

水圧鋼管の腐蝕の研究

正員 神谷貞吉*

1. 結論 此の研究は日本の電力事情に立脚して始められたものである。日本発送電株式会社の調査によると、供給力の現状に関して事故の状況を次のように報告している。

水路事故による停止電力は昭和 21 年 5 月において約 16.4 万 KW の量に達しており、その後若干の復旧を見せつつ同 22 年 2 月には約 5 万 KW と減少しているが、22 年 7 月現在においては再び 9.9 万 KW におよんでいる。発電所数について検討すれば、22 年 5 月において総数 386 ケ所のうち約 80% 以上に及ぶ 311 ケ所の発電所が土木設備の故障を訴えてきている。

更にその故障件数については、23 年 3 月現在にて

ダ ム	371 件
水 路	482 件
そ の 他	540 件
計	1393 件

このうち水路故障による事故停電電力量は統計年度は異なるが、21 年度において約 4 億 KWH、既設可能発電電力量 210 億 KWH に対し約 2% に及んでいる。

かかる現状をもたらした理由として

- (1) 戦時中の無計画なる発電設備の酷使
- (2) 戦時中は建設に全力が注がれて補修が怠られた事
- (3) 比較的老朽発電所が多いこと
- (4) 修理、点検を行ふのに支障が多すぎたこと
- (5) 終戦後の勤勞意欲の低下と熟練工の不足
- (6) 平均出水率の低下

をあげており、更に加えて、自然劣化による出力減退は現在約 2 億 KWH と推定され、之は年々増加を免れぬと思われるから、今後一層補修工事に力を注ぐ必要があると結んでいる。

水力発電設備の劣化或いはそれにもとづく故障及びそれによる発電電力量の減少は上述の現状報告によつて大要をうかがうことが出来る。又その主要原因として 6 項目をあげているが、要するに常時行われる可き

維持対策が戦時中充分実施出来なかつたこと、その上不幸にも本邦初期の建設になる発電施設が戦時中漸く改良期に入つていた事実を二大要因とせざるを得ないのである。かかる現状において改良、補修、維持の問題が山積していることは勿論であるが、たとえこの特別な山が一応解決せられたとしても、数多くの発電施設が順次年を追つて改良期に達することは年令から考えて当然予想されるものである。

以上の大観をせばめて水路関係を見るとき、その故障件数が如何なる細目からなつていくか詳かにしないが、鉄鋼を材料とする構造物が其の重要な一部をなすことは勿論である。鉄鋼構造物として最大の使用量を占め、事故の影響の最大のものを選ぶとき水圧鉄管が問題となるであろう。

次に水圧鋼管の主要部材である厚板の生産状況については鉄鋼業大観(昭和 23 年度版)によると表一の如くである。

表一 鋼材種別生産額

種 別	昭和 13 年	昭和 18 年	昭和 21 年
棒 鋼	27.0%	21.3%	17.1%
厚 板	26.3	35.8	12.8
形 鋼	13.6	11.6	15.2
線 材	8.2	7.6	41.2
薄 板	6.9	7.4	14.6

即ち厚板の生産は昭和 13 年には総生産額の 26.3% にて第二位であつたのに対し、戦後昭和 21 年に於いては 12.8% となり第五位即ち最低を示している。又同じ昭和 21 年の統計によると、厚板の原料である平炉鋼塊は昭和 5~9 年間の平均に対し 4.7%、普通鋼材の生産は同年間の平均に対して 14.6% に低下している。又良質の厚板に適している低磷原磁石の入手は未だ困難な現状にあり、適正な示様に合格する材料を豊富に期待する事は当分出来ないであろうと想像される。

以上の如く水力発電施設の現状及び鉄鋼生産の現状を併せ考えると、水圧鋼管は充分之を調査し、適当な保守、修理、改良をなし、生命を延ばすことが要求せられるものである。又その結果は今後の建設に役立つ資料となるものと確信する。

私の研究は此の様な客観情勢に促されて始められた

*日本発送電株式会社電力技術研究所材料研究室

① 発送電株式会社調査部：日本発送電の現状、昭和 23 年 9 月。

少はその上半に著しく、日光の直射を最も多くける面に特に著しい傾向を示している(図-2. 3. 4. 参照)しかるに駒橋発電所の放水を取入れる八ッ沢発電所は明治45年竣工し、その水圧鋼管は構造、製作者とも前者と同じであるにも拘らず事故は未だ一回も起つていない。両者を比較して見るに八ッ沢発電所の水圧管路は全く一樣な勾配で水平部分がないのが構造上の目立つた違いであつて、そのため水平部分と腐蝕の間に強い関係を想像せざるを得ないのである。

図-2 腐蝕の著しい箇所

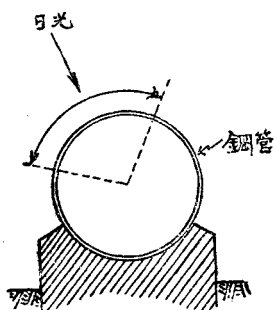
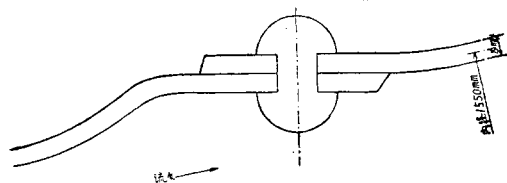


図-3 パンプ継手標準工作断面



継手凸起部の腐蝕がこの様に著しいのに対し、他の部分は始めの厚さ 8mm が 6~7mm. 程度に減少しているに過ぎない。又腐蝕の状況も継手と他の部分とは全く異り、継手では凸起部を中心として一樣に急激に薄くなつてゐるのに対し、他は斑状に腐蝕の跡が目立つてゐる。鋼管の腐蝕は單に化学的現象だけでなく摩耗も手つたつてゐる。所謂磨蝕とゆうべきものであつて、水圧鋼管内面の老朽の如何は兩者の相互関係によつて決定せられるものである。

4. 損傷原因

前項に述べた通り駒橋の水圧鋼管の老朽現象は水平路に著しく、又そのうちでも特に継手に著しいことが解つた。次にかかる現象に就いて其の原因を考察して見た。

(1) 此の水圧鋼管は伸縮継手がなく、パンプ継手によつて熱変形に応じてゐる。従つてここには他より大なる歪が繰り返されることになり、従つて他より大なる応力が繰返されたわけである。鋼材の腐蝕については静荷重下におけるよりは繰返荷重をうけている場合の方が著しく、又歪が大なる程腐蝕が促進され易いこ

とは文献に明かである。継手より噴水したため肉盛溶接によつて修理したところ、間もなく再び亀裂を生じたのは著しい変形に耐え可き箇所が溶接により硬化したためである。

(2) 多くの実例で見られる様に形状の急変する箇所は腐蝕され易い。其の理由はかかる場所が水との接触面積大であるのに加えて、流水攪乱によつて水中の空気が放出され腐蝕に役立つためと考えられる。文献によれば渦流による腐蝕は整流に比べて遙に著しいことを示しているが、パンプ継手或いは鉋頭附近の

図-4 パンプ継手腐蝕状況



図-5 パンプ継手濡れ箇所肉盛



流は局部的におそらく、渦流となつてゐるであらう。

(3) パンプ継手の減り方を見るに応力状態と関係がある様に思われる。若し過大な応力のため局部的に降伏応力が働いていたとすれば、当然永年の間には滑りの現象(Flow)が生じていたわけで、特に腐蝕がくいこむには最もよい条件となるわけである。

(4) 駒橋水圧管路では水平部の両端固定台に近い部分の故障が多い様である。同様な例を其の後二三の発電所で見ただのであるが、水流の事情によるのか、或いは原因をそこにもつ構造上の二次的事情に基くものか現在未だ見当がつかない。

(5) 流水中に含まれる空気は管路が急傾斜である程逃れ易く、水平に近い程頂部に残留し易い。パンプ継手の如き構造では殊に其の傾向は強い。特に水車停止時においては一旦滞つた空気は其のまま残留し、更に太陽熱のため頂部は高温となるから、パンプ継手における温度湿度及び酸素は腐蝕に最も好都合の条件となる。

5. 腐蝕と材質の関係

損傷状況をもとにして種々その原因、故障までの過程を推論したのであるが、これを一々探究することは容易でない。そこで駒橋の水圧鋼管に就いては力学的なしかも室内実験の可能な範囲内の問題を取り扱い、他の因子に就いては之を説明し得る文献をそのまま紹介しておく(第6項参照)。

此の立前によつて、前述の補修のため切取つた鋼板より試験片を工作し引張試験と硬度試験を行つた。猶縦手附近に滑りの現象即ちLuder's line が現われているか否か、又腐蝕が單に表面だけであるか或いは内部までくいで所謂結晶間腐蝕或いは孔蝕の跡があるか否かを調べるため現在顯微鏡試験を実施中である。

筆者が此の鋼材の材質試験を行つた動機は、昭和22年猪苗代発電所の水車ケーシングが破壊したことによる。即ち其の原因調査の結果ケーシング鑄鉄の疲労が一因として指摘され、そのため水圧鋼管も疲労しているのではないかと疑問が持たれるにいたつた。しかし同鋼管は一回の事故記録もないので直に試験片を切取るのはさけて略同年令をもつ駒橋の水圧鋼管について疲労現象の有無を調べることにしたのである。かかる理由から水圧鋼管の老朽現象の一部として腐蝕と疲労と両者を考慮しつつ材質試験を行う方針をとつたわけである。

さて水圧鋼管の設計応力は 900 kg/cm^2 前後に選ばれ、振動状態も相当著しい例でも週期1.5秒、振幅1mm、程度であり、水衝圧も頻繁に作用するものではない。従つて疲労の原因となる荷重とは想像されない。又疲労のため材質が変化しているか否かは伸び、硬度或いは衝撃値によつて知ることが出来るが、僅かの疲

勞の場合には比較す可きもとの値がないのである。即ち鋼板の材質については圧延直後試験片を採取し分析及び強度試験を行つているから、若し同じ番号が水圧鋼管に移してあれば、此の水圧鋼管の建設当初の材質は明瞭であり、現在の材質と比較出来るわけである。しかるに駒橋の水圧鋼管はフェルム会社製であり材質記録は全くわかつていない。此の様な場合材料を焼鈍して加工硬化の影響を取り去り之を圧延直後の状態と仮定して比較することが出来る。しかし焼鈍による方法は熱処理の技術が関係するので、一応鋼板の標準値と比較することとした。

以上の趣旨により実施した試験結果を次に述べる。

試験片は図-6の如く鋼管の内外面に近く3個宛削りとつた。内面の試験片は肉眼的に腐蝕層に直接する層である。試験片は断面 $4 \times 15 \text{ (mm)}$ 、平行部110mm、標点距離は100mm、弾性係数測定はオカイゼン歪計その支点間隔は50mm、弾性限度内の歪は $1/1000 \text{ mm}$ 単位にて40,1000まで計測した。硬度は試験片の端部

図-6 引張試験片の取り方

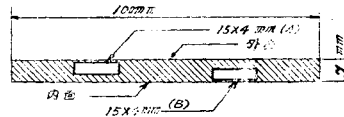


表-3 駒橋水圧鋼管鋼材試験値

試験片	降伏点	引張強	附伏比	弾性係数	断面収縮率	伸	硬 度	硬 度
No.	kg/mm ²	kg/mm ²	降伏点/引張強	10 ³ kg/mm ²	%	%	ブリネル	ショープ
A-1	32.7	49.2	0.65	28	46.7	26.4	100	14
A-2	27.5	34.0	0.66	23	42.4	15.2	86	18
A-3	30.0	47.5	0.63	—	54.7	20.2	124	19
B-1	29.2	45.0	0.65	21	57.2	25.4	119	18
B-2	27.5	37.5	0.73	22	68.0	24.9	109	16
B-3	20.0	31.2	0.64	20	38.0	9.5	100	16

此の結果と比較するため厚板材質の標準値を表-4に示す。

表-4 水圧鋼管用厚板材質標準値

	種 別	降伏点	引張強	弾性係数	断面収縮率	伸	硬 度
		kg/mm ²	kg/mm ²	10 ³ kg/mm ²	%	%	ブリネル
標 準 値	0.10~0.20 C	21~28	38~45	21~22	60~65	23~30	100~120
	0.20~0.30 C	25~31	45~52	〃	55~60	24~28	120~145
日 本 製 鉄	No. 1	—	40	—	—	25	—
	No. 2	—	40~50	—	—	20	—
J. E. S.	SB-34	—	34~41	—	—	24~28	—
	S-39	—	39~47	—	—	21~27	—
独逸規格	St-37	>(22~28)	37~45	—	—	20	—

を利用し充分磨き上げて測つた。ブリネル硬度は、試験片が薄くて狭いため球径 5mm, 荷重 500kg, 保持時間 10sec とした。試験値は表-3 の如くである。

一般に鋼材が疲労した場合には引張強は変化なく、降伏更上昇し、伸びが減少し、硬度は変形硬化のため高くなるが通常であり、かかる見地より判断するに水圧鋼管には疲労現象は起つていないと見ることが出来る。但し此の試験片は継手より充分離れた箇所よりとつたのであるから、継手の如き特殊な箇所に就いては表-3 より即断することは出来ない。表-3 によると A-2, B-3 の引張強, A-2, B-3 の伸, A-2 の硬度の如く他に稍異なる数値を見るが、全般的に大なる偏差なく又普通使用している鋼板の標準値と著しく離れたものではない。又鋼管の外層(A)と内層(B)とで特徴づける程の差異は認められない。

此の試験結果を現行厚板規格と比較するに合格出来る数値と考えてよい。従つて許容応力として通常使用される値をとつて計算してよいわけであるが、其の場合現在此の鋼管に期待出来る有効厚が問題である。此の厚さを求めるため前記の如く薄く削つて引張つて見たわけであるが思ひ結果が得られなかつたから、腐蝕の影響深さについては更に研究中である。

6. 参考文献

鋼材の腐蝕は單に化学的原因だけでなく物理的な條件によつても大きく影響されるので、これに関する参考資料を集録し本文中の引用文献を明かにするとともに、足らざる点について今後の御教示をお願いする。参考文献としては遠藤彦造博士の“金属の化学”と Speller の書物によつたのであるが、両書中に引用されている原著も列記した。

(1) 応力或いは歪をうけている金属はうけていないものより腐蝕し易い。

遠藤, 金沢; 金属の研究, 7, 1930, P. 475.

遠藤; 金属の化学, 最新金属学大系, 昭和 17 年, P. 66.

Desch, C. H.; Chemical Influences in the Failure of Metals under Stress, Trans. Faraday Soc., 17, 1921~1922, P. 17~21.

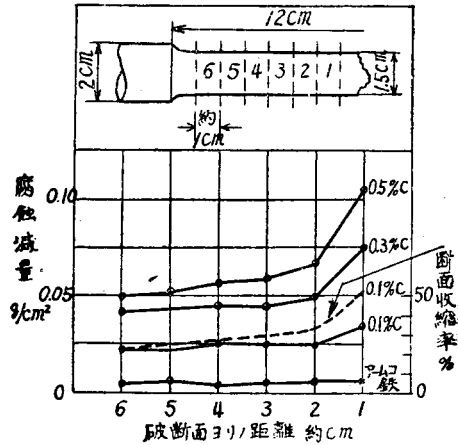
Frank N. Speller; Corrosion Causes and Prevention on Engineering Problem, 1935, P. 85~87.

(2) 金属の腐蝕減量は略其の変形率に比例する。遠藤彦造博士は炭素鋼に引張力を加えて破断したものを 6 個の試験片に分割し、1% 硫酸水溶液中に 72 時間浸漬後、溶解度即ち腐蝕減量を比較し図-7 の如き結果を得た。同様な結果が捩り、圧縮、鈍撃について確

かめられた。

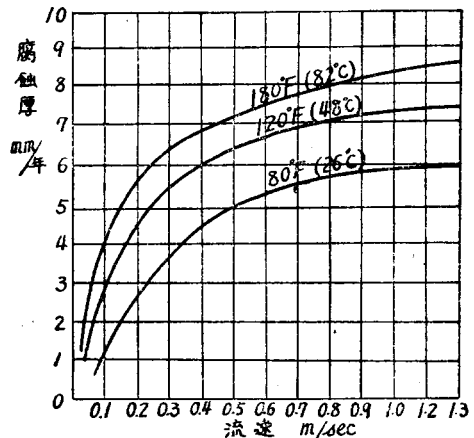
遠藤; 金属の研究, 5, 1928, P. 334.

図-7 変形率と腐蝕の関係



(3) 水に接している鋼は流速が大なる程速かに腐蝕する。しかし Speller, の実験によると、腐蝕は流速と共に増加するが其の影響は始め程著しく、流速と共に次第に一定値に近づく様である。又此の実験には温度が高い程腐蝕し易いことも示されている(図-8 参照)。

図-8 流速と腐蝕の関係

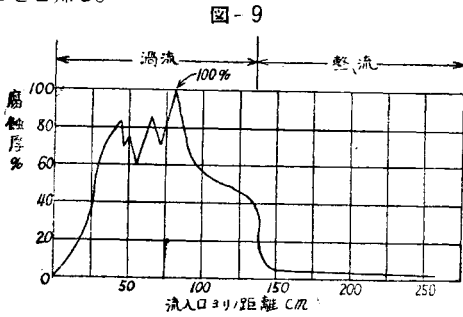


Speller, F. N., and V. V. Kendall; A New Method of measuring Corrosion in Water, Ind. Eng. Chem., 15, 1923, P. 134~139.

Frank N. Speller; 前出, P. 155~156.

(4) 水圧鋼管中の流れについては精しい測定もないし内部を見るわけにゆかぬのでよくわからないが、硝子管の模型実験によると決して一樣な整流ではない。渦流においては流水が空気を含む率も多いし、又常に新しい空気を供給出来るので、腐蝕は整流に接するも

のより遙に大である。図-9 はそれを示す実験結果で、真鍮管に蒸溜水を流した場合、限界流速に近い状態で入った流水が渦流を形成し、やがて後半整流となり、その轉移点において腐蝕量も明瞭に変化していることを知る。



Bengough, G. D. and R. Mog; Seventh Report to the Corrosion Research Committee of the Institute of Metals, J. Inst. Metals, 32, 1924, P. 213.

Frank, N. Speller; 前出 P. 157~159.

(6) 鉄鋼の腐蝕は年と共に進行するが、同じく鉄鋼材でも静かな水の中と、空気を含んだ水を攪拌しながら供給する場合とでは其の程度を異にする。水圧鋼管の呑口、傾斜の変る部分、水車附近、或いは各継手附

近等では此の様な状態にあるのではなからうか。金属の腐蝕量については文献は極めて多くあるが其の一つを紹介する。此の腐蝕量は試験片の腐蝕減量をもとの表面積で除した数値で減少した平均厚を示している。使用された試験片は $6 \times 6 \times 0.062$ (吋) の圧延鋼材及び $6 \times 6 \times 0.125$ (吋) の鑄鉄、水質は $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ の蒸溜水、浸漬期間は 1000 日である。

表一五 鉄鋼の腐蝕量

材 料	腐蝕量 吋/年, 括弧中は mm/年	
	静 水 中	攪 拌 水 中
鑄 鉄	0.00123 (0.031)	0.00375 (0.095)
鍊 鉄	0.00150 (0.038)	0.00849 (0.215)
平 炉 鋼	0.00087 (0.022)	0.00781 (0.198)
轉 炉 鋼	0.00102 (0.025)	0.00791 (0.202)
純 鉄	0.00099 (0.025)	0.00704 (0.178)

Richardson, W. D.; Experiments on the Corrosion of Iron and Steel, Trans. Am. Inst. Chem. Eng., 13, pt. 1. (1920), P. 169~263.

Frank, N. Speller; 前出, P. 246~250

河川の洪水量に就て

正員 工学博士 鶴 見 一 之*

1. 総論

河川の最大流量をどれ位にとるかは、河川に関係する人々には最初に出会う重要な問題である。而して今迄諸先輩が與えた算出法や、曲線や、又は表などを参考に供し、或は、実際に河川について測定をしたものを参考し、心中不安をいだきながらも、多分大差はなからうと、多少安全側の値をとつて來た様である。然し、何となく信頼性に乏しい感がある。それで、私は次の様な算出方法を考へて見た。そして幾分か信頼性がもてるのではなからうかと思つて居るので、ここに会誌をかりて發表し、諸彦の御叱正を仰ぎたいと思ふ。

2. 本論

河水の源は降水であり、此の水が多いのが洪水を起すのである。よつて如何なる原因によつて降水の多量が生ずるかを、先ず以て調べて見よう。我邦では中央氣象台で明治 33 年から昭和 21 年に至る 47 年間に起つた水害と、之をひき起した降水の原因とをしらべた所、次表を得たということを發表されて居るから之を拜借する。

原因	台風	低氣圧	旋風	不連続線	雷雨	氣流性降雨	不明
回数	146	60	42	16	12	1	4

又月別にした回数は次表の様である。

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
回数	0	2	4	17	17	32	64	58	56	21	9	6	381

之によつて見れば、7, 8, 9 の 3 ヶ月が漸然、他の月

*仙台工業専門學校長