噴射水試験による金属耐蝕性の比較⁽¹⁾

(昭和 17 年 12 月 11 日 神戸地方講演會に於て講演)

正 員 齋 藤 清 一⁽²⁾

摘 要

円筒型の試験片を 4 箇回轉円板の周りに取付けこれを種々の回轉速度にて廻し、別にノズルより 4 mm 径の水柱を噴射させこれを試験片が切る様にした装置にて各材質の耐蝕性を試験したものである。試験した材質は不銹鋼、不銹鑄鋼、マンガン鑄鋼、鋳鋼の 4 種である。耐蝕性の強い順位は不銹鋼、不銹鑄鋼、マンガン鑄鋼、鋳鋼の順となる。

1. 緒 言

近年艦船が高速になるにつれその推進器のキャビテーション、或は水車やポンプの吸込水頭が高くなるにつれその羽根車翼或は扇車翼のキャビテーションと云ふ事が重要な問題となり、如何なる材質のものがキャビテーションに対して強いかと云ふ事が屢論議される。一体キャビテーションの現象は如何にして発生するかに関しては、これ迄種々の説が行はれてゐるが現在では、機械的作用に依るもので水の中の靜圧がその温度における蒸気圧以下に達すると水中に蒸気泡を生じ、それが蓄積し、靜圧の高い所に行つて急激に圧縮され、蒸気泡がつぶれるためにキャビテーションに依る浸蝕が起るのであると考へられてゐるのが普通である。従てキャビテーション現象を實際に起させて、それに対する耐蝕性を調べる方法としてはこれ迄種々の方法が行はれてゐるが、茲に二三の材質のものの中どれが一番耐蝕性が強いかと云ふ様な場合例へば水車のカプラ

第 1 図 試験片

第 2 図 実験装置

は不銹鑄鋼を使用してゐるが材料難の時でもあり、落差 20 m 位迄もマンガン 鋳鋼を使用したいがそれにはマンガン 鋳鋼は不銹鑄鋼に比しどれだけの耐蝕性が有るか等を調べるには茲に述べる様な方法が最も良いのでは無いかと考へられる。果してこれが實際のキャビテーションと同じ原因で材質を浸してゐるかどうか、従てこの結果の順位をそのままキャビテーションに対する耐蝕性の順位として良いかどうかは尙検討の余地が有るが、これは浸蝕された部分の状態、材質を浸す場合の圧力の加はり方等の同じな点から考へてその順位は妥

第 3 図 全体装置図

第 1 表 試験材質の化学的成分

材 質	C	Si	Cr	Mn	Ni	P	Cu	S
不 銹 鋼	0.16	—	13.5	—	1.00	0.035	—	0.035
不 銹 鑄 鋼	0.18	0.35	14.8	0.45	0.13	0.014	0.015	0.004
マンガン鑄鋼	0.24	0.26	—	1.44	—	0.036	0.19	0.013
鋳 鋼	0.36	0.35	—	0.75	—	0.022	0.18	0.012

第 2 表 試験材質の機械的性質

材 質	降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸 率 %	断面縮率 %	ブリネ ル硬度	疲限度 kg/mm ²
不 銹 鋼	46.6	66.1	30.0	67.6	185	35.5
不 銹 鑄 鋼	45.5	66.3	29.0	69.1	194	33.8
マンガン鑄鋼	32.0	58.0	24.0	31.6	156	21.5
鋳 鋼	28.3	51.9	30.0	42.0	137	18.0

(1) Erosion Test of Metals by Water Jet. (2) Seiti SAITO, Member. The Mitsubishi Kobe Dockyard. 三菱神戸造船所。

當と考へられる。

2. 実験装置及び方法

試験片としては第 1 図に示す如き外径 15 mm の円筒型とし、その表面状態、仕上程度は著しく試験結果に影響を及ぼすから各試験片に対しては同一の表面状態になる様に最後は総てエメリー紙〇〇にて丁寧に仕上げた。又試験片を取る場合にも巣等の無い様に均一性の有る材質になる様に注意した。この様な試験片を 4 種の材質に就き数本製作して置き、その各 1 箇を第 2 図に示す如く回轉円板の周りに取付けた試験片取付金具に挿入し、試験片に初期應力がかゝらぬ様にダイヤルゲージを見ながら取付ける。又一方ピッチ円 460 mm の所にノズルがあり、浸蝕量は噴射水の直径に依て差があり、直径の大なる程浸蝕量が大になるから噴射水の試験片に當る部分で径 4 mm にして且噴射水が一樣にノズル軸方向になる様に数箇のノズルの中からその一を選んだ。噴射水の落差は第 2 図の如き溢水タンクを置き 3.5 m 一定にすると噴射水の速度は約 6 m/s である。

斯様にして 4 箇の材質の試験片を取付けた回轉円板を回轉速度を一定に保ちながらノズルの弁を急に開いて水を連続噴射させる、試験片は予め各秤量して置き、衝撃回数約 4×10^5 の間連続噴射させ、然

水の速度との相対速度を一定にして実験したものである。試験片の周速度は噴射水の速度に対して非常に大きいから噴射水は試験片に対し殆ど直角に當る事になる。斯様にして試験片は極めて短時間に運動のエネルギーが堰止められて圧力波を生ずる。これは大気圧を基準として上下に振動するからその負圧力に依り浸蝕が行はれるものと思はれる。これは艦船の推進器や水車羽根車翼のキャビテーション現象に於て負圧力の近くで泡が急激に凝縮し、圧力波を生じて浸蝕を起させる

第 4 図 $u=105.1$ m/s の場合

第 5 図 $u=92.3$ m/s の場合

第 6 図 $u=85.1$ m/s の場合

第 7 図 $u=88.2$ m/s の場合

第 8 図 $u=80.5$ m/s の場合

る後再び取出して重量損失を測定する。その場合水分を良く拭ひデシケータに入れて数分乾して後化学天秤にて重量を測り、保存もデシケータに入れ錆びるのを防いだ。その後各の試験片を又元の位置に取付けて同様連続噴射させ、同様の事を繰返し試験したものである。試験に供した材質は不銹鋼、不銹鑄鋼、マンガン鑄鋼、鑄鋼の 4 種類でその化学的成分及び機械的性質は第 1 表及び第 2 表に示す如くである。

3. 実験結果

第 4 図から第 9 図迄は斯様にして試験片の周速度と噴射

第 9 図 $u=72.1$ m/s の場合

[昭和 18 年 11 月]

のと似てゐる。相対速度 105 m/s の様な速い所では特に浸蝕が甚だしく、鋳鋼、マンガン鋳鋼は 5~6 h で殆ど試験片の内壁に迄達してゐる。4 材質の浸蝕量に就ては各衝撃回数に於ても又種々の相対速度に於ても小々逆の所はあるが先づ殆ど不銹鋼、不銹鋳鋼、マンガン鋳鋼、鋳鋼の順に小である。又各材質共始めは浸蝕量が甚だ少いが衝撃回数が増すにつれ

急激に浸蝕量が増加する。

さてこれ等の結果を一つの材質のものに就き集めると第 10 図から第 13 図迄の実線の如くなる。これ等に依り解る如く浸蝕量は相対速度が増すにつれ急激に増加して来る。その増加の程度は各材質により異なる。これ等の衝撃回数による浸蝕量の増加の仕方、相対速度に依る浸蝕量の増加の割合は一

第 3 表 実験式における各係数

係 数	不 銹 鋼	不銹鋳鋼	マンガン 鋳 鋼	鋳 鋼
k	1 133	1 283	2 200	3 126
α	28.65	24.21	18.55	16.34
$(1/k)^\alpha$	3.07×10^{-83}	5.62×10^{-76}	9.93×10^{-63}	7.79×10^{-53}
β	4.808	4.297	4.020	3.918

第 4 表 4 材質の限界速度

	不 銹 鋼	不銹鋳鋼	マンガン 鋳 鋼	鋳 鋼
u_e m/s	70	68	58	57
θ °	34	33.5	34	37

第 14 図 4 材質の限界速度

般に実験式として次の如く表はされる。

$$\Delta g = (u/k)^\alpha N^\beta$$

Δg は g, u は m/s, k , α , β は材質に依る定数にして実験した 4 材質に就ては第 3 表に示す如くである。第 10 図から第 13 図迄の中の点線はこれ等の実験式によるものを示したものである。完全に一致と迄は行かないが極めて近似と考へて良い。さてこれ等の結果を見るに 4 材質共或衝撃回数迄は殆ど重量損失無く、それ以上の衝撃回数になると急に重量損失が増して来る。而も相対速度の大なる方程これが判然と現はれてゐる。これ等から考へるとこの種の浸蝕現象はこれを 2 段に考へるべきで衝撃回数を増して行つて最初に微小部分が破壊される迄の状態と浸蝕が起つてから後のその進行状態とに分けるのが妥當であると思はれる。第 1 段の状態として第 10 図から第 13 図迄の各材質にき就各相対速度の浸蝕量曲線の 1000 分の 2g 重量損失から零迄を浸蝕量曲線により延長し、浸蝕の起らない各相対速度に対する衝撃回数を求める。又 4×10^6 回或はそれ以上の衝撃回数で 1000 分の 2g 程度のもは殆ど 50 m/s, 70 m/s 等の噴射水に依るものでなく、殆どあまだれの影響とも考へるべきものであるから 4×10^6 回数附近での 1000 分の 2g 程度になる相対速度を取り、縦軸に相対速度、横軸に衝撃回数を取ると第 14 図の如くなる。これは各相対速度に対してこの種の浸蝕が起らぬと云ふ衝撃回数の限界或は又或衝撃回数に対してどれ位の相対速度以下にては浸蝕が起らぬかと云ふ限界を表はすもので耐蝕性限界曲線とも云ふべきものである。本図に依り 4 材質を比較すると初期状態に関しても不銹鋼、不銹鋳鋼、マンガン鋳鋼、鋳鋼の順に浸蝕が起り難くその限界速度は第 4 表の如くである。

第 10 図 不銹鋼

第 11 図 不銹鋼

第 12 図 マンガン鋳鋼

第 13 図 鋳鋼

第 15 図 不銹鋼 $u=88.2$ m/s,
 $N=3.664 \times 10^6$

第 16 図 不銹鋼 $u=88.2$ m/s,
 $N=3.664 \times 10^6$

第 17 図 マンガン鋼 $u=88.2$ m/s,
 $N=3.664 \times 10^6$

第 18 図 鋳鋼 $u=88.2$ m/s,
 $N=3.664 \times 10^6$

第 19 図 不銹鋼 $u=81.6$ m/s,
 $N=8.803 \times 10^5$

第 20 図 不銹鋼 $u=81.6$ m/s,
 $N=8.803 \times 10^5$

第 21 図 マンガン鋼 $u=81.6$ m/s,
 $N=8.803 \times 10^5$

第 22 図 鋳鋼 $u=81.6$ m/s,
 $N=8.803 \times 10^5$

第 23 図 不銹鋼 $u=80.5$ m/s,
 $N=2.182 \times 10^6$

[昭和 18 年 11 月]

第 24 図 不銹鋼 $u=80.5$ m/s,
 $N=2\ 182 \times 10^6$

第 25 図 マンガン鋼 $u=80.5$ m/s,
 $N=2\ 182 \times 10^6$

第 26 図 鋳鋼 $u=80.5$ m/s,
 $N=2\ 182 \times 10^6$

第 27 図 不銹鋼 $u=80.5$ m/s,
 $N=3\ 475 \times 10^6$

第 28 図 不銹鋼 $u=80.5$ m/s,
 $N=3\ 475 \times 10^6$

第 29 図 マンガン鋼 $u=80.5$ m/s,
 $N=3\ 475 \times 10^6$

第 30 図 鋳鋼 $u=80.5$ m/s,
 $N=3\ 475 \times 10^6$

第 31 図 不銹鋼 $u=72.1$ m/s,
 $N=3\ 060 \times 10^6$

第 32 図 不銹鋼 $u=72.1$ m/s,
 $N=3\ 060 \times 10^6$

第 33 図 マンガン鋳鋼 $u=72.1$ m/s,
 $N=3.060 \times 10^6$

起り始めてから後の浸蝕の進行状態に関してそれが必ずしも限界曲線の場合と相似に進んで行くとは限らないから前述の実験式に依り比較すべきである。実験式により Δg の比を作つて比較すると耐蝕性の強い順位は略不銹鋼、不銹鋳鋼、マンガン鋳鋼、鋳鋼の順となる。

第 15 図から第 18 図迄は相対速度 88.2 m/s で 3.66×10^6 回衝撃した場合の 4 材質の破壊面の状態を示す。破壊面の状態は 4 材質とも海綿状を呈してゐるが不銹鋼、不銹鋳鋼には幾分滑り破壊の所も見受けられる。第 19 図から第 30 図迄は相対速度 81 m/s 附近での 4 材質の破壊面の進行状態を示す。始めは 4 材質共非常に目の細い海綿状であるが次第にこれ等が大きくなつて行くのが見受けられる。これ等はキャビテーションに依る浸蝕面の状態と良く似てゐる。第 31 図から第 34 図迄はもつと相対速度の低い 72.1 m/s で 3.06×10^6 回衝撃した場合の破壊面を示すものである。

4. 結 論

以上述べた様な回轉円板の周りに試験片を取付けそれに水を噴射させる浸蝕試験に於て次の様な事が云へる。

(1) この種の試験に依る浸蝕現象はキャビテーションに依

第 34 図 鋳鋼 $u=72.1$ m/s,
 $N=3.060 \times 10^6$

る浸蝕破壊現象と同じ過程である。

(2) 従てこの試験に依る耐蝕性の順位はそのまゝキャビテーションに対する耐蝕性の順位と考へ得る。

(3) 数種の材料の耐蝕性を調べる場合にはこの試験の方法に依れば周囲条件が完全に同じであるから簡単に調べられる。

(4) この種の浸蝕現象に関してはその浸蝕の始る初期状態とその後における状態とを 2 段に考へるのが実用的である。

(5) 初期状態に関してはその速度より以上では浸蝕が激しくなると云ふ限界速度が存在し、限界速度大なる材質程浸蝕が起り始め難い。

(6) 限界速度は略不銹鋼では 70 m/s、不銹鋳鋼では 68 m/s、マンガン鋳鋼では 58 m/s、鋳鋼では 57 m/s である。

(7) 浸蝕量は $\Delta g-N$ 図で上向に凹曲線となる。

(8) キャビテーションに対する耐蝕性は初期、後期状態に於ても殆ど不銹鋼、不銹鋳鋼、マンガン鋳鋼、鋳鋼の順に強い。

終りに臨み御指導を賜つた東北帝大沼知教授並に三菱神戸造船所の久野参事に厚く感謝の意を表す。

(昭和 18 年 6 月 14 日受付)