

かごしま丸係船浮標の構造

内山正樹, 日高正康, 東川勢二

On the Structure of Mooring Buoy, Kagoshima Maru

Masaki Uchiyama*¹, Masayasu Hidaka*¹ and Seiji Higashikawa*¹

Keywords : Mooring buoy, Typhoon

Abstract

In January, 1985, the mooring buoy for Kagoshima-Marun was newly installed in Yamagawa Harbor, Kagoshima Prefecture. The typhoons that approached or landed at Kagoshima Prefecture in the past were investigated, and Makurazaki Typhoon which is regarded as the typhoon of largest class in the postwar period was supposed, and as for the buoy, it was considered fundamentally that in the wind of maximum velocity 35m/s (on average for 10min), the ship can be moored safely by using only the chain (40mm) of the ship.

Since then up to today, the mooring for harborage has been carried out at the time of 27 typhoons. Among them, the typhoon No. 13 on September 3, 1993 was the largest typhoon that the ship encountered at Yamagawa Harbor, and the maximum instantaneous wind velocity of 47.0m/s and the barometric pressure of 936.2 hPa were recorded, but the ship was able to be moored and shelter safely. It is considered that the structure and strength of the buoy were as planned and designed, and it was able to be proved.

九州南部から南西諸島周辺海域には毎年数個の台風が接近し、そのうち2~3個は九州本土に上陸、もしくは最接近し、その度に海難事故が発生している。台風の大きさ、強さ、左右どちらの圏内に入るかにもよるが、いずれにしても九州南部に台風が接近する時、鹿児島湾内に避泊することは適当でない。鹿児島湾は湾口が南に開いており、湾内が広いこと、海

*1 鹿児島大学水産学部練習船かごしま丸 (Training ship Kagoshima-Marun, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 50-20 Shimoarata 4, Kagoshima, 890 Japan)

底地形が湾中央部に向かってすり鉢状になり沿岸部を除いて水深が深く、錨搔の悪いことがあげられる。台風時、避泊するのに適した錨地は南九州海域には殆どない。このため本船は以前より、鹿児島県薩摩半島南端の山川港内に台風時の避泊用係船浮標を設置し、使用してきた。しかし設置から20数年が経過したため浮標全体が衰耗、現かごしま丸はトン数も増大して安全に係留できなくなったため、昭和60年に新替え工事を行った。それ以来今日まで台風時にはこの浮標を使用している。この浮標を新替えするにあたっての基本的な考え方、その構造と性能、設置後の使用状況について述べる。

山川港の地形的特徴

山川港は火山の噴火、爆発によって生じた円形の凹地（マール）地形であり、その周辺には噴火による砕屑物が環状に堆積して堤防状の低い丘を形作っている¹⁾。その丘は海岸線より急崖となり高さは100~200mで、東方の山川市街地を除き北東方より北、西、南、南東までを取り囲んでおり、このため強風はさえぎられている（Fig.1 参照）。

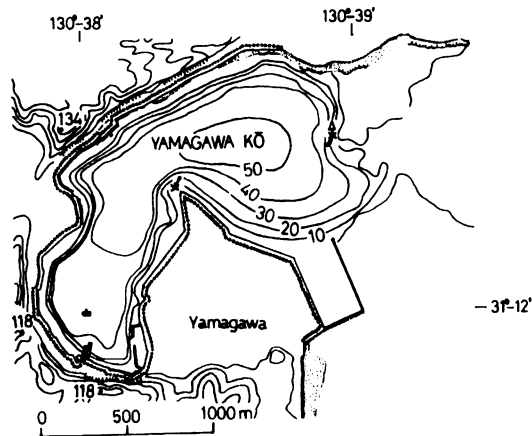


Fig. 1. Bathymetric contour map of Yamagawa Harbor and location of the mooring buoy.

港中央域からは港口、そして外洋を見通すことは出来ない。港は噴火によって出来た凹地のため海底は岸から港中央に向かってすり鉢状になり、水深は40~50mに達する。港内中央部では東西距離が約600m、南北距離は約1,500mである。港口の鵜瀬灯標付近では水深が6~7mと浅いため、台風時でも港内に波が立ちにくく、東方からの波浪も進入しにくい地形となっている。また、港口から鹿児島湾を隔てて東方約10kmに大隅半島の山々（高さ700~800m台）が連なっており、これは多少なりとも風波を防ぐ屏風、防波堤の役目をなしていると考えられる。このように台風避難に好条件を備えているが、小型船には水深がやや深すぎる難点があり、喫水の深い船は鵜瀬付近が浅いため入港出来ない。

新浮標の設計条件

海上に設置した係船浮標に台風時に練習船かごしま丸を同船の錨鎖（40mm）だけで安全に係留できることを設計条件の基本とし，係船浮標性能に及ぼす最大風速を設計風速に採用するために，過去に鹿児島県に上陸，もしくは最接近した台風をすべて調査し，その中で最大級の被害をもたらした1945年9月17日の枕崎台風の最大風速35m/s（10分間平均風速）を設計風速として，次のような設置・設計条件を設定した。なお設計条件には係留船の主要目も必要であるので合せてかごしま丸の主要寸法を示す。

- | | |
|------------|--------------------------------|
| (1) 浮標設置場所 | 鹿児島県山川港内 |
| (2) 水深 | 約40.0m |
| (3) 潮位 | H.W.L. + 2.90m, L.W.L. ± 0.00m |
| (4) 潮流 | 1.0knot |
| (5) 設計風速 | 35m/s |
| (6) 係留船 | かごしま丸 |

かごしま丸の主要寸法

総トン数	1292.75ton			
全長	68.93m			
型幅	12.60m			
型深	5.45m			
喫水	満載 4.97m	軽荷	3.39m	

係船浮標の設計荷重

係船浮標に働く外力は風圧力と流圧力であり，これらは次の式で求めることができる。

(1) 風圧力の計算式

空気の密度を ρ ，風速を U ，水面上の船体正面投影面積および船体側面投影面積をそれぞれ A ， B で表し，風向が船体中心となる角を Q で表すと風圧力 R は

$$R = \frac{1}{2} \rho C U^2 (A \cos^2 Q + B \sin^2 Q)$$

ただし

$$C = 1.325 - 0.05 \cos 2Q - 0.35 \cos 4Q - 0.175 \cos 6Q$$

によって求められる。ここで C は風圧係数を表している。

(2) 流圧力の計算式

潮流の速度を V ，船の浸水面積を S で表すと流圧力 R_f は近似的に

$$R_F = 0.14 S V^2$$

によって求められる。

これらの式を用いてかごしま丸に働く外力を計算すると、

$$U = 35\text{m/s}, \quad A = 124.5\text{m}^2, \quad B = 485.3\text{m}^2, \quad S = 397.51\text{m}^2$$

であるから、風圧の合力 R を、単浮標泊であるので、風向と船軸との交角である振れまわり角を 30° まで求めると以下のようなになる、

Q (deg.)	0°	10°	20°	30°
R (kg)	7,035	9,379	16,687	26,689

また流圧力 R_f は 14.7kg となる。

この結果、基本設計条件の水平力（設計荷重） R として 26.69トン （以下 t で表示する）を採用する。

係船浮標の構造

このような設計条件を基に出来上がった係船浮標の主な構成部材とそれらの主要目について紹介する*。各部材はFig.2に示すように、浮標（ブイ）、メインチェーン、シンカー、グ

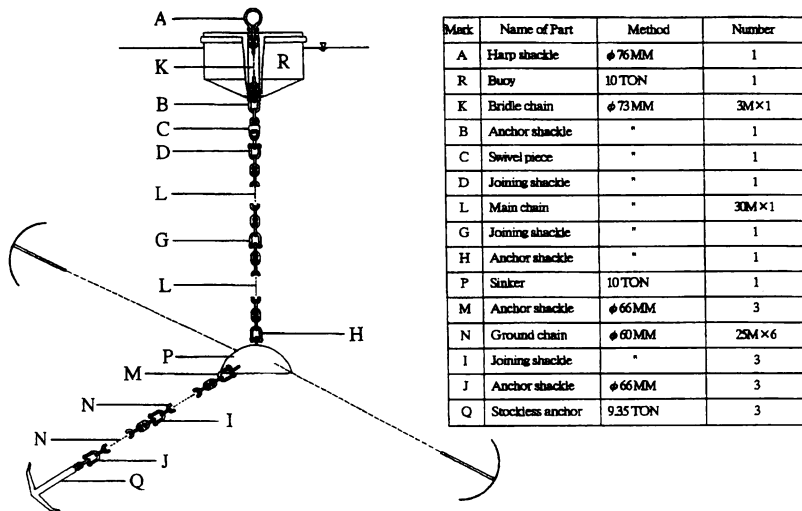


Fig. 2 Structure of the mooring buoy, name and number of part.

ランドチェーン、アンカーから構成されており、各部材の主要目は以下の通りである。

(1) アンカー

ストックレス、重量 9.35 t、水中重量 8.12 t

* かごしま丸係船浮標交換工事設計書 (1985), pp. 2 ~ 18, 五洋建設 (株)

(2) グランドチェーン

径 60mm, 長さ 50m, 耐力 141.10 t, 単位重量 78.84kg/m,
水中単位重量 68kg/m

(3) シンカー

鉄製, 半円形, 水中重量 10.0 t, 高さ 1.5m

(4) メインチェーン

径 73mm, 長さ 60m, 耐力 203.35 t, 単位重量 116.7kg/m,
水中単位重量 101kg/m

(5) 浮標 (ブイ)

ブイ自重 5.21 t, 上部が円柱型で下部が円錐型の一体形でその主要寸法を Fig. 3 に示す。

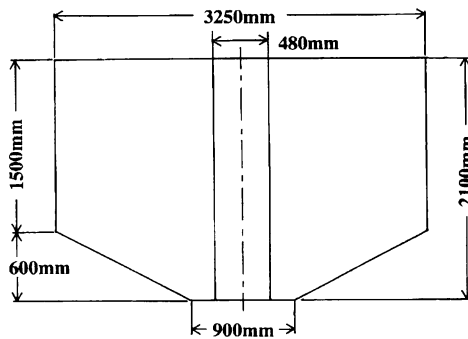


Fig. 3. Measurement of the buoy.

係船浮標の主な構成部材に働く力の検討

(1) アンカーの把駐力

まず, アンカーについてその把駐力を検討する。山川港のような海底底質が軟泥の場合の把駐力 T_A は, アンカーの水中重量を W_A とするとき, 近似的に

$$T_A = 8 W_A^{2/3}$$

とおくことが出来るので, 前述のアンカー重量を用いて計算すると

$$T_A = 32.32 \text{ t}$$

を得る。この T_A を基本設計条件の水平力 R と較べると, 明らかに

$$T_A > R$$

となっており, 把駐力は基本設計条件の水平外力よりも大きく, 設計条件を満足していることが分る。

(2) グランドチェーンとメインチェーンおよびアンカーに作用する鉛直力

次にグランドチェーンとメインチェーンについて検討する。アンカー、グランドチェーン、メインチェーンおよびブイの関係を図に示すと Fig. 4 のように表すことができる。Fig. 4 に示された Q_1 , Q_2 , Q_3 および Q_4 はそれぞれ

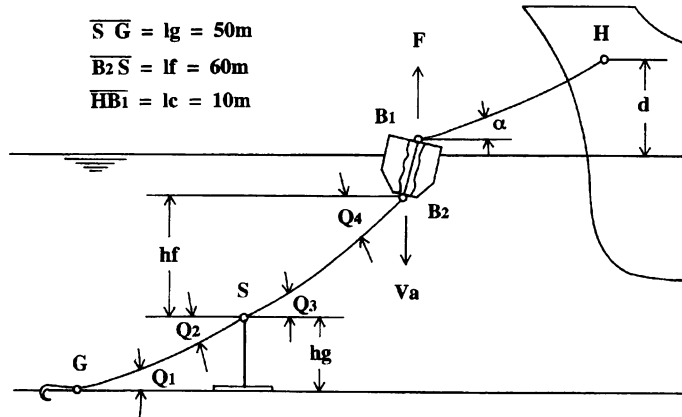


Fig. 4 Schematic of the mooring buoy for cultivation.

Q_1 : アンカーとグランドチェーンの取付点でチェーンが水平面となす角

Q_2 : ピースとグランドチェーンの取付点でチェーンが水平面となす角

Q_3 : ピースとメインチェーンの取付点でチェーンが水平面となす角

Q_4 : ブイとメインチェーンの取付点でチェーンが水平面となす角

を表しており、グランドチェーンおよびメインチェーンに働く力の釣り合いは、それぞれのチェーンの水中単位重量を W 、それぞれのチェーンに働く水平力を P とするとき、Fig. 4 から

グランドチェーンの場合

$$l_g = P (\tan Q_2 - \tan Q_1) / W$$

$$h_g = P (\sec Q_2 - \sec Q_1) / W$$

と表すことができ、このときグランドチェーンに作用する最大張力 T およびアンカーに作用する鉛直力 V_a はそれぞれ

$$T = P \sec Q_2 \quad \text{および} \quad V_a = P \tan Q_1$$

となっている。

メインチェーンの場合

$$l_f = P (\tan Q_4 - \tan Q_3) / W$$

$$h_f = P (\sec Q_4 - \sec Q_3) / W$$

の関係があり、メインチェーンに作用する最大張力 T は

$$T = P \sec Q_4$$

となる。

ここで

$$l_g = 50\text{m}, \quad h_g = 1.5\text{m},$$

$$l_t = 60\text{m}, \quad h_t = 40.9\text{m},$$

およびそれぞれのチェーンの水中重量を上式の式に代入し、さらに水平力 P の値として基本設計条件の水平力 R の値を採用すると Q_1 , Q_2 , Q_3 および Q_4 はそれぞれ次のように得られる,

$$\tan Q_1 = -0.03, \quad \tan Q_2 = 0.127,$$

$$\tan Q_3 = 0.827, \quad \tan Q_4 = 1.054$$

ここで $Q_1 \geq 0$ でなければならないので

$$Q_1 = 0$$

とおく。

これらの Q_1 , Q_2 , Q_3 および Q_4 の値を用いると、グラントチェーンに作用する最大張力 T およびアンカーに作用する鉛直力 V_a はそれぞれ

$$T = 26.91 \text{ t}, \quad V_a = 0$$

となり、メインチェーンに作用する最大張力 T は

$$T = 38.8 \text{ t}$$

となる。

またグラントチェーンおよびメインチェーンの許容引張力 T_a は、それぞれのチェーンの耐力の5分の1であるから、前節の耐力の値から

$$\text{グラントチェーンの許容引張力 } T_a = 28.22 \text{ t}$$

$$\text{メインチェーンの許容引張力 } T_a = 40.67 \text{ t}$$

となっており、これらを先に得られた最大張力 T の値と比較すると、グラントチェーンおよびメインチェーンの両方ともそれぞれ

$$\text{許容引張力 } T_a > \text{最大張力 } T$$

となっており、グラントチェーンの許容引張力は同チェーンに作用する最大張力に勝り、同様にメインチェーンの許容引張力は同チェーンに作用する最大張力に勝っていることが明らかである。

(3) ブイに働く力と乾舷

Fig. 4 に示すように係船時のブイの所要浮力を F 、ブイに作用する鉛直方向の外力を V_a 、水平力を P とすると近似的に

$$F = V_a - P \{(l_c/d)^2 - 1\}^{-1/2}$$

が成立し、 V_a はメインチェーンとグラントチェーンの水中重量の和として与えられる。ここで

$$l_c = 10\text{m}, \quad d = 2.5\text{m}, \quad V_a = 9.46 \text{ t}$$

として、水平力 P の値として基本設計条件の水平力の値 $R = 26.69 \text{ t}$ を用いると

$$F = 2.56 \text{ t}$$

となり、基本設計時の最大風速の場合、ブイは乾舷増となる。

次にブイ所有浮力を F_T とし、ブイの円錐台部浮力を F_b 、円柱部浮力および円柱部単位長さ (1 m) 当たりの浮力を F_a および F_1 で表すと、Fig. 3 から

$$F_T = F_a + F_b$$

であり、

$$F_1 = 8.35 \text{ t}, \quad F_a = 12.53 \text{ t}, \quad F_b = 2.20 \text{ t}$$

およびブイ所有浮力

$$F_T = 14.73 \text{ t}$$

が得られる。

次に船舶を係留していない時の乾舷を求めてみる。ブイ円柱部の喫水を X (m)、ブイに働く鉛直力を V_T とすると、

$$V_T = F_b + X F_1$$

の関係があり、ここで鉛直力 V_T はブイ自重とメインチェーンの水中重量の和であり、この値と先に求めた F_b および F_1 の値を上関係式に代入すると、

$$X = 0.88 \text{ m}$$

が得られる。したがって船舶を係留していない時の乾舷は Fig. 3 から

$$1.50 - X = 0.62 \text{ m}$$

となる。

浮標設置後の乾舷は、計算値よりやや少なく57cmとなる。これは海底が軟泥堆積物になっており、シンカーが計算値以上に埋没したためと考えられる。使用に際しこの乾舷で支障は無かった。また、グランドチェーンの張る方向は北北東、南南東、西と約120°の角度を持たせた。これは山川港では地形的な影響もあり、台風接近時には北東～東の風が強く吹き、他方向からは周りの山々の関係でそれほど強く当たらないためである。

このため北北東と南南東方向にグランドチェーンを張り、スパンにかかるように計画した。ブイ本体の外板には厚さ10mmの鋼板を使用、その内部は3分割し、それぞれにマンホールを設けた。

係船浮標の使用結果

浮標設置後は Table 1 に示すように、この9年間に24回係留し、27回台風時に使用している (年平均3回)。なかでも、平成3年には6個の台風が接近し、延べ33日間係留した。

平成5年8月30日、沖の鳥島の西方海上で台風13号が発生した。この台風の発生場所、発達状況、進行方向などを考慮し、9月1日山川港へ避難した。9月2日宮古島付近を通過後、徐々に進路を北東に変え、速度を早め9月3日には気圧が925hPa.まで発達し、大型で非常に強い勢力を維持したまま15時40分頃、薩摩半島南部に上陸した。その後台風13号は九州南東部を縦断し、四国、中国地方を通過した後9月4日には日本海で温帯低気圧になった (Fig. 5, 6 参照)。

Table 1 The data of typhoon and mooring days.

Year	Entry	Departure	Day	Typhoon No.
1985	Aug. 11	Aug. 16	6	8
	Aug. 17	Aug. 23	7	9
1986	July 15	July 18	4	8
1987	July 27	July 30	4	8
	Aug. 5	Aug. 12	8	9
1988	Aug. 5	Aug. 12	8	9
	Oct. 4	Oct. 8	5	24
1989	June 23	June 25	3	6
	Sept. 11	Sept. 20	10	19
1990	Aug. 19	Aug. 20	2	12
	Sept. 26	Sept. 30	5	20
	Oct. 4	Oct. 9	6	21
	Nov. 28	Nov. 30	3	28
1991	July 26	July 30	5	9
	Aug. 15	Aug. 23	9	10, 12
	Sept. 12	Sept. 20	9	18
	Sept. 25	Sept. 28	4	19
	Oct. 8	Oct. 13	6	21
1992	June 28	June 30	3	3
	Aug. 17	Aug. 19	3	11
	Aug. 28	Sept. 2	6	16
1993	July 24	Aug. 1	9	4, 5, 6
	Sept. 1	Sept. 4	4	13
	Sept. 7	Sept. 9	3	14

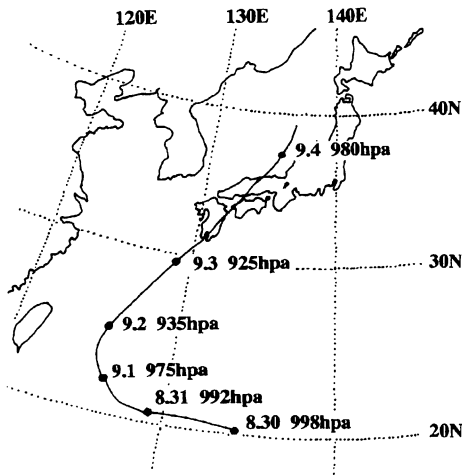


Fig. 5 Route of the typhoon No.13, 1993.
(● : nine o'clock)

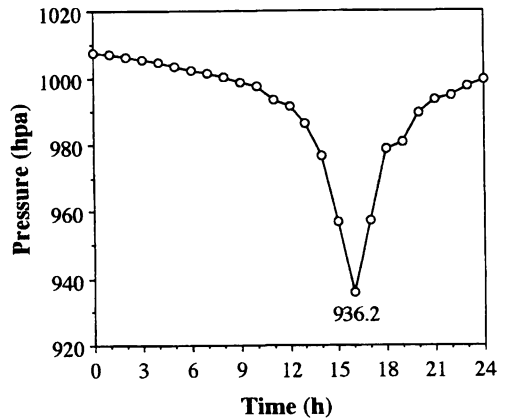


Fig. 6 Variation of barometric pressure on September 3, 1993. measured by Kagoshima-Mar

この台風13号は、これまで本船が山川港でうけた台風の中でも最大級のものであり、本船において最低気圧 936.2hPa., 最大瞬間風速は東南東の風 47.0m/s を記録し、15時30分より急に風が弱まり約1時間台風の目に入ったことを観測した。特に13時30分より目に入るまでの2時間程は、30m/s以上の強風が連続して吹き荒れた。このため守錨当直に入り機関を微速前進とし、バウスラスターで船首を風上に向け8の字に動く船体運動を抑え、無理な張力がチェーンにかからないように操船した。この台風で枕崎 55.4m/s, 種子島 50.9m/s, 鹿児島 49.0m/sの最大瞬間風速を記録した。

台風の中心が通過し南～南西に風向は変わったが、周辺の間々のために強風を受けることも無く、安全に避泊することが出来た。この台風は設計風速とほぼ同規模のものであり、安全に係留避泊出来たことにより、ブイが設計通りであったことを確認することも出来たと言える。

要 約

昭和60年1月鹿児島県山川港にかごしま丸係船浮標を新設した。浮標(ブイ)は過去に鹿児島県に接近上陸した台風を調べ、戦後最大級の台風とされる枕崎台風を想定し、最大風速 35m/s (10分間平均)の風の中で、ブイに本船チェーン(40mm)だけで安全に係留出来ることを基本に考えた。

以来今日まで、27個の台風時に係留避泊した。この中で平成5年9月3日の台風13号は本船が山川港で受けた最も大きな台風であり、最大瞬間風速47.0m/s, 最低気圧936.2hPa.を記録したが安全に係留、避泊することが出来、ブイの構造、強度が計画設計通りであったことが証明出来たと考えられる。

文 献

- 1) 町田 貞 (1988): 地形学, pp. 110-111 (大明堂, 東京).