(昭和 27 年 11 月造船協会秋季講演会に於て講演)

ディーゼル機関の軸馬力および捩振動の測定成績

正員 工学博士 木 下 昌 雄*

正員 工 学 士 岡 田 正 次 郎*

On the Results of measuring Shaft-Horsepower and Torsional Vibration of
Diesel Engines

By Masao Kinoshita, *Kogakuhakushi, Member*
and Shojiro Okada, *Kogakushi, Member*

Abstract

This paper gives the results of measuring-shaft-horsepower and torque-fluctuation of the intermediate shaft with the magnetostriction type torsionmeter, which is a partly improved one of the shaft-horsepower-meter previously reported.

The principal results obtained are summarized as follows :

1. The value of shaft-horsepower measured with this new torsionmeter on the sea trial coincides not only with the value calculated from the indicated-horsepower simultaneously measured but also with the model basin prediction when it is standardized.
2. The stress on the intermediate shaft due to the torsional vibration is not so large at the usual condition.

I. 緒 言

ディーゼル機関に直結された中間軸に現われる軸トルクおよびその変化の状態を知ることが、機関設計者、製作者のみならず使用者側にとつても重要なことと考えられる。これに就いては既に助成船建造の当時に研野式振計^{1),2)}によつて相当数の船舶に対して、その海上試運転の際に、若干の特定の回転数において実測せられた例がある。筆者等は前々回に発表した「軸馬力計の一例について³⁾」において既に蒸気タービン船用のトーションメータを完成したが、更に今回蒸気タービンに比較してトルクの変化が激しいディーゼル機関用トーションメータを試作した。これと丁度時を同じうして、日立造船株式会社横島工場において日立 B & W ディーゼル機関 1 番機が建造されたので、この陸上、海上両試運転を通じて、軸トルクおよび、その変動等を実測した結果およびその他一、二の結果について茲に報告する次第である。

筆者等船型学の研究者にとつては、実はディーゼル船の海上試運転時の実際の所要馬力と、船型水槽試験による推定所要馬力との正確な比較が主目的であり、元来この目的の下にトーションメータの試作を始めたのであつて、本機関が如何なる特性を持ち、それがまた如何なる考察のもとに軸系に組合されているかは詳かにしない。ただ結果として中間軸に出現したトルクの変動等を併せてここに報告し、これによつて関係者各位に対してなんらか益する所あれば幸甚これに過ぎるものはない。

II. 使用したトーションメータの概要

今回の実験に使用したトーションメータは、前々回に発表した磁歪式トーションメータを、ディーゼル機関に適当なる様に改良したものであり、その大要は第 1 図に示されている。その改良の要旨は比較的大きなトルク変動に対しても充分耐えられるように、トーションメータの基筒と先筒とがその全周にわたるエッジによつて中間軸を抱締める様な固着方式にしたことと、トーションメータの中心部である磁歪換振装置をその点検着脱を自由に為し得る様に最外部に持つて来たことである。

次いで本トーションメータがトルクの変動をも正確に測定しうる為には使用電源の周波数、記録装置の固有振動数、および磁歪換振装置の固有振動数の 3 者がともにトルク変動の周波数に比べて格段に大きいことが必要で

* 日立造船株式会社技術研究所

第 1 図

第 2 図 磁歪換振装置の固有振動数測定のおシログラム

第 3 図 陸上試運転軸系概要

のダイナモメータが必ずしも恒に、平衡状態になかったためであろうと推察される。

(4) **トルクの変動の計測結果** 各回転数のトルクの変動を撮影したオシログラムの 1 例を図示したものが第 5 図である。この際のトルクの変動 (fluctuation) とは広義の変動を意味しており、トルクの平均値からの deviation はすべて変動と解釈する。すなわち気筒内の爆発力による強制振動 (forced oscillation) も軸系の自由振動であるいわゆる捩振動 (torsional vibration) もすべてトルクの変動と称している。これらのオシログラムの解析の結果によると、約 75 R. P. M. において 10 次、又約 94 R. P. M, 107 R. P. M. の際に夫々 8 次、

ある。トルク変動の周波数は精々毎秒 20 程度のものであるから、電源の周波数は 520 程度、記録装置の固有振動数は 1,000 程度のものを選んだ。(横河製電磁オシログラフ用の H 型振動子である。)

磁歪換振装置の固有振動数については、これを実測した所、丁度 200 程度であつた。この方法は換振装置の 1 次線輪に直流電流を通じてレバー先端を軽く打ち、その際に誘起される 2 次電流を直接に電磁オシログラフに入れてその変化の模様を測定したのである。この際のオシログラムを第 2 図に掲げる。

III. 陸上試運転

(1) 供試機関 (日立 B & W 1 番機) の主要目

機 関 型 式	日立 B&W2 サイクル 型単動 無気噴油船用ディーゼル
気 筒 数	5
シリンダー内径	740 mm
行程	1600 mm
定格回転数	115 r. p. m
定格制動馬力	4600 BHP

(2) 測定装置の概要 トーションメータの

固着位置および軸系の大略を第 3 図に示す。

トーションメータは出来るだけ狭小な場所にも取り付けられるようにまた運搬に便利のように、スリップリングの部分を基筒から分離してある。トルクの測定に当つては、専ら電磁オシログラフを用いる事とし、その記録から平均値および変動量を読み取つた。然して直流電流計はある瞬間のトルクの平均を正確に測定する場合にのみ使用することにした。

(3) トルクおよび回転数の計

測結果 予行、公試の両日に測定した各出力の平均トルクを回転数に対して点置したものが第 4 図である。同図にはフルードのダイナモメータによつて測られたトルクの値をも同時に点置してあるが、トーションメータの測定値が僅かながらこれに対して散らばりを見せているのは、フルード

第 4 図

この値は大略平均トルクの 55% 前後となっている。また 10 次、8 次および 7 次の振動では前記変動率で夫々 175%、110% および 132% となっているが、しかしこの計測箇所でのトルクの絶対値として最大のものは 7 次すなわち 107 R. P. M. における 30,700 kg-m である。この最大トルクに対して計算した中間軸の外周面における最大剪断応力は 286 kg/cm² である。一方ロイドールが規定しているかような振振動の mode の際に中間軸に対して許容される附加応力は 325 kg/cm² であつて、この計測箇所において最も危険と思われる 1 節 7 次の際ですらその 88% 程度であつた。

第 5 図 $N=105.2 \text{ R. P. M.}$

7 次の振振動が明瞭に窺われる。すなわち軸系の振りに対する固有振動数は 1 節の場合に 750 C. P. M. である。これに対して造機設計課が行つたホルツアの方法による固有振動数の予想計算値は 748 C. P. M. であり、良く一致しているものと言える。これらのオシログラムのすべてを解析してトルクの変動率（平均値からの deviation の最大値をトルクの平均値で除したものと変動の絶対値とを求め、各毎分回転数に対して点置したものが第 6 図である。軸系の振振動に関する固有振動数に対して共振していない場合のトルクの変動は各気筒の爆発力による強制振動と考えられ、

第 6 図 日立 B & W 1 番機陸上試運転トルクの変動値及び変動率（ともに半振巾を示す）

IV. 海上試運転

- (1) 大元丸（日立 B & W ディーゼル機関 1 番機搭載船）
- (A) 主要目および試運転状態

第1表 主 要 目

船名		大元丸	
主種		大洋海運株式会社	
船種		貨物船	
船体部	垂線間長 L. P. P	128.000 m	
	幅 (型) B	17.500 m	
	深 (型) D	10.300 m	
	吃水 (型) d	8.200 m	
	電骨傾斜	0	
	排水容積	13470 m³	
機関部	方形肥瘠係數 C _b	0.733	
	柱形肥瘠係數 C _p	0.741	
	中央横截面係數 C _X	0.989	
	噸數	6,500 t	
	總載貨	9,500 t	
	船首尾形狀	傾斜船首, 巡洋艦型船尾	
推進器	舵進建	流線型コントラ舵	
	水年日	昭和 26 年 9 月 16 日	
	造月所	日立造船株式会社向島工場	
	主機	1 基	
	基型	日立 B & W 574-VTF-160 型空單動 2 サイクル無気噴油式	
	定格出力	4,600 B. H. P.	
推進器	定格毎分回轉數	115	
	製造所	日立造船株式会社桜島工場	
	機関部位置	船体中央部	
	推進器數	1 基	
	直徑	4 翼組立型	
	比	5.000 m	
推進器	螺距	0.228	
	根翼部端	4.700 m	
	螺距比 (0.7 半径に於ける)	4.000 m	
	展開面積比	0.800	
	投影面積比	0.396	
	平均翼幅比	0.360	
推進器	中心翼厚比	0.201	
	翼断面形狀	0.046	
	傾斜角度	エーロフォイル型	
	仕上狀態	7°—31'—2"	
	翼定格毎分回轉數	上 仕 上	
	回轉方向	4 枚	
推進器	材質	115	
	翼數	右 方 向	
	製造所	マンガン黄銅	
	螺	鑄 鉄	
	製造所	日立造船株式会社向島工場	
	製造所	日立造船株式会社向島工場	

第2表 試 運 転 状 態

試運轉種類		公試運轉	
施行年月日		昭和 26 年 11 月 23 日	
出港時刻		8 時 30 分	
帰港時刻		16 時 30 分	
出渠年月日		昭和 26 年 10 月 27 日	
使用標柱		弓削標柱	
水深		30~40 m	
天候		小雨	
風向及風速		一「ビューフォート」風度 1	
海面狀態		静穏	
備考・満潮		0500 1810	
出港時		吃水	
船首尾平均		1.721 m	
船尾		5.700 m	
縱傾斜		3.696 m	
排水量		船尾 3.979 m	
容量		5.00 m³	
重量		5.640 t	

(B) 軸馬力計測結果

陸上試運転に使用したトーションメータをそのまま海上試運転の際に最船尾中間軸に装着して計測した結果を図示すると第7図の通りである。毎分回転数が水槽試験結果からの予想曲線よりも僅か低く出ているが、軸馬力は大略予想曲線に一致しているものと認められる。

(C) 振振動計測結果

予行運転の際に行われた振振動試験の時に計測したオシログラムを解析した結果を各毎分回転数に対して点置したのが第8図である。30~115rpm 全体を通じて現われたトルク変動はすべて5サイクル/回転のものであつて、これは5気筒による強制振動と考えられる。そして1節5次の共振回転数が約36rpmに当るので、この回転速度の場合に非常に大きな変動トルクを生じ、許容応力を僅かながら超えていることは、操船時注意すべきことと考える。尚本図には、この振振動試験の際の各回転速度に対する平均トルク曲線も併せて画いてあるが、各計測点が相当散らばっているのは各計測時刻において中間軸の回転速度は一応整定していても、船の速度お

第7図 大元丸公試運転
軸馬力、回転数対船速曲線

第8図 大元丸海上試運転振振動試験
トルクの平均値及び変動値

よび中間軸のトルクは未だ充分整定していなかつたことに原因するものと考えられる。

(D) 起動試験

起動時に加わるトルクの状態および回転速度を図示したのが第9図である。起動時のトルクの変化は、ハンドルノッチの入れ方等によつて大いに影響されるものであり、第9図はその1例に過ぎないが、この場合には約30t-m 即ち5/4出力時と同程度のトルクが起動時に加わっていることがわかる。

(2) 信貴春丸、および昌島丸

次いで大元丸と比較参考の目的で信貴春丸(中重ブルター 7SD-72 型搭載)昌島丸(三井 B & W 974 VTF 型搭載)においても同様の計測を行つた。先ず主要目を次に示す。

第9図 大元丸公試運転時起動試験
(昭和26年11月23日)

第 3 表 主 要 目

船名	昌島丸	飯野海運株式会社 貨物船
船種	信貴春丸	新日本汽船株式会社 貨物船
垂線間長 L.P.P.	132.000 m	140.000 m
幅 (型) B	18.000 m	19.000 m
深 (型) D	10.300 m	10.500 m
吃水 (型) d	8.200 m	8.300
竜骨傾斜	0	0
排水容積	14,310 m ³	15,450 m ³
方形肥瘠係数 C _b	0.734	0.700
柱形肥瘠係数 C _p	0.742	0.709
中央横断面係数 C _m	0.989	0.988
浮心位置 (船首より の距離/LPP.)	0	
噸載	7,000 t	7,750 t
総載貨	9,900	10,200 t
船首尾形状	傾斜船首, 巡洋艦型船尾	同 左
舵	流線型コントラ舵	"
進水年月日	昭和 26 年 8 月 23 日	昭和 27 年 1 月 26 日
建造所	日立造船株式会社因島工場	同 左
主機	1 基 Sulzer 7 SD・72 型 2 サイクル単動ディーゼル機関 5,000 B.H.P. 128 中日本重工業株式会社神戸造船所	1 基 三井 B & W 974 VRF-160 型 8,300 B.H.P. 115 三井造船玉野製作所
機関部	機関部位置	同 左
推進器	1 基 4 翼組立型 4.900 m 0.2327	1 基 同 左 5.500 m 0.2455
螺距	4.380 m 3.650 m	5.500m 4.760m
根端	減速ピッチ	減速ピッチ
螺距比 (0.7 半径に於ける)	0.745	0.8655
展開面積比	0.396	0.398
投影面積比	0.360	0.352
平均翼幅比	0.2027	0.207
中心翼厚比	0.0469	0.0455
翼断面傾斜角度	エーロフォイル型 9°—44'—0"	同 左 8°—16'—20"
仕上状態	上 仕 上	上 仕 上
翼数	4 枚	4 枚
定格毎分回転数	128	115
回転方向	右 方 向	右 方 向
材質	マンガン黄銅 鉛 鉄	同 左 同 左
製造所	日立造船株式会社因島工場	同 左

軸馬力および振振動の計測結果を夫々第 10, 11, 12 図に掲げてあるが軸馬力の計測値は両船とも大元丸と同様可成りの精度で水槽試験結果からの予想値と一致している。振振動は昌島丸においては殆ど注目すべきものがみられなかつたのでこれは略したが、信貴春丸においてはやはり第 11 図に見られる通り 35 rpm 附近に共振点が予想されるが、この場合にはそれ以下の低回転時の計測が行われていないのでその絶対値が確認出来ていない。

V. 結 言

以上今回試作したディーゼル機関用 トーションメータによつて計測した陸上試運転結果と 3 隻の新造船の試運転結果を報告した。これによつて平均軸馬力のみならずその変動の模様を連続測定する場合にも充分使用出来る

才10図 信貴丸公試運転
軸馬力, 回転数対船速曲線

才12図 呉島丸公試運転
軸馬力, 回転数対船速曲線

才11図 信貴丸油上試運転状態試験
トルクの平均値および変動

ことを確認した。

最後に本実験遂行に当つて多大の援助を賜つた日立造船松島工場造機部内燃機課, 向島工場工務部造機課及び因島工場造機部造機課の関係者の各位に厚く御礼申上げる。

(終)

参 考 文 献

- (1) 研野作一: “研野式振計” 造船協会会報第 54 号, 昭和 9 年 10 月
- (2) 研野作一: “中間軸に出現するトルク変動について” 造船協会会報第 65 号, 昭和 14 年 12 月
- (3) 木下, 岡田, 斎藤 “軸馬力計の一例について” 造船協会昭和 26 年秋季講演会において講演