

- 3, p. 558~560
- 2) 篠田, 桜井, 他: 日本金属学会誌, 24 (1960) 10
645
- 3) INCO: Heat Treatment and Physical Properties of Cr-Ni Stainless Steels (1947), 61
- 4) ASTM: Spec. Tech. Pub. No. 124 (1952)
- 5) B. CINA: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 179
(1955), 230
- 6) E. EVANS: Proc. Electr. Furn., (1957), 93
- 7) H. HABERT, R. CAUGHEY: Metal Progress, 35
(1939), 469

古代鉄釘の冶金学的調査*

堀川 一男**・梅沢 義信***

Metallurgical Investigation into Ancient Iron Nails.

Kazuo HORIKAWA and Yoshinobu UMEZAWA

Synopsis:

Metallurgical investigation has been carried out on 28 specimens of ancient iron nails used in the famous old wooden buildings in Japan such as "Kondo" (sanctuary) of "Horyu-ji" temple, "Hoodo" (main hall) of "Byodo-in", three-storied pagoda of "Meitsu-ji", five-storied pagoda of "Daigo-ji" and "Haiden" (oratory) of "Otonashi" shrine. The age when these specimens were manufactured are presumed to lie in the years from 607 down to 1800 A.D. Results obtained are summarized as follows.

(1) In general Mn, S and Cu content in steel is very low and probably these ancient nails were manufactured from wrought iron which had been produced from sand iron.

(2) There are a few specimens with nearly the same content of Mn and S as those in steel used at present. Presumably they have been produced from iron ore, not from sand iron.

(3) Even in the same specimen, C content is remarkably different depending upon the position. Consequently, unevenness in hardness is also noticeable. From these facts it is presumed that these specimens were made by forging several pieces of crude iron which had contained respectively different C contents.

(4) The content of alloying elements are extremely slight therein but the content of iron slag is very high.

I. 緒 言

わが国の古代に製造された鉄鋼製品の冶金学的調査については、故依国一博士¹⁾が、刀剣類について詳細に研究され、その優れた製造技術について報告されているが、釘とか鋸など建築用の鉄金物については、西村博士²⁾が、法隆寺の五重塔と金堂の古代釘について調査されておられるほかには、遺在された貴重な文化財について研究しなければならないために試料の入手が容易でなく、ほとんど報告されていない。

東京国立文化財研究所では、その事業の一環として法隆寺をはじめ平等院、京都醍醐寺、明通寺などわが国の古い建築物に使用されていた鉄金物について調査を企画され、筆者らは、その冶金学的調査を同所の保存科学部から依頼を受けた。調査対象が得難い洵に貴重な試料であり、鉄鋼業に関係する者にとつて、歴史的にも、技術的にも極めて興味深い問題であるので、ここにその概要

を報告し、大方の御参考に供する次第である。

II. 調 査 試 料

今回調査した古代鉄釘は法隆寺金堂から採取したもの6点、平等院から採取したもの6点、福井県小浜市在の明通寺三重塔から採取したもの2点、京都醍醐寺五重塔から採取したもの6点、高知県須崎市在の鳴無神社拜殿から採取したもの4点、合計28点であつて、製造時期は西歴607年から1800年におよんでいる。各試料の外観形状をPhoto. 1に示した。

法隆寺金堂から採取した釘のH-1は創建当初(推古15年西歴607年)のもので、先端と頭部はグラインダーがかけられ原形を止めていないが、ほとんど腐食してお

* 昭和34年10月本会講演大会にて発表

** 日本鋼管株式会社技術研究所, 工博

*** 日本鋼管株式会社技術研究所

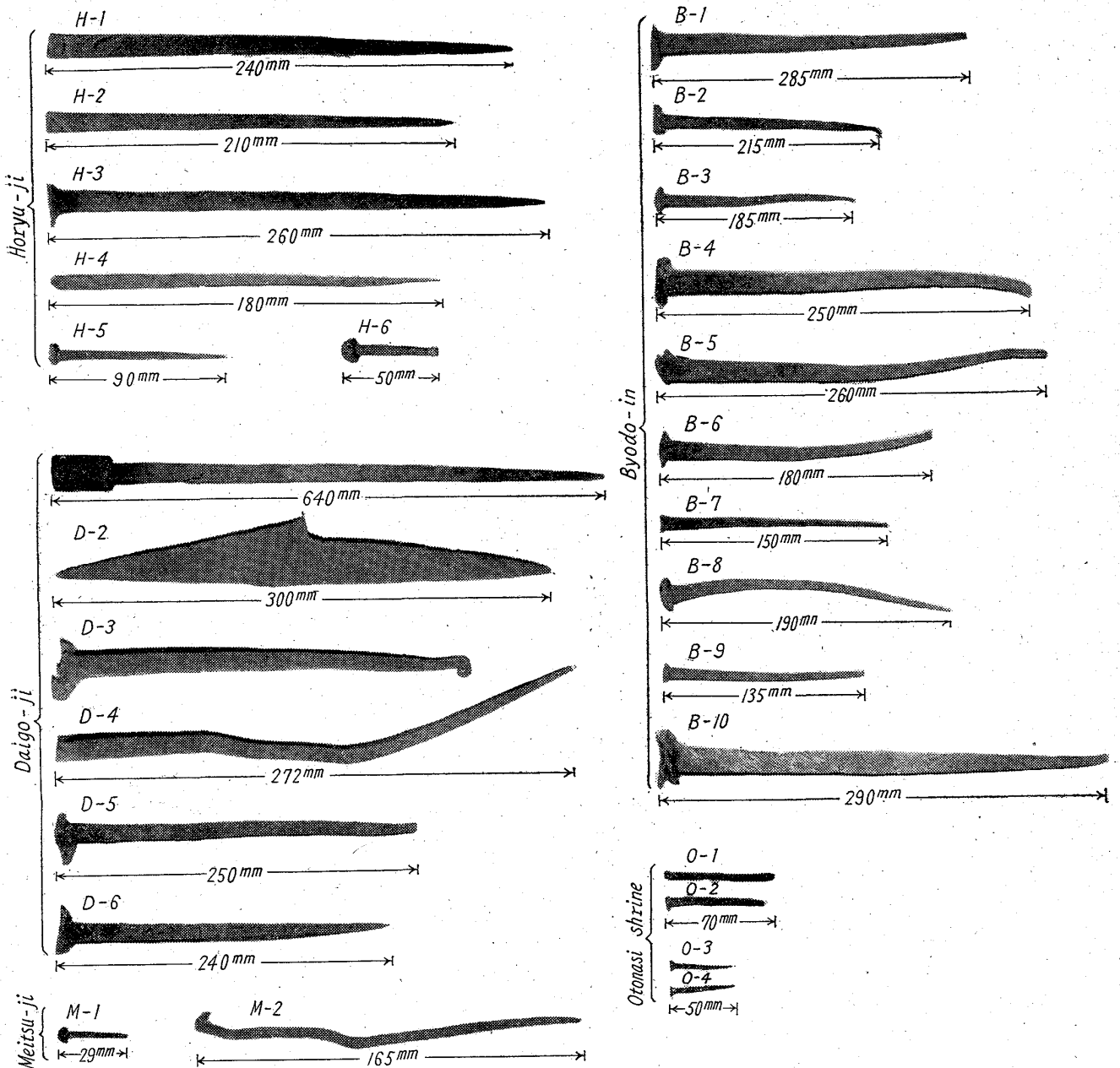


Photo. 1. Outside appearance of the ancient iron nails.

らず比較的太くて大形である。H-2 と H-3 は中世(弘安6年, 西歴 1283 年)のもので, H-2 の方は H-1 と同様に頭部と先端部にグラインダーをかけた形跡があるが, H-3 の頭部は原形を止めており, 頭部は扁平に叩き曲げて造られている様子がよく認められる。H-4 は近世(慶長8年, 西歴 1603 年)のもので, 頭部の造り方は H-3 と全く同様であるが, 中世のものに比較すると若干肉が薄い。H-5 と H-6 は江戸末期(元禄9年, 西歴 1694 年・宝永2年, 西歴 1705 年あるいは天保4年, 西歴 1833 年)に製造されたもので, 細く小型の釘であり腐食が進んでいる。H-6 の先端は分光分析を行なった際に溶けて膨んでいるが, 両者とも, 現在の釘, ま

たは, ねぢによく似た形をしている。

平等院鳳凰堂の釘, B-1~B-9 はいずれも天喜元年(西歴 1053 年)に造られた榿取付釘であるが, B-1~B-5 が太くて頑丈な感じのものであるのに対し, B-6~B-9 は細長く弱々しい感じがする。頭部の造り方は, いずれも一端を叩き延して曲げたものと思われる。B-10 は寛文 10 年(西歴 1670 年)に製造された榿釘であるが長さが 290mm もあり, 大きく, 太く頑丈な感じのものであった。

明通寺三重塔から取外した釘の M-1 と M-2 は室町時代の文安6年(西歴 1450 年)頃か, それより若干新しいもので, M-1 は一層勾欄架木榿金具止めの小さい

釘で、M-2 は細長くて弱々しい種取付釘である。

京都醍醐寺五重塔の D-1, D-2 は創建当初 (天歴 6 年, 西歴 953 年) のもので、D-1 は柱頭釘で、D-2 は扉合せ釘である。D-3~D-6 はいずれも明和時代 (西歴 1764~1772 年) に製造された種釘であつて胴部が大きくて先端部が細い。

鳴無神社拝殿の釘 O-1~O-4 は、いずれも寛文 3 年 (1663 年) に製造されたので、それぞれ長さが 75, 65, 55 および 50mm の四角い小さな種釘であつて、腐食がはなはだしく、丸釘のようになっていいる。これらも頭部は叩き曲げて成形してある。

III. 化学成分

各試料について分光分析と、試料の重量が小さくて分析不能のものを除いて化学分析を行なつた。化学分析結果は Table 1 の通りである。

C は 0.08~0.45% の範囲になつていいるが、後述するように同一試料内でも場所によつて含有量が異つていいるので、表中の値は大体の値を示すに過ぎない。

Si は、0.004~0.147% の範囲にバラつていいるが、

いずれの試料も後述するように極めて多量の鉄滓を含有してあり、同一試料内でも分析位置によつてかなりの差を示すので、これらの Si の値は鉄滓として存在するものと考えられる。

Mn は、H-4 の 0.23% を例外とすれば、ほとんど含有してない。古刀の研究¹⁾によれば砂鉄を原料とした場合、Mn は 0.04% 以下であると報告されていいるので、H-4 は砂鉄以外の原料が使われたものと考えられる。

P は、0.007~0.174% の広い範囲にバラつていおり、かなり高いものが認められた。

S は、H-4 の 0.063% と M-2 の 0.017% を除けば極めて低く 0.009% 以下であり、わが国の古代鉄鋼の特徴を示していいる。

Cu は二、三の例外を除けば 0.03% 以下であつて、極めて微量しか含有されていいない。

Ni は、0.07% 以下、Cr は H-4 の 0.025% を除けば 0.01% 以下で極めて少ない。

Ti は、かなりバラつていおり、最高は 0.17% に達するものがあるが、法隆寺金堂の釘には、ほとんど含ま

Table 1. Chemical composition and hardness of the specimen.

Building	Specimen No.	Age of manufacture	Chemical composition (%)												Non-metallic inclusions (%)	Hardness (Vickers)
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Ti	Al	N	O*		
Horyu-ji	H-1	607	0.10	0.004	tr.	0.033	0.004	0.008	0.008	tr.	<0.010	0.010	0.0035	0.014	1.72	104~169
	H-2	1283	0.09	0.013	//	0.027	0.003	tr.	0.014	//	0.010	0.005	0.0056	0.076	2.90	113~310
	H-3	//	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	106~180
	H-4	1603	0.25	0.008	0.23	0.018	0.063	0.062	0.016	0.025	<0.010	0.006	0.0058	0.009	0.34	142~199
	H-5	1696 or 1750 or 1833	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.86	131~317
	H-6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.75	117~140
Byodo-in	B-1	1053	0.35	0.039	0.01	0.030	0.003	0.007	0.010	0.008	tr.	0.006	0.0063	0.043	1.46	109~120
	B-2	//	0.42	0.091	0.01	0.037	0.003	0.007	0.043	0.008	0.075	0.018	—	—	1.64	111~212
	B-3	//	0.19	0.098	0.01	0.009	tr.	0.012	0.030	0.008	tr.	0.009	0.0048	0.147	0.91	110~171
	B-4	//	0.28	0.017	tr.	0.020	0.003	0.014	0.009	0.004	0.009	0.018	0.0040	0.210	1.45	120~169
	B-5	//	0.20	0.082	//	0.014	0.003	0.018	—	0.001	0.145	0.018	0.0057	0.220	1.77	125~310
	B-6	//	0.21	0.043	//	0.026	0.003	0.059	0.022	0.003	0.040	—	0.0055	0.230	1.40	105~177
	B-7	//	0.21	0.051	//	0.007	0.003	0.014	0.004	0.001	0.047	—	—	0.240	1.50	145~188
	B-8	//	0.20	0.054	//	0.074	0.004	0.019	0.004	0.004	0.171	—	0.0056	—	2.05	120~173
	B-9	//	0.45	0.023	//	0.027	0.002	0.011	—	0.002	0.059	—	—	—	0.80	145~204
	B-10	1670	0.30	0.036	//	0.030	0.002	0.018	0.007	0.009	0.044	0.003	0.0053	0.190	1.49	80~243
Meitsu-ji	M-1	1450~	0.08	0.123	0.01	0.049	—	0.010	—	—	—	—	—	—	—	130~161
	M-2	//	0.08	0.147	0.03	0.174	0.017	0.085	0.068	—	0.016	—	—	—	3.58	117~175
Daigo-ji	D-1	953	0.24	0.050	tr.	0.013	0.009	tr.	tr.	tr.	tr.	—	—	—	—	—
	D-2	//	0.26	0.070	//	0.019	0.001	0.020	//	//	0.090	—	—	—	—	—
	D-3	1764~1772	0.37	0.050	//	0.012	0.004	0.030	0.020	//	0.040	—	—	—	—	—
	D-4	//	0.20	0.030	//	0.012	0.006	0.010	tr.	//	0.040	—	—	—	—	—
	D-5	//	0.16	0.006	//	0.038	0.001	0.029	0.016	0.002	0.025	—	0.0039	0.012	1.54	—
	D-6	//	0.45	0.046	//	0.059	0.003	—	0.001	0.003	0.061	—	0.0049	—	1.63	110~263

* Vacuum-fusion method. ** JIS point-counting method.

れていない。

Al は、 $0.003 \sim 0.018\%$ の範囲であるが、固溶しているのではなく介在物として存在しているものである。

N は、 $0.0035 \sim 0.0063\%$ で平炉鋼並であるが、O は一般に著しく高い。O も鋼滓として存在しているものである。なお、分光分析の結果によれば、B-4~B-10 に微量の Ag の存在が認められた。Mg も試料によつては極く微量の存在が認められたが、同一試料内でも場所によつて濃度が異なるので酸化物として介在しているものと考えられる。

As, Ca, Co, Mo, Pb, Sn, V, Zn などについては、その痕跡も認められなかつた。

以上を総括すると、介在物は極めて多いが、固溶元素の点では非常に純粋な炭素鋼であるといえる。H-4 など一、二の例外を除けば日本刀などと同じ様に砂鉄を原料とした錬鉄から製造されたものと推定できる。

IV. 硫黄印画

古代釘の一部について sulphur print 試料を試みた。S を 0.063% 含有する H-4 には明らかに S の偏析が認められたが、その他の試料では元来 S が低いために、sulphur print には像が認められなかつた。ただ、H-6 については頭部が内質部と外周部に分れ、内質部に S を多く含有している模様が認められた。これは頭部を成形する場合に幹の一端を叩き延し捲込んで造つたことを裏書きしている。

V. 顕微鏡組織

古代釘の特徴は現在の釘と異なり、同一試料内でも顕微鏡組織に著しいムラのあることである。例えば H-3 の試料を一端から他端まで顕微鏡で調査すると、Photo. 2 に示す通りであつて、明らかに C 含有量を異

にする数個の粗鉄を鍛着して製造されていることが判る。そこで日本刀の場合のように C 含有量の分布に特別な考慮が払われているかどうかを確認するために、各試料について C 含有量の分布状態を詳細に調査した。C の含有量を便宜上、Photo. 3 に示す要領で区分して図示することとした。調査結果は Fig. 1 のとおりである。

法隆寺金堂の釘について述べると、創建当初の H-1 は極軟鋼が主体であるが、C の高い二、三の鋼が合わさり、一部粗大なフェライト組織も存在している。熱処理試験の結果、この粗大粒子は鍛造時の残留歪と繰返し加熱によつて生成したものであることが判明した。純度の高いことも粗大化を助長した一因と考えられる。

中世の H-2 も大体 H-1 と同様な状況で、粗大化フェライトも認められる。H-3 は高炭素の芯部を低炭素の鋼が取囲んでいるが、同じ中世の H-2 にその傾向が認められないので故意に芯部と周囲あるいは頭部と先端部の C 量を日本刀のように調節していたとは考えられずむしろ偶然にこの様になつたものと思われる。

近世の釘については、H-5 は組織のムラが多いが H-6 にはムラが少ない。ムラは少ないが縦方向に合せ目の存在することから推察して二種以上の粗鋼を鍛着していることは明らかである。

平等院鳳凰堂の釘も図から判るように、法隆寺の釘と同じように C 含有量を異にする数種の鋼を鍛着して製造されている。

Photo. 2. Microscopic structure of the cross section of H-3 specimen etched 5% Nital $\times 100$ (1/2)

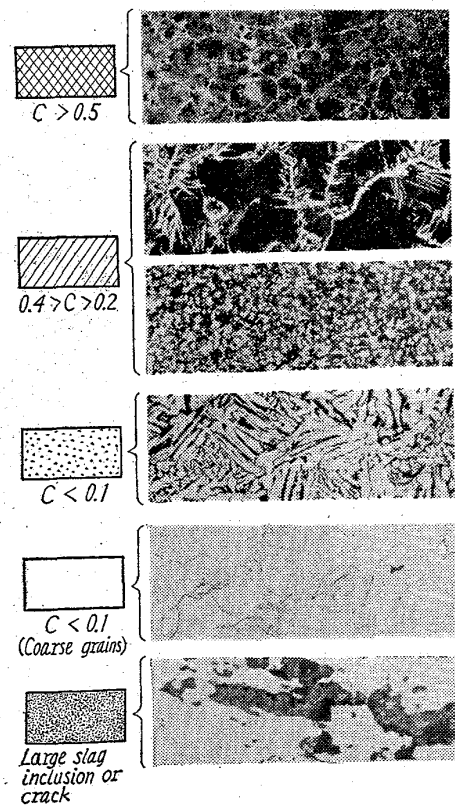
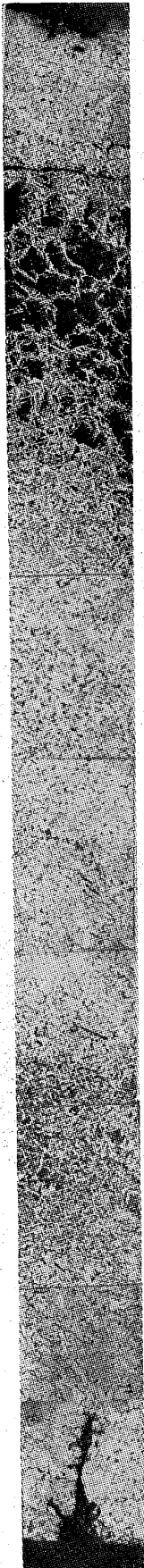


Photo. 3. Diagrammatical expression of the carbon content.

鳴無神社拝殿の釘は比較的小型のためか全体が一様な低炭素の組織であるが、O-2は明らかにC量の異なる部分が縞状に存在している。醍醐寺の釘も法隆寺や平等院の釘と同様C量の異なる数種の粗鉄を鍛着して造られた組織を示している。

Photo. 4 に代表的な組織を示した。

VI. 非金属介在物

古代釘の特徴の一つは、非常に多量の非金属介在物を含有していることである。非金属介在物は鍛伸方向に配列しており、その流れ工合から頭部が軸の一端を扁平に叩き延して曲げることにより成形されている様子がよく

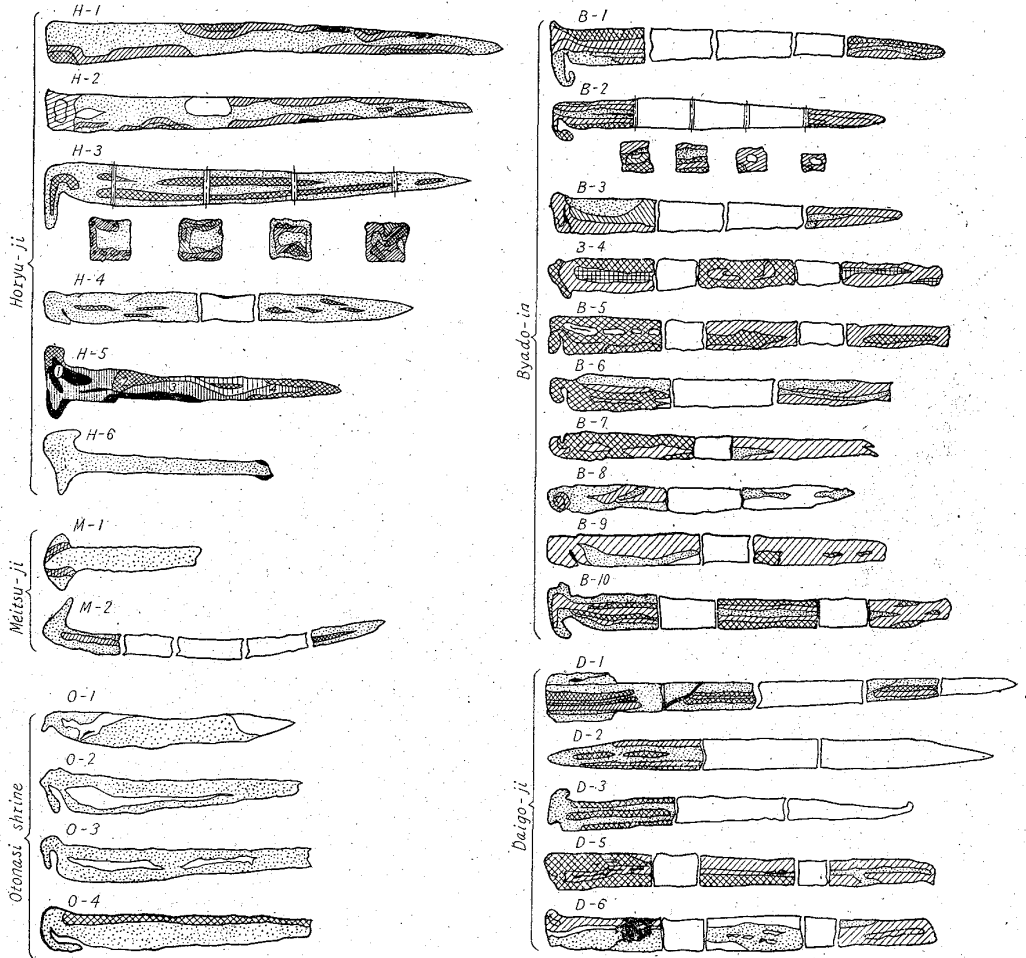


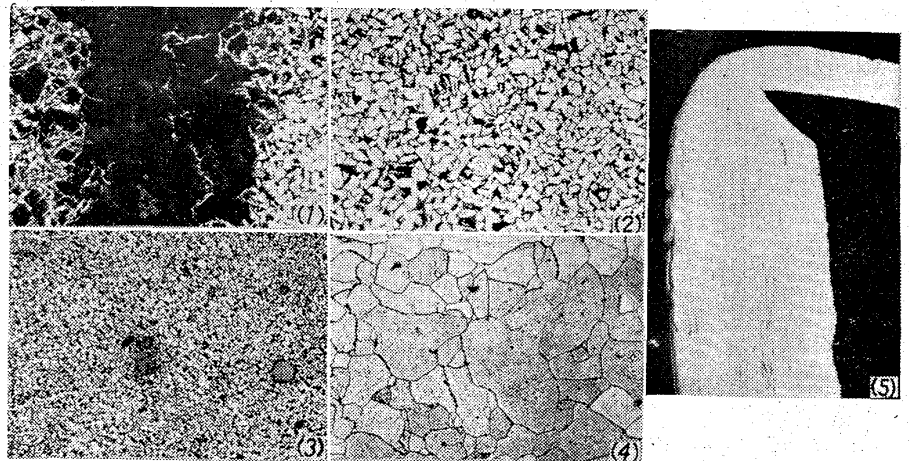
Fig. 1. Carbon distribution on longitudinal and cross sections of the specimens.

判る。(Photo. 4(5) 参照)

法隆寺の釘について述べると、H-1とH-3には大型のいわゆる鉄滓が存在しており、細かく観察すると低炭素の部分と鍛着線付近に比較的多く集っている。H-4は硫化物が主体で分布は均斉であり、他の試料と趣を異にしており原料の異なることが推察される。H-5は形の小さい鉄滓と一部硫化物の存在が認められ、H-6は伸び方の少ない粗大な鉄滓が存在している。

平等院の釘も明通寺の釘も多量の大型の鉄滓が含有されている。鉄滓の顕微鏡組織は Photo. 5 に示す通りであるが、二、三の試料について温硝酸法によつて分析した結果は Table 2 の通りであった。

また、JIS の point-counting 法によつて面積率を求めた結果は、Table 1 のとおりであつて 0.34~3.58% を示し現用鋼に比較すると著しく高い値を示している。



(1)(2)(3)(4).....Etched 5% Nital $\times 100$ (1/2)
(5).....No etched $\times 2.5$ (1/2)

Photo. 4. Microscope structure of H-3 specimen.

VII. 硬 さ

試料が小さいので機械的性質としては硬さだけを試験した。Fig. 2 に示すように同一試料内でも組織のムラがあるので硬さにも当然ムラがあり、同じような組織の場

合でも胴部に比較して先端部は高くなっている。各試料について測定した硬さの範囲を Table 1 に示した。

VIII. オーステナイト粒度

法隆寺金堂の釘について滲炭法により、オーステナイト結晶粒を顕出した結果は Photo. 6 に示す通りであつて、低炭素の部分はいわゆる異状組織を呈し、比較的高炭素の部分

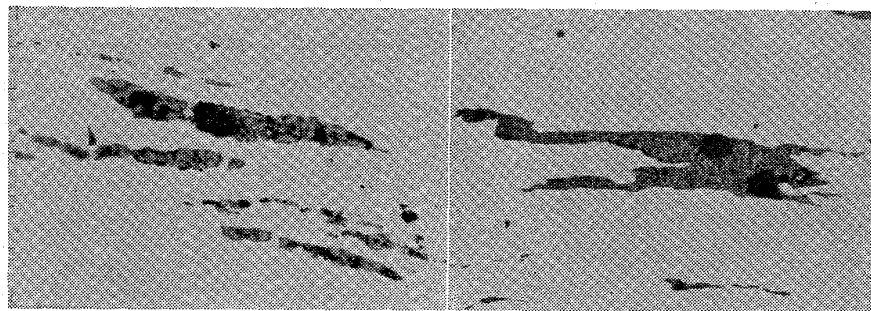


Photo. 5. Typical micrograph of nonmetallic inclusions in the specimen. ×100 (2/3)

Table 2. Results of chemical analysis of nonmetallic inclusions in the specimen. (Hot nitric-acid method)

Specimen No.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	TiO ₂	Total
H-1	0.059	0.014	0.003	tr.	0.001	0.077
B-1	0.027	0.005	0.015	//	—	0.047
B-4	0.025	0.009	0.047	//	0.026	0.125
B-5	0.081	0.019	0.046	//	0.018	0.202
B-10	0.030	0.006	0.049	//	0.006	0.094

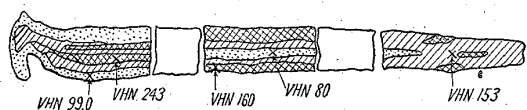
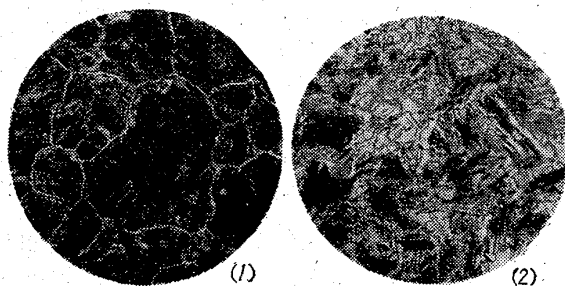


Fig. 2. Results of typical hardness test with the specimen.



(1) High carbon part. (2) Low carbon part.

Photo. 6. Typical carburized structures of the specimen etched 5% Nital. ×100 (1/2)

は JIS の粒度番号で No. 1~No. 3 を示していた。

IX. 結 言

西暦 607 年から 1800 年にいたる間に製造された、わが国の古代釘 28 本について冶金学的な調査を行なった結果、次のような事項が判つた。

(1) 一般に Mn, S, Cu が非常に低く、砂鉄から造つた鍊鉄を原料としている。

(2) Mn, S などが高く砂鉄以外の鉄鉱石から造つた鍊鉄を原料としたと思われるものもあつた。

(3) 数個の粗鉄を鍛着して一本物としているので、組織および硬さのムラが著しい。

(4) 固溶元素が極く微量の純粋な炭素鋼であるが、鉄滓の含有量は著しく多い。

なお、製造年代との関連については別報で詳しく述べるが、1300年頃までのものと1500年以降のものは不純物の含有量、組織の状況などから大体の区別はつくが、細かい相関々係については、さらに多くの試料について調査しその結果から統計的に判断を下すべきものと考えらる。

終りに本研究を依頼され、種々指導された文化財研究所、保存科学部の江本技官に御礼申上げる。

(昭和 36 年 8 月寄稿)

文 献

- 1) 俵 国一: 日本刀の科学的研究 (1953) 丸善
- 2) 西村秀雄: 金属, 24 (1954) 6, p. 456
- 西村, 青木: 昭和30年4月, 日本鉄鋼協会第49回講演大会にて発表

正 誤 表

(第 47 年 第 14 号)

誤

1876 ページ 上から 12 行目

の鉄滓は固体 SiO₂ と

正

の鉄滓は固体 2 CaO·SiO₂ と