

* 久保田鐵工所

第3表 抗折力試験規格

國名	抗折荷重	抗折力 kg/mm ²	撓度	試験片の形状
日本	800 kg	(23.0)	6.8 mm	黒皮
英國	28 CWTs	(29.8)	0.33 in	黒皮
米 國	1,000 lbs 2,000 lbs	(24.0) (25.3)	0.30 in 0.32 in	黒皮
國 際	(400) kg	(28.0)	6.0 mm	黒皮
高級管	1,800 kg	(45.2)	3.0 mm	仕上

高級鑄鐵管規格として此度新に制定さるゝものは抗張力 25 kg/mm^2 で管材の使用強度を 4 kg/mm^2 として計算する。抗折力は鐵鋼協會より商工省へ答申せる一般鑄鐵品規格第4種を採用の筈である。

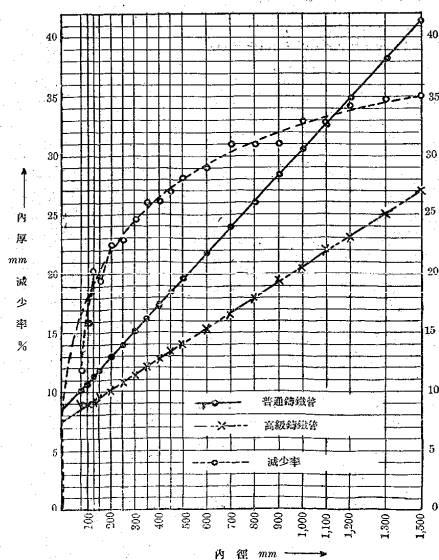
抗折力試験片が角形のものを丸形に変更される事は正確なる試験が出来る事となる、之を實驗した結果が第4表であつて丸形が角形に対する誤差の減少を示す。

第4表 抗折試験片の比較

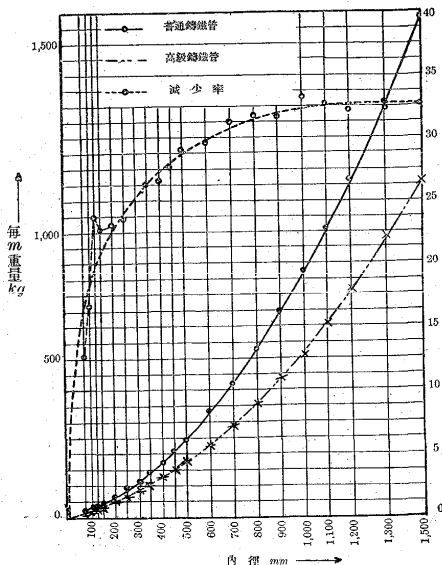
上水標準型 (角形)

断面寸法 mm	支點距離 mm	最大荷重 kg	抗折力 kg/mm ²	撓度 mm
25×50	600	1,170	33.1	16.2
"	"	1,265	35.8	20.2
"	"	1,265	35.8	18.4
"	"	1,173	33.2	17.5
"	"	1,295	36.5	18.0
"	"	1,320	37.4	18.2
平 均		1,248	35.3	18.1
平均値に對する 最高最低の差			12.02%	22%

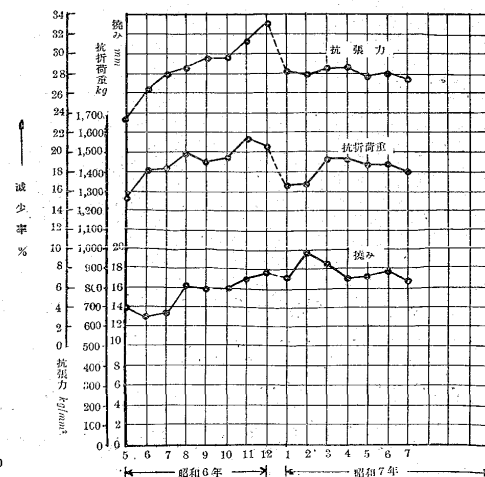
第2圖 鑄鐵管肉厚比較



第3圖 鑄鐵管重量比較



第4圖 高級鑄鐵管材質向上圖表



J. E. S. 案 (丸形)

断面寸法 mm	支點距離 mm	最大荷重 kg	抗折力 kg/mm ²	撓度 mm
30	300	1,525	43.2	5.3
"	"	1,505	42.4	5.0
"	"	1,500	42.4	5.0
"	"	1,500	42.4	4.7
"	"	1,500	42.4	4.7
"	"	1,495	41.3	5.0
平 均		1,504	42.3	4.9
平均値に對する 最高最低の差			2%	12.5%

化學成分に就ては從來何れの國の規格にも其の制限が無つたが高級鑄鐵管に始めて之を設る事になった。

III. 高級鑄鐵管

近年著しく發達した高級鑄鐵を以て鐵管を製造し之を高級鑄鐵管と命名した。高級鑄鐵管は普通鑄鐵管の短所である脆性を補ひ且其の長所である腐蝕に對する抵抗力を更に増大したものである。また材質の強靱なるため管厚を薄くする事が出来る。我國水道管には管厚の計算にフーニング氏の公式を基礎とした算式を用ひらるゝので其の式により高級鑄鐵管の管厚を計算すれば

$$T = \frac{(p+p')d}{2f} + 7.5 \left(1 - \frac{d}{2125}\right)$$

式中 T = 管厚 mm $p = 7.5 \text{ kg/cm}^2$ = 靜水壓力

$p' = 5.5 \text{ kg/cm}^2$ = 衝擊壓力 d = mm = 管の内徑

$f = 400 \text{ kg/cm}^2$ = 使用強度 = 破壞強度/安全率

數字を入れて上式を簡約すれば次の (1) 式を得る。

$$T = 0.013d + 7.5 \dots \dots \dots (1)$$

尙現行の普通鑄鐵管の厚さ算定式は次の (2) 式である。

$$T = 0.022d + 8.5 \dots \dots \dots (2)$$

第2圖は之等兩式による管厚及び高級鑄鐵管々厚が普通鑄鐵管々厚に對する減少率を示す。第3圖は兩鑄鐵管の長さ1m當りの重量及び高級鑄鐵管が普通鑄鐵管に對する重量減少率を示す。

即重量の減少は價格を低下せしめうるものである。現在國內1ヶ年鑄鐵管の需要は約10萬噸であるから普通鑄鐵管の代りに高級鑄鐵管を使用すれば良質の鐵管を使用し得るのみならず假に重量減少率を20%とすれば年2萬噸の銑鐵の消費を節減する事が出来る。

斯の如く埋設管として特徴を有するのみならず國家經濟上よりも大なる效果あるものなれば急速に實際製造に取掛り種々なる困難を排除して製品として市場に紹介したのが昭和5年5月であつた。翌6年1月より愈々注文に應じ識者の指導と共鳴を得て製造高を増し現在迄には5萬噸を超過し此後は全部此に代る情勢となつてゐる。

然れ共實際作業に當つて始より從來の 12.5 kg/mm^2 の2倍の強度 25 kg/mm^2 に一躍變更する事は健全なる製品を出すに萬全を期するの途でないので兩者の間なる 18.75 kg/mm^2 を漸定的中間規格として其の間に職工の訓練と技術の研究をなし此の階程が完全に實行されて始めて漸次品質を向上せしめ遂に豫定の點に達したのである。第4圖は發達の經過を示す強度圖表である。此によれば最初の4ヶ月即抗張力が 28 kg/mm^2 に達する迄は抗折力も撓量も共に抗張力に伴つて上昇したが 28 kg/mm^2 附近より上は後者二つ乍ら飽和の状態となつた管材としては抗張力が無闇に高いよりも撓量の多いものの方が屈撓性に富むので適當なりと考へ本年1月よりは抗張力は25乃至 28 kg/mm^2 とし撓量を増す事にした。抗張力25乃至 28 kg/mm^2 では撓量もなだらめ得る外製造費も 30 kg/mm^2 位のものより割合に低廉なるによりこの邊が技術經濟双方より見て實用上適當なる處と考へた。

IV. 化 學 成 分

管材としての主要條件は 1. 強靱なる事 2. 腐蝕に強き事であつて内燃機關の汽笛に使用さるゝ如き耐熱性の必要はない。従つて其の化學成分に於ても一般高級鑄鐵と相違が起り得るのである。

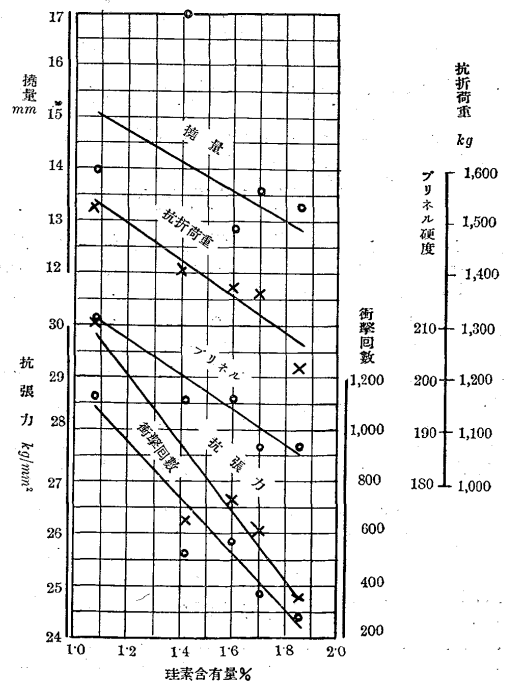
第5表は普通鑄鐵管と高級鑄鐵管との標準成分を示すものである。

第5表 鐵管標準成分

	抗張力 kg/mm^2	全炭素 %	珪素 %	滿俺 %	磷 %	硫黃 %
普通管	12.5	3.7~3.9	1.6~2.6	0.6~0.7	0.4以下	0.10以下
高級管	25.0	3.1~3.4	1.2~1.7	0.7~1.0	0.4以下	0.09以下

抗張力 20 kg/mm^2 以下のものに於ては炭素量を低下する割合以上に珪素量を下げて操業し 25 kg/mm^2 以上のものを得るには低炭素鑄鐵となす關係で大口徑管には珪素を低下しても差支へないが小口徑管即ち薄肉管は珪素の相當量を含有せしめた方が材質そのものにも亦管體の仕上げ上にも都合が良い。第5圖は珪素と鑄鐵の機械的性質との關係を全炭素3.20、滿俺0.75、磷0.18、硫黃0.08%の鑄鐵について檢したもので圖中打撃試験は 5 kg/mm^2 の張力と 20 kg/mm^2 の打撃仕事量とを同時に與へたものである、之によると珪素は鑄造上差支へなき限り低きが良く管厚の大なるものに於て殊に然りである。

第5圖 鑄鐵の機械的性質に及ぼす珪素の影響



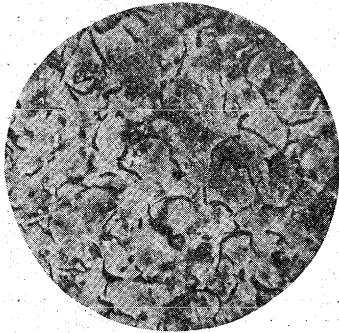
滿俺は過少なれば脱硫作用をなさざるのみならず流動性も不良となり管體上部にノロを含み水壓に對し漏水する恐れあれば其の含有量を0.7~1.0%に保たしめて居る。

磷の含有量は0.45%迄は機械的性質を損せず、原料として使用する東洋銑は磷の含有量は少く0.3%以下で歐米銑の1%内外であるに比すれば遙に少いため衝撃抵抗力大である。關東大震災に當り水道管の破損は輸入管に破損ありて國產管に破損なかりしは磷の含有量の大小に起因する處である。

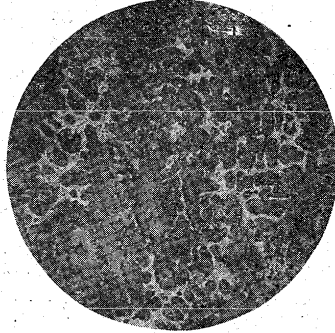
寫眞1は國産管寫眞 2は獨逸製管の組織中 Fe_2P の現出状態を示す。

高級鑄鐵管の實際製造に當つては磷は0.3%以下である。

寫眞 1



寫眞 2



硫黄は含有量 0.12% 迄は機械的性質を損ぜず却て良くなつてゐるが0.1%を越せば流動性悪く従つて鑄巣を生ずる傾向あり。0.10% 以上は禁止すべきである。吾人日常の操業では 0.07% 以下である。

V. 原 料 鉄

原料鉄鐵としては鞍山鉄、釜石鉄、印度鉄を主として使用してゐる。第6表は各鉄鐵の標準成分を示す。

第6表 各種鉄鐵成分

	全炭素	珪素	滿僂	磷	硫黄
鞍山	3.50%	3.00	0.60	0.15	0.04
釜石	3.90	2.00	1.00	0.40	0.02
釜石高滿僂	4.00	1.00	2.20	0.20	0.02
タタ	3.90	1.50	1.20	0.25	0.03
バーン	3.90	1.80	1.20	0.25	0.03
兼二浦高珪素	3.60	4.00	1.50	0.20	0.03

市場の在庫品と異なる處は各鉄鐵の特徴を發揮せしめて之を利用して居る點である。從來鉄鐵販賣業者の分析表には全炭素幾%以上として居り炭素の高きを望む傾向となつてゐたが高級鑄鐵用鉄鐵として特に大量熔解に當つては炭素含有量の低き程都合宜しければ爾後炭素は幾%以下と規定した方が鑄鐵業者の要望に添ふ事と思ふ。斯の如くして低炭素鉄鐵の供給をうるならば配合に當り鋼片挿入の率が下つて作業は甚だしく容易となり且現下の如き世界的鋼片不足の時代には其の購入の困難が大に緩和されるのである。

VI. 操 業 法

熔解爐は内徑 1,500 mm 4基と 1,250 mm 2基とを使用し各半數宛隔日に 10 時間操業をしてゐる。配合は前記の鉄鐵にホームスクラップ 20% 並に鋼片 10~30% 混合して居る。第7表は配合の一例である。

第7表 高級鑄鐵管材配合比

	割合%	全炭素	珪素	滿僂	磷	硫黄
鞍山	40	1.400	1.200	0.240	0.060	0.016
釜石高滿僂	20	0.800	0.200	0.440	0.040	0.004
道具鉄片	20	0.640	0.320	0.160	0.040	0.013
鋼片	20	0.040	—	0.080	0.020	0.006
合計	100	2.880	1.720	0.920	0.160	0.039
熔解による増減		+0.460	+0.85	+0.850	±0	+0.030
製品成分		3.340	1.462	0.782	0.160	0.069

市販鉄鐵近頃の炭素の含有量は 4.0% 内外なれば之を此まゝ用ふれば炭素量を低下せしむるため鋼片の挿入も多くなる。この場合滿僂並に珪素の量は所要の含有量に不足するを以て滿僂鐵、珪素鐵を補充せざるべからざる事となり熔解は複雑且高價なるものとなる。故に其の後製鉄業者の協力を得て當今では各鉄鐵の特徴たる成分を拾ひ上げ例へば或鉄鐵よりは低炭素、高珪素のものを得、他鉄よりは高滿僂を得、是等を適當に配合して比較的簡單に所要の成分を得るに至つた。

熔解中の加炭量は鋼片の炭素量 0.2% が 2.6% に増加したと推定して計算上宜しく、硫黄の含有量は 0.03% のものが 0.06% となる程度のもので一般高級鑄鐵熔解の場合に見るよりも添加量少し。また製品の化學成分中炭素、珪素の含有量が一般高級鑄鐵の例より高きにも拘らず強度の大なる理由は

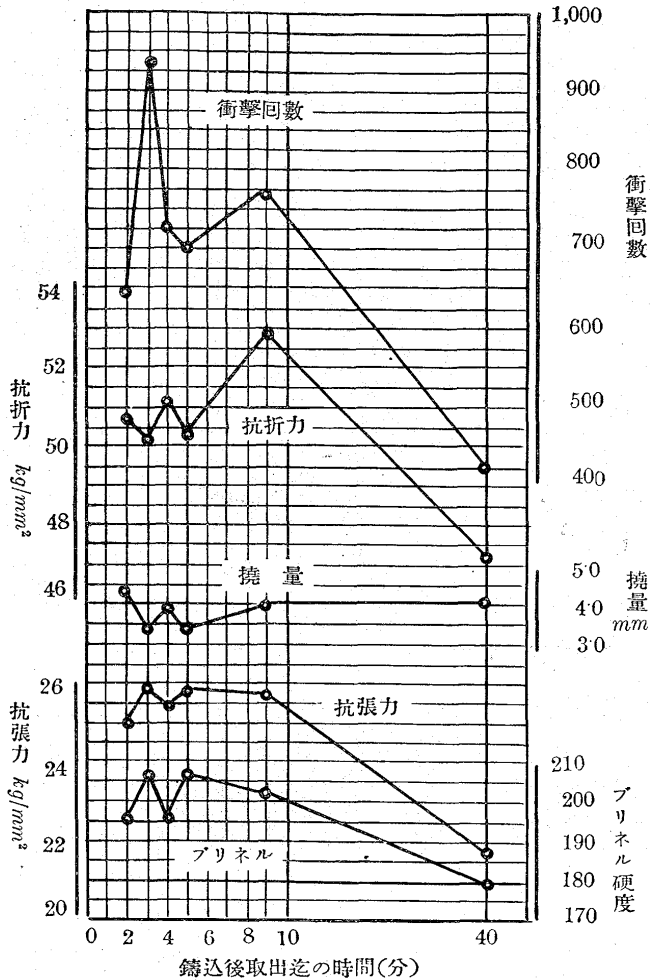
1. 大量熔解をなす爲熔解速度大なる事
2. 熔鉄は爐底に溜まる隙を與へず間斷なく抜き去らるる事

の2點にして直接骸炭に接觸する時間並に CO 瓦斯中に曝さるゝ時間少きため加炭量其他惡影響をなす瓦斯硫黄等の吸収も少い爲である。

鑄造に就ては鑄型の乾燥は勿論充分にし鑄込温度も上げ型砂並に型膚塗料は耐火度の高きものを選ばねばならぬ。

型出し温度は不等收縮を避るため相當時間鑄型中に置く事を規定してあるが鑄鐵管の如く形状極めて簡單で而も對稱的で回轉し乍ら冷却するものでは不等收縮の影響が少い事と一方では A_{r1} 變態點附近で型より出した方が強靱であるので管體が黒くなる迄鑄型の中におく事は考慮すべき事だと思ふ。第6圖は此の影響を直徑 31×長さ 450 mm の試験片にて研究し、抗折力は鑄放しのまゝ、其の破片の一方を衝撃、一方を抗張力の試験片に當たものゝ結果であり第8表は 100 mm 鑄鐵管實體を以て此の影響を實驗した結果の概念を示すものである。

第6圖 鑄造後冷却速度の影響



第8表 取出し早さの影響

鑄造後取出し迄の時間(分)	壓縮試験	抗折試験	抗張力試験	硬度	打撃試験	
					黒皮面	仕上面
4	撓度小にして脆し	中	中	大	小	大
14	脆性あるも強し	大	大	大	小	中
360	粘性大なり	小	小	小	其の度甚し	小

VII. 實體比較試験

此の試験は高級鑄鐵管が普通鑄鐵管に比してどの位強いかが各管實體に就て調べたものであつて試験に用ひたる材質は上水標準型試験片によつて第9表の成績を有するものである。

第9表 材質標準強度

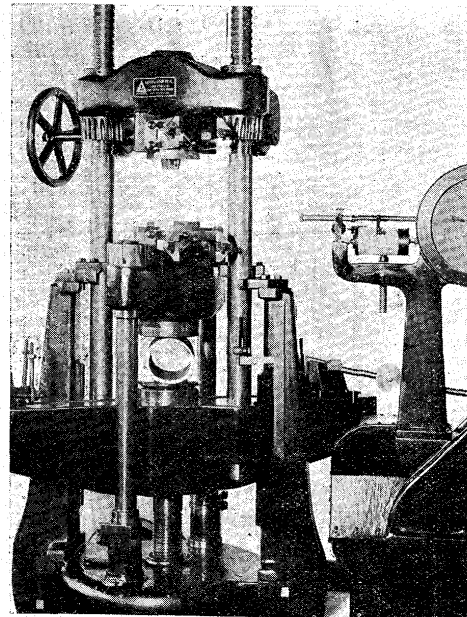
	抗張力 kg/mm²	抗折荷重 kg	撓度 mm	硬度 ブリネル
普通管	14.5	850	6.8	160
高級管	26.0	1,400	14.0	207

實體に就ては外壓、彎曲、衝撃の3種の試験を行つた。

イ、外壓試験—内徑 100mm 管を長さ 200mm に切斷したる試料を第7圖及び寫眞3に示す如く 30 吨松村式萬能試験機の上下兩平面板に挟み押壓したる兩者の變形及耐力は第8圖に示すものである。

圖は横軸に歪み、縦軸に荷重を取つた。

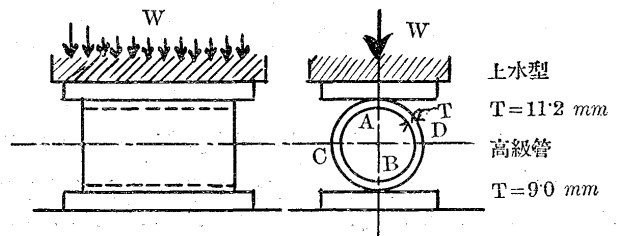
寫眞3



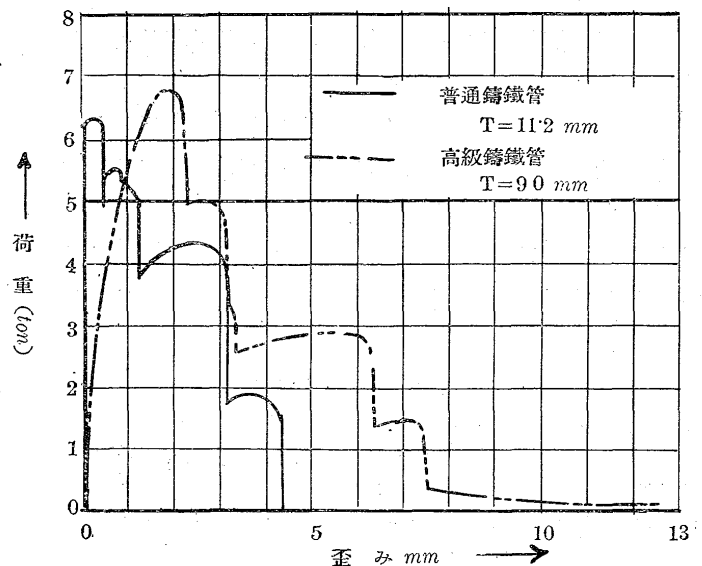
試料は其の最高耐力に到ると第7圖のA點に先づ龜裂を生ずる。A,B點は夫々内部の上下C,D點は外部の左右にして龜裂點である。荷重の加はるにつれて順次 ABCD 點の龜裂を生じ普通管は D 點に龜裂が起ると同時に4片に破

斷飛散するが高級管は D 點の龜裂起るも尙隋圓形のまゝ残る。寫眞4は試験後の兩試料である。高級管は耐力歪み共に大であるが第8圖に見る如く歪みに於て其の差が甚しい。

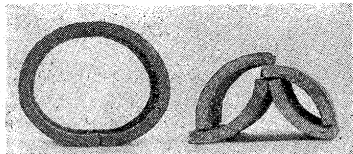
第7圖 外壓試験



第8圖 外壓力比較



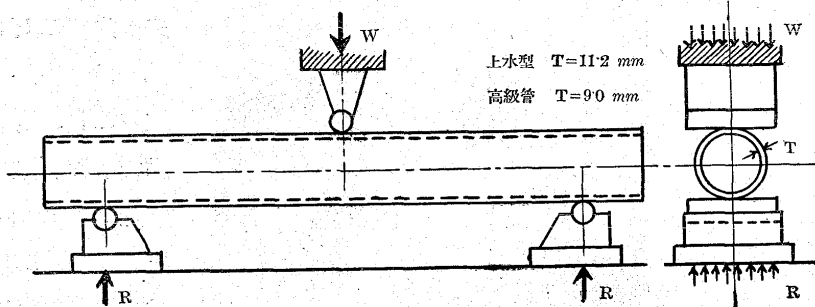
寫眞 4



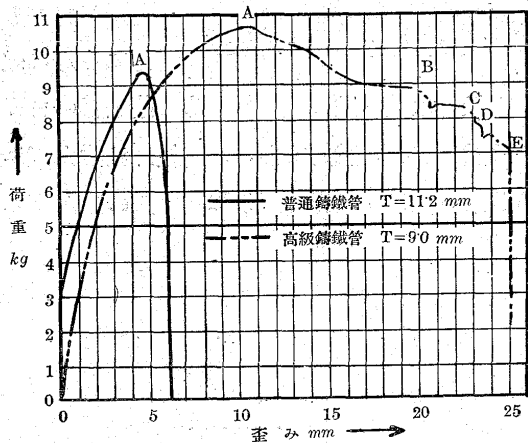
ロ、彎曲試験—第9圖

及び寫眞 5 の如く内徑
100 mm 長さ 1,000 mm
の試料を 800 mm の徑間

第9圖 彎曲試験



第10圖 彎曲力比較



支にてへ
其中央に
荷重した
兩者の荷
重歪み状
態は第
10圖の
通りであ
る。

普通管
は第10

圖中 A 點に達し一時に兩斷すれ共高級管は 10 mm の歪みの後順次龜裂 A.B.C.D.E を生じて破損するも兩斷せず。寫眞6 は此等の状態を示す。この結果より見ても高級鑄鐵管は撓性遙に大にして管厚小なるに拘らず強度も亦大である。

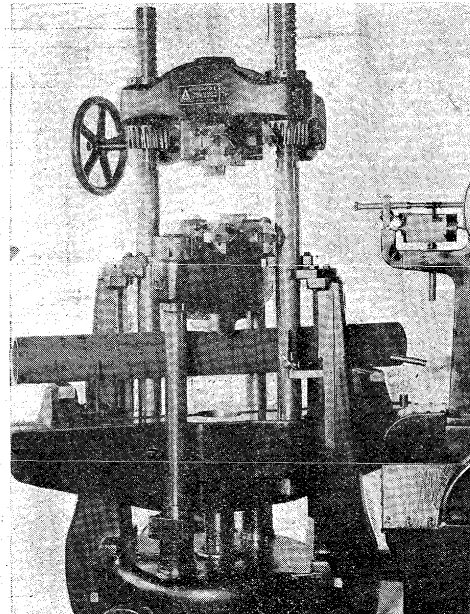
ハ、操返し衝擊試験—普通鑄鐵管及び高級鑄鐵管より各内徑 100 mm 300 mm 600 mm 管を選び其の中央部より第 11 圖に示す如き試験片を 4 個宛採取し内 2 個は黒皮を他の 2 個は仕上面を打撃した。是等鐵管の厚さは高級管は普通管より薄い。

各材質の標準強度を知るため各鐵管と同一熔銑より試験片を鑄造し抗張力及び松村式操返し衝擊試験並に成分の化學分析を行ひ其の結果を第 10 表に示す。

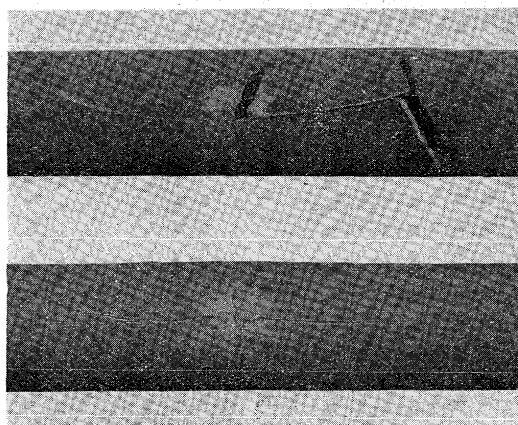
第10表 材質標準試験片

	抗張力 kg/mm ²	衝擊 回数	化學成分				
			全炭素	珪素	滿俺	磷	硫黃
普通管	17.6	96	3.51	2.17	0.701	0.43	0.07
高級管	27.5	1,089	3.20	1.74	0.860	0.13	0.08

寫眞 5



寫眞 6. 寫眞彎曲試験の龜裂状態



操返し
衝擊試験
の結果は
第 11 表
に示す。
普通鑄
鐵は黒皮
の方向よ
りの打撃
に強く高

級鑄鐵は黒皮の方向と切口の方向との抗力の差異少く各種を通じて普通鑄鐵管より數倍強い。

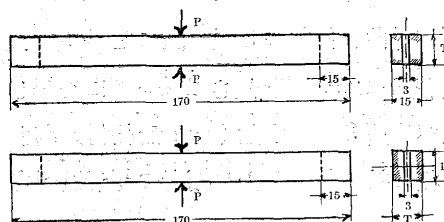
第11表 管體操返し衝擊試験

管 厚 mm	100		300		600	
	普通	高級	普通	高級	普通	高級
管 厚 mm	10.8	9.0	15.0	11.0	21.5	14.25
黒皮を打撃	20	137	84	214	224	780
切口を打撃	7	168	77	223	180	781

VIII. 試験片と實體との強度の関係

鑄鐵管は大量生産をなすため實體に試験片を附着せしむ

第11圖 衝擊試験片



る事困難なので
實體と同一熔銑
より試験片を鑄
造し之の強度が
實體を代表す
る事になつてゐ

る。然るに冷却速度の相違等によりて試験片と實體と又管體にては其の大小により同一熔銑より鑄造しても強度に變化あるものである。現在は大口徑管と小口徑管とは別個の配合にて別個の熔解爐を用ひて鑄造してゐるが同一熔銑を用ひた時果して上記三者の強度の關係が如何であるか第12表は之に就ての試験の結果を示せるものである。

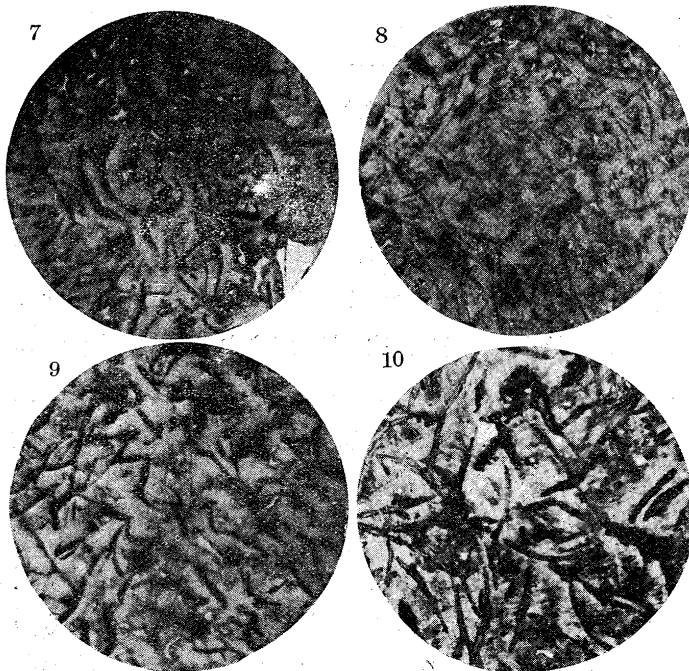
第12表 抗張力比較

試料種 管徑mm J.E.S.案 試験片	管厚 mm	板型			丸型		修正
		厚	幅	抗張力	直徑	抗張力	
100	9.0	9.0	20	21.38	—	—	24.4
300	11.0	11.0	20	21.70	—	—	24.8
450	13.5	13.5	20	22.47	—	—	25.7
600	15.5	15.5	20	21.13	10	22.26	
1,000	19.5	19.5	20	23.01	15	22.81	
1,500	24.0	24.0	20	—	20	22.77	

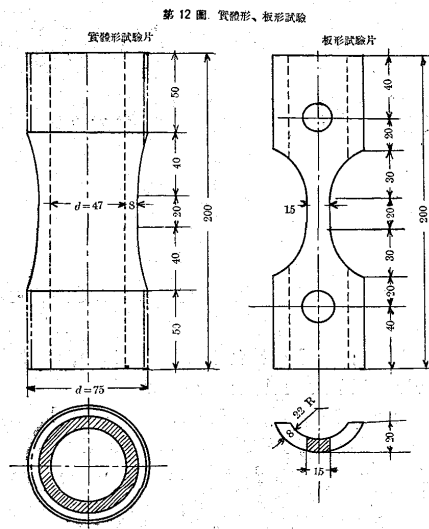
この結果によれば小管より大管の方が強力に出て居る。然るに顯微鏡寫眞を見れば 100mm 管並に 300mm 管は試験片よりも黒鉛炭素の晶出も少く細く 450mm 管に至りて試験片に近似の組織を呈し 600mm 以上の管は徑の大なるにつれて次第に粗なる組織となつて居る。寫眞 7, 8, 9, 10 は夫々試験片 100mm 管 450mm 管 1,000mm 管の顯微鏡寫眞である。

この點より考へても J.E.S. 案試験片よりも小管の方が強く出なければならぬ。之は管體より試料を採り出して試験する適當の方法が無いために起る誤差と考へて良い、之

寫 眞



を證明するために第12圖甲に示す様な管を圓筒形のまゝ



試験した強度と之と全く同一のものを第12圖乙に示す、先例に屢用ひたる如く板形に切り出したるものゝ強度の比は第13表に示す通り 114 で實體は板形のものより 14%強い。

第13表 實體形、板形抗張力比較

實體形抗張力試験片			板形抗張力試験片		
番號	抗張力 kg/mm ²	抗張力 の 比	番號	抗張力 kg/mm ²	抗張力 の 比
1	28.00		1	22.70	
2	28.56		2	25.50	
3	28.33		3	27.30	
			4	24.90	
			5	27.20	
			6	25.10	
平均	28.30	114	平均	24.80	100

此の關係を前記の場合に適用すれば第12表に修正せし數値となりて顯微鏡寫眞より判斷する強度と殆ど一致する此の結果から推せば 450mm 管以下の小管の實體では試験片と同一強度を有しそれ以上の管厚を有する大管は 10% 減ずるものと見てよい。

結 論

日本上水協會が高級鑄鐵管の材質が優秀で且之を採用すれば水道計畫に當り鐵管費を節約する事が出来るので慎重に調査の末各國に先ち高級鑄鐵管規格を制定されし事は水道界は勿論鐵工業界に取りても喜ぶべき事にして目下海外進出に相當の實績を擧げつゝある時機なれば日本にて立案せられ且製造せられたる高級鑄鐵管が世界各地の文明施設に寄與する日も遠からじと思はる。

然れども材質の研究並に製造方法の改善に就ては更に開拓の餘地あり目下それぞれ研究を進め居れば此後共御指導を乞ふ次第である。