

最近におけるペンストックの破壊問題について

神 谷 貞 吉*

1. 緒 言

1959年12月2日ダムの決壊事故が起こった。このダムはマルパッセダムといつてフランス南部の片田舎の町フレジュスの郊外にある。このニュースはたちまちにして世界にひろがり、日本にあつても数日たないうちにまずこの方面の技術者の注目をよびおこした(土木学会誌45巻1号資料参照)。それから5ヵ月あまりを経た今日この事故はさらに広い範囲の話題となつてきているようにみうけられる。フランスとはいふもののいわば世界の片隅に起こつた事故がかくもすみやかに、しかも長く世界の話題となつているのはなぜであろうか。社会的にはまずローマ時代の遺跡の残る静かな町が一瞬にしてほとんど全滅にひんし、そのうえ400人にちかい犠牲者をだしたことにあつるのはもちろんであるが、技術的にはそのダムがフランス最新の技術の所産としてひろく知られていたことも、また見逃すわけにはいかない。特にわが国はいま各種のダムの建設が最も盛んであるときであるために、その実態と原因に深い関心をよせていることは当然である。

さて昨年、わが国では3件のペンストックの事故を記録している。まず水圧鉄管の下流端に近い湾曲部が開口したことがその1件であり、つぎに圧力トンネルの内張管と水圧鉄管が座屈したことが他の1件、さらについで水圧鉄管のマンホール取付け部の破裂事故が最後の1件である。この事故による被害は幸いにしてマルパッセダムとちがひ、発電施設に限られていたため、その地方としてはとにかく全国的なニュースとはならなかつたと記憶している。しかし電力会社の間ではただちに強い関心をもたられさうである。それは水圧鉄管に事故があれば停電はいうまでもないが、周囲の工作物にかなりの被害をともなうことが多く、さらにその様相のいかんによつては復旧に少なからぬ費用を要し、さらに相当期間発電不可能という給電上最も好ましくない結果をともなうためである。これら水圧鉄管の事故は、その規模においてまた社会的な観点においてははじめに紹介したマルパッセダムの決壊とは全くその内容を異にしているのではあるが、事故の本質からいつてその取扱いよろしきを得さえすれば、今後の技術の進歩のためにきわめて貴重な役目を果たすであろうことにおいてはなんら変わりはないはずである。

* 正員 電力中央研究所技術研究所

昭和34年5月開催された電力会社の土木建設部長会議では水圧鉄管の事故対策が緊急議題として審議され、その結果、電気事業連合会に水圧鉄管保守要領作成委員会が設けられ、筆者も幹事の1人として立案に参加し、昨年10月各電力会社内に広く配布することができた。この保守要領の内容は耐用年限に近い水圧鉄管の調査および各種の計測の基準を示すとともに、特に初期の溶接水圧鉄管の安全度に留意することが強調されている。

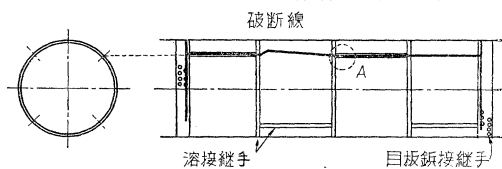
前記水圧鉄管はまもなく修復されたが、溶接構造方面では、いまなお少なからぬ関心をもたれている。その理由はおそらく、これらがいずれも昭和10年前後の建設になるものであるから、あるいは初期溶接構造共通の何ものかを内蔵しているのではないかと懸念されるによるのではなからうか。筆者が水圧鉄管の事故に関係したのは日本発送電KKに勤めた当時をはじめ、今日までに数ヵ所を数えるにいたつている。学会の依頼を機会に筆者の記録はもちろん、できるだけひろく各方面の調査記録を参考にして、水圧鉄管の破壊に関して二、三の点にふれてみたいと思う。

2. 破壊の状況について

水圧鉄管の事故といつても規模にはいろいろあつて、破裂して大きく開口すれば大事故になるであろうし、あるいはわずかにクラックがはいつたときでも発電所が停電するかぎりやはり事故に変わりはない。これを構造上からいえば、いずれも破壊とか破断ということになる。

図-1は昭和11年建設になる水圧鉄管が破裂したときの破断線を示す。この事故による被害は非常に大きく、停電損失、土木および電気施設の損害は水圧鉄管自体の復旧費のおそらく10倍以上に達したのではなからうか。この事故をみて一般水力関係では溶接水圧鉄管に対して不安の念をもつにいたつたことは確かである。しかし残存部より多数の試験材が得られたので、各種の材料試験を行なつたところ、初期の溶接継手の実態がはじめて明らかになり、同じ頃の水圧鉄管を漸次調査する気運をもたらず結果となつた。

図-1 ペンストックの破断状況(その1)

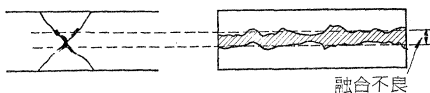


表一 水圧鉄管の初期溶接継手強さの一例

管厚 (mm)	母材			溶接継手 引張強さ (kg/mm ²)
	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	(伸び %)	
14	22.5	36.5	26	36.0
15	29.0	47.7	24	—
17	25.3	42.4	24	36.5
27	35.5	49.5	20	—
28	32.5	47.9	23	45.7

ところがこの事故は果して水圧鉄管が弱いから起こったのであろうか。そのためには材料試験の結果がまず参考となる。表一にみるとおり決して弱くはなく母材の引張強さにいたつてはむしろ強すぎるほどである。建設にあつての設計条件は、JIS SS 41 を使用し、許容応力は 1.275 kg/cm^2 、したがつて安全率は 3.22、溶接継手効率率は 85% をみている。水撃作用による水圧上昇は 50% をみこみ、使用鋼板の材料試験と溶着金属による溶接棒の引張試験の記録は残つており、十分な値であるが溶接継手の試験記録はない。したがつてこのような数値だけからみると正常な運転による水圧では絶対にこわれるはずがないのである。一方、発電機の負荷の変動、水車の状況、主弁の閉そくなど多角的な調査が行なわれ、さらに他の破壊箇所などの検討などから、この水圧鉄管には設計水圧の 3 倍以上の異常な圧力が作用し、しかもこの圧力がちやうど破壊した区間で継手の強さを超過したことが理論的に証明された。これによつてこの水圧鉄管の破壊は普通の水圧によるものではないことが明らかにされたものの、初期の溶接の実態をくわしく知らせる結果となつたため、その耐久性について不安感を残したことはやむをえない。たとえばその溶接継手の破断面をみるに融合不良による不溶着部が、かならずといつてもよいほどみられ、一例を示せば 図一2 のごときスケッチ

図一2 初期における融合不良な溶接継手 (その1)

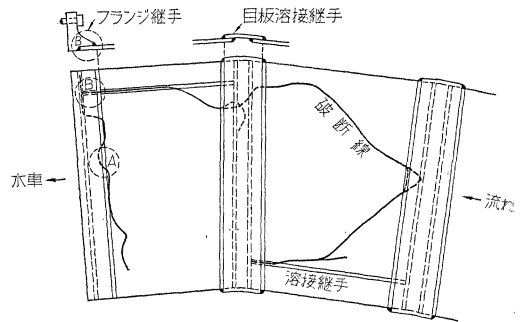


となる。約 80 個以上の試験片について調べたところ不溶着部は断面積の 85% 程度のもが多く、なかには 60% 前後のものさえみられ、最も気にかかることはまれではあるが開先から外にむかうクラックがみられたことである。このような欠陥を内蔵しているため静荷重に対しては、設計条件の範囲内においておそらく十分耐えられるであろうが、振動とか衝撃に対しては果していかがであろうか、あるいは脆性破壊の可能性はどうであろうか、など破壊現象にともなう基本的な問題を提起することになつたようである。たとえばシエbron模様も認められ、左右にその模様の方向が反対になつている中間が破壊の始まりとするならば、図一1 の A 付近が該当するようにも思われたのである。

この水圧鉄管は破壊区間だけでなく全長新たに取り

かえて修復された。しかも溶接に対する不安のため全銲接構造をもつてしたことは、その後の全溶接管の施工に切実な示きをあたえたものとして注目されてよいと思う。

図一3 ベンストックの破断状況 (その2)



次に 図一3 をみていただきたい。この水圧鉄管は昭和 12 年の建設になるものであるが、破壊事故は比較的に最近のことである。溶接構造の研究は戦後間もない頃にくらべて格段と活潑であるから、ただちに多くの専門家をまじえて委員会が設けられた。筆者は調査報告書をよむ機会をえたのでこれを参考として一般的な立場において若干の検討を加えてみたい。材料試験の結果によると管胴鋼板については静的試験による引張強さ、のびなどは正常であるが、溶接継手は前記の例と全く同様であつて、開先付近で不溶着部がのこり、引張試験によりすべて溶接部で破断し、単位面積あたりの強さは、母材の 44 kg/mm^2 に対して 36 kg/mm^2 程度であり、のびは母材の 27% に対して 5% 程度である。溶接部に弱点があることは確かであろう。ところが事故時の出力と水車の導きハネの動作などからは特に異常な水圧上昇はない模様であるから、たとえこの程度の弱点をもつてしてもこの破断を起こすにはまだ相当強さにおいて余裕をのこしているはずである。そこで委員会は考えられる局所的な特殊な状態を探索し破壊の可能性を説明しようとしてつとめている。すなわち

(1) この曲管部は横継手に目板またはフランジをそえ、いずれも管胴に溶接されている。このように薄肉円筒の一部にはるかに厚い補剛材が添接されているときには、内圧に対して、その付近の応力は他と異なる分布となり、円周方向の応力のほかに縦方向の応力が生じ、しかもかなり大きな値となる可能性がある。このことは理論的にもまた実験的にも知られているが、この委員会ではさらに新しい見方を加えている。それは広巾引張きれつ伝播特性である。これは軸方向に引張られている短ざく形の試験片の中央に切欠を設け、この切欠に高圧の打撃を加える試験方法である。この水圧鉄管の鋼板を使つてこの試験を行なつたところ、縦方向に許容応力程度の応力で引張られているとき、 10°C くらい気温のもと

で、降伏点程度の打撃力を横にうけるときれつが進行するという結果が実験によつてえられている。この特性とまえにふれたフランジ付近に誘起される局部応力とをあわせ考えると、鋼材の引張強さよりはかなり低い応力をうけているときでも、なんらかの切欠のごとき欠陥があれば、そこからきれつが発達することはありうるというのである。この根拠にたつときこの破断の起点はおそらく図-3のA付近の継手にあるという結論がみちびかれている。

(2) この考え方にまず立脚し、さらに長期間における材質の変化の可能性を想定し、材質の低下した状況のもとに(1)の事実が起これば破断の発生はさらに容易になるはずであると主張する。材質の変化とは、高い水圧を長年月うけている間に疲労し、すべり面が発生し、やがて鋼材は脆化し、微小なきれつが発生しやすくなり、きれつが発生すればそれが切欠となり、脆性破断の動機となるというのである。

このことは最初に述べた事故の調査のときにもすでにいわれたことであり、その後もことあるごとに議論のたねとなつていのであるが、昭和10年頃より昭和23年頃にかけて製作されたいわゆる初期の溶接による水圧鉄管が少なからず存在する現在、保守対策上きわめて慎重を要する問題点であると思う。

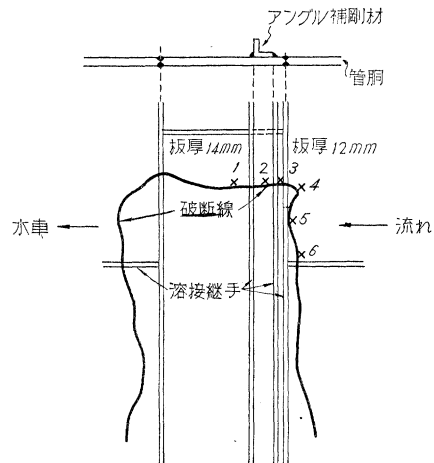
(3) まえの見方はいずれも破壊理論に立脚した学問的な所論であるが、これに対していわゆる技術的判断による意見にもまた耳を傾けなくてはなるまい。まず図-3のB付近の溶接状況を見るに、ここでは管胴の縦継手とフランジの円周方向の隅肉溶接が交わつており、不良な溶接が、さらに重複したかたちとなつていであろう。事実バラしてみると有効断面はわずかであり、しかもその不溶着部は欠陥として応力集中度をたかめるはずである。この付近は特別の欠陥となつていに違いない。またA付近から破断したとすると破断端までの距離があまりに違いすぎる。短い方の端がもつと先まで発展してもよいはずだ。どうも管のめくれ形から考えても破断がBから始まつたとした方がもつともらしいというのである。最近ある古い水圧鉄管更新による廃棄管を入手した。管のつなぎはフランジである。フランジを切りとつてバラしてみるとその下にかくれている縦溶接は全くついていなくて全面黒さびである。はじめから溶着していなかつたのである。水圧鉄管を製作するとき、今では必ず溶接線がT字形に交わつている箇所はX線にとるのが普通になつてい。とにかくこういつた箇所は特異点があり弱点となりやすいものである。

この鉄管の破壊区間は取りかえ、他は検査のうえ補強改良を行なうことによつて修復されたが、一般的な見地からいえば、むしろそれにいたるまでの調査研究の結果こそ、きわめて貴重なものといふことができる。

3. 材質について

前項に述べたのは破壊の起点が溶接の不良箇所にあるものについてであり、これを漠然と初期の溶接という言葉であらわしておいたが、もうすこし具体的な内容をもたせると、裏はつり、予熱、非破壊検査などが取りいれられていなかつた頃をいうことになる。その時代は水圧鉄管でいえば昭和10年前後の全溶接管がはじめて採用されたところから昭和22~23年頃までといつてよからう。ところが不幸なことは、鋼材の材質不良ということが、この時期において重なつたことである。同じく鋼構造といつてもそれがもし鉚接構造であればおきなかつたであろうと思われる事故も少なくない。前項の事故水圧鉄管の鋼材は材料試験の結果、静的には合格といつても疲労値とか遷移温度などをみると、必ずしも満足なものとはいえないようである。すなわち一応問題としてもこれがもし現在建設されるとした場合、採用される鋼板であるとは必ずしもいいきれないことであろう。そこで次に不幸にして鋼板の材質が適当でなかつたと考えられる事故の例にふれてみたい。図-4がそれである。

図-4 ペンストックの破断状況(その3)



この事故は昭和30年12月末に起こつた。そのとき送電関係に異常があつたことは事実であるが、周波数、調速機の動作等からたどつてみても水圧の異常な上昇は算出されない。できるだけ不利に推定しても60%前後の上昇にしかならない。ところが残存部から切り取つた試験片の材料試験の引張強さから算出すると、静水圧の2.5倍ないしそれ以上の水圧がかかからなくては破断するはずはないことになる。そこで破断箇所をも少しくわしく調べてみたところ、その材質に確かに不利な傾向が認められたのである。

破断箇所は水圧鉄管の下流端に近い漸縮管にあり、破断した大部分は板厚14mmの鋼板にあり、上流側の破断線がかろうじて12mm鋼板の端近くを走つている。

表-2 図-4の破断線付近の化学成分

試料		化学成分(%)		
板厚(mm)	No.	C	S	P
14	1	0.54	0.038	0.136
	2	0.24	0.026	0.065
	3	0.37	0.038	0.126
12	4	0.34	0.033	0.034
	5	0.27	0.030	0.039
	6	0.24	0.033	0.028

表-3 図-4の鋼板の引張試験値

試料		試験値	
板厚(mm)	方向	引張強さ(kg/mm ²)	伸び(%)
14	管軸	56.9	16.0
		56.2	12.5
	円周	58.7	16.0
		56.0	10.0
12	管軸	36.6	15.0
		38.6	14.5
	円周	39.0	20.0
		40.0	17.0

表-4 表-2と同一鋼板の衝撃試験値
(ただしVノッチ シャルピー)

試料		試験値	説明
板厚(mm)	方向	10°Cにおける衝撃値(kg・m/cm ²)	採取箇所
14	管軸	1.5	破面付近
		1.6	"
		1.5	"
	円周	1.6	溶接付近
		2.0	"
		2.4	"
12	管軸	4.6	破面付近
		4.4	"
		6.4	"
	円周	4.3	溶接付近
		4.4	"
		2.9	"

材料試験はこの破壊線にそって切取られた試験片について行なわれた。化学成分はとくに破断面に接した諸点1,2,3,4,5,6からとつた試料から求めた。引張試験、衝撃試験もこの破断線1~6に一辺を接して切取られた試験材によつて行なつた。その結果は表-2,3,4に示すとおりで、板厚12mmと14mmでその材質が違つてゐることはかなり明らかである。筆者をふくめてこの事故調査班は報告書のなかで、この点について次のごとき主旨の具申をしている。すなわち

「材料試験結果からみると板厚14mmの鋼板は硫黄の含有量は普通であるが、燐の含有量はきわめて多く一般鋼材としての許容量0.06%を、またボイラー用鋼材としての許容量0.04%をはるかにこえている。このように燐の多い鋼材は低温脆性を示す傾向がある。一方、炭素の含有量もかなり多く、とくに現場溶接後焼入効果により熱影響部は硬化し、もろくなつてゐるかもしれない。なお、溶接部にみられるアンダーカット、ブローホール、スラグ巻込みなどの小欠陥は切欠脆性の素因となるものであり、従つて水撃圧のごとき衝撃には非常に弱くなり、疲労抵抗も減少する。これについて燐と炭素の含有量の多いことは脆性とか疲労を対象にする場合き

わめて不利な品質といわねばならない。そのうえ試験値が非常にばらつてゐることは、この鉄管の材質の粗悪なことを示すもので、あわせ考えるとこの14mm厚板は溶接には適当でない鋼材であるといふことができる。

事故の当日は吹雪であり、しかも破裂したのは夜半12時にちかい。すなわち気温は最も低下し、低温脆性の見方によれば、最悪の状況である。このような状況のもとでかなり大きな水撃圧が生じたとすれば、応力集中の大きい箇所を起点として、破断現象が発展することはありうることを考えられる。

この水圧鉄管の溶接部にはある程度不溶着部があつたが、それは断続的で、同じ時代の他にみられるごとく相当な不溶着部がほとんど連続的にあるのとくらべると、むしろよい方に属するものであつた。ところがわれわれの具申のごとく鋼板の材質が溶接性に欠けるという判断に重点を置いて、結局全管を更新することによつて復旧した次第である。このように分析によつて燐、硫黄などの含有量の過大なもの、あるいは諸々の見地より溶接性でないと思われる事故経歴をもつ水圧鉄管はその他にも数ヶ所あり、筆者の知る範囲ではいずれも取りかえを完了している。

4. 腐食について

水圧鉄管の内面はさびやすく、あらかじめ1~2mmのさびしろを加えたものを板厚としている。一方外面は塗りがかえについては内面に比して容易であるとはいふものの、山間僻地の場合その手入れは容易でない。腐食が一樣にすすめば、さびしろがなくなるのに30年程度かかり、腐食が目立ればやがて取りかえることになるので突然破壊するおそれはまずすくない。銲接継手は長年使用してゐるうちにかなり水しやすいためであるが、もともと融合してゐるわけではないから、ろう水ということがただちに継手の弱化、したがつて破壊の危険といふことにはならない。腐食箇所から破壊事故を起こすのは、ほとんどいちじるしい局部腐食の場合にかぎる。局部腐食の実態はくわしく調査すればおそらく多種多様であろうが次に筆者の調査記録にある二、三の例をあげてみよう。

図-5はポンプ継手の腐食である。この形式は水圧鉄管の温度による伸縮をこのふくらみの変形でとろうとするもので、ほとんど大正年代の初期の外国製のものにかぎられてゐる。このふくらみの内面は腐食し、いちじるしくうすくなつてゐることがないが、おそらくこの部分

図-5 ポンプ継手の腐食われ

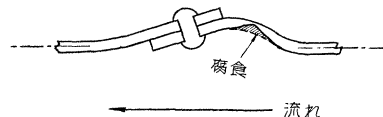
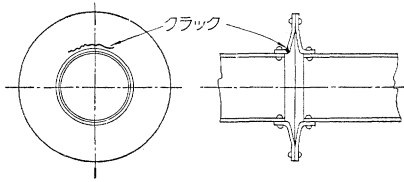


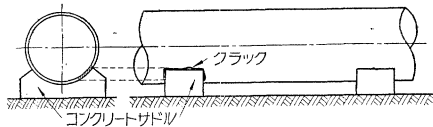
図-6 ダイヤフラム型伸縮継手の腐食われ



の水流がとどこおりがちであること、空気のあわがたまりやすいこと、変形をくり返していることなどが局部腐食の原因をなしていることと思う。特殊な継手のもう一つの例は図-6である。これはダイヤフラム型伸縮継手といつて初期の発電所に使われたもので、今ではほとんど取りかえられてみることはできないだろう。この継手は温度変化に応じて伸縮するわけであるが、その取付箇所を屈曲した付近に円周にそつてきれつが起りやすい。その理由はポンプ継手と同様であろう。

次に図-7はコンクリート サドルの支持端にそつて

図-7 コンクリート サドルの接触部の腐食われ



起つたきれつである。破断線は全くコンクリート台の縁にそつた矩形状をなしている。破断線にそつてくわしく調べてみると、この水圧鉄管の内面は大した腐食でないのかかわらず、この部分だけは外面から溝状をなしていちじるしく腐食していることがわかつた。水圧鉄管の支持方法にはこのコンクリート サドル 型式が最も多いので非常な関心をもたれているが、腐食箇所がコンクリートにかくれているために調査が容易ではないようである。またこのサドルの付近の応力を実測したところ、その分布は他と異なりある程度の局部応力集中の傾向が確かめられている。腐食がいちじるしく、しかも応力が他より高いということは破断の原因となりうることはもちろんである。最近大型水圧鉄管にロッカーあるいはローラー支承が用いられているのは支承間隔を長くするためであるが、一方、うえのごときコンクリート サドルの欠点をさけることもその目的の一つとなつている。

ただこの局部腐食を原因とする事故は、その腐食箇所だけが特に弱いから起るのであつて、他の部分に欠陥がないかぎり突然大きく開口することにはならない。したがつてその付近より水が浸出するうちに発見さえすれば大事故にならぬように防ぐこともできるはずである。

5. 溶接部の強度について

筆者の勤務する研究所では各電力会社の依頼によつて老朽水圧鉄管の調査を行なつてゐるが、今日までにその数約 50 ヲ所に近くなつてゐると思う。この間調査の方

法も工夫を重ね、鉄管をいためない方法としては内外観検査、X線あるいは超音波による非破壊検査、現場における硬度測定、あるいは応力測定などを適宜につかい、その結果不安が残つたときにはじめて試験材を切り取り、強度試験、化学分析、マクロおよびミクロ検査などを行なうことにしている。したがつて強度の試験の記録は非常に豊富にあるというわけではない。その約 180 本ほどの試験片の値を表記すると表-5のごとくなる。昭和7年の記録は最初の溶接水圧鉄管から採取した貴重な値である。母材は SS 41 該当のものを使つているが継手はいかにも弱く、これでは 70% 以上の効率は期待できそうもない。全溶接水圧鉄管が諸所に使用されだしたのは昭和 12 年前後からである。母材にはほとんど SS 34 相当品が使用され、試験による破断はまたほとんど溶接部に生じ、強さはそれほど低くはないが、一たん余盛を切削、仕上げて引張つてみると、その強さは 35 kg/mm² 以下に低下するものが多いようである。すなわちこの頃の溶接継手は余盛のおかげで相当程度補強されているというのが実態であるといつてよからう。さらにこの表をみるとその値のばらつきが、なみなみでないことを知る。このことは単に溶接技術の低さだけによるものでなくて、むしろ母材である鋼板の品質のばらつきに起因することも決して少なくないと思う。たとえば昭和 23 年に建設された水圧鉄管においてさえも、約 150 t ほどの鋼材を 5 社にあまる鋼材店より調達した記録をみ

表-5 初期における水圧鉄管の溶接継手の強さ

建設年度	試験片個数	母材で切れたもの		溶接で切れたもの		説明
		引張強さ kg/mm ²	個数	引張強さ kg/mm ²	個数	
昭和7年	8 板厚 14 mm			33	1	余盛有 " " " 余盛切削仕上
				29	1	
				25	1	
				20	1	
				23~25	4	
昭和10年	16 板厚 10 mm	35~37 33~34	10 5	29	1	余盛有
昭和11年	88 板厚 9~14 mm			40~44	4	余盛有 " " " 余盛切削仕上 " " " " " "
				35~40	12	
				30~35	12	
				<30	1	
				>40	2	
				35~40	8	
				30~35	22	
				25~30	21	
				20~25	4	
				<20	2	
昭和14年	6 板厚 7 mm			45~50	3	余盛有 余盛切削仕上 "
				40~45 33	2 1	
昭和15年	39 板厚 9~22 mm	41 35~38 30~35	1 7 5	>45	4	余盛有 " " " 余盛切削仕上 "
				40~41	3	
				35~40	5	
				30~35	7	
				40~45	4	
				40~45	4	
				35~37	3	
昭和18年	12 板厚 8~14 mm			43~47	4	余盛有 " " " 余盛切削仕上
				39	1	
				33	1	
				33~35	4	
				27	2	

ることができる。そのことがただちに材質の不均質を意味するものではないが、水力開発の方面でも鋼材の入手がいかにか窮屈であつたかを如実に物語っているものといえよう。こういう観点にたつと水圧鉄管の事故の背景は必ずしもそう簡単なものではないと考えざるを得なくなる。さきに紹介した電気事業連合会の水圧鉄管保守要領の第 25 条において「一般に経過年数 20 年程度の水圧鉄管については肉厚測定をふくむ全般的調査を行ない、材質、継手等に疑問のある鉄管については、これに関する調査が必要である」とまず耐用年限に近い鉄管について注意し、そのあとに特に「なお、たんせつ管初期の溶接管および昭和 13 年より昭和 26 年頃までの建設になるものについては特に留意することが望ましい」ことをつけ加えていることは、日本の国情の変転がこのような構造物にまで影響を残していることを物語つて、まことに意味深いことといわねばなるまい。

さてこう書いてくると、古い水圧鉄管、とりわけ溶接によるものはいかにも危険なもののようにみえるが、筆者はそうきめてしまいたくない。元来安全と危険の間には相当の余裕かつ距離があつてこそ保安の任を果すことができるはずであり、そこに技術的判断の余地を見つけることができるはずだと思うのである。たとえば母材あるいは継手の強度が 30 kg/mm^2 とすると、これは確かにいずれの規格強さにくらべても不合格であるが、水圧鉄管の設計にあつては水撃圧として静水圧の 25% 程度がみこまれているので、もしもかかる発電所の運営に留意して急激な負荷の変動をなるべく少なくし、また水車導きハネの開閉時間を長くすることなどによつて水撃圧による圧力上昇を 10% 以内にとどめることができれば、あたかも SS 34 相当の鋼材を使用した場合と同程度の安全になるはずである。

ところが表-5 にかかげた継手は程度の差こそあれ、いずれも開先付近に不溶着部を内蔵している。したがつて実際に溶着している断面積あたりの引張強さは、全断面積あたりの値のおそらく 20% 以上増したものである。しかしこれは静的な取扱いをしたからであつて、もしここに衝撃的な力とか周期的な荷重が作用したとすればどうなるであろうか。一般的な観点からは確かに不利になると考えざるを得ないが、ひるがえつて平常の運転における負荷の変動の程度、それにとまらぬ水車の挙動、そして水圧鉄管内を伝播する水圧の変動がはたして材料を疲労させるほどのものであるか、また脆性破壊を誘起するほどのものであるかについては、どうも判然としないうちに思えるのである。事故に際していろいろ所論はあるが、少なくとも筆者の見解はそうなのである。最近たまたま廃棄する鉄管から写真-1、図-8 のごとき試料を入手する機会をえた。これは昭和 11 年の建設になるものであるが、まず最も不良な溶接といつてよ

写真-1 初期における融合不良な溶接継手

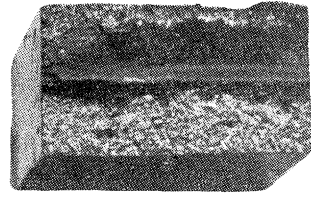
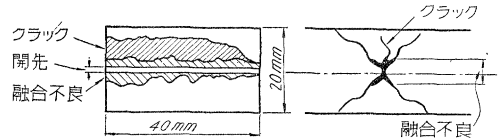


図-8 写真-1 のスケッチ



かる。全断面積の 40% 程度が融合不良とクラックである。静的引張強さは 20 kg/mm^2 程度である。かりに水撃作用による圧力変動を 10% とし、 $10 \text{ kg/mm}^2 \pm 1 \text{ kg/mm}^2$ のくり返し荷重を加えてみた。普通の発電所でこの程度の水撃作用が起こるのは多くて 1 日 1 回とみると、耐用年限 30 年として 10 万回のくり返しとなる。そこで毎分 333 回の割合で 5 時間試験したところ何の異常もなく、クラックの進展もみられなかつた。もちろん正規の疲労試験方法にしたがって 200 万回くり返せば、おそらくそれまでに破断するであろう。しかし古い水圧鉄管の老朽度を判断するには実際起こりうる荷重とその回数をくり返すのがまず大切と考えたので、ためしにやつてみた結果である。

とにかく古い水圧鉄管、特に初期の溶接水圧鉄管には確かに欠点なり弱点と思われる箇所が見られるのであるが、破断といった究極の現象に達するためには、よほど特別な新たな状況が加わることが必要なのではなからうか。だが保守の立場にたてばかかる水圧鉄管は安全と危険との間隔が広くないのであるから、数字で表わすことは無理としても、一応安全度は低いであると判断されるのは当然であろう。

6. 結 言

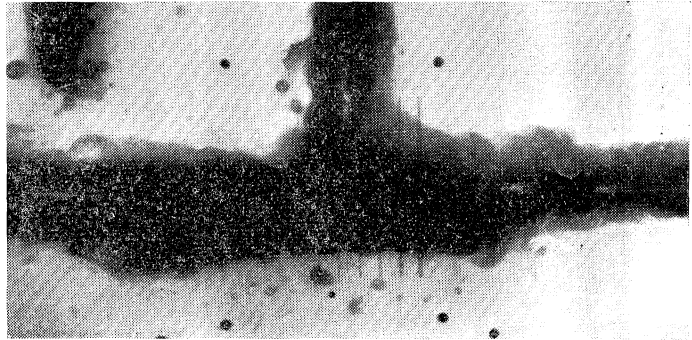
わが国の水力発電所は総計 1200 ヲ所にちかく、最古のものはずでに 50 年以上を経過している。もしもその間の事故を大小を問わず集計すれば相当の数のにのぼり、修理は数時間にて足りるものから、数ヶ月を要するものまで、おそらくその内容は千差万別であろう。したがつていかに一般的に書こうとしても、ある程度かたよつた内容になるのは止むを得ないと思う。その上筆者は仕事の都合上視野もせまく、そのため一そうその傾向が強くなるざるを得なかつた。その結果、内容がどうも溶接が中心となり、その上初期の水圧鉄管の溶接の悪さばかりを説明し、そのためその時代の水圧鉄管はすべて不安であるとの印象をあたえたのではないかと心配するもので

ある。昭和 10 年前後といえは溶接の応用はまだまだせまく、水圧鉄管では他の構造方面よりむしろ積極的にこれを利用した傾向もうかがえるようである。したがって事故を起こしたおかげで判明したその溶接状況も当時の技術の平均の水準を物語っているのであつて、とくに不良ということにはならないと思う。ところがこの約 10 年間に溶接技術は格段の進歩をとげ、そのため最近の水圧鉄管の溶接継手はいちじるしく良質のものとなつた。そのなかで古い溶接がうんぬんされるため、いよいよ心配になるのであるが、とにかくすでに耐用年限に近い年令まで立派にもちこたえていることは、単なる材料試験にまさるともおとらぬ重要な事実であることも見のがすわけにはゆくまい。しかし保守の立場からいえば溶接をはじめ水圧鉄管技術の進歩した今日、他の機械、設備の近代化にともなつて漸次これを改良更新してゆくべきことはいうまでもない。次に参考のために初期の溶接のものと、最近の一例を X 線写真によつて紹介するが、最近のすぐれた溶接も初期の溶接の研究から生まれたものであり、重要な基盤になつているのだと考えていただければ、まことに有難いと思うものである。

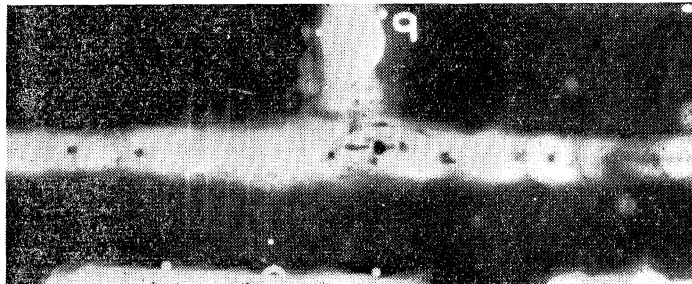
筆者はこの報告を書くに当つて多年の見聞とできるだけ多くの資料をもとにして最も慎重を期したつもりであるが、もし考え方に不備の点があれば御叱正をねがいたい。

写真-2 新旧溶接の X 線写真

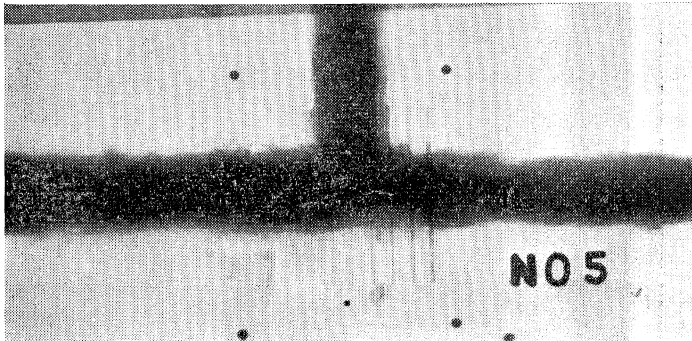
(a) 初期の溶接-1



(b) 初期の溶接-2



(c) 近年の溶接



建設技術フィルム ライブラリーについて

都立小石川工業高等学校建設科において、かねてより設立準備を進めていた建設技術フィルム ライブラリーについて土木学会ではその趣旨に協力し、後援することいたしました。業務内容は次のとおりです。

- | | |
|-------------------------|-------------------|
| (1) 建設関係技術映画の購入管理 | (2) 建設関係技術映画の委託管理 |
| (3) 建設関係技術映画の作品調査・リスト作製 | (4) 純教材映画の自主製作 |

現在同校には佐久間ダムを始め 15 本の映画および映写、撮影、録音、編集など器材を所蔵しており、6 本の映画を製作中です。目録には現在 16 ミリ、35 ミリ合わせて 216 本（カラー 136、一部カラー 5、白黒 75）の映画が登録されており、ほとんど戦後製作されたフィルムは網羅してあります。設立趣旨書、目録は本部のほか各支部に配付してありますので、御一覽下さい。

なお目録にもれているもの、各所において製作中のものなどありましたら、小石川工高まで御連絡頂ければ完璧を期することができますので御協力下さい。そのほか、建設技術のためになるべく同校に多数のフィルムを備えておきたいと存じますので贈呈、管理委託などについて御便宜をはかられますよう、関係各位に特に御願ひ申上げておきます。借出し方法その他の詳細は次へ御問合わせ下さい。

東京都新宿区富久町	東京都立小石川工業高等学校建設科	電話 351-0640
東京都新宿区四谷一丁目	土木学会事業課	電話 351-5138

水文記録について

台風的气圧・風速や降水量の記録の順位を調べてみると、非公認のものが多く、その上毎年のように最高記録が破られてゆくので、最新の記録順位を知ることは、ほとんどできないようである。ことに風速や降水量についてその極数を知ることはむづかしい。

1. 台風的气圧の記録

ハリケーンやサイクロンの気圧の低い記録は、

(1) 892.3 mb 1935・9・2 アメリカ, Long Key(Laber day Hurricane とよばれ陸上観測の最低記録)

(2) 918.9 mb 1885・9・22 インド, False Point

台風の最盛期における飛行機観測では、

877 mb 1958・9・24 飛行機(狩野川台風)

また船上観測では、

886.7 mb 1927・8・18 ルソン東方(サブアラ号)

台風的气圧の陸上観測は、(940 mb 以下のもの)

順位	気圧(mb)	年・月・日	観測地点	台風名
1	908.2	1959・9・15	宮古島	5914 台風
2	911.9	1934・9・21	室戸	室戸台風
3	916.6	1945・9・18	枕崎	枕崎台風
4	922.6	1930・8・9	南大東島	
5	929.5	1959・9・26	潮岬	伊勢湾台風
6	931.3	1920・9・3	石垣島	
7	934.4	1956・8・1	宮古島	5606 台風
8	936.6	1956・9・8	沖繩	5612 台風
9	937.5	1919・9・1	石垣島	
10	938.4	1932・8・9	南大東島	
11	938.5	1955・9・29	屋久島	5522 台風

2. 風速の記録

最大平均風速の山頂観測の記録には、

(1) 66.7 m/sec 1951・10・15 富士山

(2) 61.0 m/sec 1958・8・25 伊吹山

等があり、島や平地では、(49 m/sec 以上のもの)

順位	平均風速(m/sec)	年・月・日	観測地点	註
1	69.3	1951・10・14	細島灯台	
2	67.1	1951・10・14	佐田岬灯台	
3	57.0	1930・8・9	南大東島	推定
4	55.3	1952・11・6	鳥島	
5	51.3	1945・9・17	細島	
6	50.3	1933・9・17	石垣島	
7	50.3	1914・8・25	長崎	
8	49.8	1952・4・15	寿都	
9	49.6	1899・8・15	鹿兒島	
10	49.2	1920・8・21	室戸	

最大瞬間風速の山頂観測の記録には、

(1) 72.6 m/sec 1949・8・31 筑波山

(2) 72.5 m/sec 1942・4・5 富士山
等があり、島や平地では、(58 m/sec 以上のもの)

順位	瞬間風速(m/sec)	年・月・日	観測地点	註
1	75.5	1945・9・17	細島灯台	
2	64.0	1902・9・29	銚子	
3	63.0	1955・9・29	屋久島	
4	62.7	1945・9・17	枕崎	
5	60.1	1948・9・16	富崎	
6	60.0	1902・9・29	富崎	
7	60以上	1934・9・21	室戸	推定
8	59.1	1950・9・3	室戸	
9	58.2	1943・8・19	屋久島	
10	58.0	1940・8・26	富崎	

3. 降水量の記録

日雨量の世界的記録として

(1) 1041.4 mm 1906・8・8 Fiji Suva

(2) 1036 mm 1876・6・14 Cherrapunji

(3) 1034 mm 1911・8・30 奮起湖(台湾)

等があげられているが、昭和32年諫早水害でこの世界記録は破られてしまった。わが国の日雨量記録は、(600 mm 以上のもの)

順位	日雨量(mm)	年・月・日	観測地点
1	1109.2	1957・7・25	諫早西郷(長崎海洋気象台委託 西郷中学校, 世界記録)
2	1016.2	1944・7・19	立山
3	1011.0	1923・9・14	大台ヶ原
4	988.0	1953・9・25	大台ヶ原
5	901.7	1889・8・20	田辺(和歌山県)
6	747.0	1893・10・14	伯耆大山
7	724.0	1957・7・25	大村
8	693.0	1957・9・6	由布岳(大分県)
9	691.0	1958・9・26	上野野(伊豆)
10	674.9	1931・9・26	尾鷲
11	659.0	1898・9・6	宮崎
12	604.0	1957・9・6	蝦野(宮崎県)

これらのほかにも昭和28年和歌山県水害における有田川上流花園村の約4時間の推定雨量 600 mm 以上に、推定値には大きな値が多くある。

強雨記録として1時間雨量は、(120 mm 以上のもの)

順位	1時間雨量(mm)	年・月・日	観測地点
1	150.0	1944・10・17	清水(足摺岬)
2	145.0	1938・8・3	箱根
3	144.0	1957・7・25	諫早西郷
4	140.0	1947・8・28	銚子
5	134.0	1939・10・16	富崎
6	129.0	1957・7・25	大村
7	126.0	1950・8・1	苫小牧
8	123.8	1949・7・5	室戸
9	123.2	1952・10・7	尾鷲
10	121.2	1955・7・23	潮岬

(大阪大学 田中・記)

新刊別冊論文集案内

- B 5 判 30ページ 高炉セメントの使用方法に関する研究
- B 5 判 18ページ ロッドミルによる製砂方法に関する研究
- B 5 判 38ページ 防波堤に働らく砕波の圧力に関する研究
- B 5 判 34ページ 橋梁基礎工の掘削、沈下作業の理論的考察

- 論文集65号 別冊 3-1 丸安・水野・小林・共著 120円(千10円)
- 論文集65号 別冊 3-2 三村・鈴木・上野・細谷・共著 80円(千10円)
- 論文集65号 別冊 3-3 永井・荘七郎 著 160円(千10円)
- 論文集66号 別冊 1-1 飯吉 精一 著 150円(千10円)