(昭和 32 年 7 月 20 日造船協会講演会に於て講演)

衝撃的振動下の船体ブロックにおける 溶接施工について

正員 吉田 俊夫* 正員 松永 和介*
正員 大庭 浩* 正員 寺井 清*
正員 村瀬 勉*

The Welding Carried out in Ship Assemblies under
Vibrations Produced by Repeated Impact

By Toshio Yoshida, *Member* Wasuke Matsunaga, *Member*
Hiroshi Oba, *Member* Kiyoshi Terai, *Member*
and Tsutomu Murase, *Member*

Abstract

In the welding of structure, when a pneumatic air hammer happened to be in use (for instance, rivetting, calking, chipping) in places nearby of where the welding was going on, in some instances, a crack was produced in the weld.

The authors, by using the apparatus which is illustrated in the Fig. 1, have reproduced its phenomenon in a laboratory and at the same time investigated the main factor which produces the crack, as well as the effect that is given by the vibrations to the toughness of welded joint and obtained the following summaries.

- (1) Generally speaking, when vibration is transmitted to the joint during its welding, the weldment would be more susceptible to cracks when the air pressure of pneumatic tool used is more higher, and the gap between the steel member is more larger, and the length of the tack weld is more smaller.
- (2) Crack sensitivity of the joint during its welding becomes larger under vibration caused by rivetting hammer than by chipping hammer and so becomes when fillet weld is done than when butt weld is carried out.
- (3) Because of such facts it is absolutely necessary to give a full attention to the vibration of joint members produced by a pneumatic tool in the case of a fillet welding. Even in a butt welding it is advisable to avoid such vibration for the first layer of weld, but from the second layer vibration will bring no unfavorable result to the weldment.
- (4) The cause of the development of cracks due to the vibration is not based on any metallurgical change, but it is conceivable to be a hot crack due to the mutual change that took place between joint members.

§ 1 ま き え が

最近、溶接船体の大型化に伴い個々の船体ブロック自体も急速に大型化されるに至っている。このようにブロックが大型化された結果、船体建造に際しては特に配慮せる工程によらぬ限り、船殻工事の各職種が1つのプロ

原稿受付・1月16日

* 川崎重工業株式会社, 造船工作部, 船殻課

ックの各所で同時に作業に入る可能性が充分に考えられるわけで、この傾向は今後船体が更に大型化し、かつ船体建造工程が短縮されるに従いますます増加するものと思わなければならぬ。

さてこの際注意しなければならないのは pneumatic tool を使用中に溶接作業を行う場合についてで、これはこの tool の連続的強打によるブロックの衝撃的な振動が凝固過程にある溶着金属に割れを発生せしめる恐れがあるからで、これは筆者らの体験によつても明らかに認められたものである。

すなわち定盤にて大組立を行つていたあるタンカーの上甲板ブロックで stringer angle を鉸鋸中、たまたまその付近でクレーン用の台付(吊金具)を溶接したところ割れが発生した。この際の溶接棒ならびに溶着金属はすぐ分析試験にまわされ精密な調査を受けたが、何ら有害な成分は認められなかつた。この他まれにはあるが同様の例が報告されている。

そもそも鋼が casting の際 solidification の途上に振動を受けるとある種の鋼ではむしろ tough で優秀なもの得られることが述べられている。ただしこれらはいずれも ingot 状の大なる casting の場合の研究であり、上述の溶接部のごとき小型のしかも特殊な鋳物に対するものではないのであるが、しかしながらこの場合でも振動強度がある程度以上大となると鋼中に hot tear 状の割れが生じるということが報告されており、²⁾ このことから溶着金属がその凝固途上に強い振動を受けることは好ましくないことが容易に考察される。

そこで筆者らはこの点を明らかにすべく溶接施工時に pneumatic tool を用いて振動をかけ溶着金属中に発生する熱間亀裂を実験室的に再現し、これらの生成原因、発生傾向等について調査した。

Fig.1 Ship Assembly Under Vibration Produced by Pneumatic Air Hammer

§ 2 試験の種類

本実験において行つた試験は次の項目に大別される。

1. 亀裂性試験
 - (イ) 予備試験
 - (ロ) 隅肉溶接の場合
 - (ハ) 突合溶接の場合
2. 振動下で溶接せる接手の性能について
 - (イ) 切欠靱性試験
 - (ロ) 顕微鏡試験

Table 1 Steel Tested

PLATE THICKNESS (mm)	CHEMICAL ANALYSIS (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
12.22	0.16	0.49	1.04	0.013	0.022	0.08	0.08	0.16

3. 隅肉溶接における接手部材間の変位測定試験

- (イ) 電気抵抗線歪計による場合
- (ロ) マイクロメータを利用した装置による場合

§ 3 試験結果ならびに考察

3.1 亀裂性試験

3.1.1 試験装置 試験装置は Fig. 2 に示すごとく板厚 30 mm で 1 M×500 大の寸法の試験台を定盤に取付け、その一端に pneumatic tool、他端に溶接せんとする亀裂性試験片をそれぞれ拘束して取付けた。

3.1.2 予備試験 まず実際に現場において台付を溶接時に生じた亀裂をそれに近い姿で再現するため、Fig.3 に見られるような台付状の隅肉溶接試

Fig.2 Testng Apparatus.

- 1) たとえば Effects of Vibration during Solidification of Castings. Foundry July 1953.
- 2) 神戸製鋼所研究部資料(下瀬技師提供による)

Fig.3 Effect of Air Pressure of Pneumatic Chipping Hammer on Crack Sensitivity of Welds

Fig.4 Specimen

験片 (板厚 22 mm) を作り前記の試験台に取付け、これの四辺にそれぞれ 100 mm の長さのビードを溶接して実験を行つた。この時 air の圧力は 0~4.5 kg/cm² の範囲で変化させたと、圧力の増化に従つて亀裂の発生度が増加した。すなわち air の圧力が 2 kg/cm² 以上となるとビードにより亀裂の発生が認め

られ 4.5 kg/cm² になると完全に全部が割れている。この場合試験台の寸法構造等が割れの起つたブロックのそれと異なるため、それらの固有振動数間に差異があり必ずしもこの結果が現場の場合に当てはまるとは考えられないが、とに角現場に見られた亀裂が四辺溶接による単なる拘束割れによるものではなく、振動強度の大小に起因したものであつたことが推察されたわけである。

3.1.3: 隅肉溶接の場合 予備試験において振動による亀裂発生を可能を確認して得たので、次に小型の隅肉溶接試験片を用いて次の各点を調査した。すなわち、振動強度の影響、部材間の間隙の大小による影響、接手における仮付量の影響、ハンマーの種類による差異の 4 点である。

試験片には板厚 12 mm で予備試験の場合と同じチャージのものをを用い、350×100 の寸法の上に abutting plate として 200×50 の部材を T 字型に取付け、その片面に 150 mm の長さのビードを溶接して試験を行つた。試験片の詳細は各図中に示してある。

まず振動強度が亀裂発生に及ぼす影響についてであるが、これには部材間の間隙を 0.3 mm にしたものに chipping hammer の圧力を 0~6 kg/cm² まで順次変えて振動を加えて行つた。これらの結果は Fig. 5 に示す通りでこの場合 air の圧力が 2 kg/cm² を超えると亀裂の発生度は急激に増力している。

次に部材間の間隙の影響であるが、この場合には間隙を 0~1.0 mm まで順次大にしたものに chipping hammer の圧力 3 kg/cm² と 5 kg/cm² の両者を用いて振動をかけた。この結果は Fig. 6 に示すが、これによると間隙が少しでもあると亀裂発生度は激増している。この場合も圧力の大きな方が発生度の増加の度合も大である。

この次に行つたのは接手部材間に仮付溶接のある場合であるが、これも以上と同じ試験片とし、仮付け量を変えたものに圧力 3 kg/cm²、5 kg/mm² で溶接したところ Fig. 7 の結果が得られた。最初の考えでは仮付け量を増大すると亀裂発生率は減少するのではないかと思われたが、実際やつてみると案に相違して全長にわたつて仮付けを行わねば、圧力の大小によらず亀裂の発生を防止することが出来ぬことが認められた。このことから隅肉の溶接では振動に対して如何に注意

Fig.5 Effect of Air Pressure of Pneumatic Tool (Chipping Hammer) on Crack Sensitivity of Weld

Fig. 6 Crack Sensitivity vs. Gap of Fillet
Shows the Effect of Vibration by Using Chipping Hammer

を払わねばならぬかが判る。

今までは chipping hammer のみについて行ってきたが最後に hammer の種類を変えて rivetting 用のものを用いて実験しこれを chipping 用 hammer の場合の結果と比較したところ、Fig 8 に示すような結果が得られた。これによると chipping hammer では圧力が 2 kg/cm^2 の場合亀裂は殆んど見られないのに反し、rivetting 用では依然 100% の亀裂度を示し、施工中の溶接部に対し有害なことを物語っている。これは rivetting hammer の tip の stroke の大なることにより接手の振動強度が大となった結果であろうと想像される。

3.1.4: 突合溶接の場合 突合溶接も隅肉の場合と同じく上述の各点について調べるため、板厚 12 mm で 350×100 の板を 2 枚突合せて 1 組とし Y 型開先をとつてやはり神鋼 B 25 溶接棒を用いて溶接を行つた。ところがこの場合、隅肉の場合は殆んど影響のなかつた溶接速度が、溶接部の亀裂感度に非常な差異を与えることが

Fig. 8 Effect of Pneumatic Tools on Crack Sensitivity of Welds

Fig. 7 Effect of Tack Welds on Crack Sensitivity.
(in The Case of Chipping Hammer)

Fig. 9 Effect of Welding Speed of Butt Joint on Crack Sensitivity (by Using Electrode Shinko B25 6.4φ, Vibrated by Chipping Hammer)

認められたので、まず速度についてその影響を調べたところ Fig. 9 に示す結果が得られた。圧力は隅肉の場合と同様 3 kg/cm^2 ならびに 5 kg/cm^2 にて試験を行つたが、隅肉溶接では 3 kg/cm^2 の圧力による振動強度でも亀裂発生の可能性が充分考えられたのに反し、突合溶接では亀裂の発生は全然認められなかつた。しかし圧力が 5 kg/cm^2 となるとやはり振動の影響は顕著に出ており、溶接速度が 170 mm/min 以上となると亀裂の発生が見られ、かつこの発生率は速度が大なる程増大している。

以上で速度の影響を調べたので、次に速度を一定とした場合の仮付け量の影響を調べた。この結果は Fig. 10 に示してあるが、これによると仮付け間の距離 l_F が小となるほど、すなわち仮付け量が大となるほど亀裂度は減少しており、仮付けが接手全長にわたる場合、すなわち接手第1層目の溶接を行つた後にはたとえ 5 kg/cm^2 の圧力を加えて衝撃をかけても、亀裂の発生は全然見られなかつた。このように突合せでは仮付け量がたとえ全長にわたらなくてもある程度亀裂の防止に役立つているが、隅肉溶接では前述のごとく全長にわたる仮付け以外は亀裂の防止に役立たぬことから考えて、隅肉接手ではいかに振動が溶接部に大なる影響を与えるかがわかる。

この比較をまとめたのが Fig. 11 で、隅肉と突合せの両者の結果を棒グラフで判り易くまとめている。すなわち圧力が 5 kg/cm^2 の場合、隅肉溶接では 100% の亀裂度を示しているが突合せ溶接では 50% 以下にすぎず、圧力 3 kg/cm^2 では前者の 35% に比し後者では亀裂が全然認められていない。

Fig.11 Comparison of Crack Sensitivities of Both Fillet and Butt Welding.

3.1.5 : 考 察

(1) pneumatic air により振動中の接手部材を溶接する時に生ずる割れの発生率は、強度は主として air だけではこの他仮付溶

(2) 接手部材間の間隙を零にするか、または間隙があつても予め接
手間に第1層目の溶接を行つておけばその後の溶接ビードにはたとえい
かなる振動をかけても亀裂は生じない。

(3) 以上のことから亀裂発生の要因は振動による溶着金属の冶金的な変化よりも、むしろ接手部材間の相対的変位量の大小によるものと考えられる。

(4) 振動をかけるのに rivetting hammer を用いると chipping hammer の場合より亀裂度が大きとなるが、これは前者のたがねの stroke の方が後者のものより大なので、従つて部材にかかる振動強度が大となるためと思われる。

3.2 振動下で溶接せる接手の性能について

3.2.1: 切欠靱性試験 前節の考察(3)において述べたごとく、筆者らは振動下で溶接せる接手に発生する亀裂の原因は接手部材間の相対的変位によるもので、溶着金属の冶金的变化に基づくものではないと考えた。また同じく(2)では接手の第1層目以外では振動を受けても亀裂が生じないことを述べたが、実際に溶着金属に冶金的变化はないものかまた第1層目以外には亀裂が生じなくとも第2層目以後の溶着金属に脆化その他の悪

Fig.10 Effect of Tack Welds of Butt Joint on Crack Sensitivity (by Using Electrode Shinko B25 6.4 ϕ , Vibrated by Chipping Hammer)

Fig. 12 Result of Notch Toughness Test of Welds (electrode : B 25) Affected by Repeated Impact

Fig. 14 Results of Notch Toughness Test of Welds (Rod : No. 36 x Flux : #80) Affected by Repeated Impact.. (2 Passes Welding)

Fig. 13 Result of Notch Toughness Test of Welds (Rod : No. 36 x Flux #80) Affected by Repeated Impact (1 Pass Welding)

Fig. 15 Summary of Notch Toughness Test

影響が及んでないかについて確認する必要がある。これらについて筆者らはいま突合接手試験片で第1層目の溶接を完了したものに各種の振動をかけて溶接を行い、しかる後接手から溶接線に直角方向に V Charpy 試験片を採取して切欠靱性試験を行い各接手の性能を比較した。

この際接手の溶接には前記 B 25 溶接棒以外に自動溶接を単層盛と 2 層盛で行い、これらのそれぞれに 3 kg/cm^2 と 5 kg/cm^2 の air 圧力で振動をかけた。(心線とフラックスにはユニオンメルトの No.36 及び # 80 の組合せを用いた。) これらの結果をそれぞれ Fig.12, 13, 14 に示す。各図によれば振動をかけないもの (圧力 0 kg/cm^2) は振動をかけたものに比べ靱性が優れてはおらず、たとえば各曲線で吸収エネルギーが 30 FT—LB となる温度を遷移温度とするとこれらをまとめた Fig.15 の結果から明らかなように、単層盛の自動溶接以外はかえって振動をかけた場合の接手の性能の方が若干優れているようである。

3.2.2: 顕微鏡試験 Fig. 16 は前述の各接手の溶着金属 (最終層の表面下約 2mm の個所) の顕微鏡組織を示す。上列の 3 枚は B 25 で順次下へ自動溶接単層盛, 2 層盛となつている。振動をかけるに用いた air 圧力を上欄に横方向に示しているが、各写真とも振動により変化したとは思えない。ただ B 25 の 3 kg/cm^2 がやや微細化しているが、これの切欠靱性は Fig. 15 を見て判るように若干優れていたことからうなずかれることである。これらの点から考えて大体接手性能試験の結果は妥当であつたと思われる。

3.2.3: 考 察 (1) 振動による溶接部の冶金的变化は 100 倍程度の倍率による顕微鏡試験に関する限り認められなかつた。

(2) 振動は第 1 層目の亀裂さえなければ溶接々手性能にはなんら悪影響は及ぼさない。ただ単層盛自動溶接で若干靱性の減少が見られたが、他の場合はかえって優れた結果となつていた。

3.3 隅肉溶接における接手部材間の変位測定試験

3.3.1: 電気抵抗線歪計による場合 前述のごとく接手の切欠靱性試験ならびに顕微鏡試験の結果から、振動下に生ずる亀裂発生の原因は溶着金属の冶金的变化に基づくものではないことを確めたが、なお 3.1.5 において述べた考察の他の点すなわち亀裂発生の原因が接手部材間の相対的変位によるという推論についてただして見る必要がある。

Fig. 16 Microstructures of Deposit Metal

筆者らはこれについて実験をするのに接手間の変位が大なる場合、溶着金属内に hot tear 状の割れが発生するものと考え、 (イ) 振動強度 (ロ) 接手間の間隙

の両者が増大した場合の接手間の変位について調べてみた。

この変位量の測定に当り最初 dynamic strain gauge の使用が適当と思われたので、非接着抵抗線型歪計を Fig. 17 に示すごとく試験片に取付けて実験を行つたが、かかる衝撃的振動下においては、部材の振幅が後述の

Fig. 17 Dynamic Strain Gauge

マイクロメーターによる測定結果からも明らかなようにその order が $1/100$ mm 程度であり同歪計の容量を over したため、今回はこれによらずして次に述べるごとく電気抵抗歪計により実験を行った。

この装置は Fig. 18 に示すごく試験片の中央部に 30×20 の四角い抜取部を設け、abutting plate と下板を薄板で連絡してそれに歪計を貼布し、Fig. 2 に示した実験装置で試験を行い、その結果をオシログラフにとつてその振幅を測定した。これらの結果を Fig. 19, 20 に示す。Fig. 19 は

Fig. 19 Relation Between Elastic Deformation and Gap

Fig. 20 Relation Between Elastic Deformation and Air Pressure

Fig. 18 Apparatus of Measuring Relative Deformation Between The Fillet Joint. (by Using Strain Meter)

最大振幅と部材間の間隙を air の圧力 3 kg/cm^2 と 5 kg/cm^2 について調べたもので、これによると間隙が 0.15 mm を超えると振幅は急激に増大している。Fig. 20 は air の圧力との関係であるが、振幅は振動強度の増加に従って大体直線的に増大している。

Fig. 21 は Fig. 19, 20 の関係を Fig. 5, 6 の亀裂性試験結果と結びつけてまとめたもので、これによると振幅が $1/1000 \text{ mm}$ を超えると亀裂発生度が激増している。

3.3.2: マイクロメーターを利用せる装置による場合

以上の結果から振幅がある程度以上大となると亀裂発生も大となることが認められたが、実際に接手試験片ではどの程度の変位が起っているのだろうか。電気抵抗歪計では abutting plate と下

Fig. 21 Relation Between Crack Sensitivity and Elastic Deformation during Vibration

Fig. 22 Apparatus of Measuring Relative Deformation Between the Fillet Joint. (by Using Micrometer)

板を薄板で拘束した形になっているので実際に生じる振幅とは関連がつかない。筆者らは前述のごとく動的歪計を用いた計測に失敗しているので、精度は劣るかも知れないが次に述べる装置を用いて実験してみた。これに用いた計器はマイクロメーターを半分に切つて Fig. 22 に示すごとく試験片の abutting plate に取付けたもので、下板のこれとの接触部にはベークライトの台座をつけた銅板が取付けられている。一方これら両者から電氣的に回路を設けておき、両者が接触すれば回路中に signal として取付けた 6E5 型真空管いわゆる magic eye が閉じるようにしている。そしてこれをやはり Fig. 2 に示した装置により振動をかけてマイクロメーターを徐々に下して接触した直後に振動を止め、その間の開きを目盛でよんで実験を行つた。Fig. 23 はこの方法で air の圧力と接手間の間隙を変えて行つた結果で、これによると air の圧力が低いほど、また間隙の少いほど振動中に生ずる変位量は小となつてゐる。また変位量の order も strain gauge の場合の 20 倍程度となつてゐる。Fig. 24 は Fig. 23 の結果と Fig. 5, 6 の亀裂性試験結果とを結びつけたもので、これによつてもやはり亀裂の発生はある程度以上の変位量に対して見られており、その臨界変位量も strain gauge の約 20 倍の 2/100 mm の附近となつてゐる。

Fig. 23 Relation Between Air Pressure and Deformation

Fig. 24 Relation Between Crack Sensitivity and Deformation during Vibration

Fig. 25 Relation Between Deformations Measured by Using Both Strain Gauge and Micrometer

3.3.3: 考 察 (1) 電気抵抗線歪計により振動中の部材間の変位を調べた場合、変位の絶対量は判らぬまでも、試験片の接手間隙や振動強度の差異による相対的な変化がよく出ていた。マイクロメーターを利用せる装置による場合は変位の絶対量は出て精度に疑問がもたれたが、これも Fig. 25 に示すように前者歪計の結果と大体直線的な関連にあり比較的良好な結果が得られた。

(2) 振動下に生ずる亀裂は接手部材間の間隙ならびに振動強度が大なるほどその発生率は増大している。この変位量が大体 2/100 mm 以下なら亀裂は生じないようである。

(3) マイクロメーターによる測定の場合 abutting plate にはマイクロメーター及びこれの取付金具があるので固有振動数は板のみの場合と変ってくるがこれの検討は後日にゆずることとする。

§ 4 結 論

(1) 概して溶接部は pneumatic tool の air 圧力の高いほど、部材間の間隙が大なるほど、又部材間の仮付溶接長の少ないものほど振動を受ける際の亀裂感度は大である。

(2) 振動下の溶接施工時に生ずる亀裂は chipping hammer より rivetting hammer の方が、又突合溶接より隅肉溶接の場合の方がその発生度が大である。

(3) この結果特に隅肉溶接では施工中 pneumatic tool 特に rivetting hammer による部材の振動に注意を要するし、またたとえ突合溶接の場合でも第1層目には振動を避けた方がよい。ただし第2層目からは振動は何ら悪影響を及ぼさぬから心配はない。

(4) 振動による亀裂発生の原因は溶着金属の冶金的变化に基づくものではなく、溶接施工中の接手間における部材の相互的変動による熱間亀裂状のものと考えられる。

後 記

本実験により一応 pneumatic tool が溶接施行中に用いられることの有害さが判明したが、しかし実際に現場においては大小なり振動が及ぶことはまぬかれ得ない。特に船台上においてはたとえ同一ブロックで pneumatic tool を使用しないでも他の隣接ブロックから振動の伝わることも考えられる。このように実船においてはその他諸々の面も出てくるであろうが、これらについては現在実験を続行中であるので次回に御報告出来ると思う。また本実験結果と実船との関連についてもその時にゆずりたいと考えている。

なお本実験を行うに当り東京大学木原教授、運輸技術研究所増淵興一氏、神戸製鋼所研究部下瀬高明氏から有益な御教示を賜り、歪測定に際しては運輸技術研究所飯田国広氏ならびに弊社技術研究室船川技師の御助力を頂いた。またこの他神戸製鋼所溶接棒部試験課の諸氏から御援助を受けた。ここに併記して謝意を表する次第である。