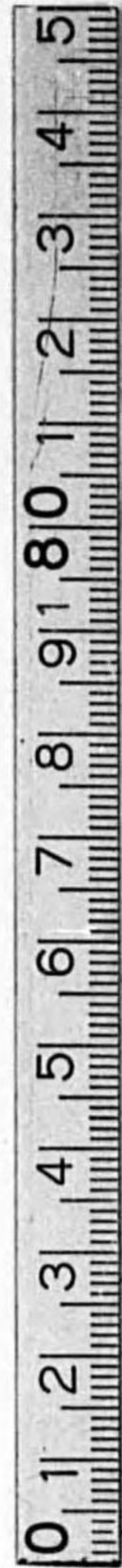




始



製鐵所研究所

研究報告

Vol. X No. 2

軌條横裂の研究

製鐵所技師 小平 勇

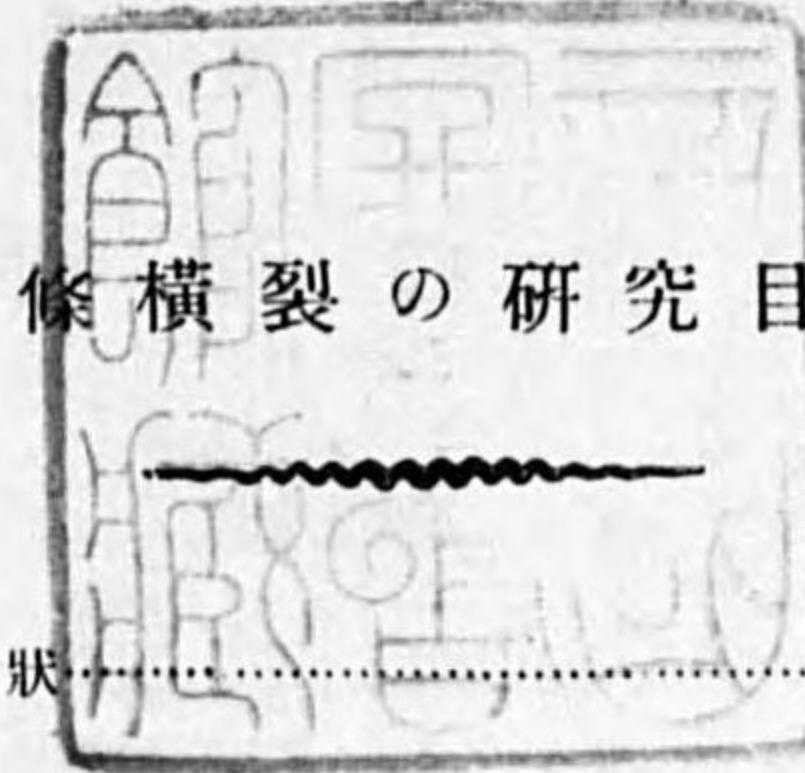
(代
謄
寫)

昭和五年四月

製鐵所

福岡縣八幡市

軌條横裂の研究目次



1. 破損面の形状.....	1
2. 現場に於ける各種統計.....	2
3. 実験の方法.....	4
4. 實 例.....	5
5. 材 質.....	9
6. 硬 度.....	10
7. 歪 線.....	10
8. 横裂の機構.....	14
9. 結 論.....	14

發行所寄贈本



14.5-131



軌條横裂の研究

製鐵所技師 小 平 勇

概要。 軌條横裂は一般に材料の疲勞破壊に依ることが多いが、軌條製造者側の立場として、特に材質方面より即ち原料鋼塊内部の種々なる材質缺陷と如何なる關係にあるかを研究した、その結果貝殻破面痕の出発點と考ふべき中核は、その大部分鋼塊の外殼と内質との境界部に位置しこの組織帯に點在する氣泡、硫化物等の偏析及び微滓が、疲勞と相俟ちて有力なる誘因をなすものであることを確めた。

1. 破損面の形状

昭和2年12月29日より全4年12月31日に至る約2年間に亘りて、鐵道省より製鐵所軌條委員會に提出せる破損軌條は、總數144本にして、首切れ挫潰、打痕、破端等の種類を除き貝殻狀破面を呈する所謂横裂に屬するもの46本を選別した。次いで破損面の形状によりて次の二種に分類した、即ち

- I. 規則正しき貝殻狀の破面を呈しその中核より漸進的に破斷せる單純型
 - II. 中核附近に水平裂或は縦裂を伴ひ破面の錯雜なれる複合型
- 更らにその内譯を製造國別に示せば次の通りである。

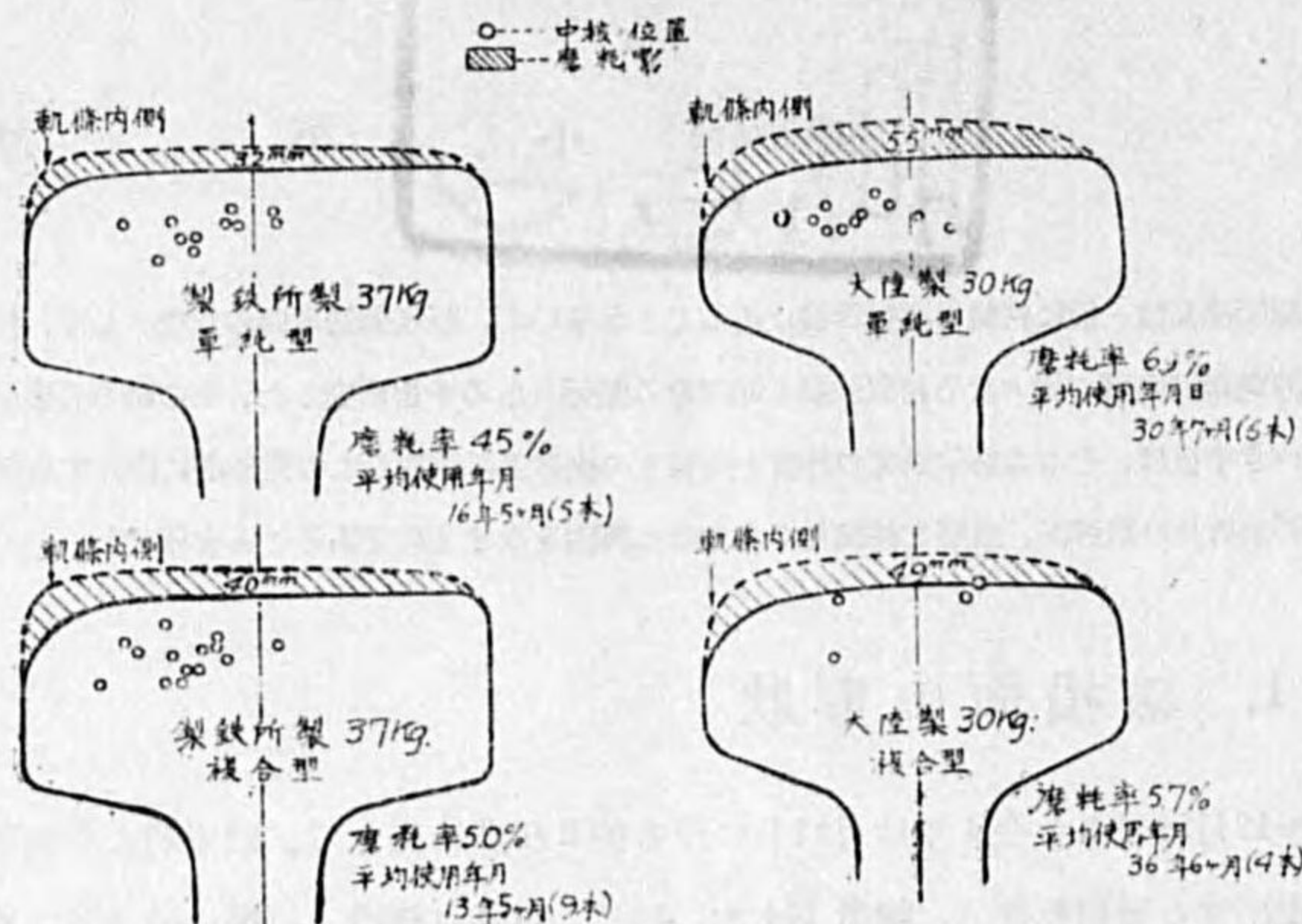
種 類	製 鐵 所 製	歐 大 陸 製	米 國 製
單 純 型	11	12	1
複 合 型	14	3	2
合 計	25	15	3

(現品未到着3本あり)

即ち歐大陸製は殆んど單純型に、製鐵所製は單純及複合の兩型に屬し、兩型の割合は略半々になつてゐる。製鐵所製には複合型の中でも水平裂を伴ふもの多く屢々軌條側面まで疵が現れ、恰も壓延作業中に見る所の卷込み疵の如き形状を見る、詳細は第一表参照せられたし。

次に中核の位置の問題であるが、大部分は磨耗後の頭部面より測つて5耗乃至10耗の深さにあり、又中心線より稍々軌條内側の方にかたよつてゐるのを通例とする。

第一圖 貝殻の中核位置及磨耗との関係(現尺)



第一圖は製鐵所製及大陸製に區分してその關係を示したものであつて、尙磨耗割合との關係を附記してある。全圖によれば頭部面の磨耗の深さ或は軌條断面から求めた磨耗率は大陸製のは製鐵所製よりも大であつて見掛上横裂毀損に至る耐久性大であるかの如く見えるが、これは敷設場所の影響であつて製鐵所製の大部分は東海道線の如き列車通過の頻繁であり、大型機關車を運轉する區域にあるが大陸製のは寧ろ閑散な地方線にあつた關係である。

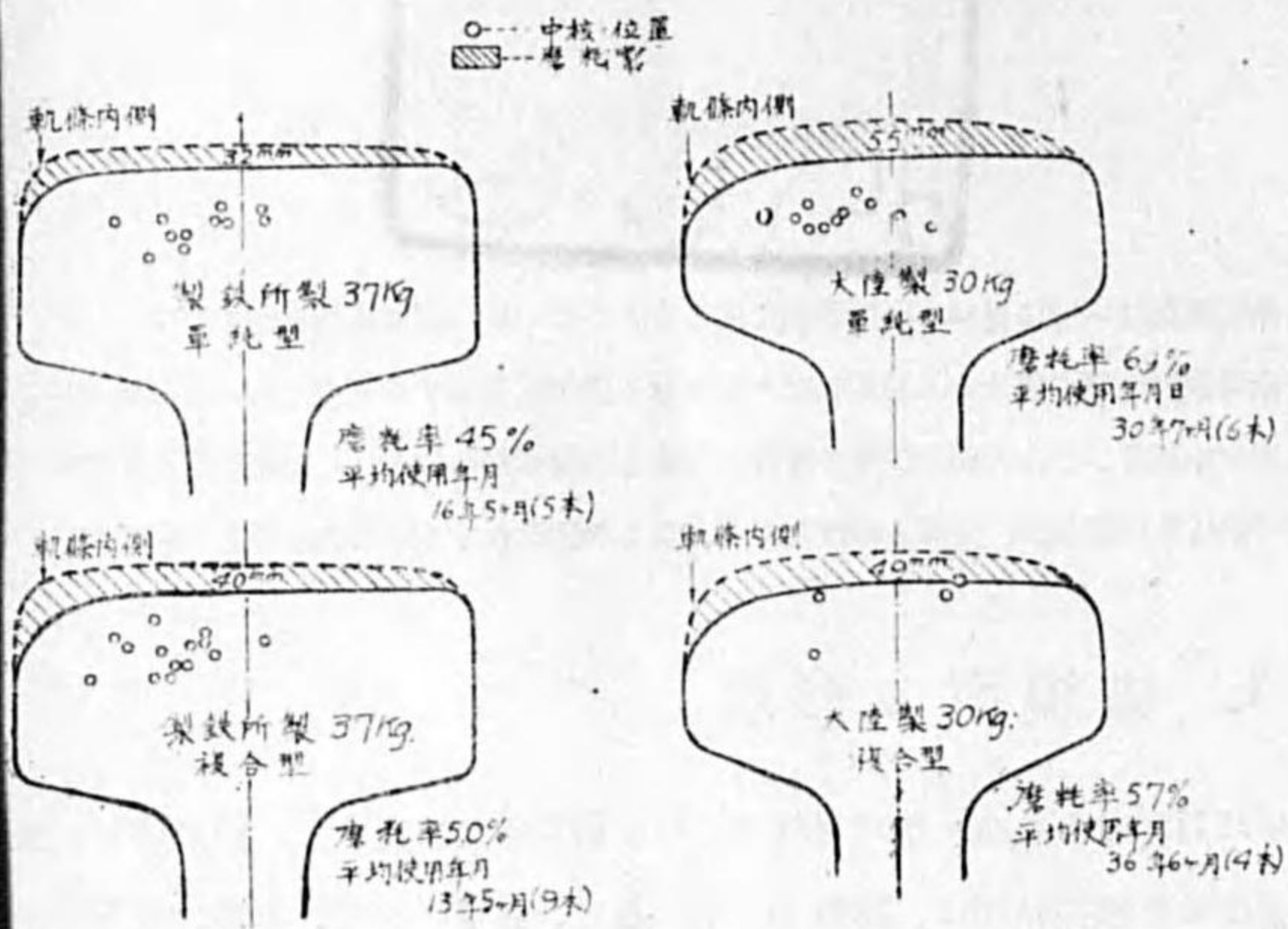
尙貝殻狀に發達せる部分の面積の大小であるが、これも統計上から調べて見るに、中核の位置が中心線に近きもの程増大し中心線上或は軌條内側と反對の側にある場合には頭部全面に肥大してゐる、又深さとの關係も中核が深部にある程面積が増大する傾向がある。然るに磨耗によりて頭部面の傾斜の甚しきもの、例へば曲線の場所に敷設せられたものはこの中核は軌條内側に一層かたよつて貝殻破面の面積は割合に小である。又實例としては極めて少いが中核が頭部面に接近して發生する場合も亦小である。

2. 現場に於ける各種統計

各保線區提出の現場報告に基いて製鐵所製及大陸製別に各種の統計を調べて見た。

" 9	Union 30	"	信 越-長 野	40 ?
" 13	" "	"	水 戸-小 山	39.10
" 18	大陸製 "	"	北 陸-敦 賀 (盛道内)	7.3 ?
X. 3	Cammell 30	"	信 越-長 野	40
" 7	" "	"	東 北-盛 岡	19.9
" 8	大陸製 "	"	水 戸-下 館	不明
Y. 2	" "	"	山 陰-米 子	不明
Z. 2	" "	"	信 越-直江津	不明
S. 17	◎ 30	水平裂が軌條内側に 現はれ巻込損をなす	山 陰-福知山	3.3 (再用?)
" 29	▲ " 37	"	東海道-御殿場	19.4
" 42	" "	"	東海道-蒲 田	15. ?
X. 2	" "	"	東海道-豊 橋	7.5
A. 3	D.K. "	"	" "	8.2
S. 25	◎ "	内 部 水 平 裂	" -大 阪	15
" 37	" "	"	" "	14
" 38	" "	"	" "	14
X. 1	" "	"	" -豊 橋	7.5
" 10	米國製 37	"	" -大 阪	6.6
B. 15	▲ Cammell 30	"	信 越-長 野	40.7
S. 48	◎ 37	内 部 縦 損	東海道-大 阪	15.10
" 56	" "	内 部 縦 損、水 平 損、無 數 あり	" "	不明
X. 12	" "	内 部 縦 損	" -大 阪	不明
B. 3	Barrw 30	頭部面に引裂割あり 水平裂を伴ふ	北 陸-福 井	31.3
" 11	" "	頭部面の引裂割	山 陰-福知山	28.11
A. 1	▲ 大陸製 30	頭部面の引裂割 水平裂を伴ふ	北 陸-金 澤	29.9
S. 41	◎ 37	破面は二段噴塗 損をなす	東海道-御殿場	18.8
" 4	" "	水 平 及 縦 裂 二 段 の 噴塗貝殻損を生ず	" -大 阪 (急行線)	18.
X. 9	▲ "	内 部 水 平 裂 二 箇 所 接 近して貝殻裂を生ず	" -靜 岡	不明

第一圖 貝殻の中核位置及磨耗との関係(現尺)



は製鐵所製及大陸製に區分してその關係を示したものであつて、尙磨耗割合との記してある。全圖によれば頭部面の磨耗の深さ或は軌條断面から求めた 磨耗率のものは製鐵所製よりも大であつて見掛上横裂毀損に至る耐久性大であるかの如いが、これは敷設場所の影響であつて製鐵所製の大部分は東海道線の如き列車通過あり、大型機關車を運轉する區域にあるが大陸製のものは寧ろ閑散な地方線にある。

狀に發達せる部分の面積の大小であるが、これも統計上から調べて見るに、中核中心線に近きもの程増大し中心線上或は軌條内側と反對の側にある場合には頭部大してゐる、又深さとの關係も中核が深部にある程面積が増大する傾向がある。耗により頭部面の傾斜の甚しきもの、例へば曲線の場所に敷設せられたものは軌條内側に一層かたよつて貝殻破面の面積は割合に小である。又實例としては中核が頭部面に接近して發生する場合も亦小である。

2. 現場に於ける各種統計

區提出の現場報告に基いて製鐵所製及大陸製別に各種の統計を調べて見た。

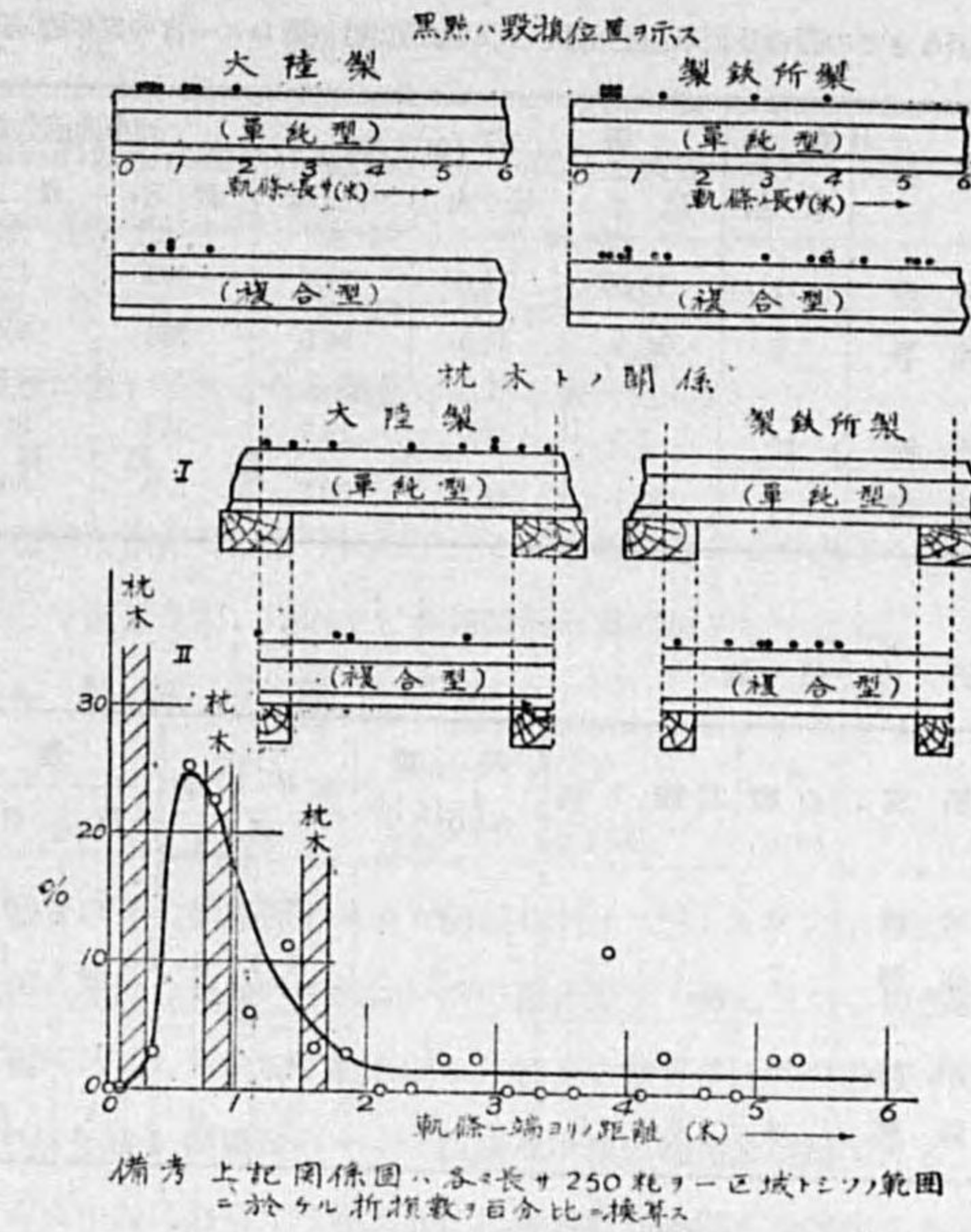
第一表 横裂軌條一覽表

(▲ 第四項實例參照)

研究 番號	軌條製造 所及寸法	破 斷 形 狀	敷 設 場 所 線 名~保線區	壽 命 (年月)	化 學 成 分						偏折 程度	備 考
					C	Si	Mn	P	S	Cu		
S. 1	◎ 37	普 通 裂	東海道一 裾 野	18	0.28	0.075	0.55	0.127	0.028	0.28	I	
" 6	" "	"	東海道一 京 都	12?	0.43	0.130	0.84	0.106	0.038	0.17	"	
" 15	" "	"	" 一 岐 阜	20?	0.25	0.148	0.43	0.114	0.031	0.24	II	
" 20	" "	"	" 一 大 阪	14	0.49	0.235	0.98	0.101	0.039	0.19	I	脚部にリベット 穴あり
" 21	" "	"	" 一 大 阪 (急行線)	18.4	0.18	0.134	0.72	0.133	0.060	0.30	"	
" 49	" "	"	" 一 京 都	15.6	0.43	0.099	0.80	0.101	0.034	0.19	"	
" 54	" "	"	" 一 大 阪	11	0.35	0.120	0.97	0.131	0.036	0.19	"	脚部にリベット 穴あり
" 57	" 30	"	筑 豊一 直 方	16.6	0.36	0.121	0.93	0.130	0.030	0.16	"	
X. 4	" 37	"	東海道一 東 京	不 明	0.30	0.122	0.85	0.129	0.028	0.20	II	
" 5	" "	"	" 一 國 府 津	不 明	0.16	0.087	0.55	0.133	0.032	0.30	"	
" 11	" "	"	" 一 東 京	13.10	0.41	0.183	1.00	0.094	0.041	0.25	I	
A. 8	Colorado 37	"	山 陽一 姫 路	13.7	0.73	0.055	0.87	0.042	0.030	0.12	"	
B. 5	Union 30	"	東 北一 福 島	41.5	0.21	0.010	0.28	0.084	0.093	0.19	"	
" 6	" "	"	兩 毛一 東 京	39.2	0.16	0.015	0.38	0.163	0.113	0.20	"	
" 8	Cammell 30	"	東 北一 盛 岡	40	0.49	0.199	1.31	0.064	0.051	0.01	"	
" 9	Union 30	"	信 越一 長 野	40?	0.28	0.012	0.50	0.132	0.094	0.21	"	
" 13	" "	"	水 戸一 小 山	39.10	0.13	0.008	0.41	0.134	0.091	0.25	"	
" 18	大陸製 "	"	北 陸一 敦 賀 (盛道内)	7.3?	0.20	0.016	0.49	0.090	0.085	0.18	II	620mmを隔て、全 様の横裂を生ず
X. 3	Cammell 30	"	信 越一 長 野	40	0.20	0.012	0.48	0.173	0.084	0.21	I	
" 7	" "	"	東 北一 盛 岡	19.9	0.41	0.072	1.09	0.052	0.070	0.024	"	偏折程度分類
" 8	大陸製 "	"	水 戸一 下 館	不 明	0.18	0.013	0.40	0.147	0.094	0.21	"	
Y. 2	" "	"	山 陰一 米 子	不 明	0.31	0.016	6.30	0.153	0.100	0.21	"	
Z. 2	" "	"	信 越一 直 江 津	不 明	0.32	0.015	0.62	0.184	0.063	0.24	"	
S. 17	◎ 30	水平裂が軌條内側に 現はれ巻込損をなす	山 陰一 福 知 山 (再用?)	3.3	0.25	0.038	0.40	0.117	0.013	0.24	I	
" 29	" 37	"	東海道一 御 殿 場	19.4	0.25	0.056	0.79	0.122	0.047	0.24	"	
" 42	" "	"	東海道一 蒲 田	15.?	0.31	0.064	0.63	0.132	0.023	0.18	"	
X. 2	" "	"	東海道一 豊 橋	7.5	0.21	0.026	0.57	0.116	0.013	0.21	II	
A. 3	D.K. "	"	" "	8.2	0.55	0.347	0.65	0.103	0.037	0.02	"	
S. 25	◎ "	内 部 水 平 裂	" 一 大 阪	15	0.42	0.139	0.91	0.108	0.044	0.23	III	
" 37	" "	"	" "	14	0.56	0.185	0.85	0.189	0.057	0.24	I	
" 38	" "	"	" "	14	0.34	0.220	0.79	0.122	0.047	0.24	"	
X. 1	" "	"	" 一 豊 橋	7.5	0.28	0.054	0.88	0.131	0.018	0.27	II	
" 10	米國製 37	"	" 一 大 阪	6.6	0.45	0.042	0.92	0.059	0.024	0.06	III	
B. 15	▲ Cammell 30	"	信 越一 長 野	40.7	0.38	0.114	1.19	0.065	0.065	0.017	I	
S. 48	◎ 37	内 部 縦 損 内部縦損、水平 損、無数あり	東海道一 大 阪	15.10	0.46	0.281	1.20	0.109	0.039	0.20	"	
" 56	" "	"	" "	不 明	0.41	0.194	0.95	0.106	0.036	0.18	"	
X. 12	" "	内 部 縦 損	" 一 大 阪	不 明	0.34	0.164	0.82	0.112	0.047	0.26	"	
B. 3	Barrow 30	頭部面に引裂割 あり水平裂を伴ふ	北 陸一 福 井	31.3	0.40	0.037	0.89	0.057	0.151	0.01	II	
" 11	" "	頭部面の引裂割	山 陰一 福 知 山	28.11	0.47	0.168	1.40	0.073	0.144	0.02	"	
A. 1	▲ 大陸製 30	頭部面の引裂割 水平裂を伴ふ	北 陸一 金 澤	29.9	0.29	0.052	0.64	0.106	0.019	0.02	IV	
S. 41	◎ 37	破面は二段喰違 損をなす	東海道一 御 殿 場	18.8	0.19	0.052	0.61	0.108	0.020	0.32	II	
" 4	" "	水平及縦裂二段の 喰違貝殻損を生ず	" 一 大 阪 (急行線)	18.	0.27	0.085	0.75	0.125	0.024	0.33	"	
X. 9	" "	内部水平裂二箇所接 近して貝殻損を生ず	" 一 静 岡	不 明	0.40	0.076	0.63	0.085	0.018	0.36	"	



第二圖 折損の位置及枕木との関係



第二圖は軌條折損の位置及び枕木との関係を、又第二表に敷設後折損に至る期間の列車通過回数及び線路の状況に關する統計を示した。

列車通過回数の計算は軌條の壽命ニ一日の運轉回数の相乘積である、軌條疲勞の關係を知るには勿論この外に使用期間中の牽引車輛、或は通過屯數、機關車の大きさ、列車の速度等の條件を寧ろ考慮すべきであるが不明な點が多いので是等の關係を示すことは困難である。

前述の結果を纏むれば大凡次の様な事實が知られる。

イ、折損の位置 軌條末端より0.5~1.0米の間に最も多い。

ロ、枕木との關係 製鐵所製のものは殆んき枕木の中間で折損してゐる、大陸製でも大

第二表 現場に於ける統計

I 單純型横裂軌條 II 複合型横裂軌條

1. 破損に至るまでの壽命及列車通過回數 (列車通過回數=壽命×一日の列車通過回數)

破損型	製造所別	資料本數	壽命 (年、月)			列車通過回數 (10 ³)		
			最小	最大	平均	最小	最大	平均
I	製鐵所製	7	11.0	18.0	14.4	249	418	349
	歐大陸製	5	19.9	41.5	36.0	253	556	436
II	製鐵所製	10	7.5	19.4	14.7	114	501	338
	歐大陸製	3	28.1	40.7	33.7	525	653	604

2. 破損の位置

破損型	製造所別	直線	曲線	不明	勾配 (1/100以上)	水平	不明	地盤			
								良	否	普通	不明
I	製鐵所製	9	1	3	2	8	2	7	1	1	3
	歐大陸製	7	1	3	5	3	3	4	1	2	4
II	製鐵所製	10	3	3	4	9	3	11	2	0	3
	歐大陸製	4	0	0	1	3	0	4	0	0	0

体この傾向があるが必ずしも中間に限つてゐない。

ハ、列車通過回數 30萬乃至50萬程度である。

上述の諸統計成績は嘗て鐵道省にて調査せる結果と全く大同小異であつて、何の特筆すべき點を認めない。

3. 實驗の方法

先づ貝殻破損面に接近せる平行断面に就いて檢鏡組織、サルファープリント、硬度及びマクロ組織の順序にて檢定し一方には化學分析を行ひ、以て製鋼の種別、材質の良否、疵の程度、偏析の分布状態、貝殻の中核との關係及び硬化の影響等を實驗した、更に必要に応じてその他の任意の断面に就いても全様の實驗を繰返した、尙炭素の低いものに就い

てはフリー氏液腐蝕試験を試み軌條内部の歪曲線の分布状態をも知るこゝが出来た。

4. 實例

貝殻破損面の形状別に従ひ代表資料として次の七種類に就いて實驗の経過を述べる。

I 單純型 S. 15 B. 18

II 複合型 S. 29 S. 56 B. 15 X. 9 A. 1

尙其等の履歴に就いてはこれを總括して第三表に示した。

I 單純型

貝殻裂の典型的に發達せるものにして、その中核には多くの例として凹凸の喰違疵ありこれを中心として頭部全面に規則正しき貝殻状の破面を呈してゐる。

A. 製鐵所製 S. 15

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.25	0.148	0.43	0.114	0.031	0.24

破損面の外觀及び平行横断面のマクロ組織を夫々 A1, A2 に示した、是等の寫眞の對照によつて破面に現れた貝殻の中核は一つの偏析點に一致し且つこの偏析點は稍々軌條内側にかたより偏析の甚しき内質と然らざる外殻との境界部近くに存在するこゝを知る、A3, A4 は中核を通る縦断面のマクロ組織及中核の顯微鏡組織である、尙該断面各部を精細に檢鏡するに中核に該當する偏析部には壓着せざる氣泡及密集する不純物あり、これに附隨して小龜裂を認む、この現象は單純型の全部及複合型の大部分に共通の事實にして詳細の説明はBの例に譲る、尙頭部面は深さ約 1.0 耗迄加工硬化の影響により纖維組織に變質してゐる。

B. 大陸製 B. 18

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.20	0.016	0.49	0.090	0.085	0.18

破断面の形状を B1 に示した。該資料は隧道内急勾配曲線にして地盤軟弱の爲め特に縦枕木に「タイプレート」を使用して敷設せられたものであつて同一軌條に相接近して二ヶ所に横裂を生じたものである、B2 及び B3 は B1 に示した破損面に對する平行横断面のサルファープリント及びマクロプリントである、又 B5 は中核を通る縦断面のマクロ

第三表 橫裂軌條實例の履歴 (尚第一表ヲ参照セラレタシ)

試番	科号	軌條製造所	軌條種別 (註)	敷設保線區	毀損形状	最大重量 (噸)	運轉日數	使用期間 (年、月)	全運轉日數 (105)	敷設位置 (米)	毀損位置 (米)	備考
A(S.5)		⑤	37	東海道線 岐阜		—	—	—	—	直線	端ニ直シ	
B(B.18)		⑤ 歐大陸製	30	北陸線 敦		D.50型 78.140	42	7.3	111	直線 R=300 曲線 R=2500 2.5% (盛道内)	端ヲ1.693 ヲ17.1トシ	620mm間隔 間隔内表面ヲ 620mm 4.69mm 670mm 直線 破損
C(S.29)		⑤	37	東海道線 御殿場		C.53型 80.980	49	19.4	346	直線 R=600 曲線 R=2500 2.5% (盛道内)	端ヲ3.000 枕木中間	
D(S.56)		⑤	37	東海道線 大 阪		C.53型 80.980	87	16.0	—	直線	端ヲ1.230 枕木中間	
E(B.15)		Camell	30	信越線 長 野		9,000型 60.300	38	40.7	563	直線	端ヲ0.936 枕木中間	
F(X.9)		⑤	37	東海道線 静 岡		—	—	—	—	—	—	ニテ所連續ニ發生ス
G(A.1)		⑤ 歐大陸製	30	北陸線 金 沢		C.51型 66.300	48	26.9	468	直線	端ヲ1.165 枕木中間	

組織である、中核は原料鋼塊の外殻と内質の境界部に偶々点在する数多の偏析群の一つに合致してゐる、該部を鏡視するに壓着せざる数多の気泡あり、且つ燐化物、硫化物、酸化物等の不純物の析出甚しく特に細隙龜裂が網狀に發生してゐることを認めた、この狀況は頭部面に接近した他の凡ての偏析群に於ても全く同様に起つてゐる。B4, B6, B7 は夫々破断面に對する平行面及び縦断面の中核に相當する偏析及龜裂の狀況を示す鏡視組織寫真である、而して細隙龜裂は略々破断面と平行して横裂の方向に無數に連續發生してゐる。

II 複 合 型

破損面の外觀によつて更に次の三種類に小別する。

- 1、軌條内側に外觀恰も「巻込」疵の如き裂目を認める、製鐵所製の大部分がこの例を占めてゐる、これは軌條内部の水平裂に原因する (實例 C, E, F 参照)
- ロ、水平裂の外に更に縦裂を合併する爲めに破損面が種々の方向に喰違ひを生じ複雑なれるもの
- ハ、水平裂が軌條頭部面に接近し軌條頭部面の龜裂状態が恰も引裂疵の如き外觀を呈するものでこの例としては大陸製のものに屢々見る。(實例 G 参照)

C 製 鐵 所 製 S. 29

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.25	0.056	0.63	0.125	0.023	0.26

破損面の外觀を C1 に示す如く軌條内側半面に貝殻の中核を通る水平裂ありてその一端は側面へ現れ軌條長さの方向に數百耗の間巻込或は重り疵をなして延長してゐる。而してこの水平裂によつて貝殻は其の上部を切り切られた爲めに下半部のみに生じてゐる、C2 及び C3 は破損面に對する平行断面のサルファープリント及びマクロ組織であるが、これによつて水平裂、貝殻の中核及組織との關係を明確にする事が出来る、即ち軌條頭部面を見るに原料鋼塊の表面気泡の存在せる外殻は殆んど磨耗せられ、爲めに内質と外殻の境界部が著るしく軌條面に接近してゐて、水平裂はこの境界面に沿ふて發生してゐる。而して貝殻破損面の中核はこの水平裂上の偏析群に一致してゐる。

以上の事實によつて本例に見る水平裂はこの貝殻疵の發生以前或は殆んど同じ時期に發生し貝殻の發達と同時に側面に進行せるものと解する。

D 製 鐵 所 製 S. 56

研 究 報 告

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.41	0.194	0.95	0.106	0.036	0.18

破損面外観を D1 に示す、D2 はこれと平行断面のサルファープリントであつて製鐵所轉爐鋼製の代表的なものである、又 D3 及び D4 は同面のマクロ組織であつて内質と外殻の境界部に存在する偏析群に沿つて種々の方向に數多の微細龜裂を生ぜる狀況を示す、最近頻發する東海道幹線の横裂の大部分はこの種に屬するものが多い。

E 大陸製 B.15

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.38	0.114	1.19	0.065	0.065	0.017

大陸製では水平裂を伴ふ例は極めて少きものゝ如く受付資料中で本例の一例に過ぎない破斷の形狀を E1 及び E2 に示す又 E2 に相當するサルファープリントを E3 に示す、實驗の結果貝殻の中核を通りて長さの方向に延びてゐる筋は勿論その他の水平裂面に認むる無數の筋は偏析線に一致してゐる事を確かめた、本例は其の好例として特に擧げたのである。

F 製鐵所製 X.9

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.40	0.076	0.63	0.085	0.018	0.36

受付當時 F1 に示す如く頭部面に長さの方向と直角に AB, CD の 2 箇所に龜裂を認めただので脚部を鋸引し龜裂に沿つて破折するに破斷面は何れも貝殻を示し横裂軌條に屬すべきものである事を知つた、F2 及び F3 は夫々 AB, CD の破面である。

更らに F1 に示す XY の方向に切斷して見るに F4 のマクロプリントの如く水平裂によつて兩貝殻面が相連絡してゐることを知つた、即ち本例によつて殆んど相接近した部分に貝殻横裂が平行して數箇所生じ得ることを、尙兩貝殻の中核は共通の同一偏析線上にありて水平裂を伴ふ前例と同様に原料鋼塊の外殻と内質との境界部に存在する事實が確められた又 F5 は F1 に示す CD 貝殻の面略々中核に近い位置でこの破面の未だ密着してゐる部分を破面と直角の方向より檢鏡せる組織寫眞であつて、これによつて貝殻面及びこの附近の地質は何等組織的變化を受けてゐないことが確められた。

G 大陸製 A1

軌 條 横 裂 の 研 究

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.29	0.052	0.64	0.106	0.019	0.02

頭部面の疵の狀況を G1 に示す、恰も引裂疵の如き狀況を呈してゐる、受付當時未だ脚部が密着せる爲め破損面の状態不明なりしが破折し見るに G2 示す如く貝殻面は著るしく頭部面にかたよつてゐる、G3 は横断面のサルファープリントであつて比較的材質均齊であるところが窺はれるが縦断面では G4 のマクロ組織に示す如く軽度であるが偏析線が長さの方向に併列し延びてゐる、尙中核の附近は種々の方向に龜裂を生じてゐるがこれは軌條が破斷し終つた當時に出來たものである、然し本例では從來の例に見る如く中核部に特に偏析等の材質的缺陷を見出すことが出來なかつた。本例と全く同型の横裂資料は他に三例あるが何れも外殻が磨耗し偏析の著るしい内質との境界部が頭部面に露出してゐるこの部分に中核が発生してゐる。

5. 材 質

前述の各實例及其他の資料に就いて横裂軌條の材質實驗の經過を綜合すれば大体次の様な結果になつてゐる。

- イ、断面内部の偏析狀況より推定するに鋼塊頭部軌條に該當するものに多い、既に第一表にその統計を示してある、この統計は各資料毎に断面内部のサルファープリント及びマクロプリントを考査しこれを從來の軌條鋼塊断面研究を根據として鋼塊を四等分し頭部より順次に I II III IV と等級をつけて分類したものである、I は断面全部に亘りて偏析の甚しく特に軌條胴部に濃厚なる偏析を認むるもの、II は胴部の偏析、微かであるが内質と外殻との周圍に偏析甚しきもの、III は II の軽度のもの、IV は偏析を認めざる均齊に近きものとす。
- ロ、檢鏡試験によれば地質は一般にパーライト鋼組織であるが滿庵の含量 1.0% 以上のものは屢々ソルビチック鋼組織を呈するものがある、而して微滓の含量多量であつて尙後述する化學成分によつても軌條製造鋼種は全部轉爐鋼であることが判定出来る、製鐵所製は酸性式、大陸製は概ね鹽基製式のトーマス鋼である。
- ハ、破斷面の形狀別に從つて化學成分表を既に第一表に示したのであるが、これによれ

ば炭素含量は 0.2% の軟質より 0.7% の硬質の広い範囲に亘つてゐる、含磷量は何れも 0.1% 前後である、又硫黄含量は製鐵所製は 0.03% 位であるが大陸製は屢々 0.1% に達する粗悪品を見る。

ニ、断面内部の偏析状態に就いて大陸製と製鐵所製とを比較するに著るしい相違がある大陸製は一体に頭部面の外殻部厚くして然も内質との境界が明瞭に区分せられこの境界部に特に濃厚なる偏析群が点在してゐる特徴がある、製鐵所製は外殻は薄く気泡性偏析の多い不利を有するが内質との境界部は寧ろ彼に比しその程度輕微である。

6. 硬 度

横裂破損に到達するまでに軌條が何の程度に加工硬化を受けてゐるか又貝殻の中核と如何なる関係にあるやを知る目的で断面内部の硬度分布状態を測定した、その二三の實例を第三圖に示した。これによりて見るに軌條頭部面は内部より著るしく硬度が大であつて深さ 15~20 耗の範囲まで加工硬化が進んでゐることが知られる、即ち頭部表面では内部の硬度に比し 80% 位増加しブリネル硬度數で 270~300 に達する、又同じ頭部面でも軌條内側は硬く従つて断面内部の硬度等高線は常に偏つた形に出てゐる、此の状態は必ずしも横裂軌條のみに限らず相當永い間使用せるものは皆此の程度の變化を認めるのであつて、硬度の増加率は材質、最大荷重の量、及使用年月が大いに影響する。

次に中核との関係を見るに、既述の通り中核は一般に頭部表面より深さ 5~10 耗の範囲に最も多く今第四圖に示す二三の例に就いてその縦断面で測定した硬度曲線上にこの點を求むるに多くの場合は急激な變化のあつた位置に見出される、この點は中核が内質と外殻との境界部の材質的不良部に存在する事實を一層裏書するものであつて圖に示せる高温度で焼鈍した場合との比較曲線の對照によつても明らかである。

7. 歪 線

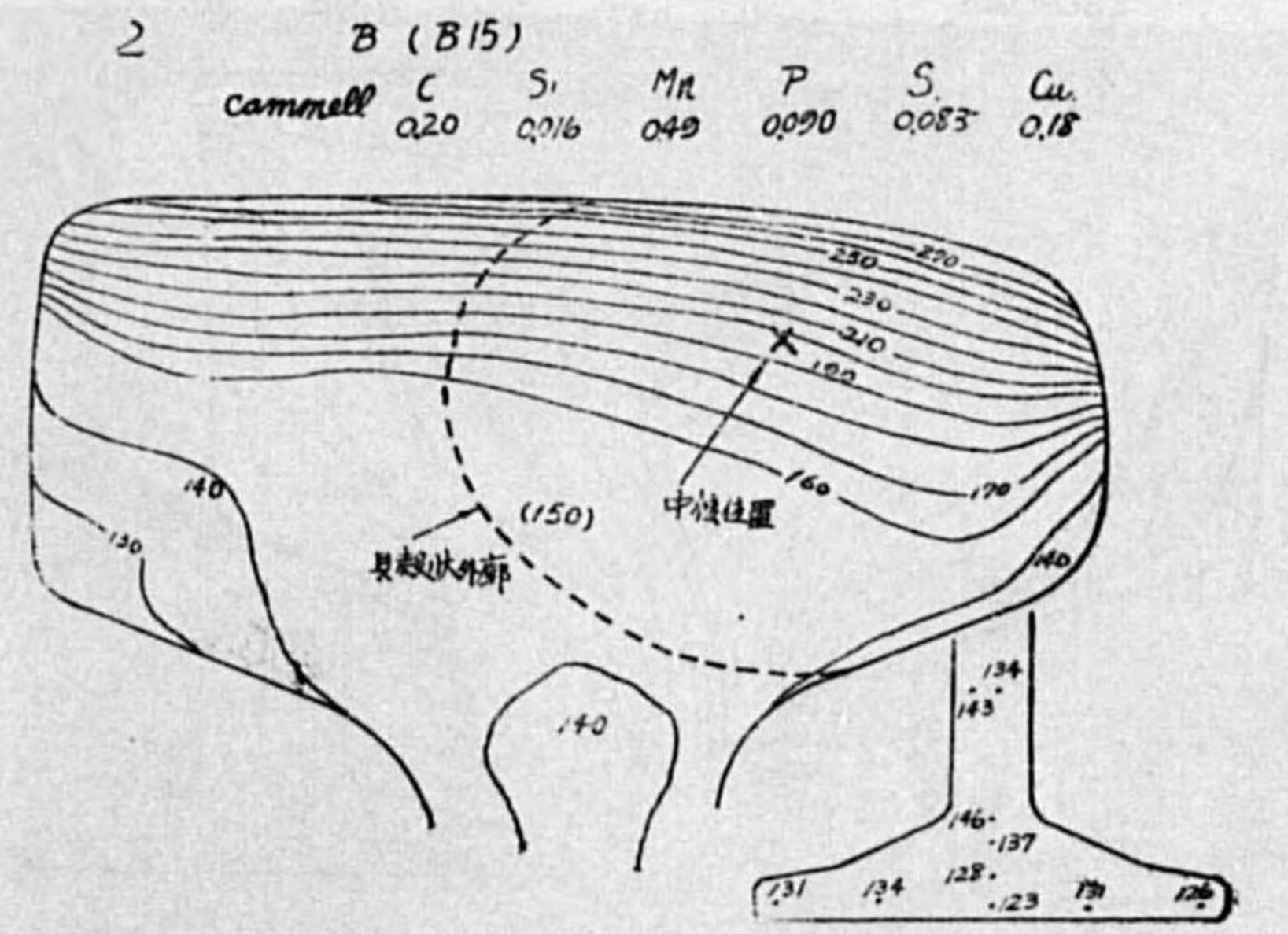
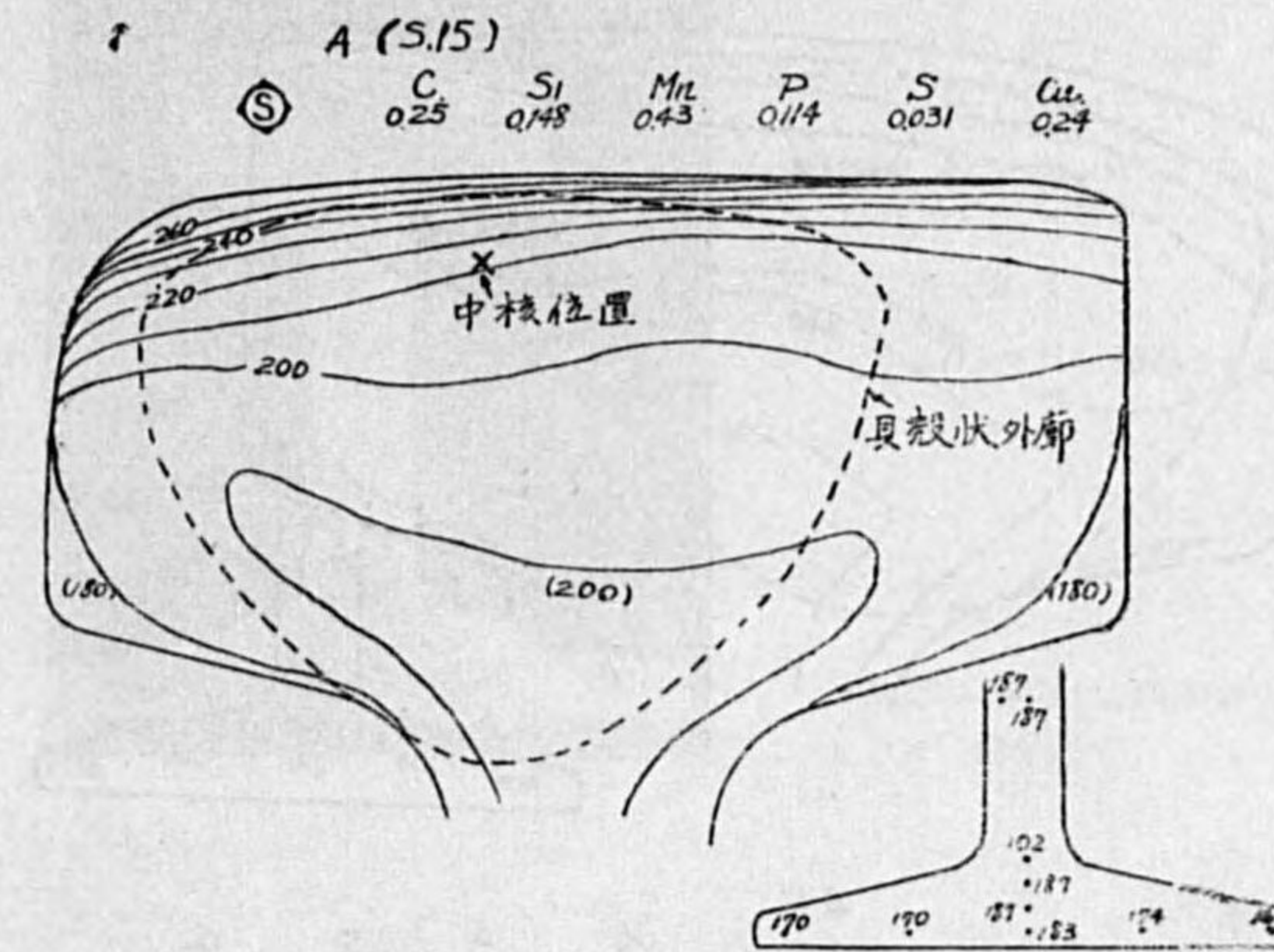
軌條内部に發生する歪の状況を知る一方法として大陸製軌條の低炭素鋼の數種類に就いてフリー氏腐蝕法を試みた第五圖は實例 B (B. 18) の横断面にて實驗せる歪線の分布を示

(1) A. Fry; St. u. E 41 (1921) S. 1093

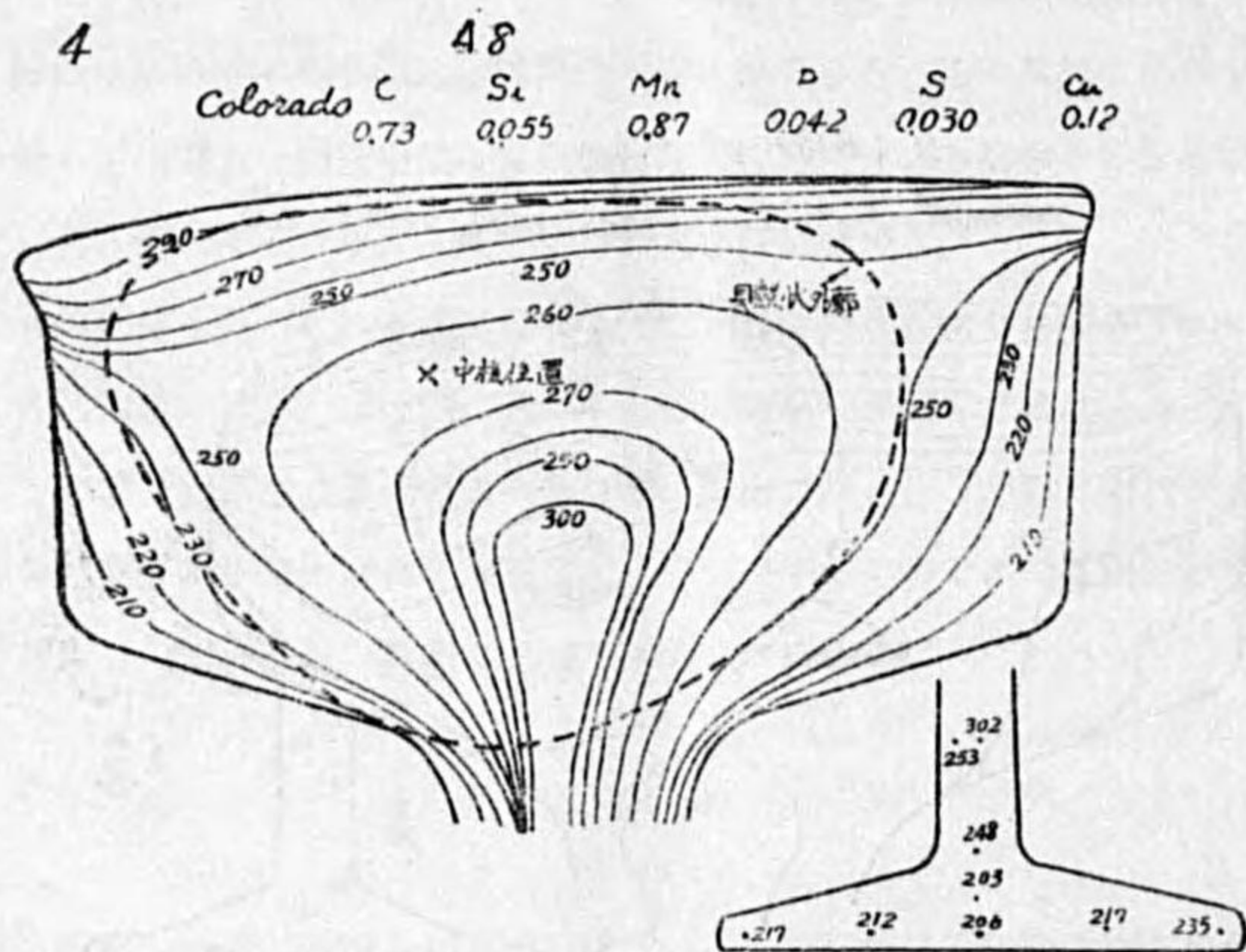
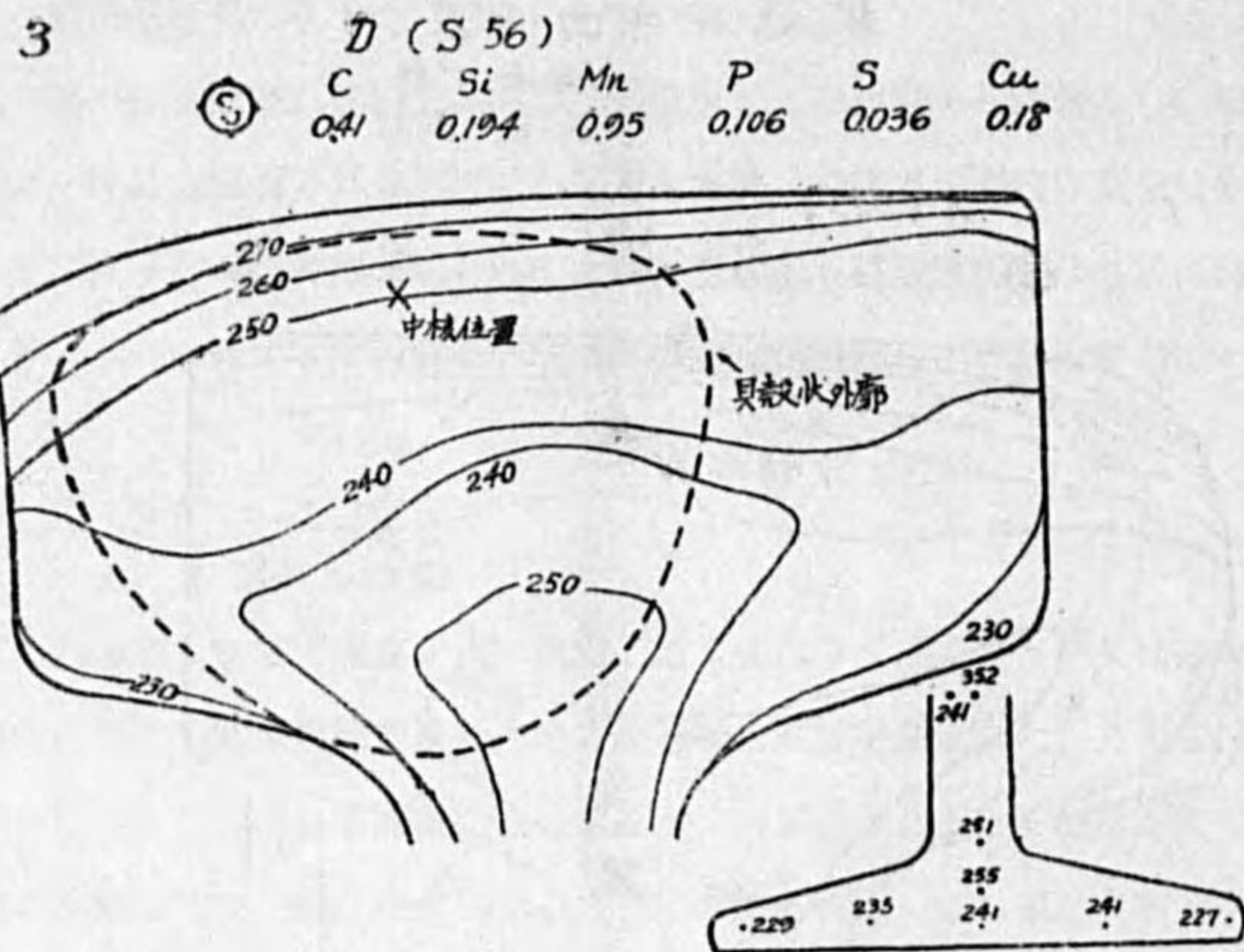
第 三 圖 (其の一)

軌條横断面、硬度分布表

球 全 1 耗
荷 重 30 耗

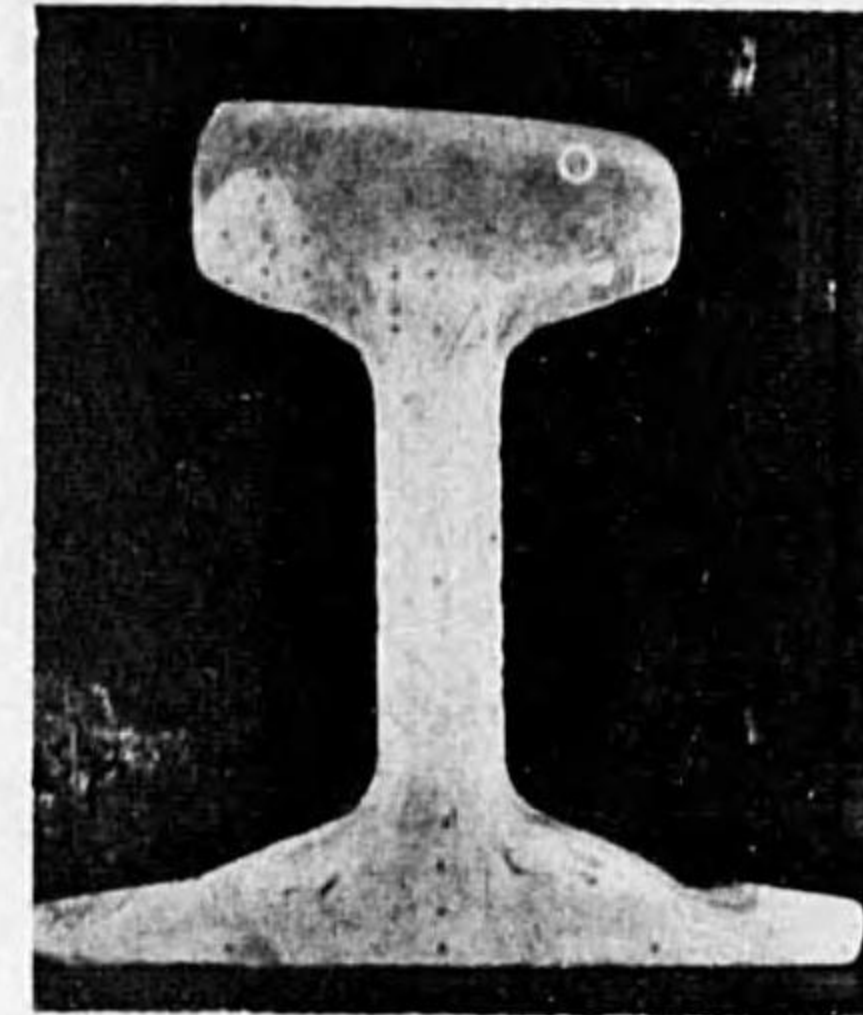


第 三 圖 (其の二)



第 五 圖 軌 條 内 部 の 歪 線

× ½



フリイ氏液による腐蝕

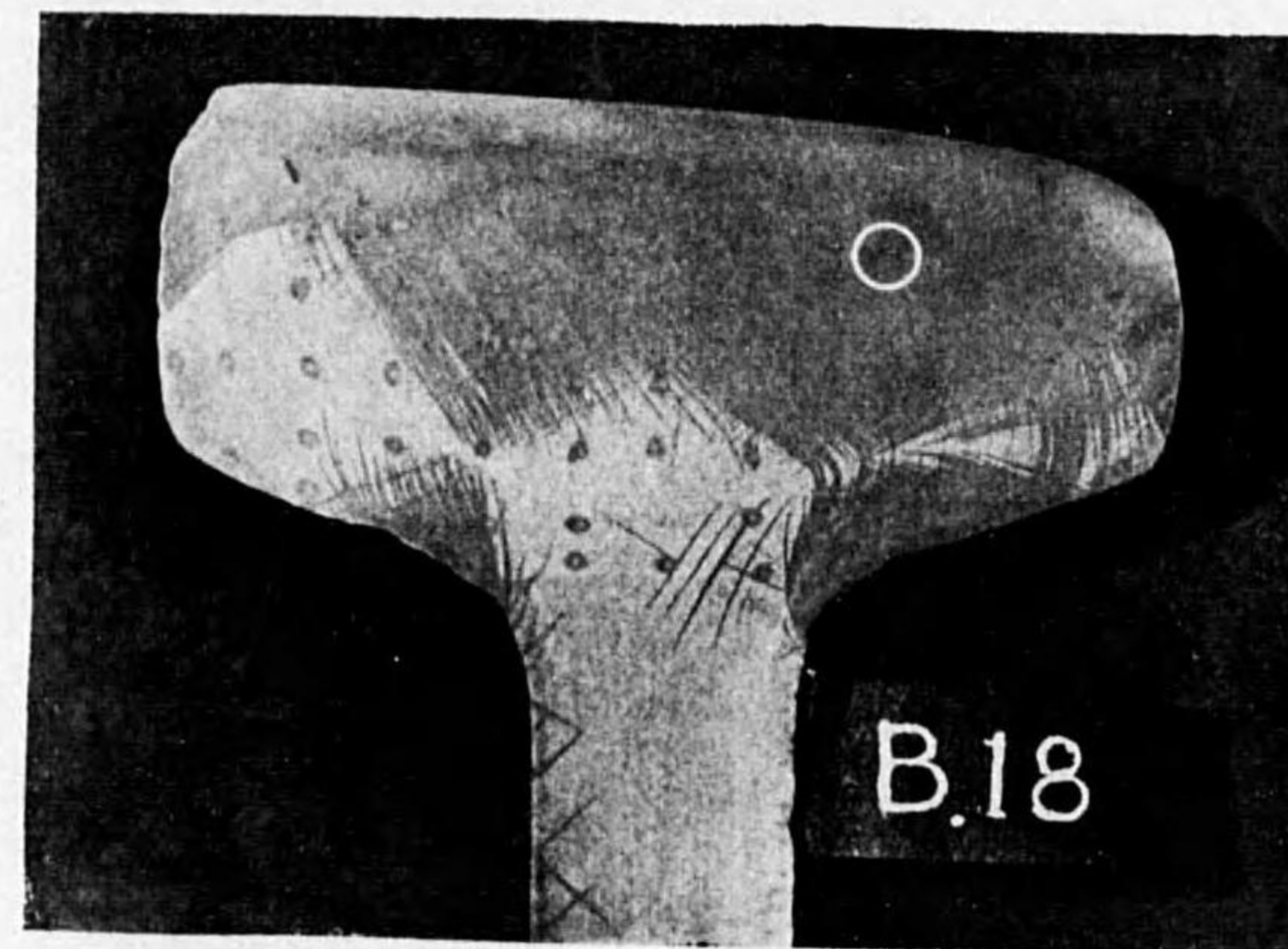
試 料 No. B (B. 18)

單 純 型

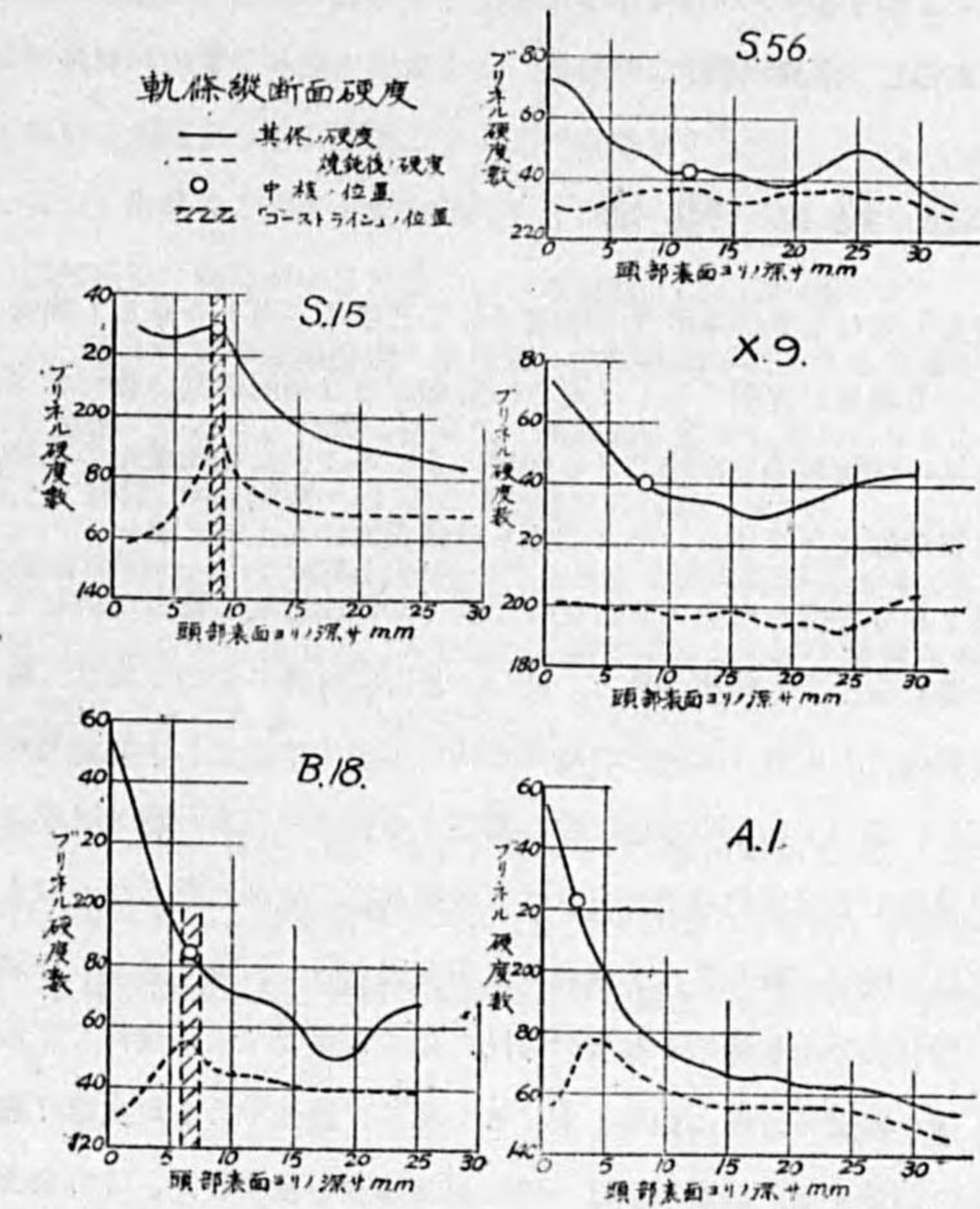
B.1~B.3. 参照すべし

腐蝕面の斑點は硬度測定
位置に相當す

× 1



第四圖



したものであつて（該歪線は従來の研究⁽²⁾によれば最大剪断應力の方向と一致することは確められてゐる）特に頭部面より8耗の深さまで極めて濃厚に腐蝕せられ明瞭に車壓の影響が現はれてゐる、又柱部と頭部との接續部及び之れと對稱して頭部中心の左右の位置に規則正しき歪線を見るがこれは車輪が軌條上を左右に動搖することによつて生じたものである、その他軌條柱部及び脚部には殆んど現はれてゐない。

以上の結果は本例のみならず他の實例に就いても亦急進性破損軌條に於ても略々同様の歪線の發生する事實を確めたのであるが要するに長期に亘つて使用せる軌條は本實驗によつてその頭部のみに弾性限界以上の内力の發生が限られてゐる特に頭部面より或る深さま

(2) I. Takaba u. K. Okuda; Archiv für das Eisenhüttenwesen 7 (1925) S. 511

でその影響の甚しきことが知られる、この深さは勿論軌條材質、敷設の位置、通過する列車等種々の条件によつて多少の差異あるが一般に5~10 μ であつて横裂貝殻破損の中核を包含する範囲にあることを確め得た。

8. 横裂の機構

横裂破損の機構を究むる事は本研究の結論として又學術方面より見るも興味あり重要な問題であるがこの現象の説明としては更らに精細なる力學的研究に俟たねばならぬ。従つて本節では既述の實驗事項を根據させる推論にせざる、長期間使用の軌條はその頭部の或る厚さだけ異常硬化を受ける、それで恰も軌條表面は人工的にケーシハードニングせると同様の結果となり強度を増加する、従つて例へば彎曲繰返し應力に對してもある程度まで耐久限界を高むることも豫想される。然し一方には磨耗によつて次第に断面係数が減少すると共に材質的にも内質と外殻との境界部特に偏析の生じ易しき脆弱部が頭部面に次第に接近して來る、従つて列車の通過に際し發生する軌條の内力が耐久限界以上に達すれば、勿論以下の場合でも材質的缺陷があればこの脆弱部に破斷原點となるべき龜裂を生ずる、龜裂は必ずしも横裂に限らず水平裂或は縦裂も起り得る、特に著るしき偏析の存在するものは、その形状及分布状態等が龜裂の方向に對する重要な一條件となる、周囲の状況如何によつて偶々横裂の方向に龜裂を生ずるや極めて緩慢であるが次第に龜裂面積が増大して遂に破斷に到達する。破斷形状は一般に偏渦卷状を呈するが、この原因は軌條断面の形状が關係してゐるかも知れないが又頭部面の硬化せる方向に對しては其の他の方向よりも龜裂進行状態が一層緩慢である點も一つの原因と考へられる。最近米人エ・スベリー⁽³⁾氏は未だ疵の表面に現れてゐない横裂軌條を見出す装置の發明に成功した、この装置によつて彼は米國に於ける敷設軌條の實地試験をした。その結果は既に發表せられてゐるが横裂疵の發生経路が明瞭になつた。

9. 結 論

以上各節に亘つて述べたる主として鋼化學的検査を根據として實驗したる結果を綜合す

(3) A. Sperry; Trans. American Society for Steel Treating 6 (1929) P. 771

るに「軌條材質の不均齊特に軌條頭部面に接近せる附近に材質的缺陷の存在は材料の疲勞現象と相俟ちて横裂破損を惹起する有力なる原因をなすものである、而して斯くの如き材質的缺陷は原料鋼塊の内質と外殻の相違する二組織帯の境界部に常に潜在する氣泡及び各種の不純物の偏析に誘因するものである」ことが立證せられた。

この結論によつて當然次の諸事項が判斷せられる例へば同一鋼塊でも底部軌條よりも偏析の著るしい頭部軌條に横裂が生じ易しい、この事實は既に第一表によつても明らかになつた所である、又本研究では轉爐鋼と平爐鋼との製造鋼種別による具体的比較は試みられなかつたのは遺憾であるが、一般に材質並に機械的に劣ると認められてゐる轉爐鋼は勿論平爐鋼に比して格段の相違あるべきことは想像するに難くない。

次に軟質及硬質兩種軌條の比較問題が残つてゐるが本研究範囲では何れを可とすべきかその點は不明瞭であるが單に疲勞と云ふ方面から觀察するならば勿論強度の大なるもの即ち硬質軌條を選択すべきであることは説明するまでもない。

本研究に關し特に資料の採取に種々便宜を與へられたる鐵道省工務局、地方保線區及び大臣官房研究所各位に對し、尙御指導を賜りたる九州帝國大學教授工學博士小野鑑正氏、景山條綱部長、久保田製鋼部長、井村技術課長及び元森技師に對し厚く感謝の意を表す。

單純型横裂軌條

A1

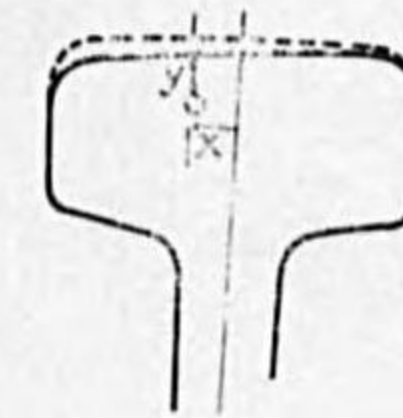
軌條破面形状

試料番號 S. 15

製鐵所製 37kg \pm

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.25	0.148	0.43	0.114	0.031	0.24

$\times \frac{1}{2}$



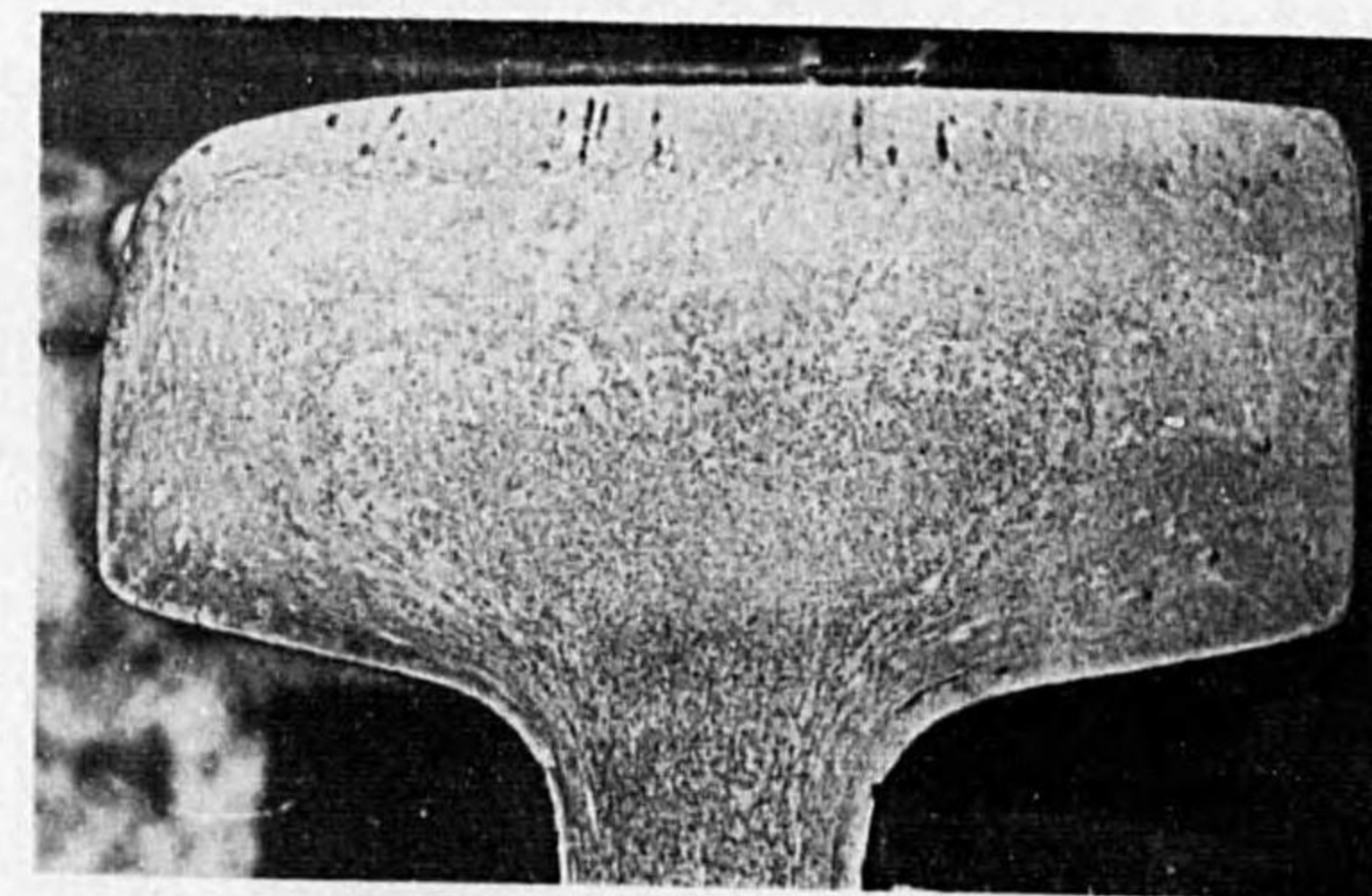
磨耗率	全部3.8%
	頭部8.1%
磨耗深さ	中央3.0mm
	内側4.5mm

中核の位置

x = 8mm y = 7mm

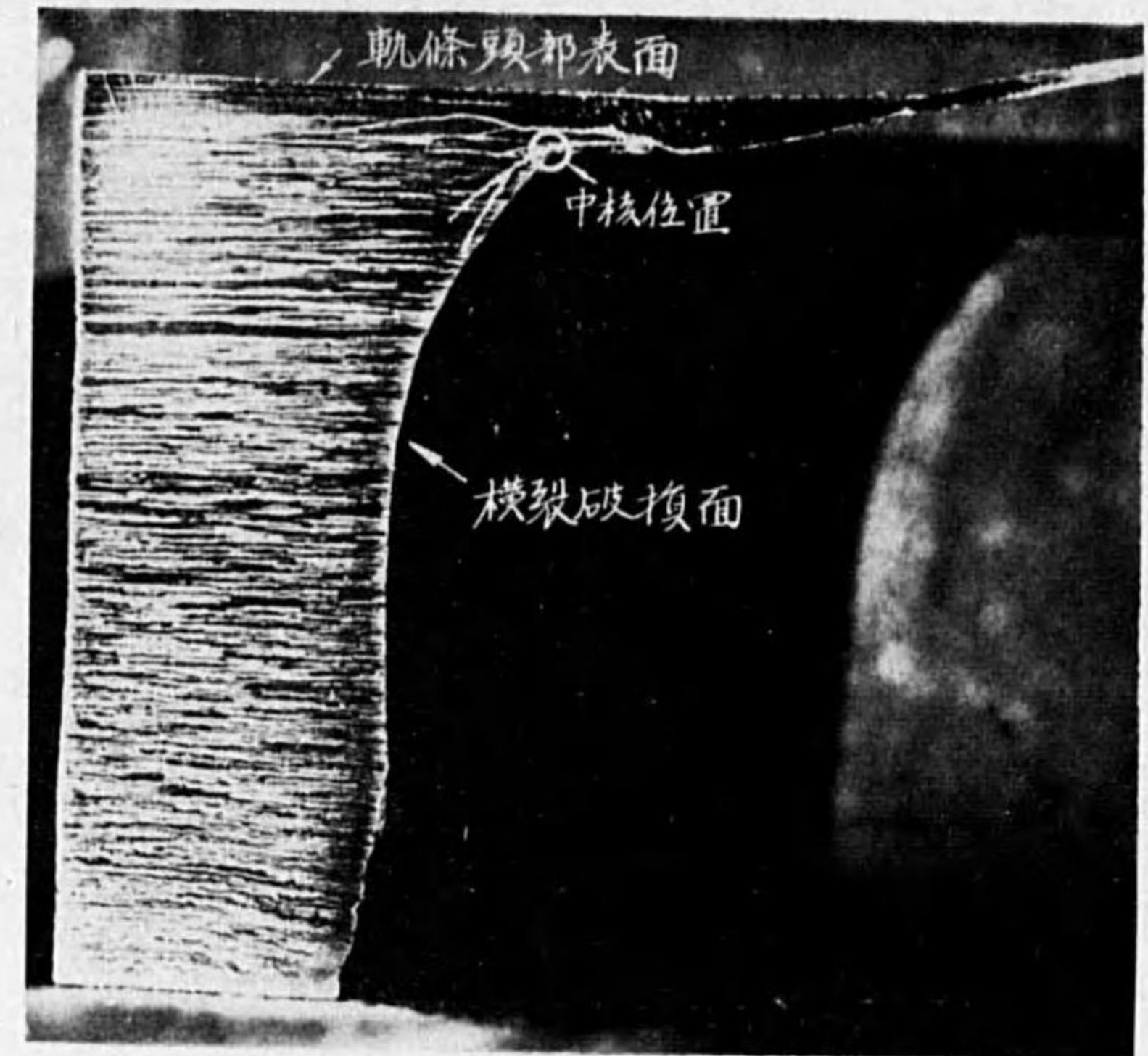
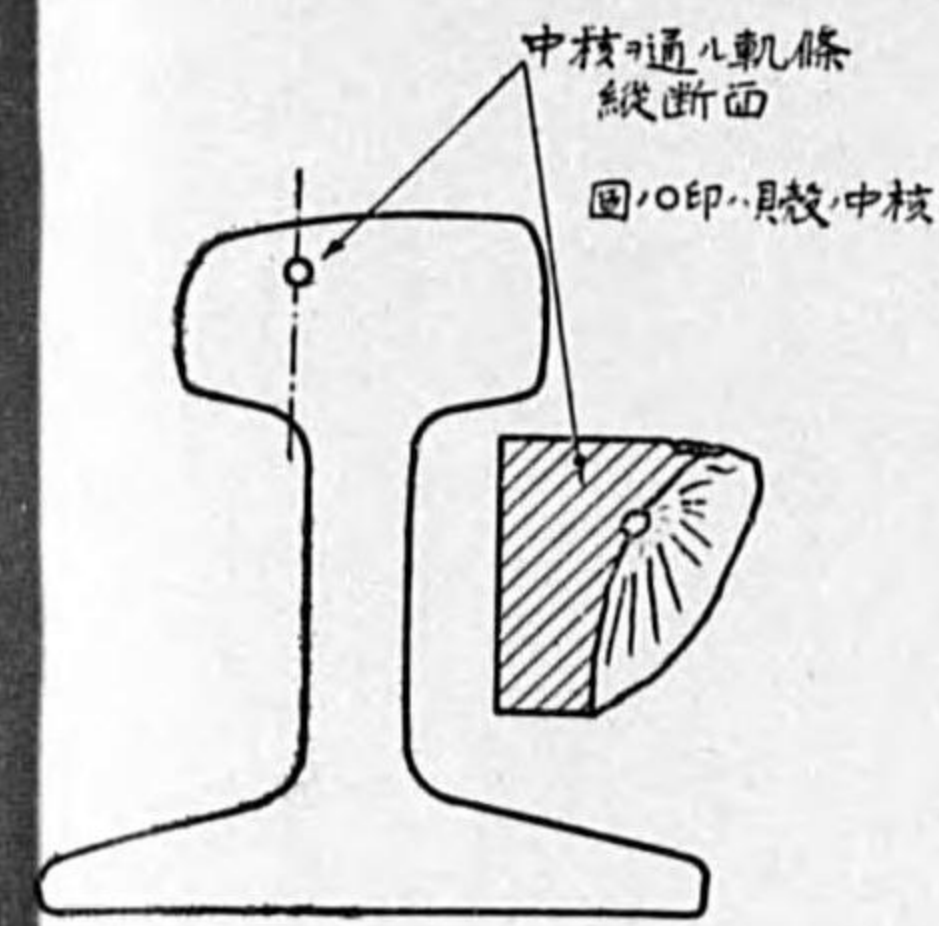
A2 マクロプリント

$\times 1$



A3 の写真は
G4 の写真と誤植

A3 マクロ組織



A4 検鏡組織

× 45



中核部の偏析線を示す

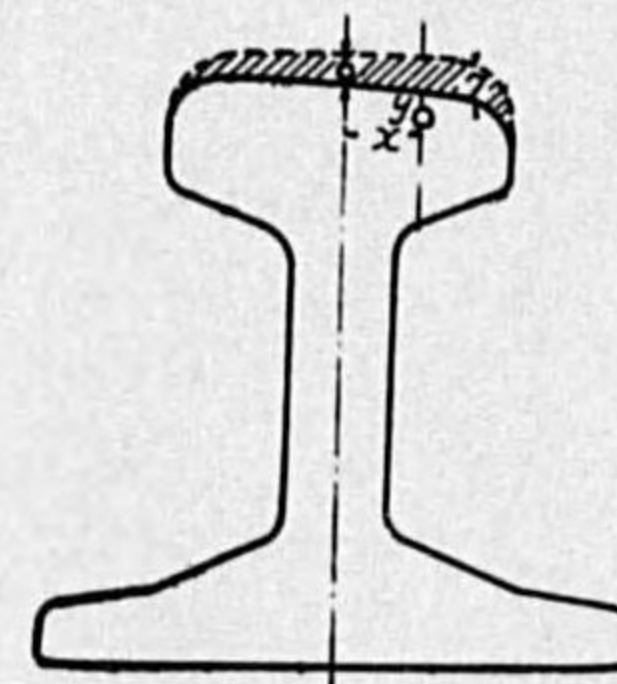
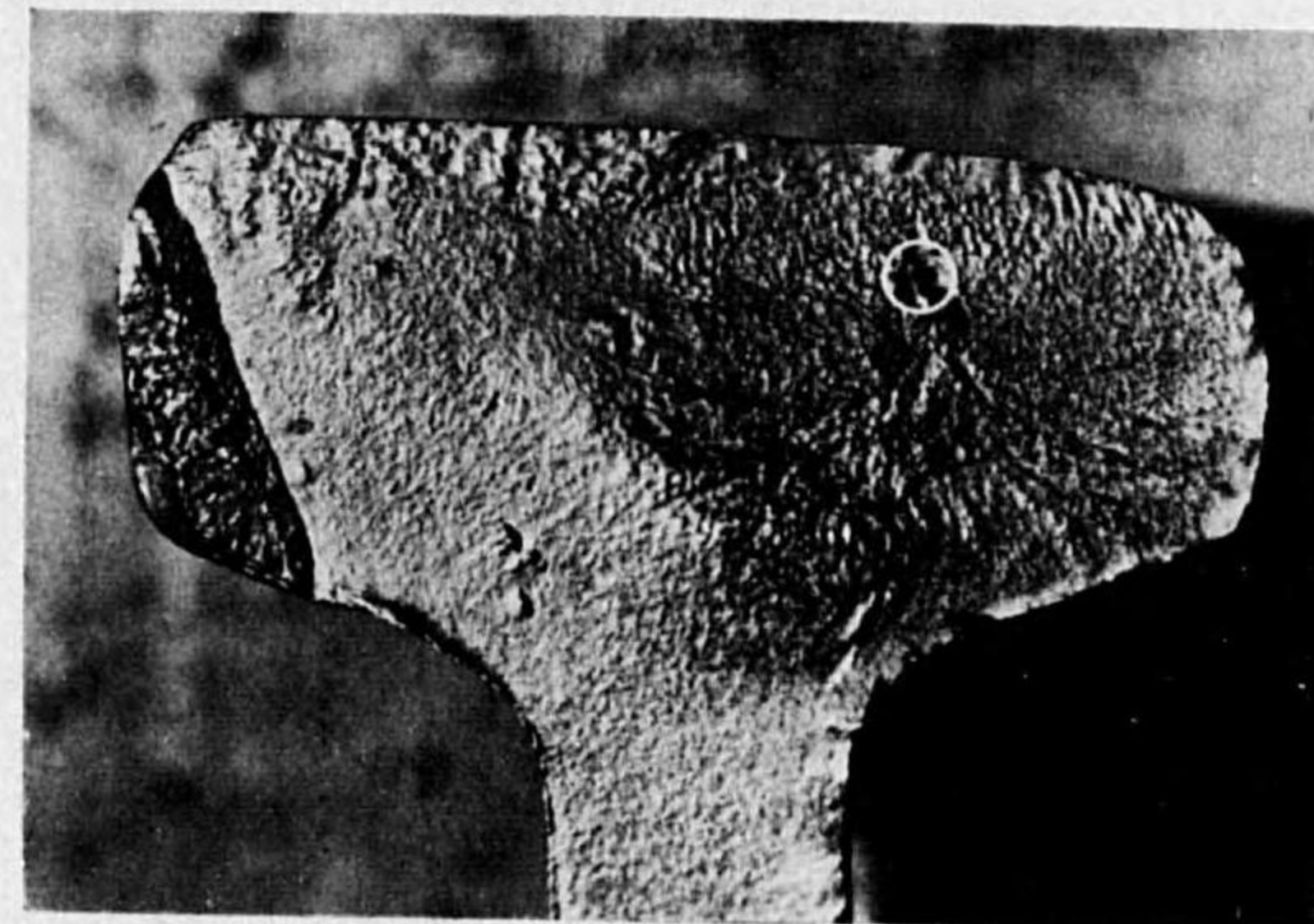
單純型横裂軌條

B1 破断面の形状

試料番號 B. 18 大陸製 30 kg Ω

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.20	0.016	0.49	0.090	0.085	0.18

$\times 1$



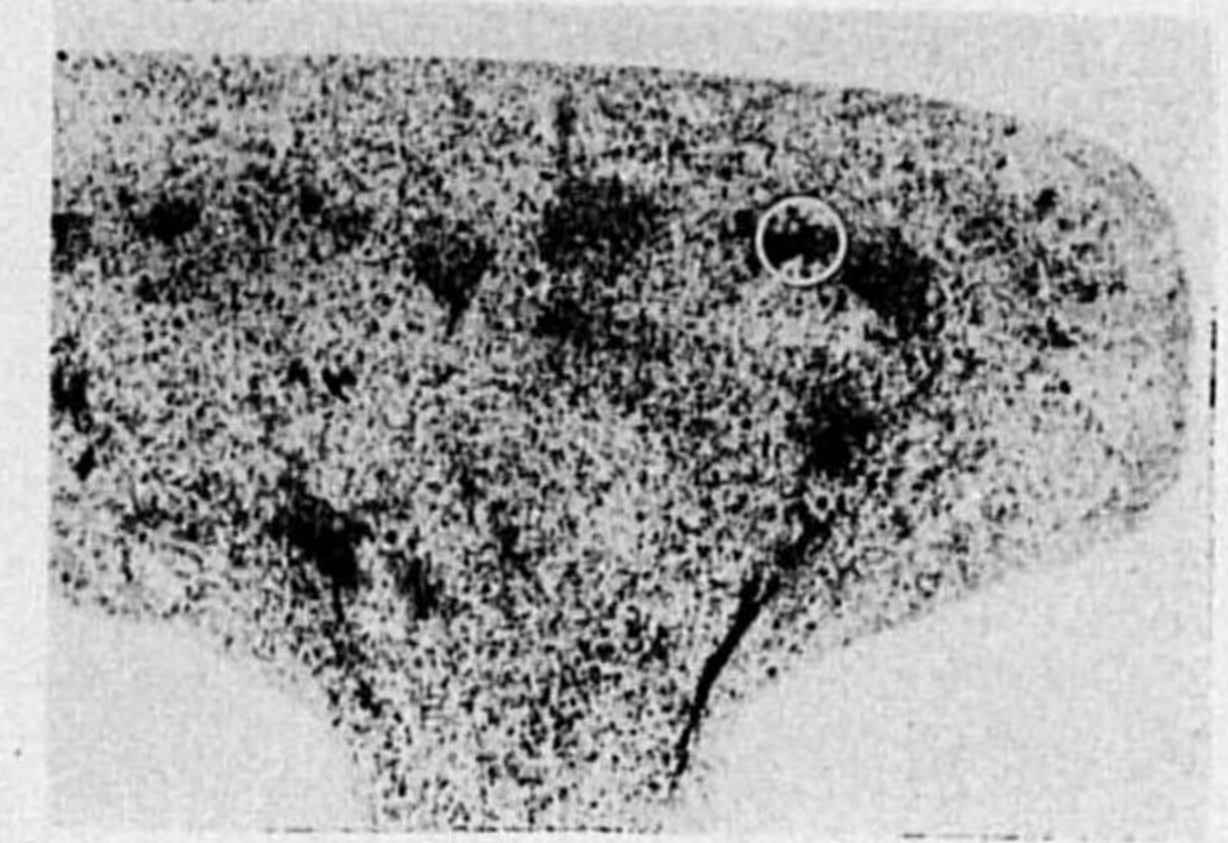
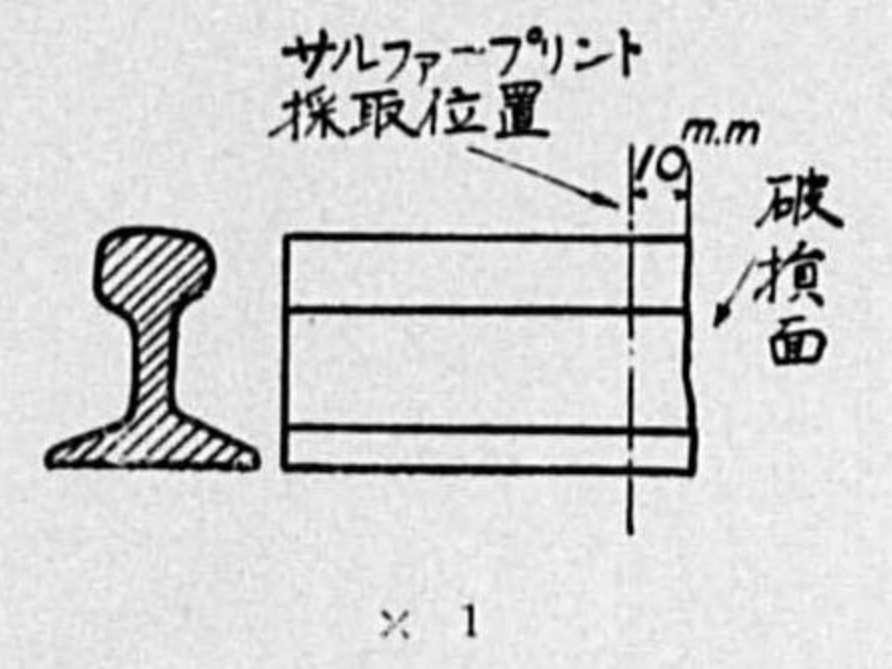
磨耗率 全体.....10.6%
磨耗率 頭部.....18.3%

磨耗深さ 中央.....6 mm
磨耗深さ 内側.....7 mm

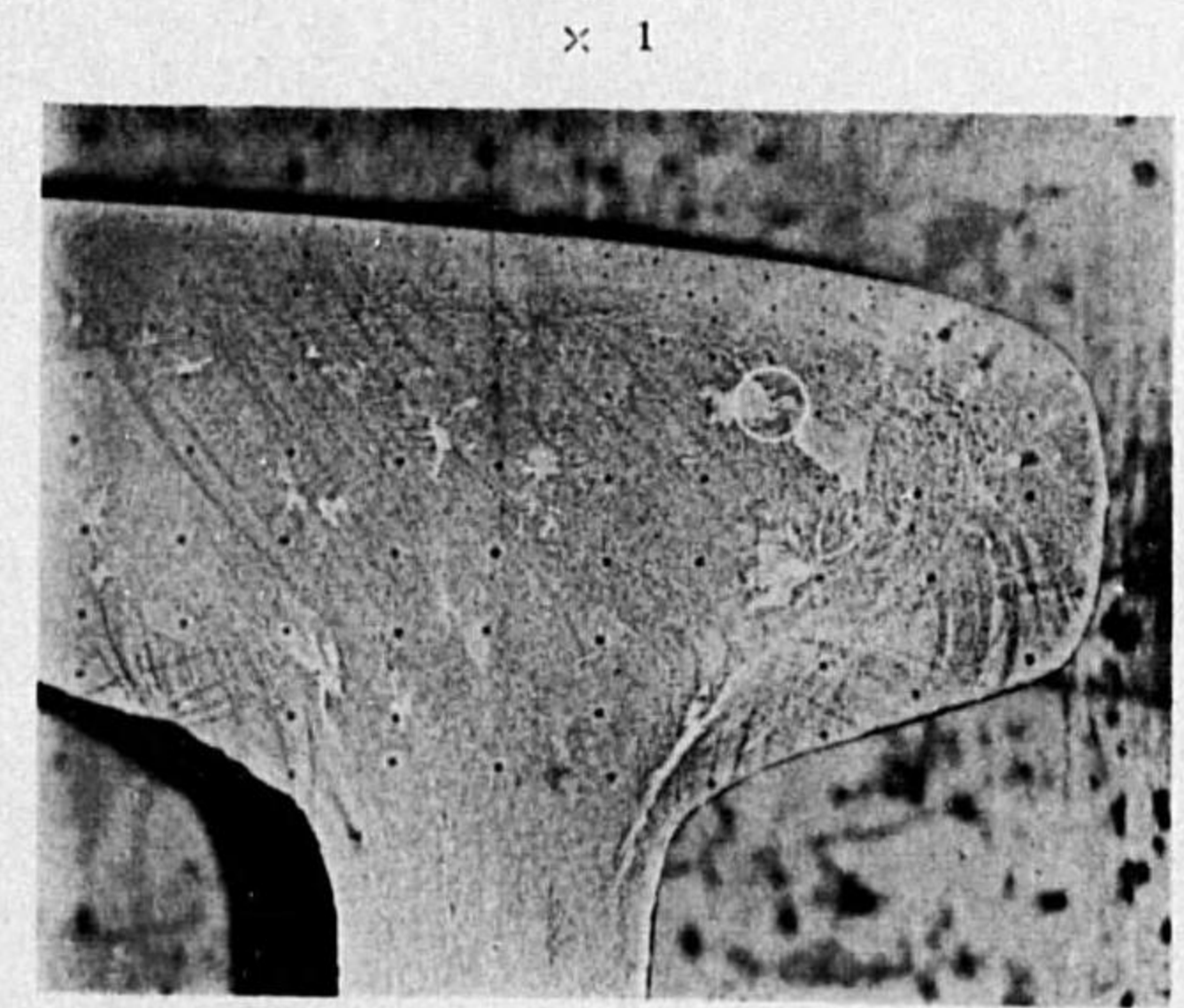
中核の位置
x = 13.0 mm y = 5.5 mm



B2 サルファープリント



B3 マクロプリント

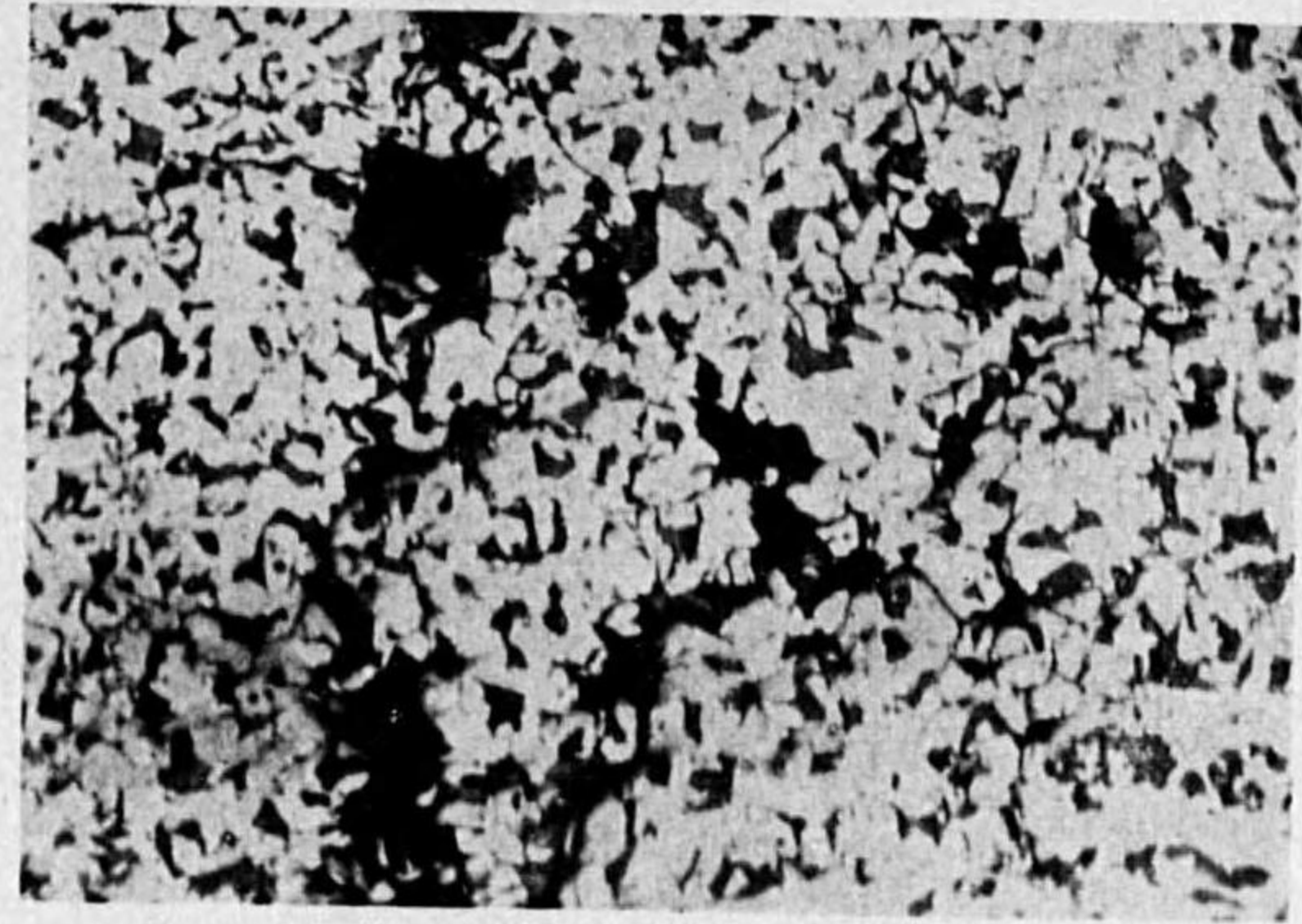


B4 中核部の鏡組織

位置 B2, B3, B5 の○印中核部

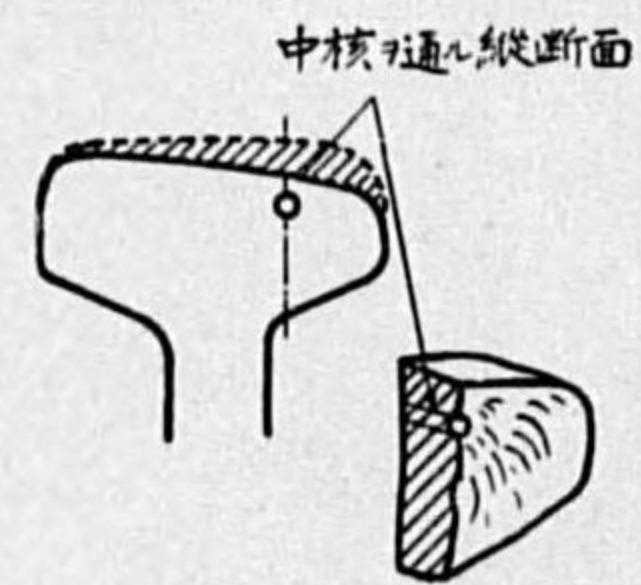
状況 壓着せざる無数の気泡あり、硫化物、酸化鐵、微滓を認め小龜裂を生ず

× 100



B5 マクロ組織

× 2



中核部の縦断面



中核位置

横裂破損面

B6

中核部の検査写真

B5 圖○印の部分

× 80

縦断面の検査面では龜裂は中核に相當する偏析線中に長さの方向に直角に併列發生す。

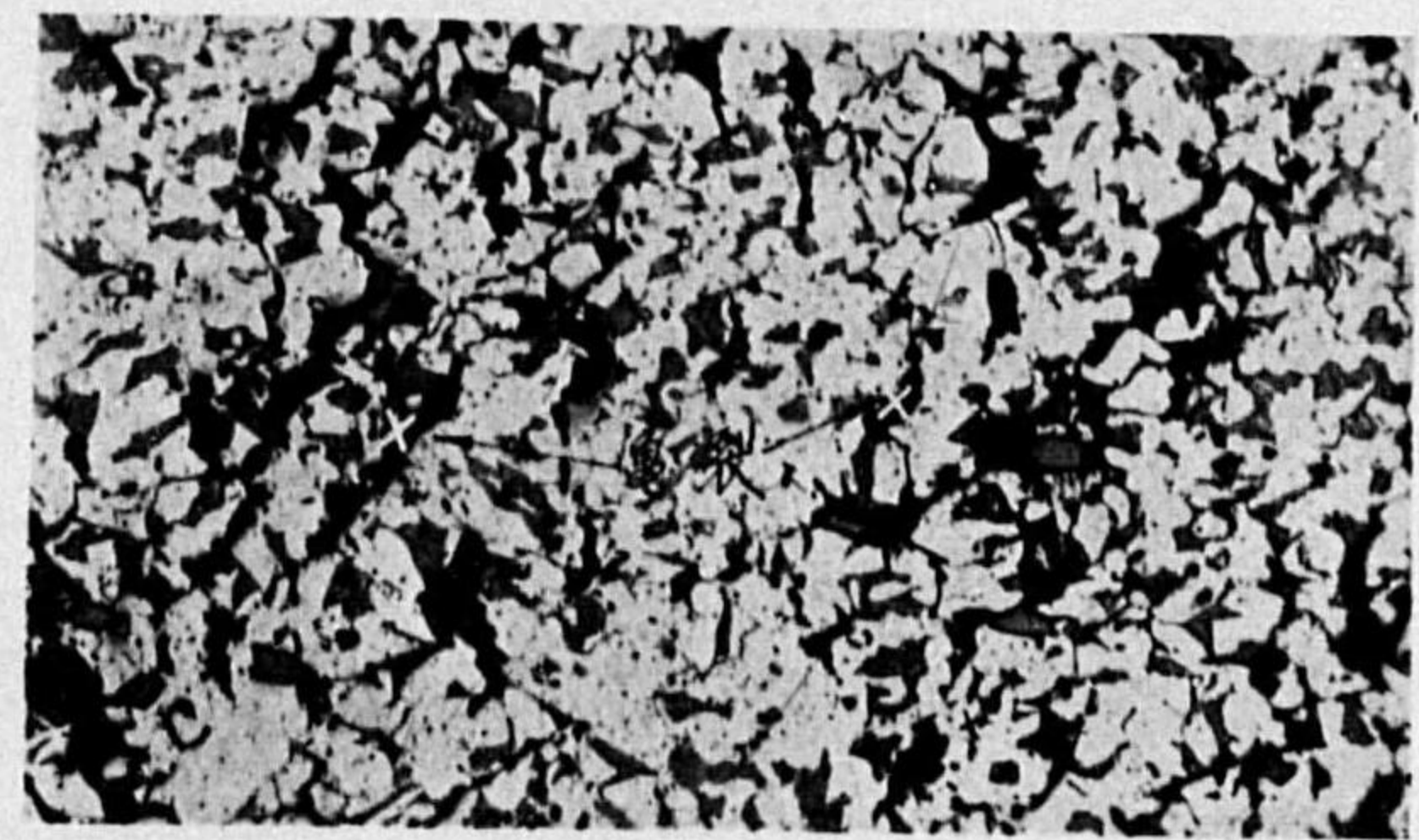


横裂破損面

B7

B5 圖×印の部分

× 100



水平線を作ふ横裂軌條

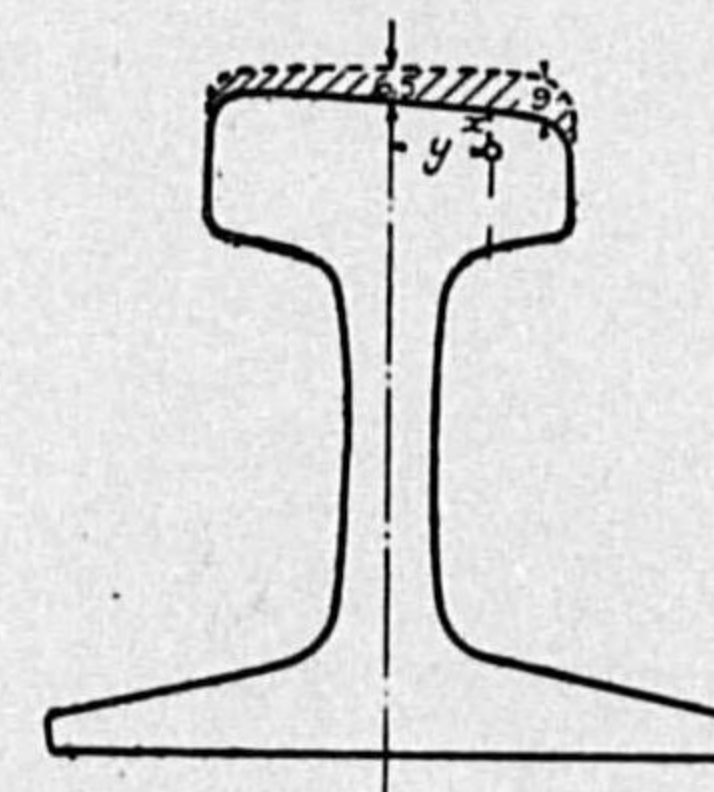
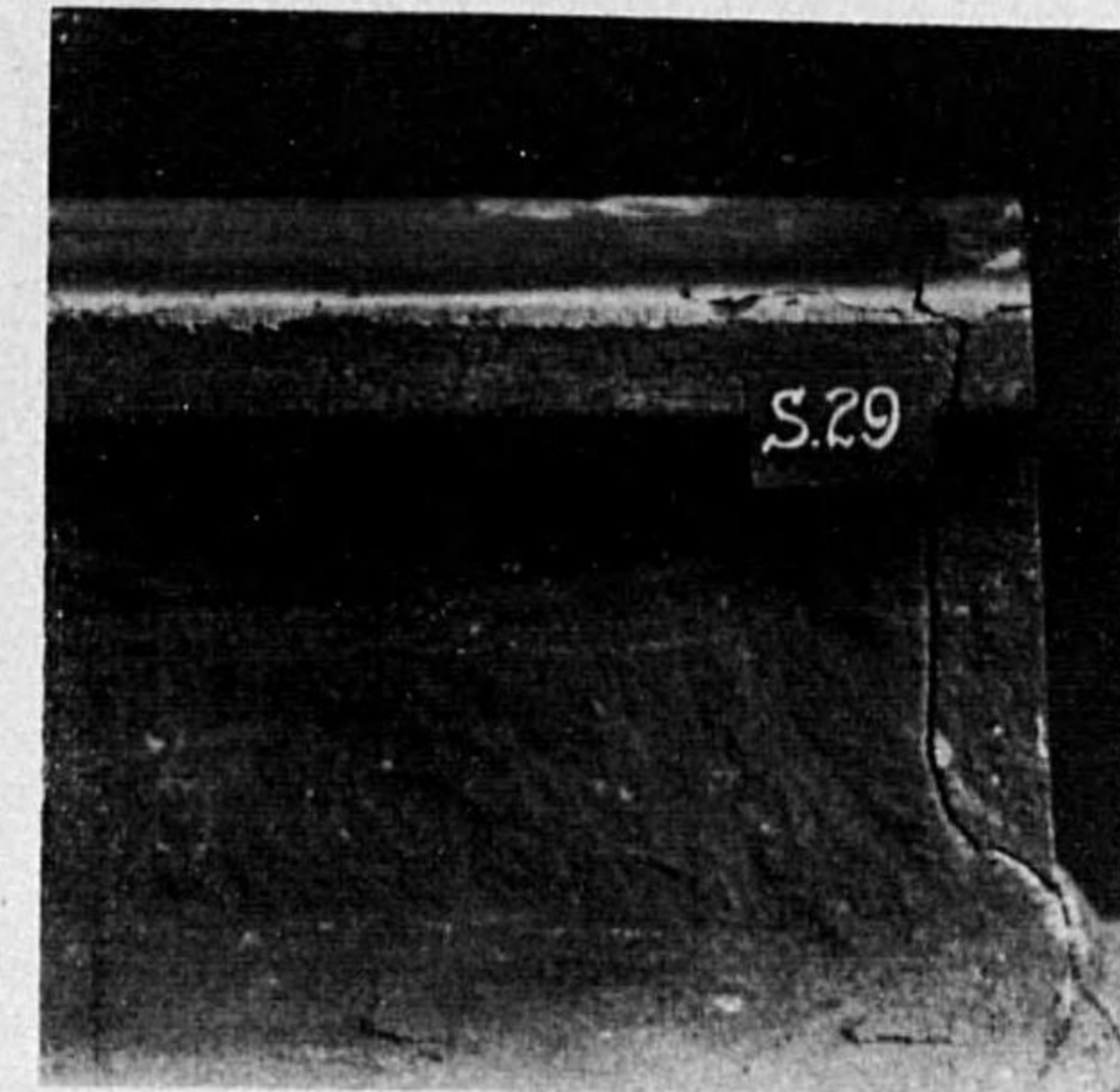
C1 破面の形状

試料番號 S. 29

製鐵所製 37 kg 工

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.25	0.056	0.63	0.125	0.023	0.26

× 1/2



磨耗率 全部..... 87%
磨耗率 頭部..... 185%

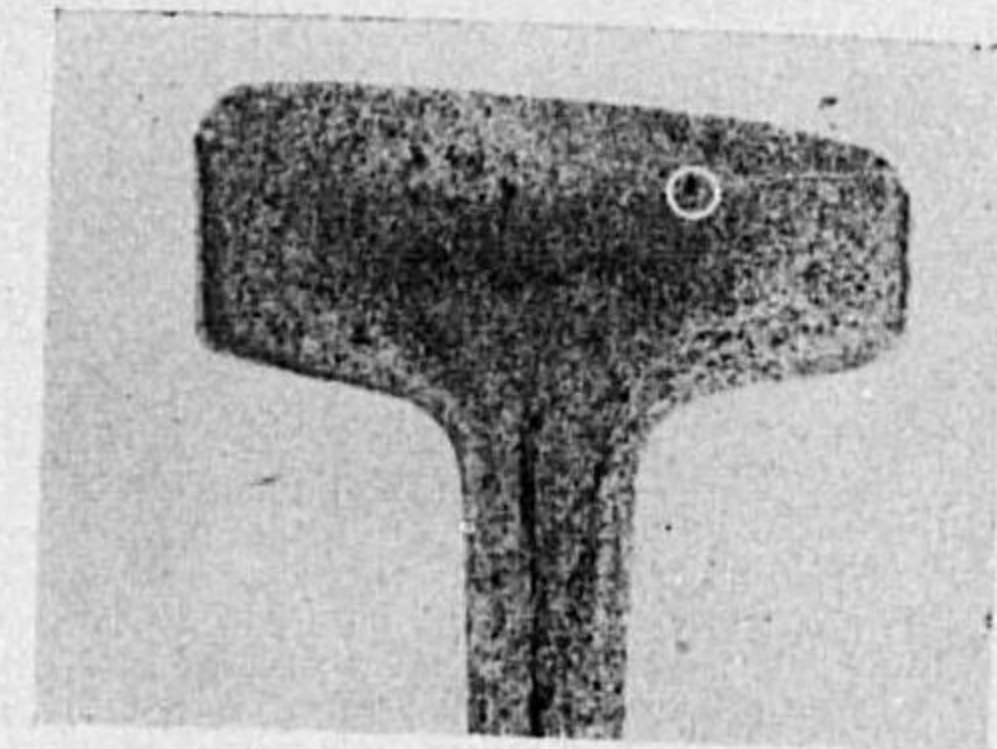
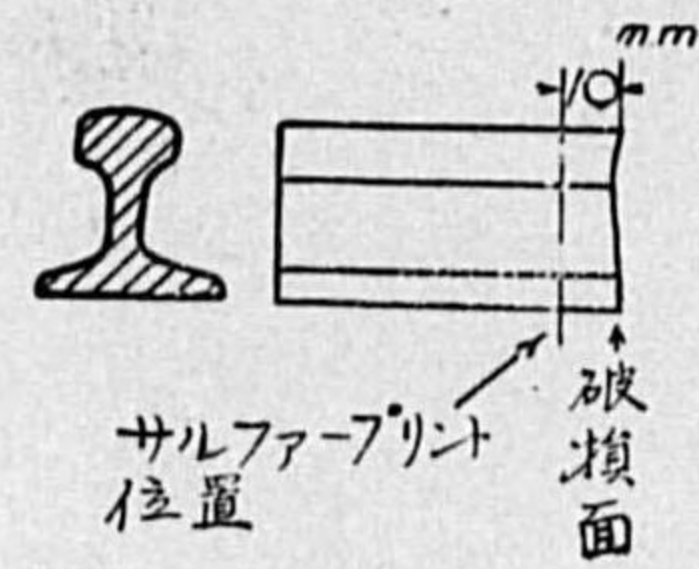
磨耗深さ 中央..... 6.5 mm
磨耗深さ 内側..... 9.0 mm

中核の位置
x = 6.5 mm y = 160 mm

C2 サルファープリント

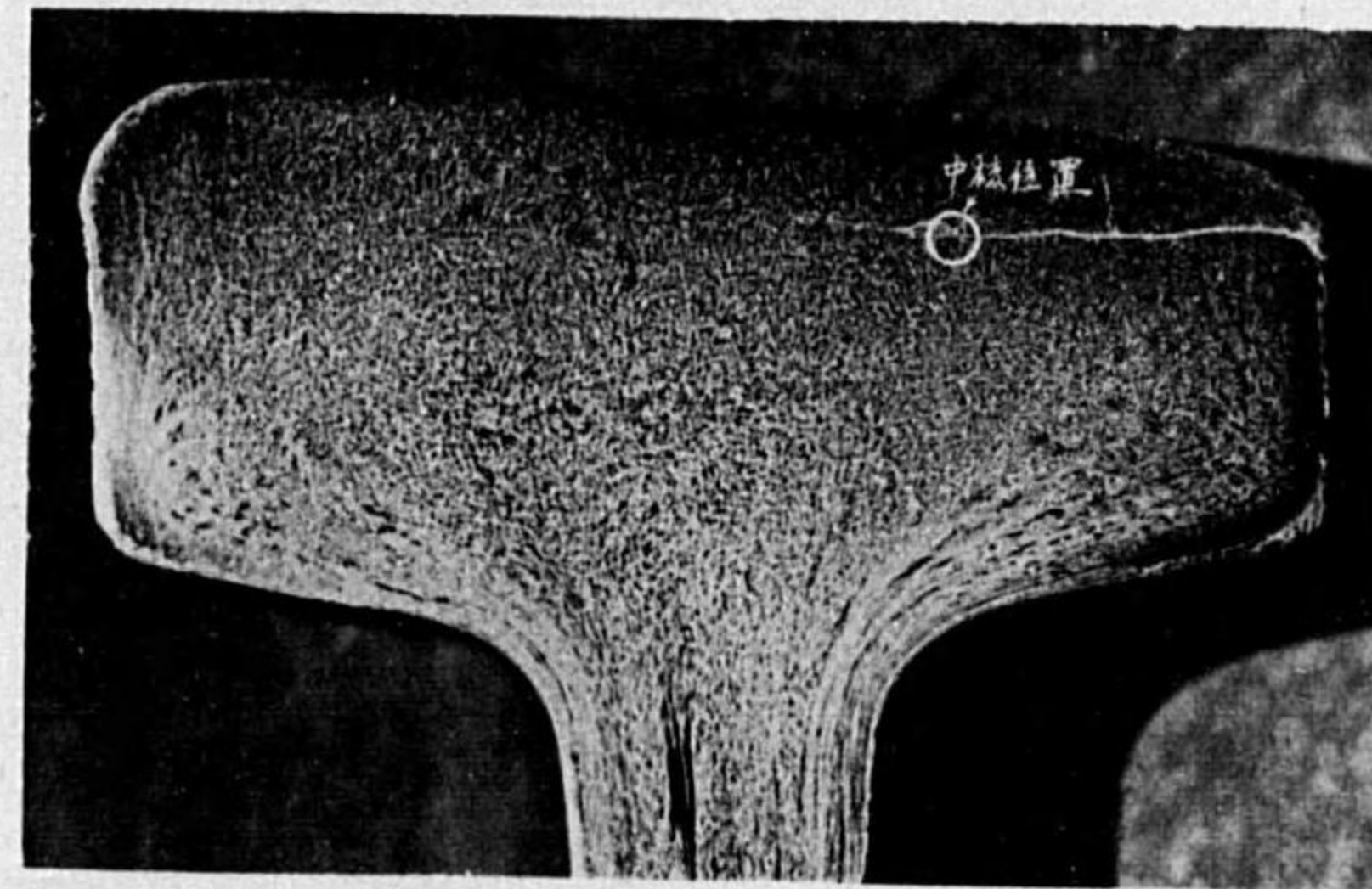
柱状質と自由結晶質との境界面に沿ひて水平裂を生ず

× ½



C3 マクロプリント

× 1



水平裂を伴ふ軌條

D1 軌條破面形状

試料番號 S. 56

製鐵所製 37 kg 重

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.41	0.194	0.95	0.106	0.036	0.18

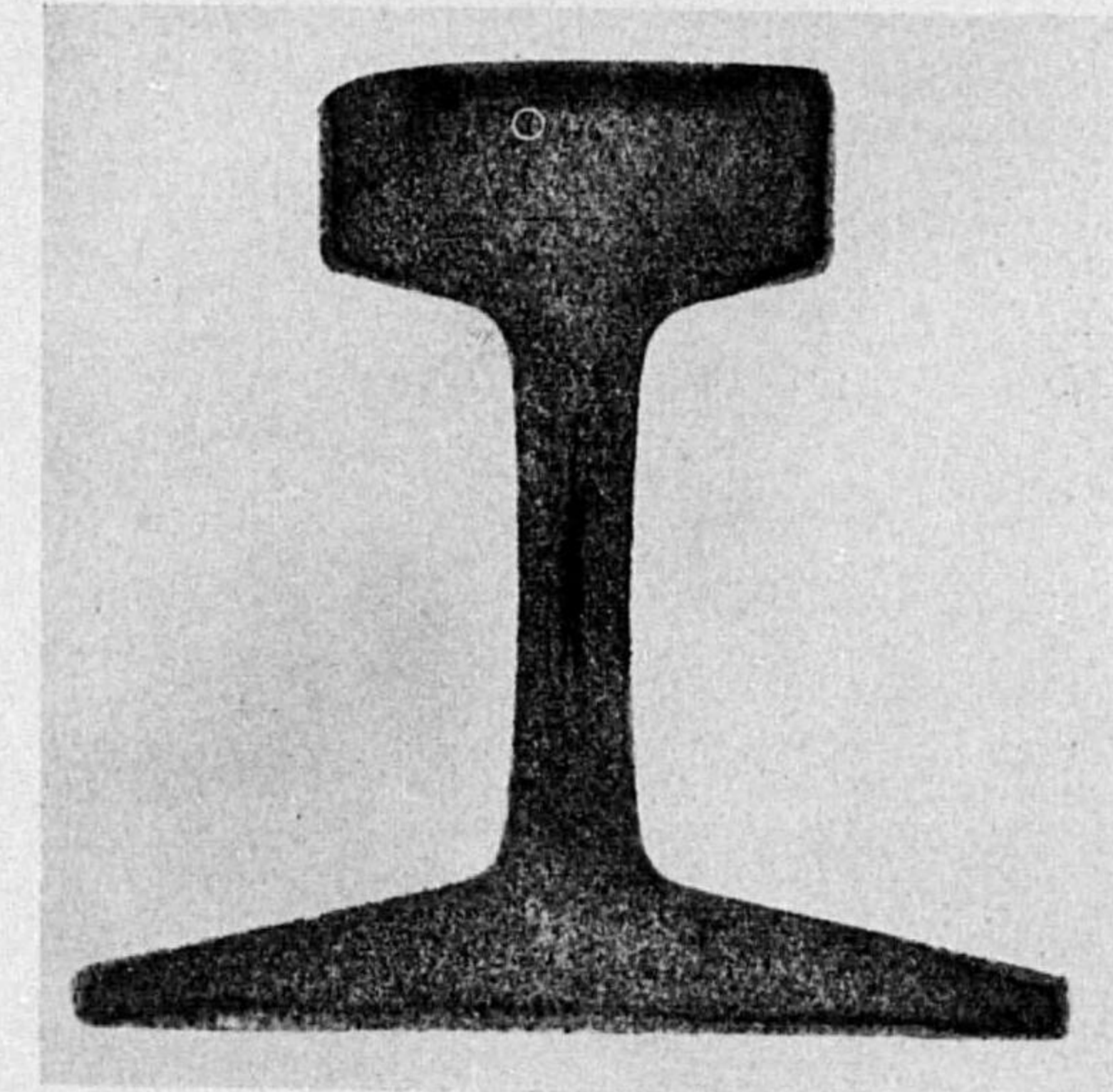
× 1/4

磨耗率 全体.....3.7%
 磨耗率 頭部.....7.88%
 磨耗深さ 中央.....3 mm
 磨耗深さ 内側.....4 mm
 中核の位置
 x = 8 mm y = 6 mm



D2 サルファープリント

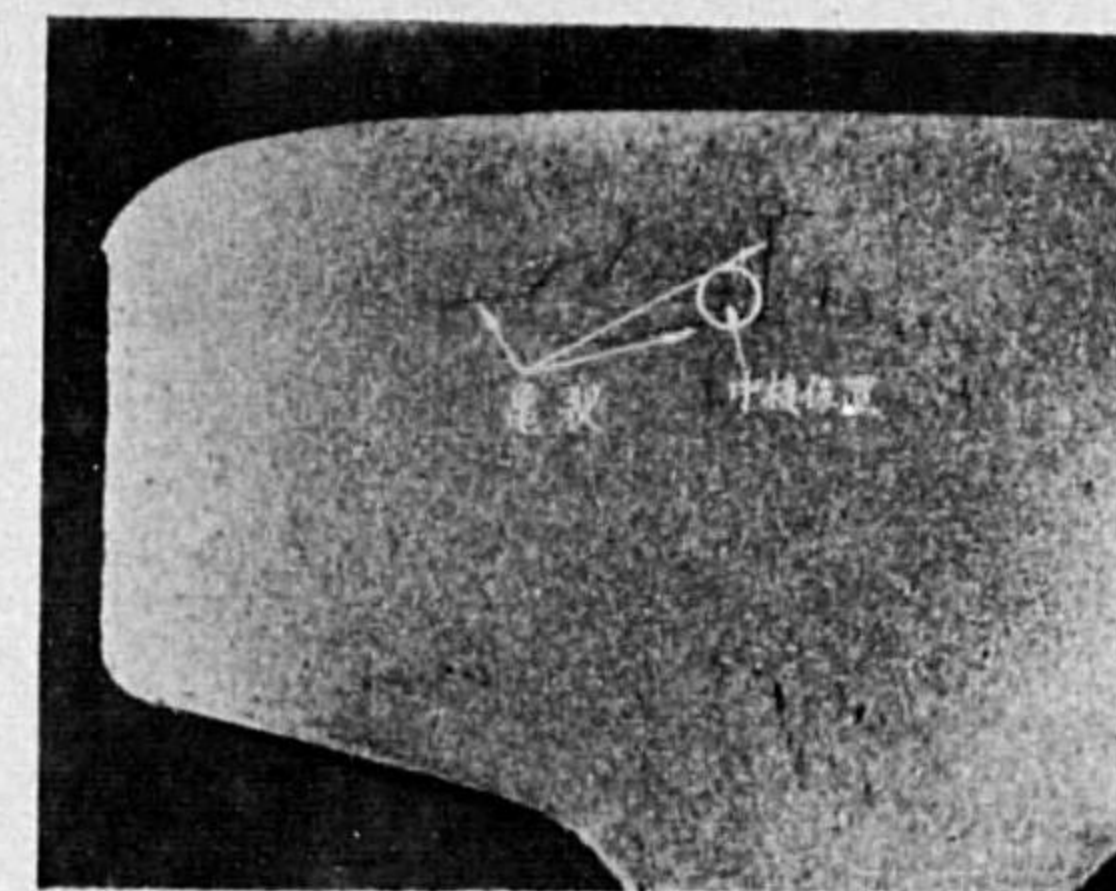
× 1/4



○ 48 ○

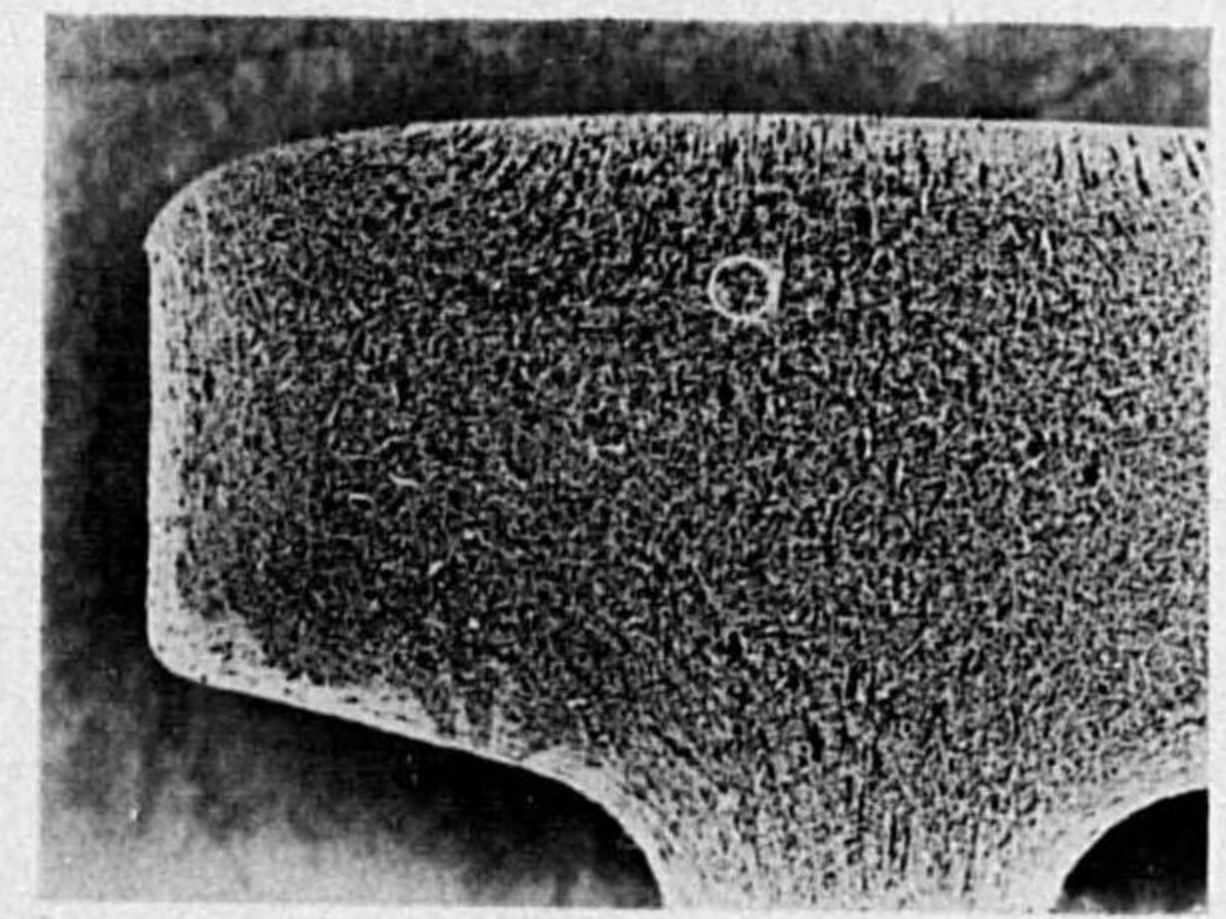
D3 マクロ組織

× 1



D4 全上

× 1



水平裂を作ふ横裂軌條

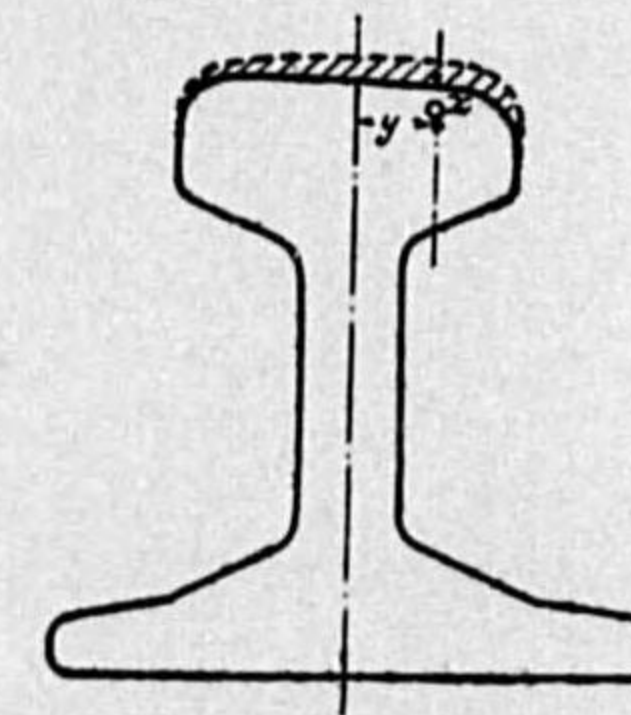
試料番號 B. 15

大陸製 30kg 工

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.38	0.114	1.19	0.005	0.005	0.017

E1 破面の形状

× 1/2



磨耗率 全体.....4.6%
 磨耗率 頭部.....9.3%

磨耗深さ 中央.....4.5 m.m
 磨耗深さ 側.....4.5 m.m

中核の位置
 x = 4 m.m y = 10 m.m

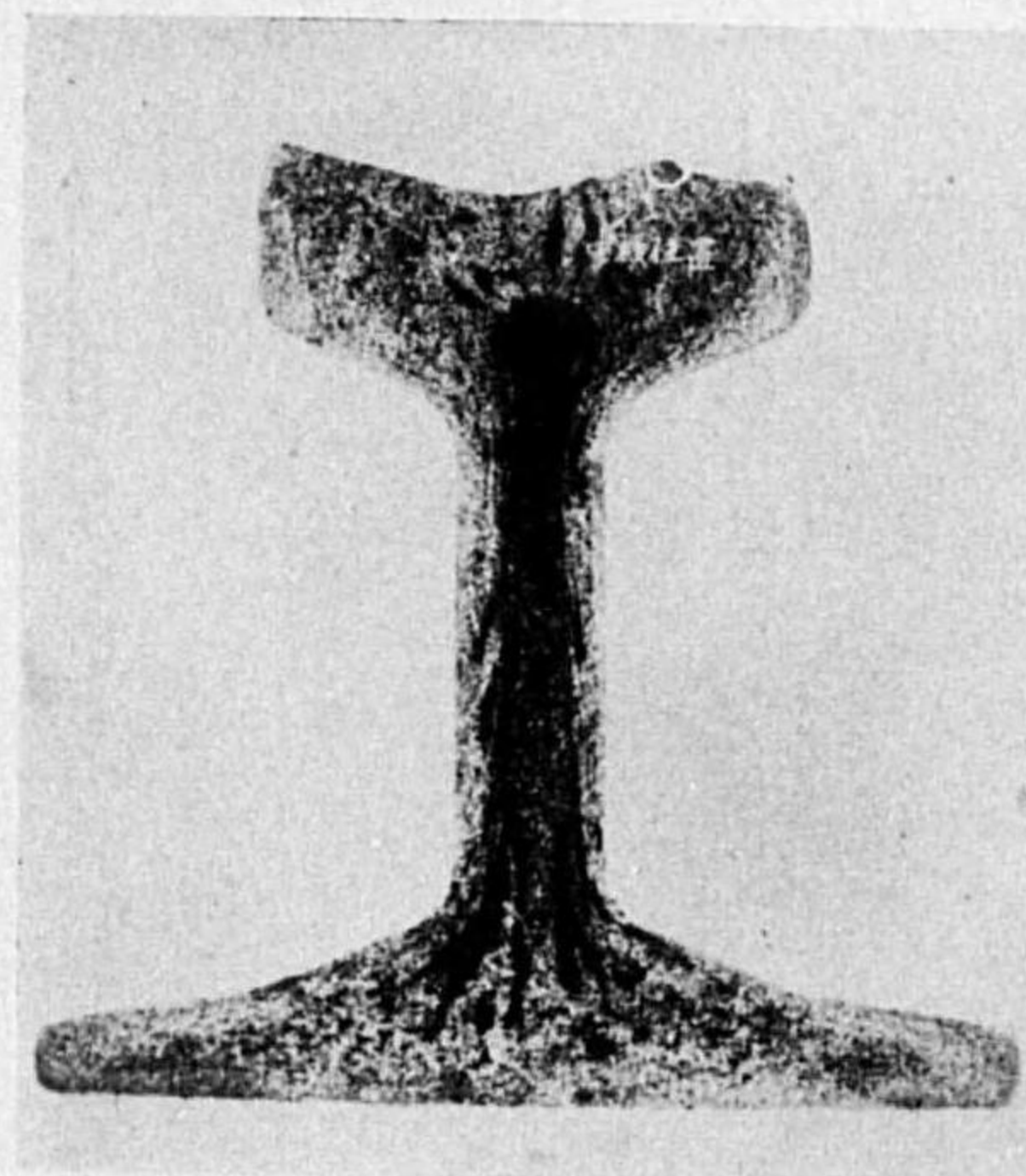
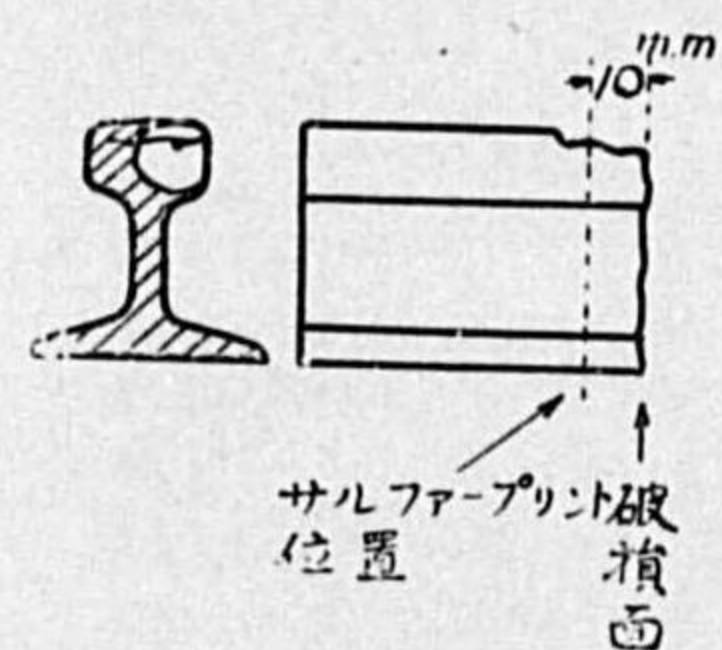
E2 水平裂面の状況

× ½



E3 サルファープリント

× ½

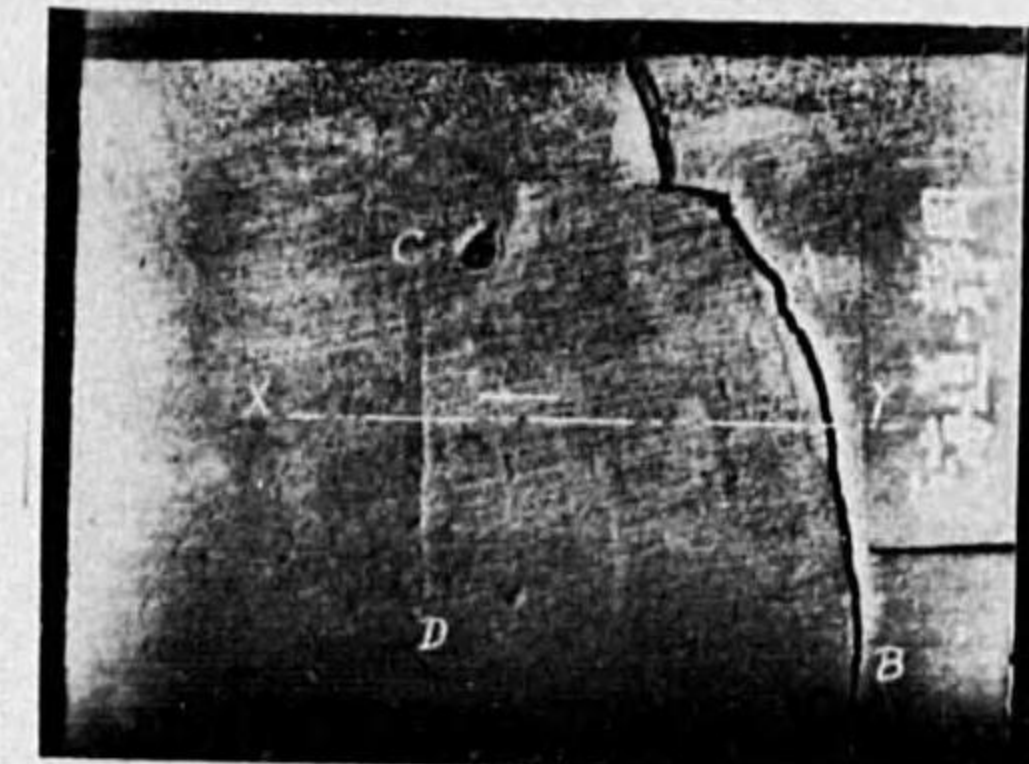


水平裂を伴ふ横裂軌條

試料番號	× 9					製鐵所製	37 kg	♀
C	Si	Mn	P	S	Cu			
0.40	0.076	0.63	0.085	0.013	0.36			

F1 頭部面 相接近して二箇所龜裂あり

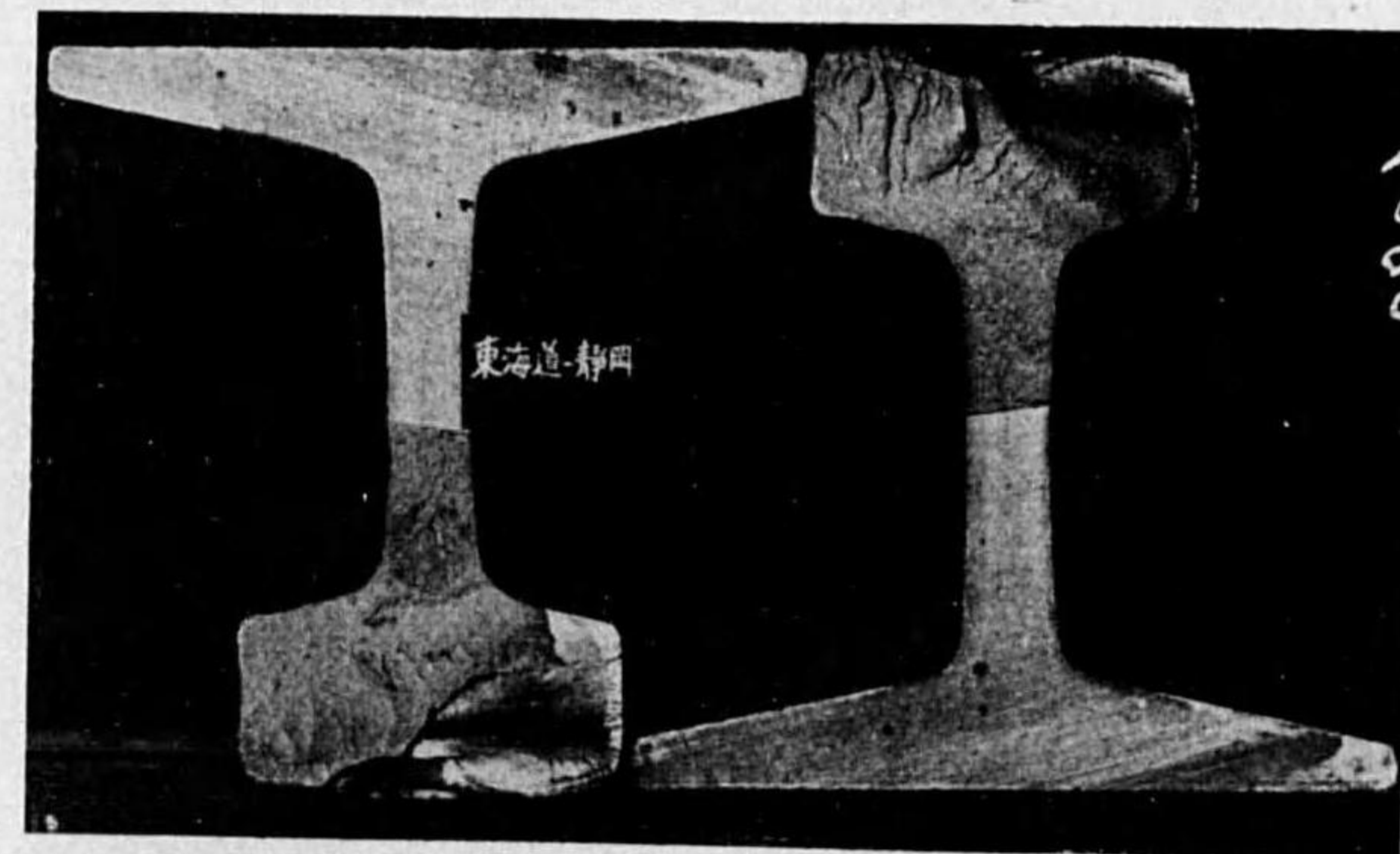
× 1/2



F2 AB破面の形状

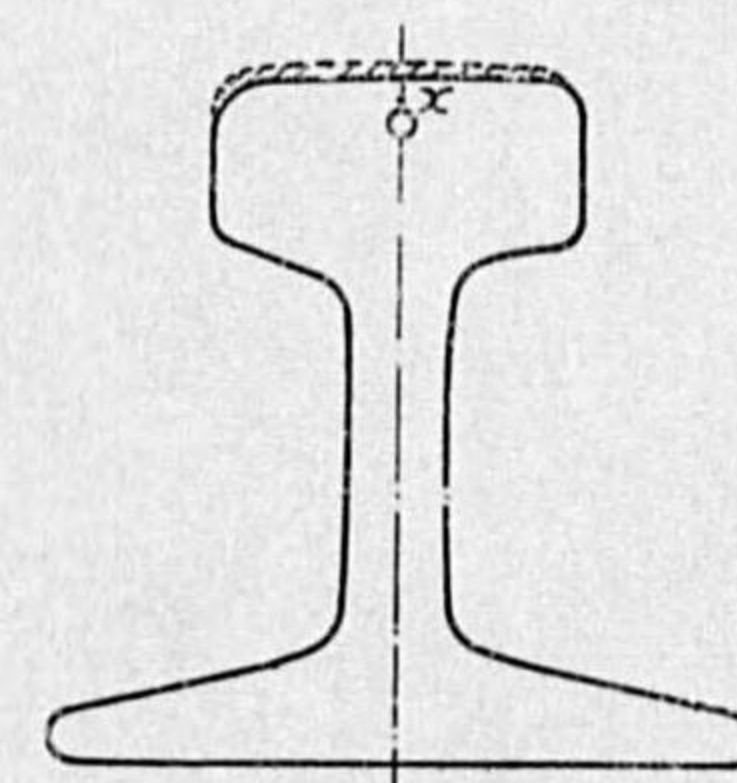
軌條の下半部を鋸引し破折して貝殻面を示す

× 1/2



F3 F 1. に示す如く先づ XY の方向に中央縦断し CD 面に沿ふて鋸断破折せるもの、破面

× 2



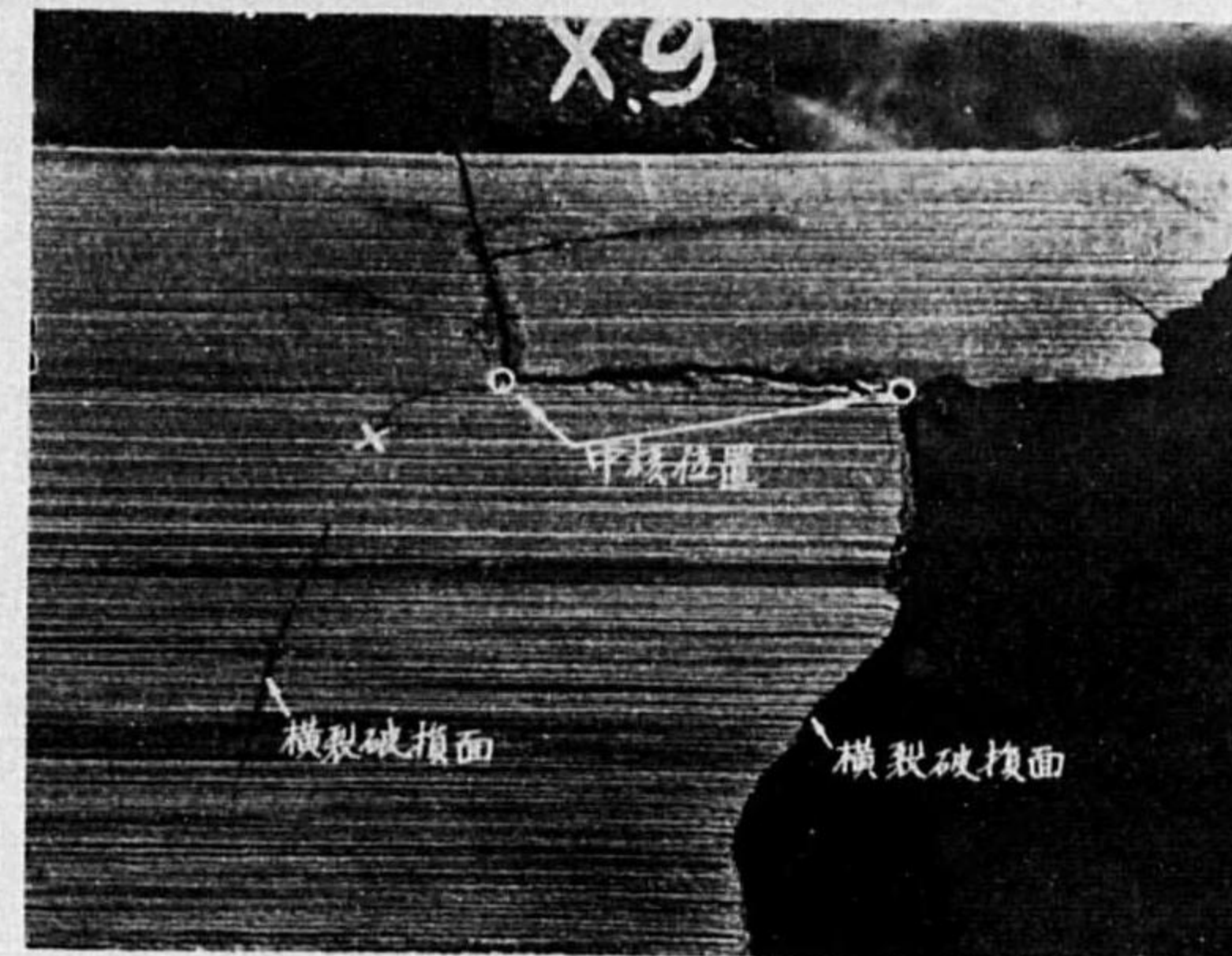
磨耗率 全体.....0.7%
 磨耗率 頭部.....3.6%

磨耗深さ 中央.....1.5 m.m
 磨耗深さ 内側.....2.5 m.m

中核の位置
 x = 8.5 m.m y = 8.0 m.m

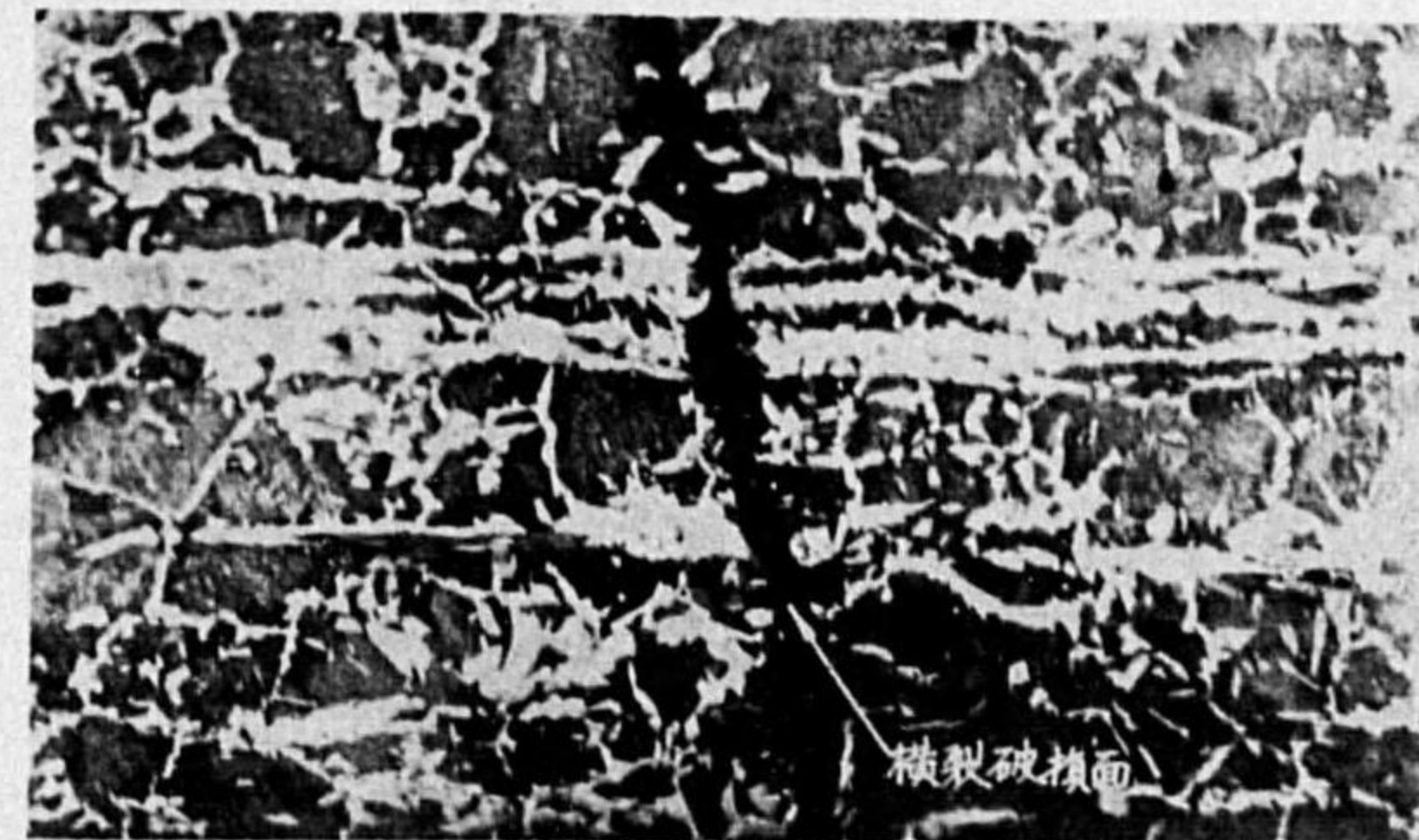
F4 F1に示すXYの縦断面に於けるマクロ組織縦断内部の龜裂の状態、貝殻製の中核及び偏析の關係を示す
寫真面の水平線は偏析線

× 2



F5 F4 X部の檢鏡組織

× 45



中核の頭部面にある横裂軌條

試料番號 A 1.

大陸型 30kg 工

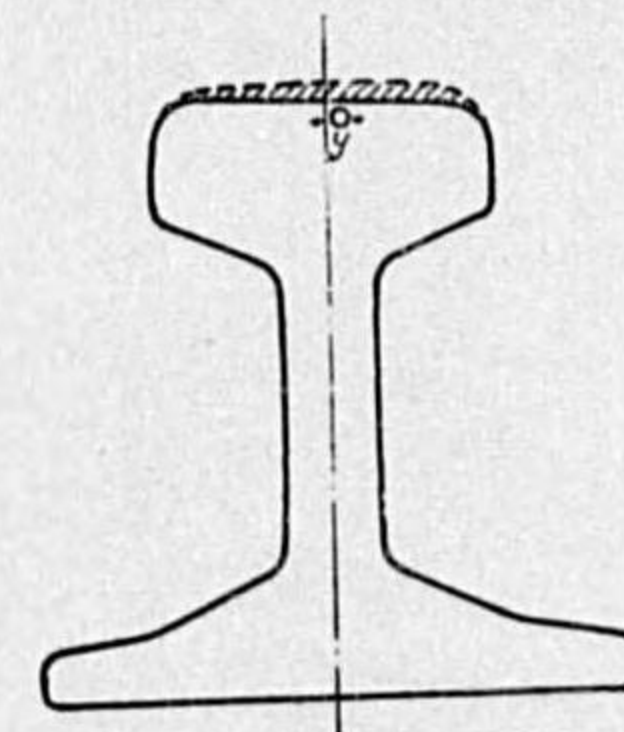
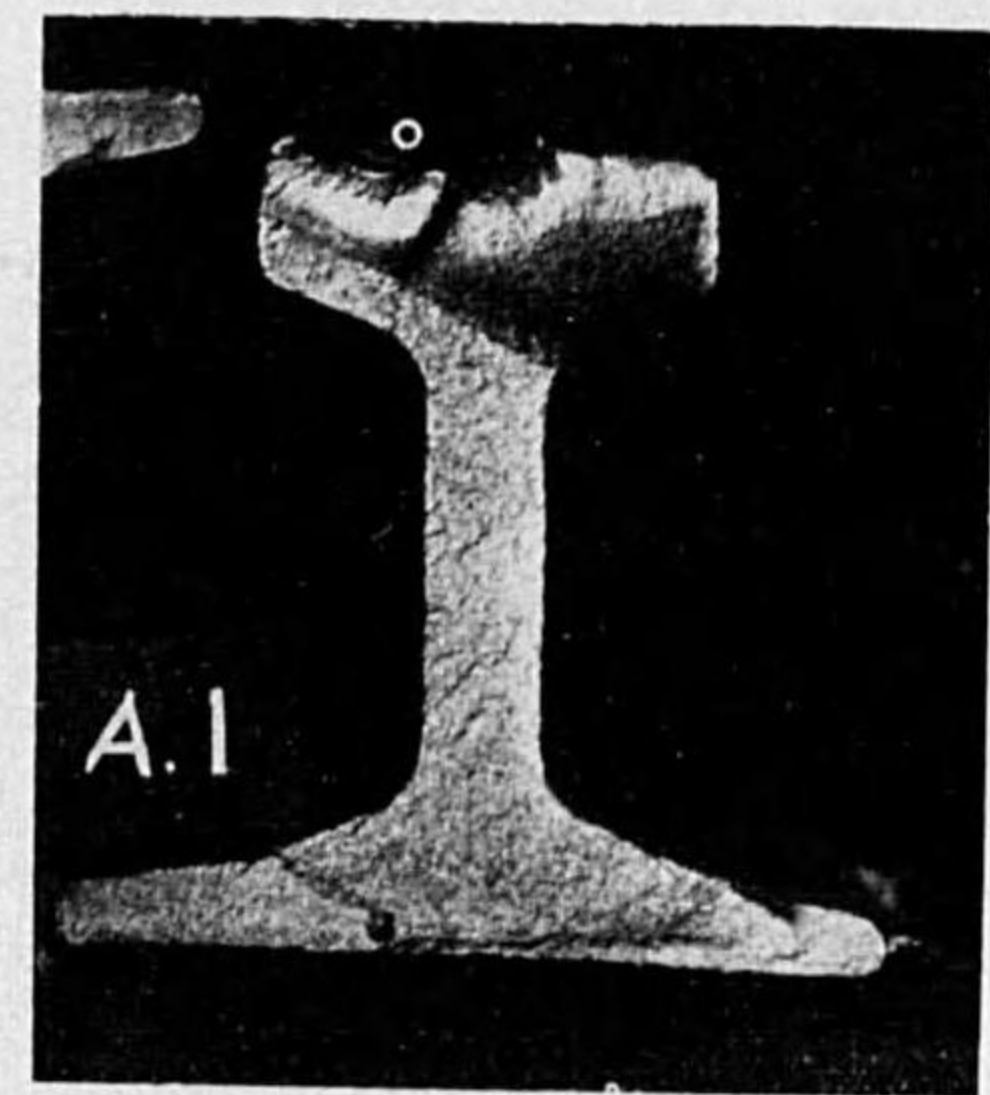
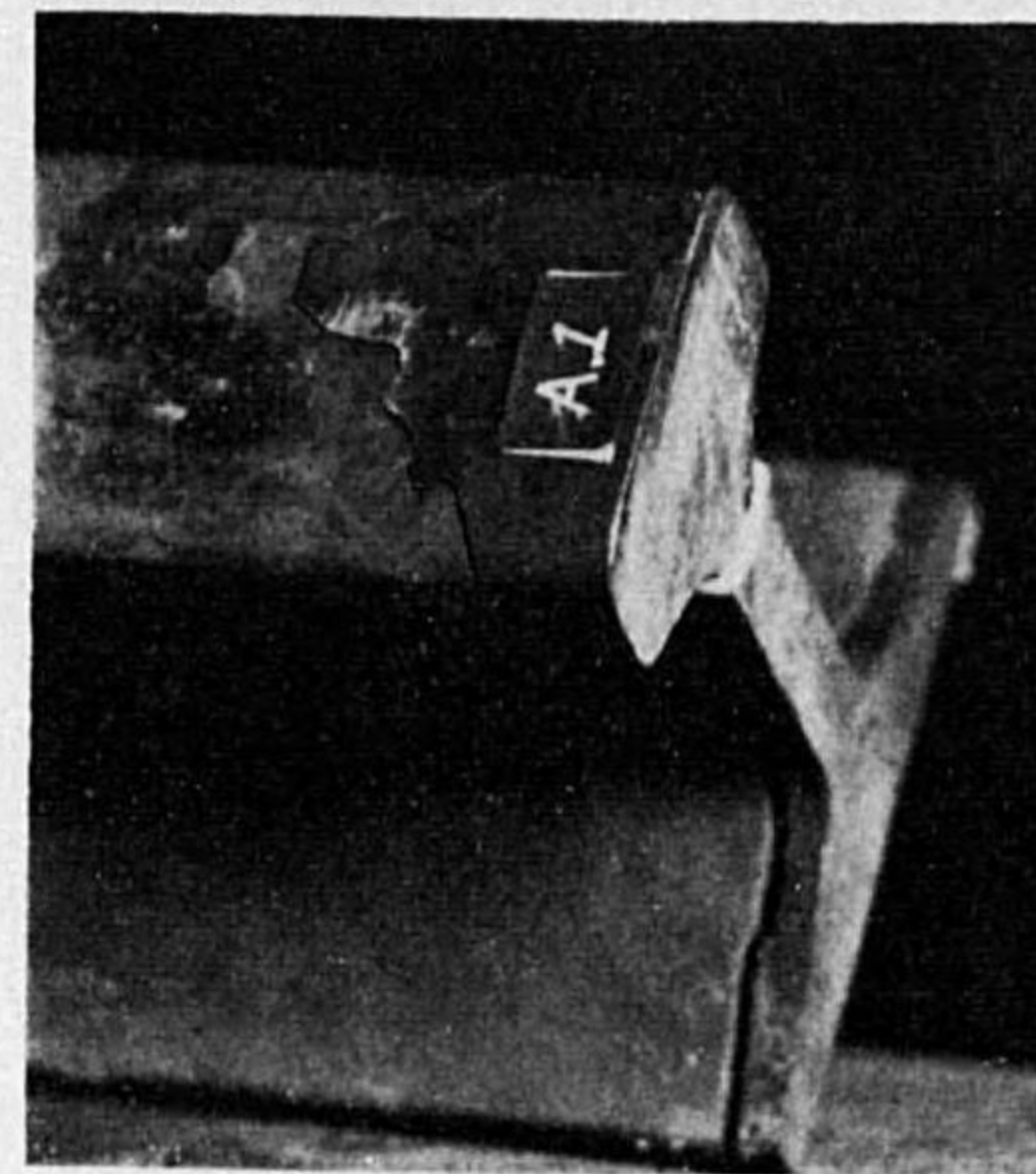
C	Si	Mn	P	S	Cu
0.29	0.052	0.64	0.106	0.019	0.02

G1 頭部面

G2 横裂面

× 1/2

× 1/2



磨耗率 全体.....10.5%
磨耗率 頭部.....13.8%

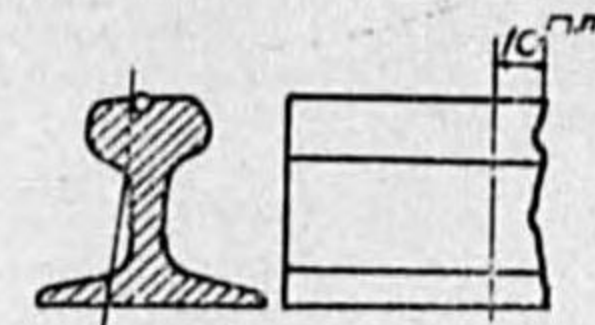
磨耗深さ 中央.....3.0mm
磨耗深さ 側.....3.5mm

中核の位置

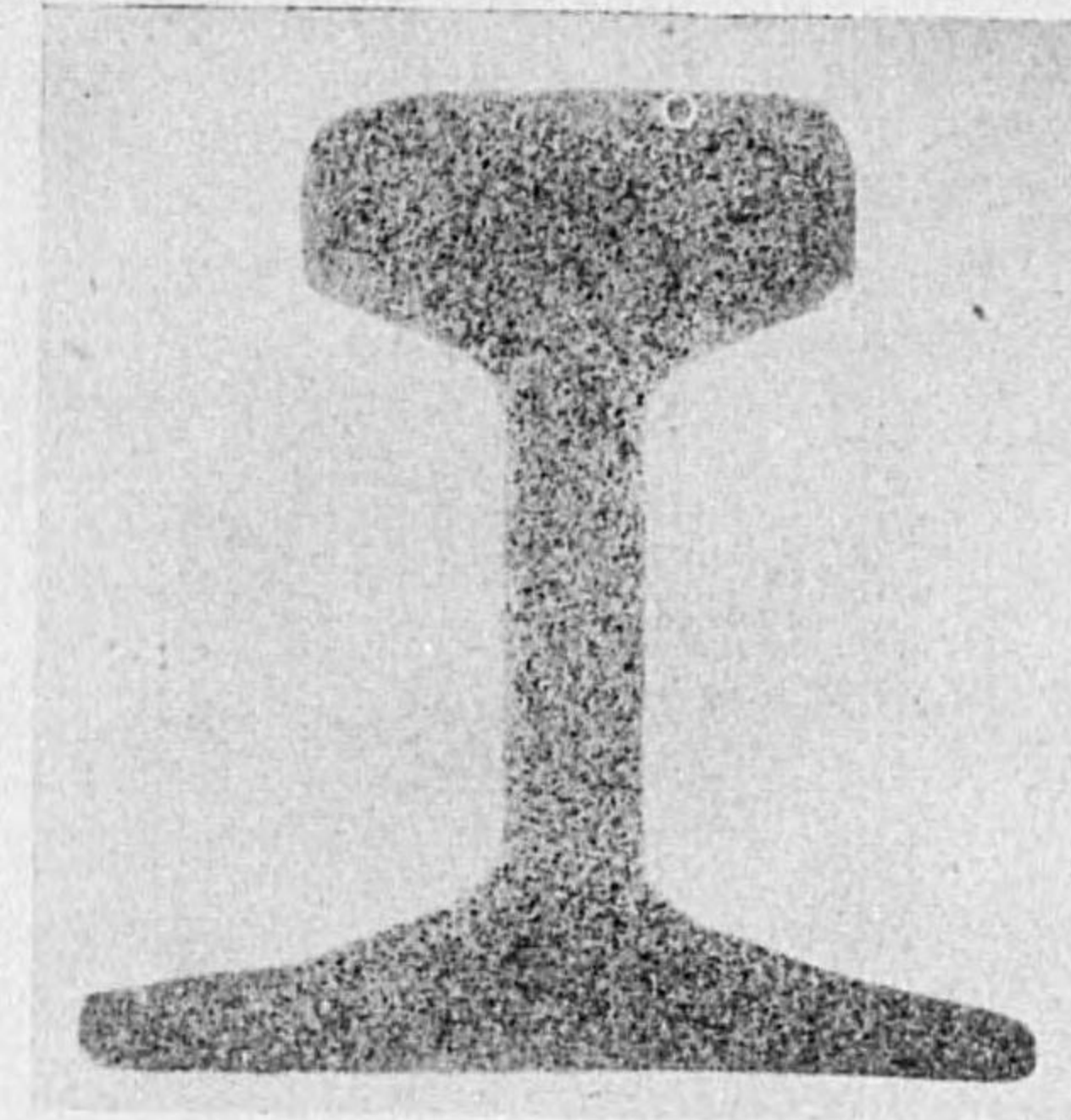
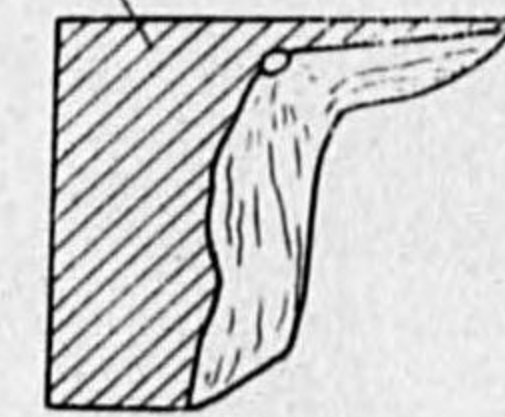
x = 1.0mm y = 2.0mm

G3 サルファープリント

× 3/2



中核を通る縦断面
取断面
(マクロ組織面)

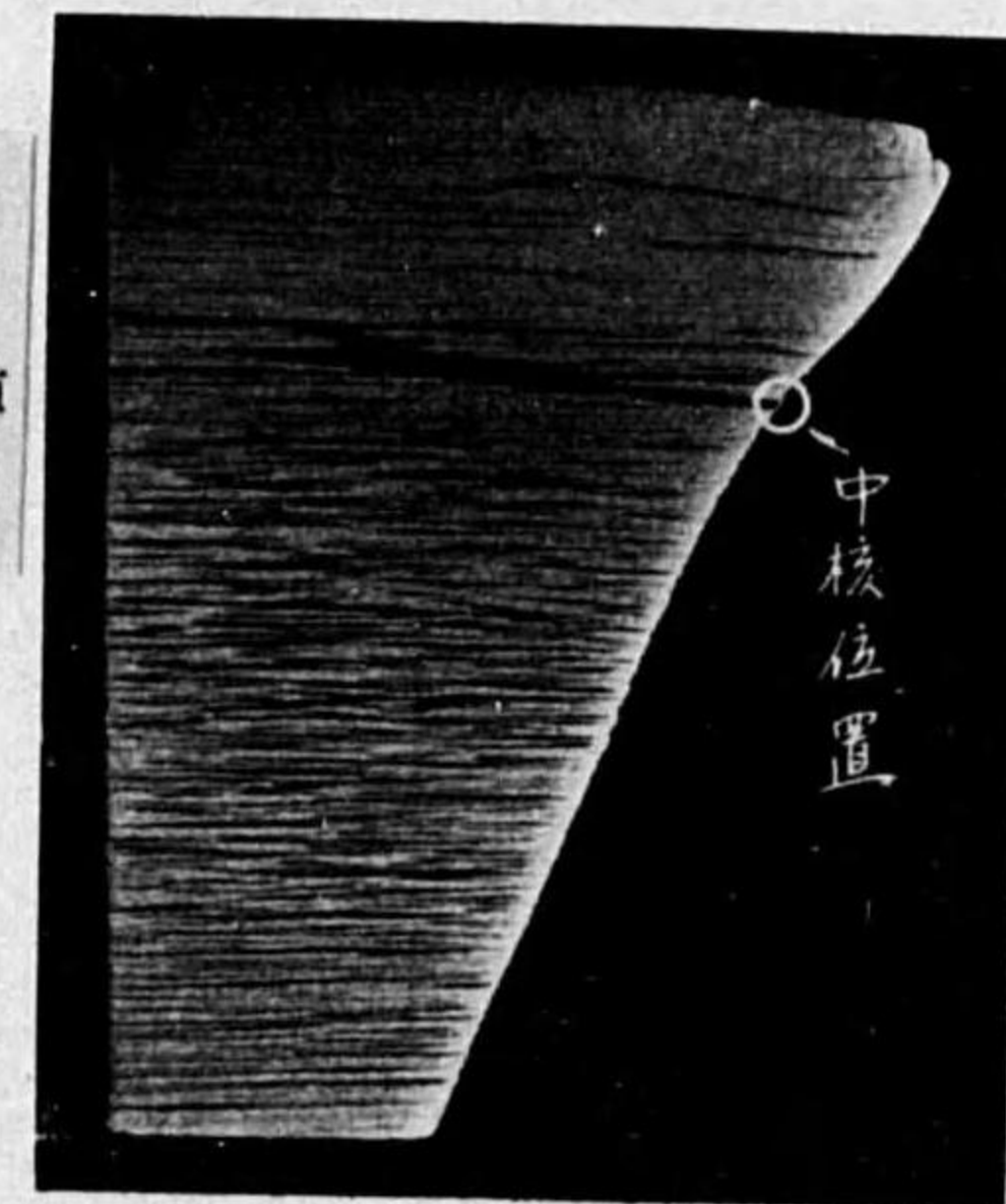


G4 中核を通る縦断面のマクロ組織

× 2

G4 の写真は

A8 の写真と誤植



中核位置

終