(昭和 32 年 7 月 20 日造船協会講演会に於て講演)

傾斜試験に於ける傾斜角の一測定法

正 員 志 波 久 光*

正 員 江 田 治 三*

A New Measuring Method of the Heel Angle of a Ship under her Inclining Experiment

By Hisamitsu Shiba, *Member*Haruzo Eda, *Member*

Abstract

In measuring the heel angle of a ship under her inclining experiment, she is generally inevitable to oscillate more or less owing to the external forces such as wind and wave.

Even in such a case the measuring method by a long pendulum which has its own oscillation is generally still in use. Therefore, when accuracy is especially required, it may be said that, if the above method being taken, it will be very difficult to distinguish exactly the small heel angle induced by the moving weight.

Now the authors have lighted upon the optical method by a camera in place of a pendulum to measure the heel angle of a ship in such a oscillating case. This optical method will be very simple and accurate.

In this paper, general investigations in camera are described together with some test results with four actual ships obtained by our optical method.

From these test results you may also perceive that the exact rolling period of a ship can easily be obtained, if necessary, without the rolling test.

I 緒 言

船の重心を求めるために行う傾斜試験に於て特に大型化した船舶では重垂の量とその移動方法の点で制肘されるため、微少傾斜角と雖もこれを得るに可成難渋を極めるから成可くは傾斜角随つて移動重垂量の軽減を計りたい実状にある。一方船の動揺復原性等の検討上から近来は旧に倍した精度をその重心測定に要求されている。

然るに傾斜試験の際には船舶は風又は波等の外力の影響を受けて一般には微少乍らも絶えず複雑な動揺を行い勝ちであるから、この中にあつて重垂の移動によつて誘起される 1 度乃至はそれ以下の微少傾斜角をより精確に求めるためには風力の変化を知るは勿論としても、特に時間に対する傾斜角の微少変化の様相を剋明に検出し得る高精度の計測法が必要となつてくる。然るに従来使用されている計器ではそれ自体が普通振動系を形成しているために実際の計測に当つて多くの難点あるため——例えば下げ振りの場合精度を高めるために振子の長さを長くすると自体の減衰が困難となり、一方それ自体の固有周期も船の周期に一般的に比較し得る大きさとなり又動揺試験に一般に用いられている短周期の振子の場合もその設置場所と船の動揺中心との相対位置を正確に知つておく必要がある等——これらによつては充分の精度を期待し難い。

即ち筆者等は傾斜角の測定に計器自体に固有の周期なく極めて微量の傾斜角の変化をも検出することが可能でかつ比較的の操作が簡単であることに重点を置いて考察の結果、カメラに依る光学的計測方法を有利と判断したのでこれに就て簡単な実験装置により調査し更に数船に対し実地に本方法を試みた結果、略満足し得る結果が得られることが判明したので以下その概要を報告する次第である。

なお本法によれば特に動揺試験を俟たずしても傾斜試験時の記録よりその船の動揺周期を求め得られることを附記したい。

原稿受付. 1 月 10 日

* 運輸技術研究所

II 光学的計測上の予備調査

1. 原理の紹介

第1図に於てカメラが始めの位置から θ だけ傾斜したとすると相対的には A なる物体が A' に移動したと等しく最初フィルム面上 a にあつた物体の像は a' に変位する。

レンズの焦点距離を f とすると次の関係式を得る。

第1図

$$\tan \theta = \frac{aa'}{f}$$

aa' に比べて f が充分大なら

$$\theta \div \frac{aa'}{f}$$

の如く傾斜角と像の変位量は極めて簡単な関係となり焦点距離が長いもの程微小角の測定が容易となつてくる。

即ちこの様な簡単な原理に従つた光学的計測法によれば計器自体は振動系とならず、又長焦点レンズを使用することにより振子の長さを長くしたと同等の効果あるため益々高精度の計測が可能となつてくる。

2. 調査装置計測方法等

135 耗望遠レンズを取付けたキャノン・カメラを第2図に示す様に可動杆に固着しその杆の一端の高さをダイヤル・ゲージを用いて微量ずつ変化することによりカメラの傾斜を順次変えて充分遠い物体を被写体として、その都度撮影してこれより像の移動量を読取る方法を採用した。なお使用フィルム等はイーストマン、プラス X (マイクロファイン現象) × 富士ペロナ F3 (D-72 処方) であり特種の使用を避けた。

第2図

3. 画像の歪曲

一般にレンズには歪曲の特性あるため傾斜角と像の変位量との間には、既に述べた様な簡単な関係が厳密には成立しないが 36 耗 × 24 耗のフィルム枠に対し 100 耗以上の長焦点レンズを使用すればその歪曲の程度は一般には極めて少いのが普通であり、実験に使用したキャノン 135 耗レンズの歪曲の程度に就てみると次の値が与えられている。

中心より	22 耗の点に於て	(9°~15')	-0.16 %
"	18 "	(7°~36')	-0.07 %
"	12 "	(5°~48')	-0.00 %

第3図

負号は糸巻型の歪曲を意味するものである。即ち 1~2 度の小傾斜角の程度ではレンズの特性に基づく画像の歪曲は本目的には何等の支障ないものと看做し得る。

4. 総合的の精度

フィルムは操作の過程に於てゼラチンの変位あるため現像と潜像とは厳密には一致しない。又読取りに対する個人差等も存在するからこれらを含めた総合的の精度を調査するために、実際に必要とされる 1 度以下の小部分に就き傾斜角を順次約 0.0015 度ずつ変えて

撮影したフィルムを時及び人を変えて読取り図示したものが第 3 図である。

即ち理論値を示す太い実線を中心として各点は或る幅をもつた 2 線内に分布されているが、この幅は本実験装置に於ける総合的の精度と看做せるもので約正負 4/1000 度である。本精度を高めるには大型フィルム長焦点レンズ特種感光材料特種処理法等を採用すればよいが、筆者等は现阶段ではこの程度の精度で一応充分であると考ええる。

5. 計測位置と被写体の選択

一般に光学系を採用する場合注意すべきことは大気密度の不均一に起因する屈折の時間的変化がその精度に影響してくることである。即ち撮影に当つてはカメラの近傍に顕著な陽炎の見受けない場所を選定する必要がある。

又一般に傾斜試験を行う場所は船渠内に限られず試験中の時間も比較的に長いから潮汐の干満ある場所ではその影響を除去するためには、船体横方向の水平線緊留船舶対岸の水線或いは充分遠い距離の固定物を被写体として選定する必要がある。最後の固定物（即ち山又は建築物等）を目標とする場合には水位の変化に伴い固定物とカメラとの距離の大小が精度に影響してくる。例えば試験 1 時間その間の水位の変化 30 厘と仮定すれば最初と最後とでは次の様な誤差を生ずる。

固定物との距離	2 軒	誤差	1/100 度
"	4	"	1/200
"	9	"	1/500

即ち固定物を被写体とする場合には固定物との距離を成可く大きくとることが望ましく然、らざる場合には要求精度に応じて水位の時間的変化に伴う修正を加えればよい。

III 予 備 実 地 試 験

16 耗シネカメラ（75 耗レンズ）を用い月島岸壁に緊留中の商船大宇汐路丸に就き岩井船長の御協力に依り実地に試みた結果が第 4 図である。本図より斜傾角度と固有周期を求めると第 1 表を得る。即ちこれによりカメラによる計測法を傾斜試験に採り入れることの確信を得たので、次に 3 隻の大型実船の傾斜試験に本方法を行つて見た。

第 1 表

状 態	傾斜角	周期(秒)
初期直立	-0.023°	6.15
最終直立	$+0.023^\circ$	6.13
左舷傾斜	$+0.923^\circ$	6.21
右舷傾斜	-0.936°	6.20
平均		6.17

IV 本 試 験

1. A 船

本船の試験に就ては長友保井氏の御尽力により遂行出来たもので本船の主要寸法等は次の如くである、

$$\frac{L}{128} \times \frac{B}{18.2} \times \frac{D}{11.4} \times \frac{\Delta}{4627.7} \quad (\text{試験時}), m, T \text{ 単位}$$

その計測結果を第 5 図に示す、計測時間が夜分にかかったため目標物を比較的至近距離(約 210 米)にある

第 5 図

第 6 図

第 2 表

A 船		カメラによる計測				揚子計測	
観測点	計測時刻	傾斜角	傾斜角	傾斜角	傾斜角	GM	GM
直上 (0)	16時35分	0°	0°	0°	0°	2.78	2.62
右舷傾斜 (1)	16時58分	-0.508°	-0.027°	-0.535°	0.535°	2.82	2.66
直上 (2)	17時10分	+0.021°	-0.030°	-0.009°	0.516°	2.88	2.96
左舷傾斜 (3)	17時21分	+0.537°	-0.030°	+0.507°	0.530°	2.80	2.93
直上 (4)	17時34分	-0.020°	-0.043°	-0.023°		2.82	2.79
		$w \ell = 120 \text{ TM}$				平均	

対岸の電燈としたから水位の変化による修正が必要であり、このため実測した水位の変化を第 6 図に示す。

第 5 図より求めた傾斜角 GM 等を第 2 表に示す。本表より知られる様に振子式によつて求めた GM の平均値と比べると約 1% 大きい。本船の如く外力に依る動揺の見受けられる場合、振子式による計測が困難であることはその測定値の変動に上下約 30 厘の相異が認められることよりも理解出来る。

本船の動揺周期を求めるために今直立状態 (No. 2) の記録を定常不規則な変化と考へて統計的解析を行つた結果、得られた correlogram を第 7 図にその spectrum を第 8 図に示す。これらの図に於て卓越した周期は

第 7 図

第 8 図

約 10.2 秒でありこの値が本船の横揺周期と考えられる。

2. B 船

本船の試験に就ては次の C 船と共に長友水野氏の御尽力により遂行出来たもので本船の主要寸法等は次の如くである。

$$\frac{L}{B} = \frac{D}{\Delta} \\ 145 \times 19.6 \times 12.5 \times 6943 \text{ (試験時)}$$

第 9 図

その計測結果を第 9 図に示す。第 9 図より求めた傾斜角 MG 等を第 3 表に示す。本表より知られる様に振子式によつて求めた MG の平均値と比べると約 1% 大きい。

第 9 図より知られる様に本船は計測中動揺の少い例でありこの様な場合には振子式によつても大過ないことは当然である。

本船に就ても A 船の場合と同様に解析により動揺周期を求められるが紙数の都合上割愛する。

第 3 表

B 船		カノラによる計測				振り計測	
状態	計測時間	角度	傾斜角	ω	GM	傾斜角	GM
直立 (0)	12時40分	0°	0.649°	115.73	1.47	0.649°	1.47
左舷傾斜 (1)	12時52分	0.649°	0.634°	115.73	1.50	0.632°	1.51
直立 (2)	13時07分	0.015°	0.671°	115.34	1.42	0.697°	1.36
右舷傾斜 (3)	13時22分	-0.656°	0.652°	115.34	1.46	0.666°	1.43
直立 (4)	13時28分	-0.004°					
平均			0.652°	115.54	1.46	0.661°	1.44

3. C 船

本船は修理後傾斜試験を行つたものでその主要寸法等は次の如くである。

$$\frac{L}{B} = \frac{D}{\Delta} \\ 128 \times 18.0 \times 11.0 \times 4964 \text{ (試験時)}$$

本船に就ても紙数の都合により初期直立 (No. 0), 左舷傾斜 (No. 1), 及び No. 0 より No. 1 の状態に移行する一部重垂移動後の動揺減衰の様相の 3 状態のみを第 10 図に示すに止めた。第 10 図より求めた傾斜角 GM 等を第 4 表に示す。本表より知られる様に振子式によつて求めた GM の値と比べると約 7.4% も大きく 3 隻中最も開きが大きい。本例は第 10 図より知られる様に本船の如く外力により一旦誘起された動揺がなかなか減

第 10 図

第 4 表

C 船		カメラによる計測				振り計測	
状況	計測開始時刻	角度	傾斜角	WL	GM	傾斜角	GM
直立 (0)	12時30分	0°					
傾斜 (1)	12時46分	0.702°	0.702°	124.9	2.05	0.754°	1.94

衰しない様な場合には振り式に依る計測が相当困難であることを物語っている。

以上3隻の本試験の結果に於て振り式による GM の計測値が筆者等の方法によつて得た値に比べて多かれ少かれ共に低いことは興味ある点である。

V 結 論

以上に於て船の傾斜試験の計測にカメラに依る光学的方法の然る可きことを紹介し併せて二、三の実測例を掲げその満足すべきことを示した。

これらにより確信を得たので筆者等は実用の見地より長尺 (100 呎) フィルムをその儘装填することが出来構造にも若干工夫を加えた特種のカメラの設計を完了し現在購入の手続きを終えた。