

くれている、スパンの $1/4$ 点附近において何れも一致している。その差をグラフであらわせれば、図-5 の様になる。この差を正確な数式で表わすことは非常に複雑となつてとうてい実用に適しない。然しこの曲線は $k = \pm 1/2$ の点及び $k = \pm \sqrt{20}$ の点附近に於て何れもゼロである。またその高さはほぼ n に比例する。以上の条件に適合しこの曲線と近接した値をあたえる式を試さくによつて求むれば、

$$H' = \frac{8n}{10000} (2k^2 + 3)(4k^2 - 1)(20k^2 - 1) \times \sqrt{2(\mu - 1)(\mu + 6)} \dots\dots\dots(11)$$

この値を実際の値と比較すれば、図-5 に示す様にその誤差は極めて微小である。 n 及 μ の各値に対する H' の値を求むれば図-6 の様になる。

結論 水平反力を求めるには、スパンの如何にかかわらず、先づ図-4 より H_0 を求め、図-6 より H' を求め、図-3 より γ を求めれば、

$$H = (H_0 - H')\gamma \dots\dots\dots(12)$$

水平反力は (12) 式より求めることができる。

n, μ, C 等の中間的値に対しては比例的に求めて差支なく、その誤差は非常に僅少である。

(昭25.10.25)

水圧鋼管のための超音波式肉厚測定器

正員 神谷 貞 吉*

ULTRASONIC OR SUPERSONIC THICKNESS GAUGE FOR PENSTOCKS.

(JSCE Feb. 1951)

Teiichi Kamiya, C.E. Member.

Synopsis The gauge measures thickness from one side by determining the fundamental frequency of supersonic vibration in the electric plate. The writer studied this practice to observe the corrosion of old penstocks.

In this paper the details of gauge are described and the usefulness of this gauge is proved by the observations at the Chokai No. 1 Hydro Pwer Polant.

まえがき

古い水圧鋼管の老朽度を調べるに肉厚を知ることが必要である。肉厚測定は無停電でやりたい。そのために、私は電磁式と超音波式に着目した。此の報告は後者についてその構造を紹介し、あわせて精度を説明するために現場の測定結果を引用した。

猶此の研究は昭和 24, 25 兩年度にわたつて文部省科学試験研究費の補助をうけており、共同研究者は東北大学田中榮助教授である。又この研究ははじめから発電所と関連して進められ、最後に水圧鋼管に孔をあけて測定値の正しさを確認したわけであるが、終始して筆者の勤務する会社の東北支店土木部水路課の協力は大きいものであつた。

1. 計器の概要

音波によつて距離を測り得ることは衆知のことであり、その対象によつて発振装置音波の性質等適当に選ばれる筈であるが、此の論文で報告される計器は金属板主として鋼板の厚さを測るために設計されたのでその特長となる要点を述べる。

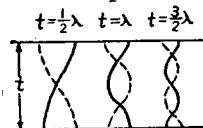
振動子としてはX-カットの水晶を用い、可変周波真空管発振器によつて駆動する。この場合発振周波数を連続的に変えてゆくと水晶及金属板よりなる機械振

動系において発振器にかかる交流負荷が鋭く変化し、その結果として発振真空管の陽極電流が急激に上昇することになる。若し予め発振波を可聴周波によつて周波数変調にしておけば、この電波変化を増幅することにより受話器を通して明かに検出することが出来るわけである。此の計器より発振され金属体中につたつてゆく縦波は可聴限界以上の周波数をもつてゐる所謂超音波 (Ultra-Sonic or Supe-Sonic Wave) である。

次に共振周波数と厚さを関係つけるものは此の機械振動系の共振状態であるが、理論的には相当複雑なものの様である。しかし今迄の実験結果によると共振周波数より算出された金属板の厚さは可なり精確なもので筆者の使用目的を満足するものである。

次に算出の方法を述べる。図-1 の如く板の厚味が丁度音波の半波長の整数倍になつたとき共振をおこすが、その共振周波数 f_n と厚さ t の間には、 C を板中の音速として

図-1 弾性板における共振状態
Resonance of wave in the elastic plates.



$$f_n = n \frac{C}{2t}, \quad (n=1,2,\dots)$$

なる関係がなりたつ。

此の式から t を求めるには共振次数 n を知る必要があるが、実際には f_{n+1}, f_n

* 日本発送電株式会社, 電力技術研究所, 材料研究室主任研究員

f_{n-1} の如く相隣る共振周波数を測定すれば次の関係から t を求めることが出来る。

$$t = \frac{C}{2(f_n - f_{n-1})}$$

此の理論を実用化した計器は写真-1 であり、左側が電源、右側は増幅及び発振機構が含まれる測定器部であり、中央は接触子であり、これ等すべてを含む配線図は図-2 の如くである。接触子は水晶板を金属面に接触させることから名付けたのであるが、図-3 に示す如く水晶板(2)をスプリングで金属面におしつける。水晶板の上下には銅箔があり電極として働く。接触子を金属板に密着させるときには油層を間におく。防蝕塗料や表面の錆は特に厚くない限りけづりとする必要はない。

写真-1 超音波式肉厚測定器
Ultra-sonic thickness gauge

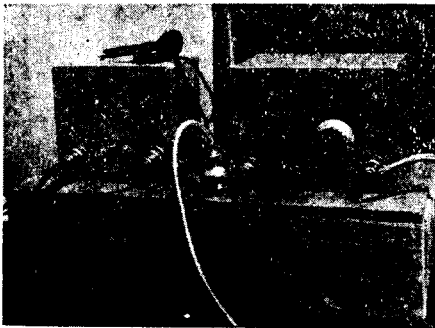


図-2 超音波厚味計配線図
Net diagram of oscillator

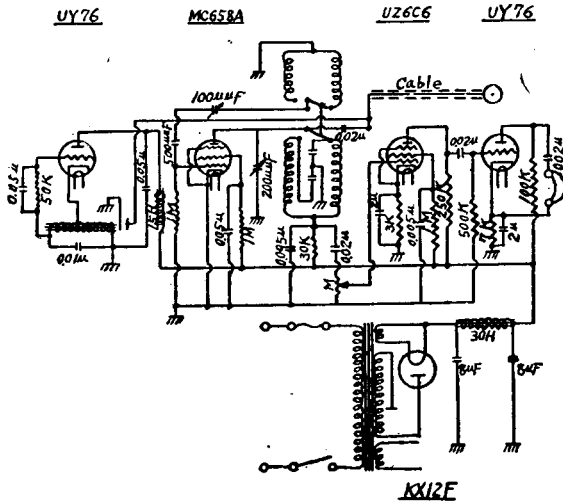
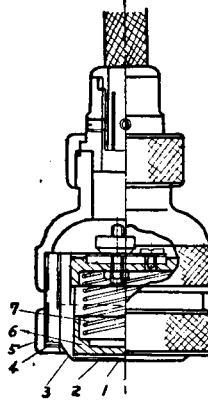


図-3 接触子(水晶容器)
Head holding quartz crystal



計器の規模は、電源部が 21cm×15cm×19cm、測定器部 26cm×19cm×20cm、全重量 8kg、従つて現場で使用し軽便である。水晶板は直径 20mm、共振周波数 3M.C.、発振周波数は 1.0~2.5M.C. である。接触子の接触面が此の様にせまいので直径 10cm 程度の金属管の肉厚を計つても極度の影響をうけることはない。

2 実験室内における測定
此の測定器は昭和 23 年

はじめ研究に着手し翌年バラックセットが出来、両面を仕上げられた金属板を測つてよい成績を得たので、3ヶ所の発電所で試用してみた。ところが水圧鋼管では共振状態の判別に苦しみ場合が多かつたので、種々の古い鋼管の成分、組織、硬度、腐蝕状況等と共振との関係を調べて見た。その結果共振の現れ方に影響するのは腐蝕による面の凹凸であることが判明し、更に周波数を選択することによつて影響を軽減し得ることが判明した。以下水圧鋼管の実態を対象とした室内実験を紹介して本計器の性能の批判に役立てたい。

(1) 金属板の両面が平行でない場合 鋼板は圧延材であるから広い範囲では勿論平行であるが腐蝕した場合には部分的には必ずしも平行ではない。此の場合その傾斜角を α 、水晶板の直径を $2a$ とするとき、金属板の厚みの差は $x = 2atana$ となり、若しこの値が使用最高周波数における波長の $1/2$ より大であればたとえ厚さは異つても同一周波数で次数のちがう共振を生ずる箇所がある筈であり、従つて測定可能の限界がきまることになる

図-4 裏面が平行でない場合
Case of plate with non-parallel inside

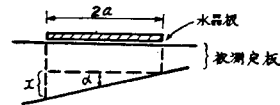


図-5

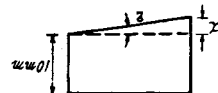


表-1 裏面の傾きと測定値の関係
Measured thickness of plate(Case of Fig.5)

	x (mm)	$\tan \alpha$	測定厚味(mm)
	0.00	0.000	10.0
(a)	0.5	0.025	9.6~9.8
(b)	1.0	0.050	9.0~9.5
(c)	1.5	0.075	9.4
(d)	2.0	0.100	9.4

(図-4)。しかし実際には水晶板の接触条件もあつて理論通りにはゆかぬらしいので実験をしてみた。水晶板の直径 20mm, 周波数 1.7~2.4M.C (波長0.35~0.24cm) に対して理論的には測定限界は $x=1.2$ mm となるが, 厚さ 10mm の鋼板による実験では表-1 が得られた(図-5)。しかし(c) (d) では共振明確な欠き, 判定可能は(b)を限度とする様である。

(2) 裏面に凹凸がある場合 水圧鋼管の内面の腐蝕形態にはいろいろあるが, その規模が水晶板の直径に比べて大きい場合は前項の問題である。遙に小なる場合を対象として此の実験を行った。即ち図-6 の如く厚さ 10mm の鋼板の裏面に 0.5mm 及び 2.0mm の凹凸を工作し測定し, 表-2 の結果を得た。(a) では共振は尖鋭であるが(b)では鈍い。凹凸程度 d と

図-6 裏面に凹凸のある場合
Case of plate with rough side

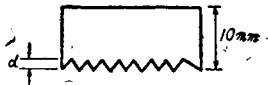


表-2 裏面に凹凸のある場合の測定値
Measured thickness of plate (Fig.6)

	d (mm)	測定共振周波数(MC)	判定厚味(mm)	
(a)	0.5	1.83	2.13	9.7
(b)	2.0	2.15	2.34	8.9

最大使用周波数との間に共振判定限界の関係が理論的に成立するが, 実験結果はそれ以上に判定出来る様である。筆者の研究室では此の計器によつて各種の腐蝕鋼板の共振を調べているが, 数をかさねるに従つて共振ピークの現われ方で腐蝕形態を推定出来る様になつたのは予想外の獲物であつた。

(3) 裏面に水のある場合 水圧鋼管の肉厚測定のためには, 裏面に水が充満している場合を調べておかねばならない。此の場合には裏面空気の場合に比べて振動エネルギーの放出は多くなり測定感の減少が予想される。そこで厚さ 15.5mm の鋼板の裏面に水を張り空気の場合との出力電圧の変化を測定した(表-3)。

表-3 鋼板の裏面に水がある場合の
測定感度 ($\frac{V}{V_0}$ %)

Sensibility of gauge in the case of plate of which one side contact to air and another side to water.

共振周波数(MC)	裏面空気の場 合の出力電圧(V)	裏面水の場合 の出力電圧(V)	$\frac{V}{V_0}$ (%)
1.13	0.80	0.39	49
1.34	0.50	0.20	40
1.53	0.89	0.40	45
1.71	0.75	0.37	49
1.93	0.72	0.35	49

3. 現場に於ける実測

まえがきにも述べた通り此の測定器による最近の測定は秋田県鳥海第一発電所の水圧鋼管老朽度調査のために行われ, 孔をあけて比較したところ今迄になく良好な成績(表-4)が得られたので本測定器の価値判断の資料として報告する。

(1) 鳥海第一発電所水圧鋼管概要
発電所概要

表-4 本測定器による厚さと直接測定値の比較

Comparison between Observations by this tester and direct method through drilled holes.

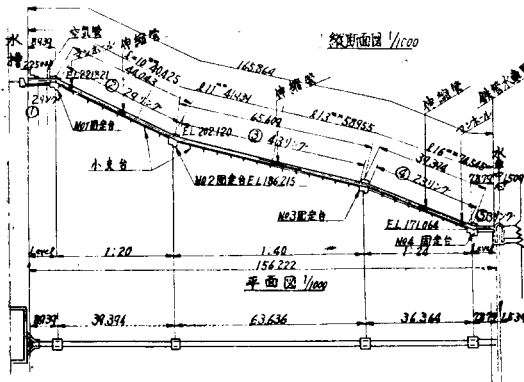
本測定器による厚さ(mm)	鑽孔測定値(mm)	備 考
13.3	13.0	孔の縁はざざざ ざしているので 鑽孔測定値にも 吟味の余地があ る。
12.5	12.5	
12.6	12.5	
10.1	9.5	

所在地 秋田県由利郡直根村
水 系 子吉川水系鳥海川
竣 工 大正 12 年 (1920年)
経過年数 27年 (昭和25年現在)
有効落差 61.67m
最大出力 1,577kw

水圧鋼管概要 (図-7)

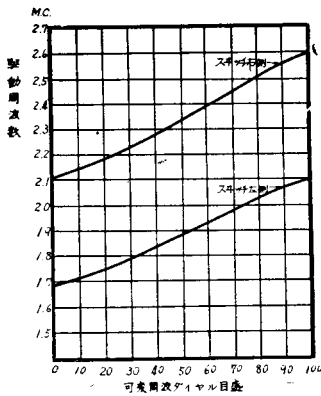
条 数 1本
延 長 165.864m
管径及び設計厚
上流からの長さ(m) 管径(m) 設計厚(mm)
0~4.515 1.815~1.485 10
4.515~40.425 1.485 10
40.425~82.364 " 11
82.364~141.319 " 13
141.319~165.864 " 16
接 手 縦横共に鉋接
製 管 鋼管ブロックは5リングよりなり各
リングは鋼板2枚接ぎである。

図-7 鳥海第一発電所水圧鋼管路
Penstock of Chokai No.1 Hydro Power Plant



(2) 肉厚測定作業概要 此の測定は単なる計測器の研究上の目的だけでなく此の水圧鋼管の調査を兼ねていたので、測定点数は成可く多くとられた。即ち鋼

図-8 周波数校正曲線
Calibration curves of cycles.



管リング1個おきに測定し、総測点数 57 箇所のうち4点を選びドリルで孔をあけて測定値を検討した。此の測定に使用した水晶板は厚 0.90mm, 直径 20mm, 共振周波数 3M.C. 駆動周波数 1.68M.C.~2.61M.C. (目盛校正曲線は図-8), 電源とし交流 100V, 50サイクルを使用した。共振周波数より肉厚を算定するとき、鋼材中の縦波の速度(音波)は 5870m/sec を用いた。

(3) 測定結果

現場に於ける測定結果は表-5 に示す通りである。表の測定点は図-7 の各区間についてその下流端より数えたリング番号によつて番号をつけ所々に於いて孔をあけて判定値を検討したが、その値は備考欄に記した。又鋼板の厚さ即ち設計厚も備考欄に記したがこれと比較すれば使用後の腐蝕量を知ることが出来る。

元来此の計器の目的は水圧鋼管の老朽度判定と対策にあるが、そのためには管路の構造、附近の状況、水質、流砂等出来るだけ多くの条件を考えて此の計測結果を処理するのであつて、そのために研究室でとつてゐる方法については別の機会に報告したい。

表-5 鋼管肉厚測定値
Thickness of penstocks measured by this gauge.

測点No.	鋼管径φ	鋼管厚	測定値	備考
1	2400	16.0	15.0	
2	2400	16.0	15.0	
3	2400	16.0	15.0	
4	2400	16.0	15.0	
5	2400	16.0	15.0	
6	2400	16.0	15.0	
7	2400	16.0	15.0	
8	2400	16.0	15.0	
9	2400	16.0	15.0	
10	2400	16.0	15.0	
11	2400	16.0	15.0	
12	2400	16.0	15.0	
13	2400	16.0	15.0	
14	2400	16.0	15.0	
15	2400	16.0	15.0	
16	2400	16.0	15.0	
17	2400	16.0	15.0	
18	2400	16.0	15.0	
19	2400	16.0	15.0	
20	2400	16.0	15.0	
21	2400	16.0	15.0	
22	2400	16.0	15.0	
23	2400	16.0	15.0	
24	2400	16.0	15.0	
25	2400	16.0	15.0	
26	2400	16.0	15.0	
27	2400	16.0	15.0	
28	2400	16.0	15.0	
29	2400	16.0	15.0	
30	2400	16.0	15.0	
31	2400	16.0	15.0	
32	2400	16.0	15.0	
33	2400	16.0	15.0	
34	2400	16.0	15.0	
35	2400	16.0	15.0	
36	2400	16.0	15.0	
37	2400	16.0	15.0	
38	2400	16.0	15.0	
39	2400	16.0	15.0	
40	2400	16.0	15.0	
41	2400	16.0	15.0	
42	2400	16.0	15.0	
43	2400	16.0	15.0	
44	2400	16.0	15.0	
45	2400	16.0	15.0	
46	2400	16.0	15.0	
47	2400	16.0	15.0	
48	2400	16.0	15.0	
49	2400	16.0	15.0	
50	2400	16.0	15.0	
51	2400	16.0	15.0	
52	2400	16.0	15.0	
53	2400	16.0	15.0	
54	2400	16.0	15.0	
55	2400	16.0	15.0	
56	2400	16.0	15.0	
57	2400	16.0	15.0	

4. 此の測定器のその他の用途

此の測定器は水圧鋼管を目的に作られたものであるが、その他化学工業の高圧管、化学材料の貯蔵タンク等にも適用を試みている。又新しい金属板に対しては 0.01mm 程度の精度をもっているのので、使用当初の金属管、金属板等の厚みを確かめ記録しておくのにも使用したいと考えている。(昭25.9.30)