	177	-2	0.50	134
-3	0.57	215	-4	0.68	295
Av.	0.52	183	Av.	0.62	240
20-0.7-1	0.44	114	40-0.7-1	(0.24)	( 27)
-2	—	—	-2	0.44	117
-3	(0.07)	( 11)	-6	0.40	76
Av.	0.26	63	Av.	0.36	73
20-0.8-3	(0.08)	( 11)	40-0.8-2	(0.37)	( 93)
-4	0.46	139	-3	0.46	209
-7	(0.09)	( 7)	-7	0.36	42
Av.	0.21	52	Av.	0.40	115
20-0.9-2	0.56	157	40-0.9-2	0.60	134
-3	(0.06)	( 1)	-4	0.68	235
-5	(0.27)	( 24)	-5	0.69	233
Av.	0.30	61	Av.	0.66	201
30-0.7-2	0.43	106	× 千丸次-4	(0.09)	( 16)
-3	0	0	-7	(0.09)	( 25)
-4	0.51	169	Av.	0.09	21
Av.	0.31	29			
B. 第2試験地 (附属演習林)					
20-0.7-4	0.33	45	30-0.8-1	0.44	97
-5	0.44	116	-4	0.52	146
-6	0.20	7	Av.	0.48	122
Av.	0.20	56	40-0.8-1	0.51	154
20-0.8-2	0.59	277	-4	0.49	114
-5	0.56	220	Av.	0.50	134
-6	0.38	59	40-0.9-1	0.62	217
Av.	0.51	185	-3	0.51	135
30-0.7-1	0.27	15	-6	0.77	419
			Av.	0.63	257
C. 第3試験地 (RI 実験室敷地)					
20-0.8-1	0.46	98	30-0.9-3	0.48	95
20-0.9-1	0.61	202	-5	0.37	75
-4	0.56	174	Av.	0.43	85
Av.	0.59	188	40-0.7-3	(0.16)	( 22)
30-0.8-2	0.47	117	-4	( 0)	( 0)
-3	0.43	87	-5	(0.12)	( 3)
-5	(0.41)	(117)	Av.	0.09	8
Av.	0.44	107	40-0.8-5	0.35	48
			-6	0.41	46
			Av.	0.38	47

( ) の値は1本の人工杭の4区分試験片のうちいずれかを欠いたため、その区分の測定値に0を与えて平均した数値である。

勾配  $m$  の値は試験片がラワン材の人工杭であるので、得られている広葉樹材の  $m$  の値 (Table 2)<sup>1)</sup> の平均値 0.02287 を用いた。圧縮強度の修正を必要とした含水率 28% 以下の区分試験片とその値を Table 3 に示した。

各杭について必要な修正を行った後の 4 区分の圧縮強度を模式 (Fig. 1. B) にならない Fig. 4-1~4-10 のように表した。一般に支柱や電柱での経年から最も腐朽し易いと考えられる地際部 (II 区分) の強度を始め、天候劣化の激しい地上部、土中の埋設部分について、それぞれの残存強度が一見できるようにした。各 1 本の杭の強度を代表するため、4 区分の試験片の修正した圧縮強度 (欠損区分の強度は 0 とする) の平均値を求め比重と共に示した (Table 4)。

### 3.4 考 察

木材の強度は主として組織的・物理的性質 (従って樹種) に大きく影響される。なかでも最も一般的影響は比重と含水率である。比重を異にする 3 群のキャストスティックの気乾状態における圧縮強度は測定範囲においては比重に比例している。更に、スズ素丸太 (径 4.7~5.6 cm, 気乾比重 0.40~0.43) 7 本の圧縮強度はキャストスティックの直線上にのり、ロータリー単板のように可成り組織が破壊されても、樹脂で再構成された人工杭は組織構造をもった、しかも針葉樹材であるスズ丸太と比較しても比重を介してその強度が予測できそうである。従って比重は最も簡単に杭強度を推定する示標と考えられる。

Fig. 3 は 14 年を野外試験地で経過した人工杭の製造条件群 (樹脂率—比重) の湿潤時の平均比重とその時の縦圧縮強度の平均値との関係を示しているが、乾燥時の比重—強度の関係 (Fig. 2) と相似している。即ち、気乾材の圧縮強度を湿潤材の圧縮強度に修正すると概ねこの曲線にそったバラツキの範囲内におさまる。従って比重の低下の程度を知れば、主杭の圧縮強度を推定できる。其故、比重は最も簡単に杭の全寿命にわたり、杭強度を知る示標と考えることができる。

Table 4, Fig. 3 から見られるように野外試験地の環境による影響は第 3 試験地の人工杭の平均強度がやや低いようにも見えるが、偏異の範囲内において顕著な試験地の影響とは認め難い。14 年にわたる観察からみると、この第 3 試験地は標高 1 m の露地で、直射日光を受けるのと草刈機による立杭の地上部への接触による破損が大

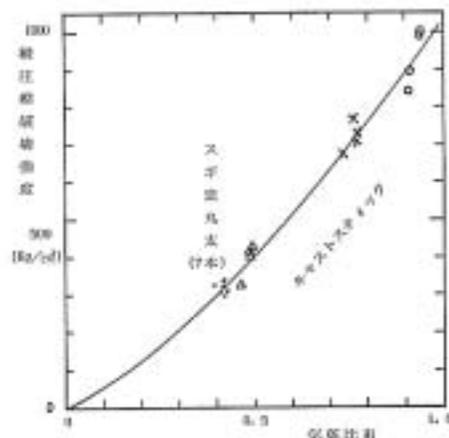


Fig. 2 試験杭の比重と圧縮強度

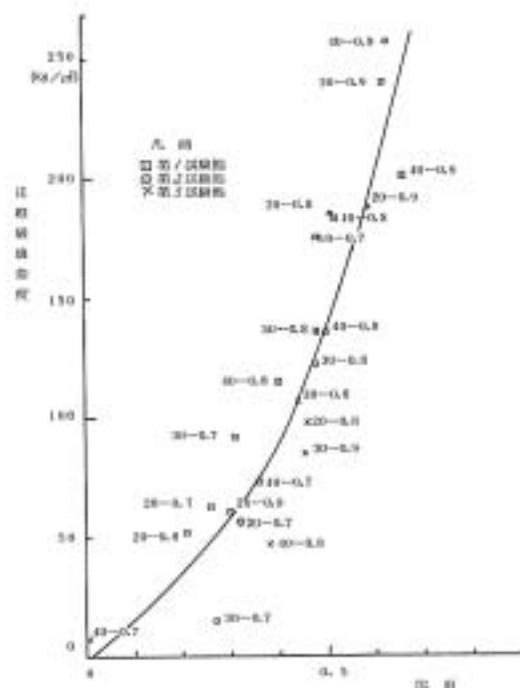


Fig. 3 野外試験地・製造条件を異にする人工杭の 14 年間野外試験杭の比重と圧縮強度

きく影響して杭の頭部を欠損した杭が人工杭 13 本中 5 本に達した。これに対し第 2 試験地は標高 500 m 地点でスズの林縁にあり、白蟻や蟻の被害が見られたが、直射日光の影響は少く、草刈機は使用されておらず、頭部を失った人工杭はなかった。第 1 試験地は完全な露地であるが、丘陵地の山肌を削り取った造成地のため、初の 2~3 年は雑草も少なかったが、その後の 10 年は付近が牧

草栽培地となり、又、除草管理を怠ったため、葛、セイタカアワダチソウ、マツ等宿根性雑草に被れた状態にあった。人工杭33本中1本は製造時に何らかの欠陥があったのか、腐朽によって6年後撤去の止むなきに至ったが、32本は最後まで残り、そのうち9本の杭の頭部が破壊していた。

一般に丸太木杭の腐朽は地際部から発生してそこから折れるものと考えられている。しかるにキャストスティックは極端に地際部が腐朽し易いという傾向が見られないのが大きな特徴である。又地上部の天候劣化も素丸太よりはるかに少い。もちろん地中部もはるかに長い寿命を保ち、14年を経過した。

そもそも本実験はキャストスティックの製造条件を実験室試験によって予測しようとするもので、その予測結果の野外試験による実証である。因みに実験室試験結果から推論した結論<sup>1)</sup>を引用する。「これらの実験条件から、経済的観点を一応考慮外として、キャストスティックの製造条件を求めると、樹脂量40%とし、比重は、ワラン材に過度の組織破壊を起さない0.8前後のものを造るのが、耐朽性からはもっとも良いといえるだろう。」

野外試験においては、樹脂量10%の人工杭は第1試験地のみで、比重0.7、0.8群各3本で、14年を経るとともに健全であったが、少数のため確かな解釈はできない。樹脂量20、30、40%の人工杭の耐朽性の違いは明らかでない。人工杭の比重の影響は0.9が耐朽性最も大で0.7が最も小さいようである。スギ、マツの無処理丸太杭は3～5年で全数腐朽した。ただポリデン塩溶液に浸漬すると、その効果は大きく、地中部は腐朽したが、地上部は最後まで形骸を留めた。

#### 4. 摘 要

ワランロータリー単板からフェノール樹脂を用いてモールドイングによって耐朽性のすぐれたキャストスティックを製造する最適条件を求めめるため実験室腐朽試験を行った。この試験から得られた結果を実証するため、1970年春、3試験地に60本の人工杭を設置して野外試験を始めた。3年を経過して、全ての杭は健全で非常にすぐれた耐朽性が期待された。

その後、観察を続け、1984年春、全ての杭を相り取った。約45cm長の杭は両端を切り落して、約10cm長に切断して4区分の試験片をつくり、縦圧縮強度、含水率、比重を測定した。杭の一部を欠損した杭では、その

部分の強度と比重を0とした。又、含水率28%以下の試験片は得られた強度を湿潤材の強度に修正し、区分毎の湿潤強度の分布図によって、杭全長の傷みの程度を表した。各杭の強度は4区分の平均値で代表し、又製造条件群（樹脂量—比重）の値をこの群に属する各杭の値の再平均によって試験地毎に求めた。それらによって14年を経過した杭の評価を行い、以下の結論を得た。

1. キャストスティックの耐用年限は10年を超えるが、同じ大きさの径約5cmの素丸太杭はマツでは2～3年、スギでは3～5年である。ただポリデン塩溶液に浸漬したスギ丸太は2～3年耐用年限が伸びる。

2. キャストスティックの圧縮強度はその密度に依存するところ大で、杭設置時からの物質量の減耗によって立杭の強度の劣化を推定できる。

3. 実験室腐朽試験からの予測は14年間の野外杭試験によって概ね実証された。すなわち、実験室試験から樹脂量40%、比重0.8前後の製造条件を最良としたが、野外試験から樹脂量20、30、40%の影響よりは比重の方が明確に影響し0.9が最良であった。

14年に亘る長い間、それぞれの時代に援助を戴いた当林産化学研究室に關連した学生諸君、特に後半お手伝い戴いた助手船岡正光博士にお礼申し上げます。又、試験地を提供頂き、除草等管理を援助していただいた農場、演習林、RI 圃場の関係者に深く感謝致します。更に腐朽杭の評価にあたり貴重な示唆を賜った木材工学講座大河平行雄教授にお礼申し上げます。

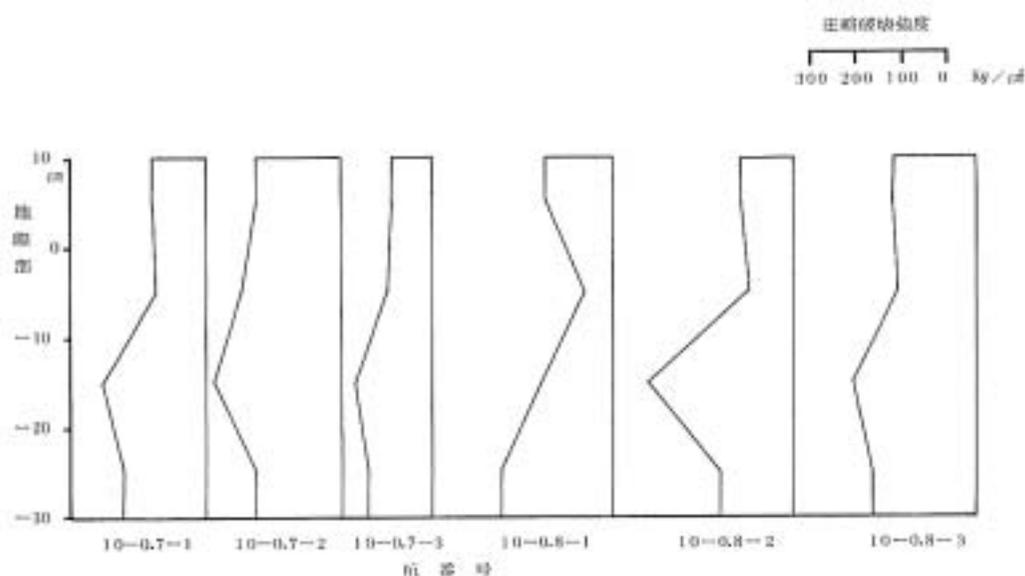


Fig. 4-1 各キャストスティック4区分の圧縮強度の分布

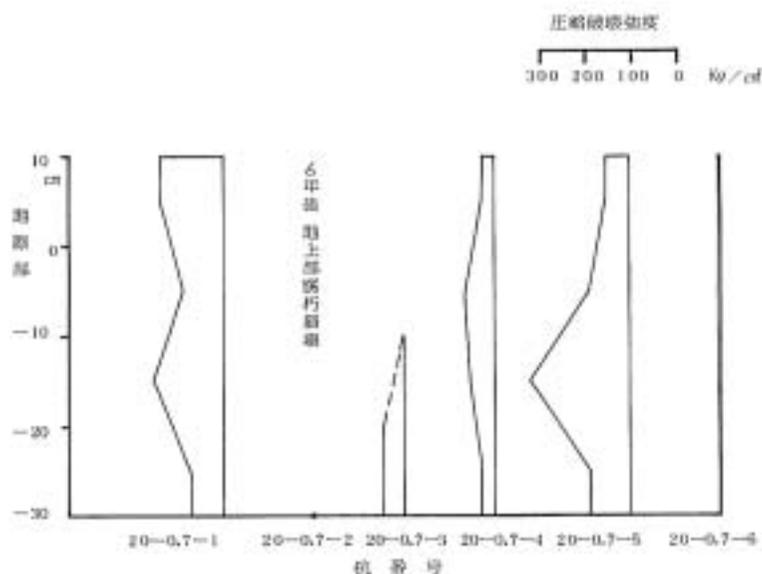


Fig. 4-2 各キャストスティック4区分の圧縮強度の分布

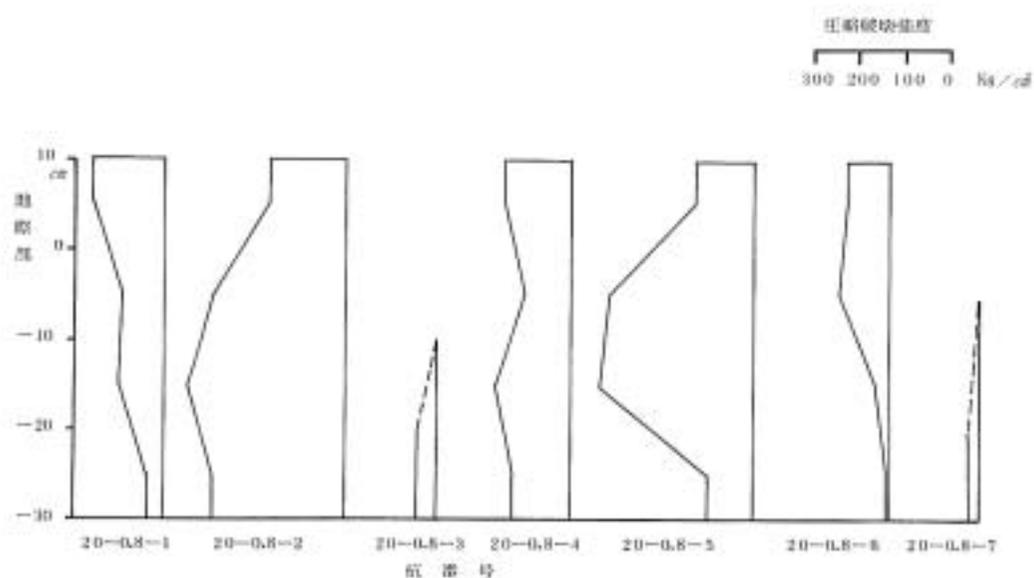


Fig. 4-3 各キャストスティック4区分の圧縮強度の分布

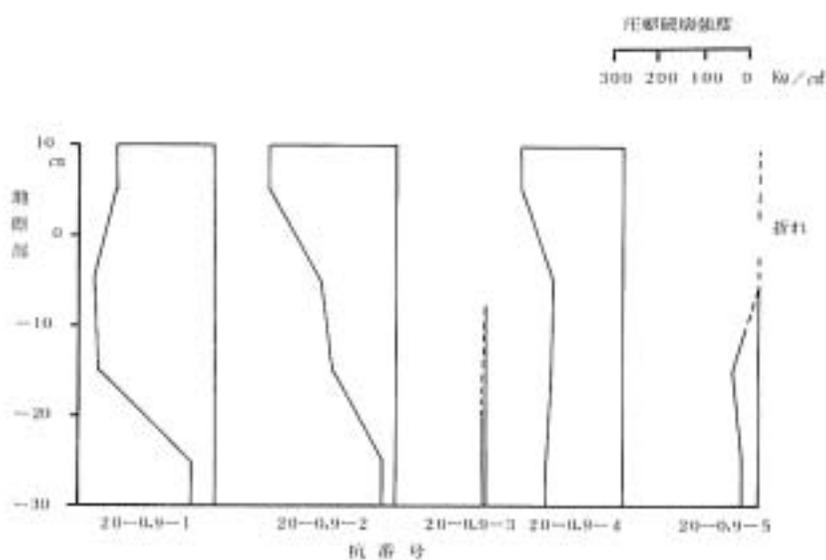


Fig. 4-4 各キャストスティック4区分の圧縮強度の分布

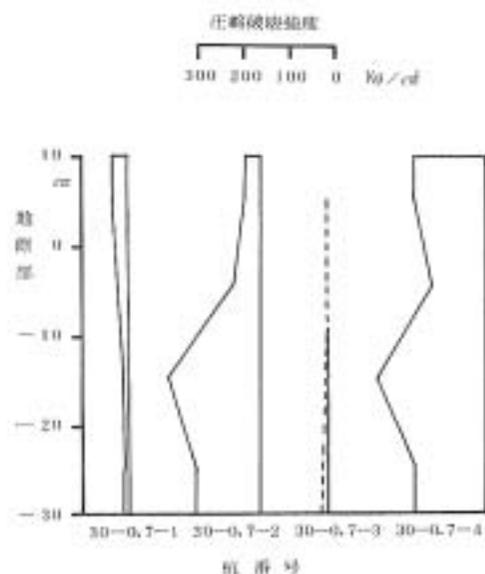


Fig. 4-5 各キャストスティック4区分の圧縮強度の分布

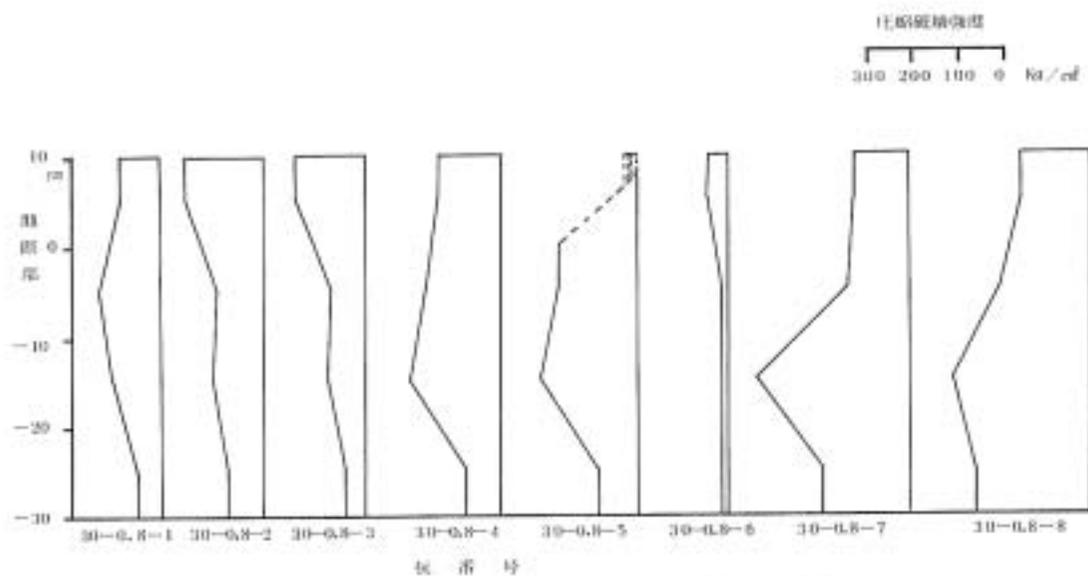


Fig. 4-6 各キャストスティック4区分の圧縮強度の分布

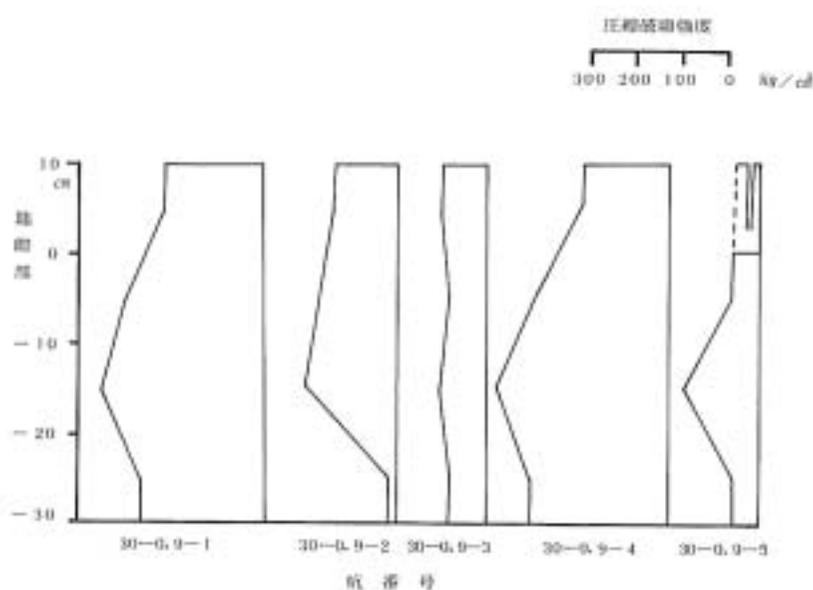


Fig. 4-7 各キャストスティック4区分の圧縮強度の分布

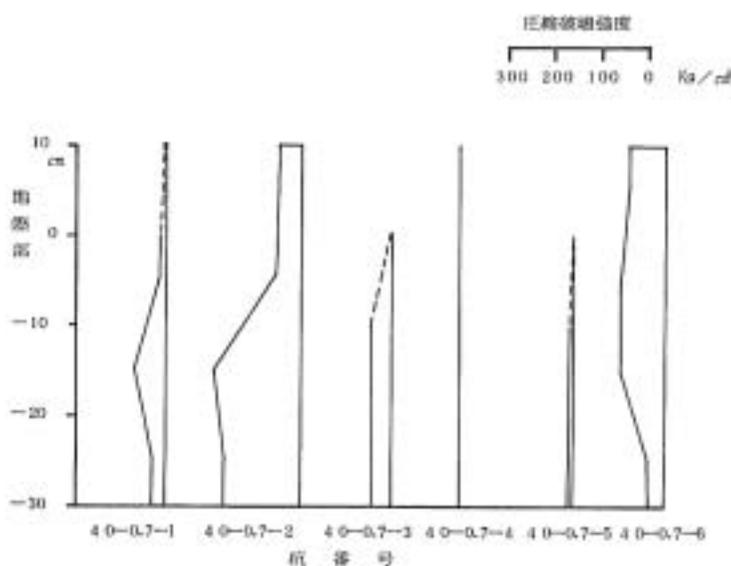


Fig. 4-8 各キャストスティック4区分の圧縮強度の分布

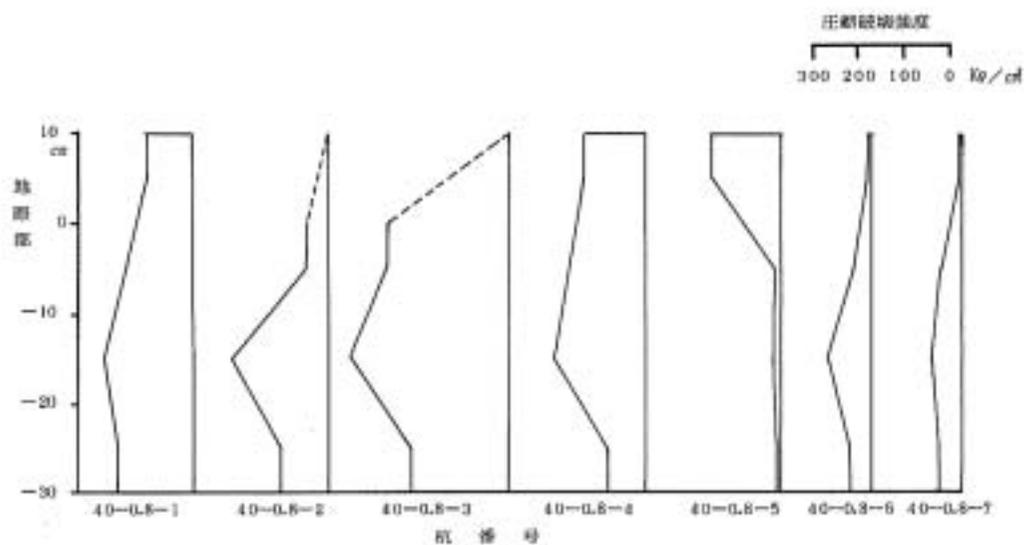


Fig. 4-9 各キャストスティック4区分の圧縮強度の分布

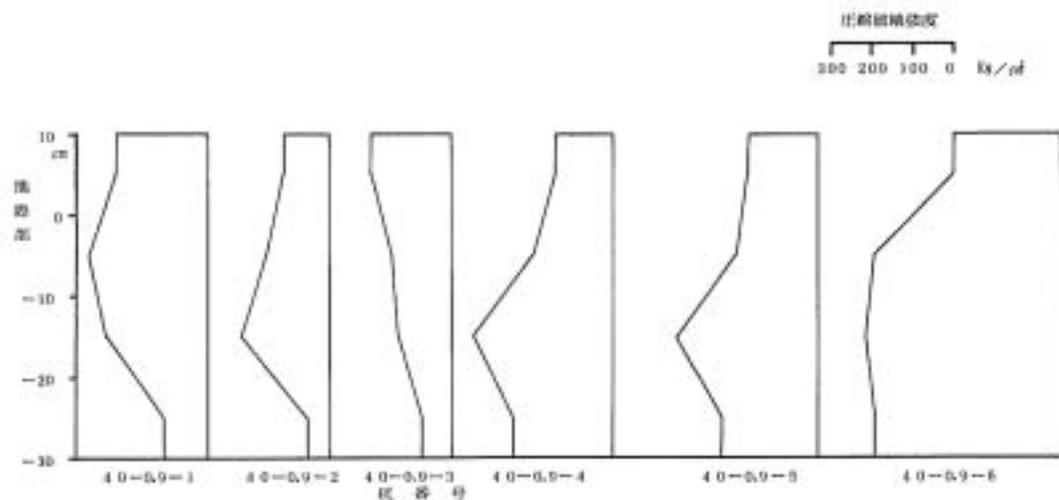


Fig. 4-10 各キャストスティック4区分の圧縮強度の分布



写真1 第2試験地(演習林)の10年を経過した人工杭の状況(1980年9月)



写真4 第3試験地(大学構内RI敷地)における除草後、杭掘取直前の立杭の状況(1984年6月)



写真2 第1試験地(農場)の雑草に被われた状況(1980年6月)



写真5 杭の根元の土を除いた立杭の状況(第1試験地、杭番号10-0.7-3)



写真3 第1試験地(農場)における立杭の状況(写真1の除草後1980年6月)

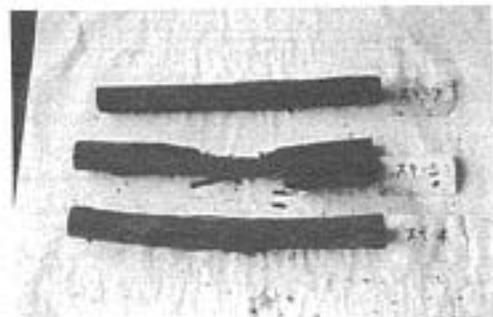


写真6(1)

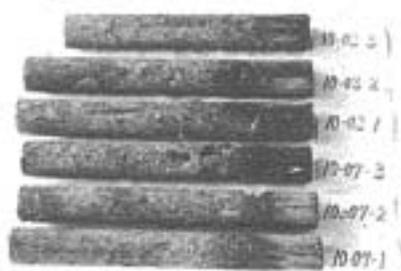


写真6(a)

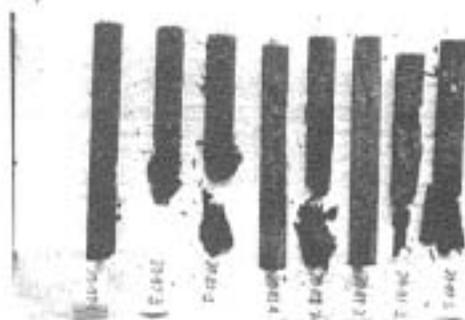


写真6(b)

写真6 第1試験地において14年経過した堀取杭の状況

- (1) ポリデン塩浸漬スギ丸太杭
- (2) 樹脂率10%群の杭
- (3) 樹脂率20%群の杭
- (4) 樹脂率30%群の杭
- (5) 樹脂率40%群の杭

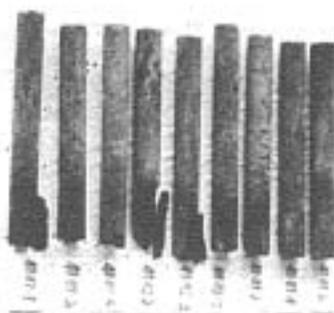


写真6(c)



写真7 人工杭(10-0.7-3)の4区分試験

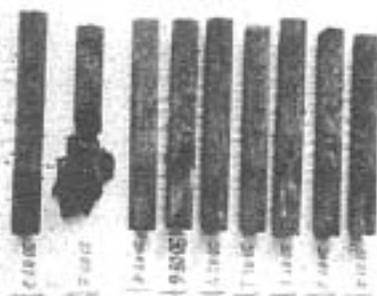
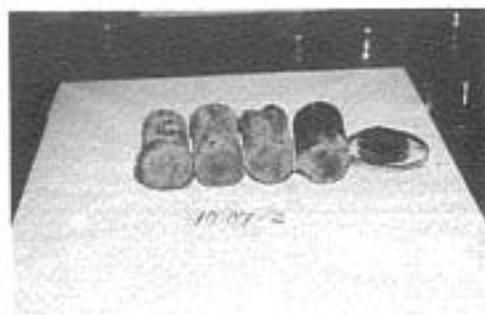


写真6(d)



片写真8 人工杭(10-0.7-3)4区分試験片の圧縮、破壊後の状況

## 文 献

- 1) 吉村 賢・奥野侃正・西本史樹・梶 和生：キャストスティックの耐朽性，三重大学学報 No.46, 75～91, 1974.
- 2) 園谷文彦：木材強弱論，東京，朝倉，p.117～123, 1947.

## Summary

An artificial stake, so-called "cast-stick", was made by molding a rotary veneer of lauau wood with phenolic resin. Conditions related to the manufacture of the most decay-resistant cast-stick were investigated by the laboratory decay test. In order to confirm results in the decay test, the field stake test was started in the spring of 1970 with 60 cast-sticks in three locations. According to the first three-year observation period, all sticks were in good condition and superior long service life could be expected.

Thereafter, the observation was continued to 1984 for a total of 14 years from the beginning. All sticks were taken out of the ground in the test field. Both irregular ends were cut from a stick about 45 cm long; then about 10 cm long lengths were cut successively. The crushing strength in compression, moisture content and density were determined for each of four cut portions in a stick. In case one part of a stick's four parts was missing because of decay, break down, etc., its strength was given 0. In case of any part having moisture content below the fiber saturation point of 28%, the compression strength was adjusted to one at wet condition. The compressing strength remaining in each of the four portions of a stick was shown in a graph to exhibit the degree of the deterioration of a whole stick. The representing strength of a stick was artificially calculated by simply averaging the strength of four parts of a stick. The specific gravity and the strength value at wet condition for the manufacturing term group (Resin content — Specific gravity) in each test field were determined by reaveraging those for each stick. The factors for making cast-sticks were evaluated by these values as the result of 14-year service. The following conclusions may be drawn.

1. The compressive crushing strength for the cast-stick is strongly related to its density. The reduction in density of the stick is a measure of the strength of a standing stick.
2. The service life for the cast-stick was proved to be over ten years, whereas the natural log stake in about same diameter stands for only 2-3 years for pine wood, and for 3-5 years for Sugi wood. The service life may be extended 2-3 years for Sugi round sticks by dipping in Boliden salt solution.
3. The anticipated service life resulting from the laboratory decay test was proved to be nearly correct by the testimony of the field test for 14 years: The most suitable manufacturing condition was the resin content 40% and the specific gravity 0.8 in the laboratory test; whereas the field test result showed that the resin contents of 20, 30, 40% did not much affect the service life, but the specific gravity of the sticks exhibited best in those of 0.9.