



モデルの寸法,重量は表-3に示されるとおりである。係留チェーンの長さ  $L$  は水深  $h$  の2倍にとり, ペンは水面, 1/2 水深位置において海象による運動特性を求めるのであるが, この位置にペンを保たせるには調整用の重錘(カウンターウェイト)の有無によって相違があり, タンクに水を入れ位置のバランスをとるので, 注入水量  $B$  を位置表示に添記した。なおカウンターウェイトの重量  $C$  は 40g である。

表-3 ペンのモデル条件

| 項           | 目        | 設定条件      | 縮 尺                | 模 型          |
|-------------|----------|-----------|--------------------|--------------|
| ペ<br>ン      | 直 径      | 20        | 1:100              | 20 cm        |
|             | 高 さ      | 10        | "                  | 10           |
| タ<br>ン<br>ク | 直 径      | 5         | "                  | 5            |
|             | 高 さ      | 15        | "                  | 15           |
| 重<br>量      | カウンター重量  | 4.175 t   | 1:100 <sup>3</sup> | 41.75 g      |
|             | アンカー1個重量 | 4.175     | "                  | 41.75        |
|             | 中間ブイ1個重量 | 1.400     | "                  | 14.00        |
|             | チェーン重量   | 2.74 kg/m | "                  | 0.02735 g/cm |

### 3. 係留と作用波浪, 潮流による運動特性

#### (1) 1点係留・カウンターウェイト付

図-2に示される形状について, アンカー重量をかえて実験を行なった。

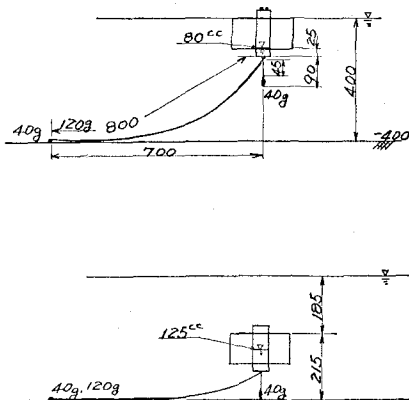


図-2 1点係留カウンターウェイト付

#### a) ペン水面位置 (付加注入水量 80cc)

アンカー重量 40g に対し, 流れ 7 cm/sec のみ, 流れ 7 cm/sec で同方向から波高 4 cm, 10 cm を作用させたところ, 波高 4 cm までは流れ方向に標体は傾いたが一応安定した。流れ (7 cm/sec) を波浪と逆方向から作用させたところ, 10 cm の波高に対しては, 波浪と流れが打ち消し, 鎖たるみ安定した。14 cm の波高でもペンは左右に行きつ戻りつしながらも安定した。23 cm/sec の最大流速に対し, 同方向から波高 4 cm, 10 cm を作用させたところ, 流れ方向にペンは傾いて (左右) 移動した。

なお逆方向から 23 cm/sec の流れと, 波高 10 cm を作

用させたところ, 同様にペンは右左に傾いて移動した。

#### b) 1/2 水深位置 -18.5 cm (注入水量 125 cc)

アンカー重量 40g の場合, 7 cm/sec の流れではペンは流れ方向 (左右) に傾いたが安定した。7 cm/sec の流れと波高 10 cm を同一方向から同時に作用させたところアンカーは移動した。よってアンカー重量を 120 g とすると安定した。さらに波高を大きく 14 cm としてみたが移動しなかった。アンカー重量 40g の場合, 流れを逆方向から, 波高 4 cm を同時に作用させたところ, 一応安定した。波高 10 cm では不安定となった。

よってアンカーを 120 g とし, 波高 10 cm と 7 cm/sec の流れを逆方向から同時に作用させると, ペンは右から左に傾き, ペンにカウンターがからんだがアンカーは移動しなかった。流れを大きく 23 cm/sec とし, 波高 4 cm を同時に作用させたところ安定であったが, 波高 10 cm ではすこしアンカーが引張られ移動した。23 cm/sec の流れを逆方向から作用させると, 波高 4 cm では右から左にペンは傾くが安定であった。波高 10 cm では不安定であった。逆方向から流れ 23 cm/sec を作用させ波高を 4, 10, 14 cm と変えて作用させると, 4 cm 波高では右から左にペンは傾いたが安定であった。10 cm 波高では不安定となり, 14 cm では完全に移動した。

#### (2) 1点係留, カウンターウェイトなし

図-3に示される形状について実施した。

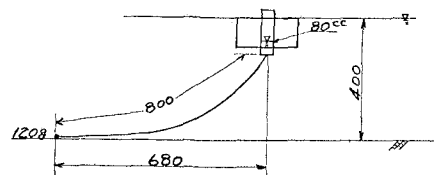


図-3 1点係留カウンターウェイトなし

水面 80 cc  
1/2 水深 150 cc

#### a) 水面位置 (注入水量 80cc)

アンカーは 120 g とした。流れ 7 cm/sec の場合, ペンは左から右に傾いたが安定した。波高 4 cm を同方向から作用させたところ, ペンは移動した。このとき鎖のたるみがみられた。流れを 23 cm/sec とすると, 波高 4 cm で移動し, 波高 10 cm ではすぐ移動した。流れを逆方向から 23 cm/sec とし, 波高 4 cm を同時に作用させたところ, アンカーは移動した。10 cm, 14 cm 波高でも同様である。

#### b) 1/2 水深位置 (注入水量 150 cc)

アンカー 40 g の場合, 流れ 7 cm/sec のみではペンは流れ方向 (左から右に) に傾き, 地盤との間に空間 3 cm をとり安定した。4 cm 波高を同時に作用させたところペンは上昇し, 空間が一層大きくなったが安定であった。

しかし波高 10 cm ではペンは上昇し、水分子速度の大きい作用力が影響し、アンカーが流れた。アンカー 120 g の場合、流速 23 cm/sec で波高 4 cm を同方向から作用させたところ安定であったが、波高 10 cm では最終的に移動した。流れ 23 cm/sec を逆方向から作用させ、波高 4 cm を同時に作用させたところペンは右から左に運動し不安定であった。10 cm 波高では右から左にアンカーが動いた。14 cm 波高でももちろん同一であった。

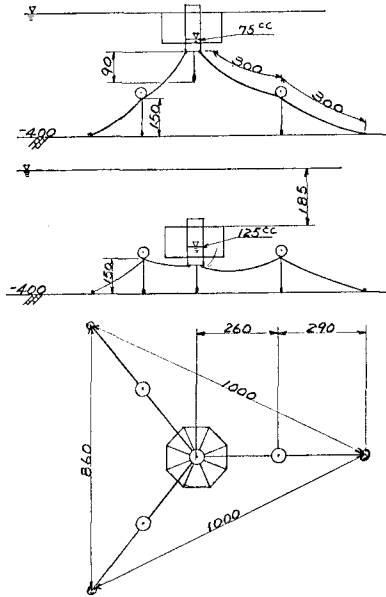


図-4 3点係留中間ブイカウンターウェイト付

### (3) 3点係留(中間うき付)カウンターウェイト付

図-4 に示される形状(立面, 平面)について、アンカー重量 80 g の場合で、流速 23 cm/sec についてのみ実験した。

#### a) 水面位置 (注入水量 75 cc)

23 cm/sec の流れのみで、前方の 2 点アンカーの移動はみられなかったが、後方の 1 点アンカーはもつれた。

#### b) 1/2 水深位置 -18.5 cm (注入水量 125 cc)

流れ 23 cm/sec のみの場合、ペンは右に傾き、3 点ともアンカーは移動した。流れをかえないで、波高 4 cm を同一方向から作用させたところ、標体と鎖はもつれ移動した。

### 4. 係留と作用波浪・潮流によるペンの水平動, 最大傾角, チェーンと地面とのなす角度の最大測定値と運動の軌跡

ペン重心の水平運動(Surge), 重心の上下運動(Heave), 重心の回転角度(Pitch), チェーンと地面とのなす角度を 8 mm 映写器による運動の記録からその軌跡を求め、それぞれの最大値を示すと表-4 のとおりとなる。

なおペン本体の波浪および潮流による運動軌跡(上下動, 水平動)の一部を図-5 に示す。

#### (1) 1点係留, カウンターウェイト付

##### a) 水面位置

ペンの重心位置  $G$  は底面上 5 cm, 浮心  $C$  7.5 cm, 傾心  $M$  7.61 cm, 総重量 294.8 g である。

Case ① 流れ 7 cm, の場合、傾角  $\theta$  は  $+5.5^\circ$  となった。Case ② 流れ 7 cm/sec と波高 4 cm が同一方向

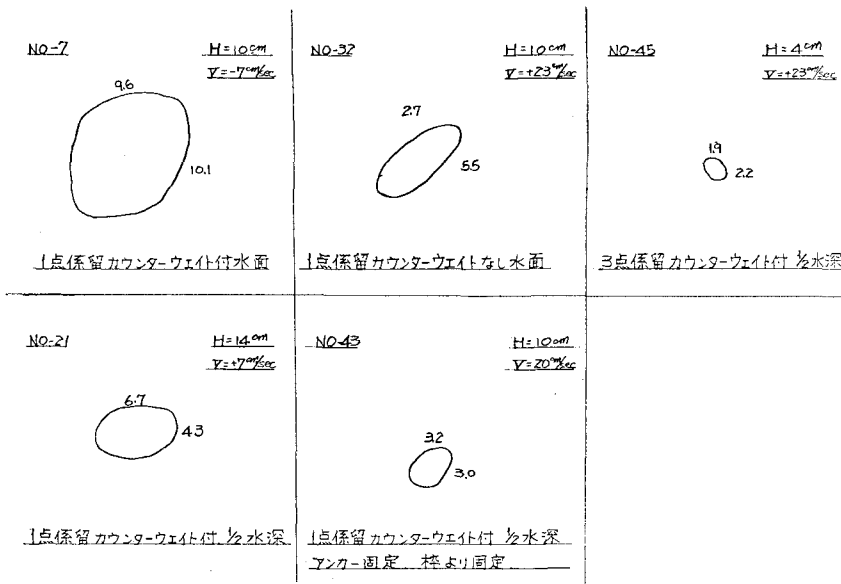


図-5 ペンの波浪と潮流による運動特性

表-4 係留と作用波浪、潮流による運動特性 (水深 40 cm, チェーン長さ 80 cm, 波浪周期 1 sec)

| Case No. | 係留方式 |    | カウンタウェイト | 注水量  |         | 波高   |       | 潮流    |          |           | アンカー重量 (g) | 最大傾角 Pitch (°) | 上下動 Heave (cm) | 水平動 Surge (cm) | チェーン角度 (°) | 備考               |
|----------|------|----|----------|------|---------|------|-------|-------|----------|-----------|------------|----------------|----------------|----------------|------------|------------------|
|          | 1点   | 3点 | 付        | 80cc | 100cc以上 | 4 cm | 10 cm | 14 cm | +7cm/sec | +23cm/sec | -7cm/sec   | -23cm/sec      |                |                |            |                  |
| 1        | ○    |    | ○        | ○    |         | 波なし  |       |       | ○        |           |            |                | —              | —              | 26.0       | 少々傾いて安定          |
| 2        | ○    |    | ○        | ○    |         | ○    |       |       | ○        |           |            |                | 4.6            | 4.8            | 37.0       | 流され不安定           |
| 3        | ○    |    | ○        | ○    |         | ○    |       |       |          | ○         |            |                | —              | —              | —          | 右から左へ流された        |
| 4        | ○    |    | ○        | ○    |         | ○    |       |       |          |           |            |                | 3.4            | 3.6            | 15.5       |                  |
| 5        | ○    |    | ○        | ○    |         | ○    |       |       |          | ○         |            |                | 2.2            | 3.4            | 19.0       |                  |
| 6        | ○    |    | ○        | ○    |         |      |       |       | ○        |           |            |                | —              | —              | —          | 流された             |
| 7        | ○    |    | ○        | ○    |         |      |       |       |          |           |            |                | 10.1           | 9.6            | 45.0       | 波力と潮流がつり合い安定     |
| 8        | ○    |    | ○        | ○    |         |      |       |       |          | ○         |            |                | 6.9            | 9.4            | 19.0       | 傾いて右から左へ流された     |
| 9        | ○    |    | ○        | ○    |         |      |       |       |          |           |            |                | 6.5            | 6.0            | 25.0       |                  |
| 10       | ○    |    | ○        | ○    |         |      |       |       |          |           |            |                | 8.4            | 8.2            | —          | 波力と潮流がつり合い安定     |
| 11       | ○    |    | ○        | ○    |         |      |       | ○     |          |           |            |                | —              | —              | —          | 少々傾いて安定          |
| 12       | ○    |    | ○        | ○    | 125     | 波なし  |       |       | ○        |           |            |                | 2.2            | 5.0            | 9.0        | 流され不安定           |
| 13       | ○    |    | ○        | ○    | 125     |      |       |       | ○        |           |            |                | 3.1            | 5.0            | 11.0       | 安定               |
| 14       | ○    |    | ○        | ○    | 125     | ○    | ○     |       |          |           |            |                | 1.0            | 2.4            | —          | 安定               |
| 15       | ○    |    | ○        | ○    | 125     | ○    |       |       |          |           |            |                | 3.0            | 3.9            | 8.0        | 傾いて安定            |
| 16       | ○    |    | ○        | ○    | 125     | ○    |       |       |          | ○         |            |                | 1.2            | 1.7            | 8.5        |                  |
| 17       | ○    |    | ○        | ○    | 125     |      | ○     |       |          | ○         |            |                | 2.6            | 6.7            | —          | 安定               |
| 18       | ○    |    | ○        | ○    | 125     |      | ○     |       |          |           |            |                | —              | —              | —          | 測定不能, 流された       |
| 19       | ○    |    | ○        | ○    | 125     |      | ○     |       |          |           |            |                | 3.6            | 7.0            | 5.0        | 傾き, 右から左へ流された    |
| 20       | ○    |    | ○        | ○    | 125     |      | ○     |       |          | ○         |            |                | 2.4            | 4.8            | 10.5       | 安定               |
| 21       | ○    |    | ○        | ○    | 125     |      | ○     |       |          |           |            |                | 4.3            | 6.7            | 9.0        | 安定               |
| 22       | ○    |    | ○        | ○    | 125     |      | ○     |       |          | ○         |            |                | 3.6            | 6.0            | —          | 安定               |
| 23       | ○    |    | ○        | ○    | 155     |      |       |       |          |           |            |                | —              | —              | —          | 傾き, 右から左へ流された    |
| 24       | ○    |    | ○        | ○    |         | 波なし  |       |       | ○        |           |            |                | —              | —              | 25.0       | 傾いて, 安定          |
| 25       | ○    |    | ○        | ○    |         | ○    |       |       | ○        |           |            |                | 4.6            | 3.4            | 24.0       | 傾は波でたるみ動いた       |
| 26       | ○    |    | ○        | ○    |         | ○    |       |       |          |           |            |                | 5.3            | 3.6            | —          | 安定               |
| 27       | ○    |    | ○        | ○    |         | 波なし  |       |       |          |           |            |                | —              | —              | 26.0       | 右から左へ流された        |
| 28       | ○    |    | ○        | ○    |         | ○    |       |       |          |           |            |                | 2.4            | 4.3            | 25.0       | 不安定              |
| 29       | ○    |    | ○        | ○    |         | ○    |       |       |          | ○         |            |                | 2.6            | 2.9            | 25.5       | 左から右へ流れ不安定       |
| 30       | ○    |    | ○        | ○    |         | ○    |       |       |          |           |            |                | —              | —              | —          | 右から左へ流された        |
| 31       | ○    |    | ○        | ○    |         |      | ○     |       |          | ○         |            |                | 8.4            | 9.1            | 30.0       | 不安定              |
| 32       | ○    |    | ○        | ○    |         |      | ○     |       |          |           |            |                | 5.5            | 7.7            | 24.0       | 波力と潮流で往復運動       |
| 33       | ○    |    | ○        | ○    |         |      |       | ○     |          | ○         |            |                | —              | —              | —          | 不安定              |
| 34       | ○    |    | ○        | ○    |         |      |       | ○     |          |           |            |                | 6.7            | 6.5            | 33.0       | 右から左へ流された        |
| 35       | ○    |    | ○        | ○    | 150     | 波なし  |       |       | ○        |           |            |                | —              | —              | 3.0        | 地面につかず傾いて安定      |
| 36       | ○    |    | ○        | ○    | 150     | ○    |       |       | ○        |           |            |                | 1.4            | 3.1            | —          | 中間に浮いて安定         |
| 37       | ○    |    | ○        | ○    | 150     | ○    |       |       |          |           |            |                | 3.6            | 3.4            | 11.0, 8.0  | 右から左へ流された        |
| 38       | ○    |    | ○        | ○    | 125     | ○    |       |       |          | ○         |            |                | 1.2            | 1.9            | 8.0        | 沈んで安定, 傾は浮体の中心より |
| 39       | ○    |    | ○        | ○    | 150     | ○    |       |       |          |           |            |                | 3.6            | 6.0            | 11.0       | 波力によって浮き上り流された   |
| 40       | ○    |    | ○        | ○    | 150     |      | ○     |       |          | ○         |            |                | —              | —              | 16.0       | 右から左へ流された        |
| 41       | ○    |    | ○        | ○    | 125     |      | ○     |       |          |           |            |                | 2.4            | 4.8            | 12.0       | 不安定              |
| 42       | ○    |    | ○        | ○    | 150     |      | ○     |       |          |           |            |                | 2.6            | 2.9            | 11.0, 12.5 | 右から左へ流された        |
| 43       | ○    |    | ○        | ○    | 125     |      | ○     |       |          |           |            |                | 3.0            | 3.2            | 14.0       | 傾をアームからとる        |
| 44       | ○    | ○  | ○        | ○    | 125     | 波なし  |       |       |          | ○         |            |                | —              | —              | —          | 傾き大きく, 流される      |
| 45       | ○    | ○  | ○        | ○    | 125     | ○    |       |       |          | ○         |            |                | 2.2            | 1.9            | —          | 傾からまり, 不安定       |
| 46       | ○    | ○  | ○        | ○    | 125     | ○    |       |       |          | ○         |            |                | 1.7            | 2.6            | —          |                  |

から作用した場合、水平方向 +4.8 cm, 上下方向 4.6 cm, 傾角  $+11^{\circ} \sim -2^{\circ}$ , 鎖角度  $37^{\circ}$  であった。Case ④ 流れ  $-23$  cm/sec, 波高 4 cm の場合、水平方向 3.6 cm, 上下動 3.4 cm と小さく、ペンの傾きは潮流方向に大きく、 $24.5^{\circ}$  傾いた。Case ⑤ 流れ 23 cm/sec, 波高 4 cm で同一方向から作用した場合、ペンの傾きは  $44.5^{\circ}$  と大きく、ペンは海底面に押し下げられた。Case ⑦ 流れ逆方向から  $-7$  cm/sec, 波高 10 cm の場合、水平方向 9.6 cm, 上下方向 10.1 cm, 傾角  $-4.5^{\circ} \sim -2^{\circ}$ , 鎖角度  $45^{\circ}$  と流れ方向に傾いた。流れによって鎖と地面との角度が大きく揚し上げられた。Case ⑧ 流れをさらに大きく  $-23$  cm/sec, 波高 10 cm とするとペンの傾きは  $+20^{\circ}$  と小さい。鎖角度も  $19^{\circ}$  となり、水平方向 9.4 cm, 上下方向 6.9 cm であった。Case ⑨ 流れ  $+23$  cm/sec, 波高 10 cm の場合は、上下動 6.5 cm, 水平動 6.0 cm と大きく、同一方向から作用するので、ペンの傾角は  $42^{\circ}$  と大きい。Case ⑩ 流れ  $-7$  cm, 波高 14 cm の場合、波高が大きいせいか、逆向きの力を打ち消し、波高 10 cm の場合より値が小さい。

以上のうち、最大の軌跡を描いたのは Case ⑦ の流れ  $-7$  cm/sec, 波高 10 cm であった。最小の軌跡を描いたのは Case ⑤ の波高 4 cm, 流れ  $+23$  cm/sec であった。なお Case ⑧ の軌跡はペンが定置できず流れた状態が示されている。

#### b) 1/2 水深位置 (付加注入水量 125 cc)

Case ⑫ 流れ  $+7$  cm/sec, 波高 10 cm の場合、上下動 2.2 cm, 水平動 5.0 cm, 傾角  $11.5^{\circ}$  と条件中最大値を示した。Case ⑬, Case ⑭ のアンカー重量を 40 g から 110 g にかえたところ、水平動は変わらなかったが、上下動は 3.1 cm と約 0.9 cm 大きくなった。Case ⑭ 流れ  $-7$  cm/sec, 波高 4 cm の場合、最小の軌跡が示された。ペンの傾角  $+6^{\circ}$ , 上下動 1.0 cm, 水平動 2.4 cm であった。Case ⑮ 流れ  $-23$  cm/sec, 波高 4 cm (アンカー重量 120 g) の場合、上下動 3.0 cm, 水平動 3.9 cm, 傾角  $40^{\circ}$  であった。Case ⑯ 流れ  $-7$  cm/sec, 波高 10 cm の場合、水平動 6.7 cm と大きく、上下動 2.6 cm, 傾角  $+6^{\circ} \sim -4^{\circ}$  であった。Case ⑰ 流れ  $-23$  cm/sec, 波高 10 cm の場合 (アンカー 120 g), 水平動 7 cm と大きく、上下動 3.6 cm, 傾角  $42.5^{\circ}$  と大きい値が示され

た。なお、アンカー 120 g でも移動した。Case ⑳ 流れ  $+23$  cm/sec, 波高 10 cm を作用させ、アンカーは固定した。この場合の軌跡は小さく、上下動 2.4 cm, 水平動 4.8 cm 傾角  $59^{\circ}$  と最大の傾きとなった。これはアンカーが固定されていたためである。Case ㉑ 流れ  $+7$  cm/sec, 波高 14 cm の場合、上下動 4.3 cm, 水平動 6.7 cm, 軌跡は隋円である。Case ㉒ 流れ  $-7$  cm/sec, 波高 14 cm の場合、上下動 3.6 cm, 水平動 6.0 cm, 傾角  $7^{\circ}$ , 軌跡は隋円である。最小の軌跡は Case ⑭ の流れ 7 cm/sec, 波高 4 cm で Case ⑰ の流れ  $-23$  cm/sec, Case ㉑ の流れ  $+7$  cm/sec, 波高 14 cm, Case ㉒ の流れ  $-7$  cm/sec, 波高 14 cm がほぼ同一であった。

#### (2) 1点係留カウンターウェイトなし

Case ㉓~Case ㉔までの軌跡図の傾向は上下動が大きく示された。

#### (3) 1点係留カウンターウェイト付, 1/2 水深, アンカー固定, わく組よりチェーンで係留した場合

Case ㉕にみられるように、上下動 3 cm, 水平動 3.2 cm, 傾角  $10^{\circ}$  と安定した値が示された。

#### (4) 3点係留カウンターウェイト付, 1/2 水深, アンカー各 80 g

Case ㉖にみられるように、流れ  $+23$  cm/sec, 波高 4 cm に対し、上下動 2.2 cm, 水平動 1.9 cm, 傾き  $+40^{\circ}$  であった。なおアンカーは各点 80 g である。Case ㉗, Case ㉘と同一条件であるが、アンカーの各点重量を 120 g とした。上下動 1.7 cm, 水平動 2.6 cm, 傾角  $45^{\circ}$  であった。3点係留であるからペンの運動軌跡図は小さい。

## 5. 結 言

波浪、潮流が同時に作用する場合、1点係留、3点係留カウンターウェイト付ペンは、水槽試験からは十分安定することが確認できた。しかし3点係留は現場実験の結果、設置に確実性を欠く場合もありうることがわかった。水深の点からも確実に容易に施工できる1点係留について、係留点をわく組からとった場合について、軌跡図からは安定した傾向を示しているの、さらに究明を進めていくこととしている。