

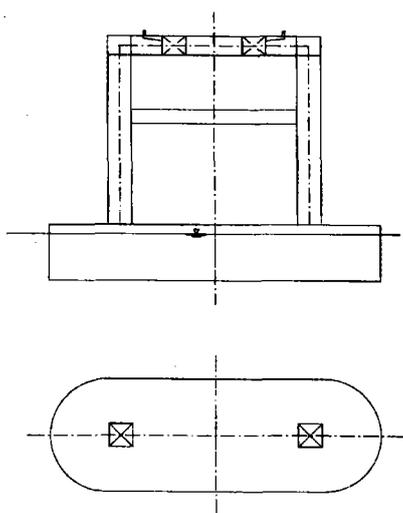
## 8 ポンツーンの検討

### 8. 1 安定型ポンツーン

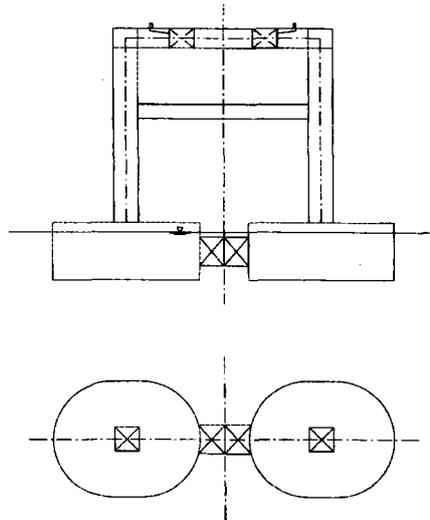
#### 8. 1. 1 ポンツーン案

試設計の結果、橋軸直角方向の上部工とポンツーンの相対変位が大きくなり、ポンツーンの安定性が得られなかった。

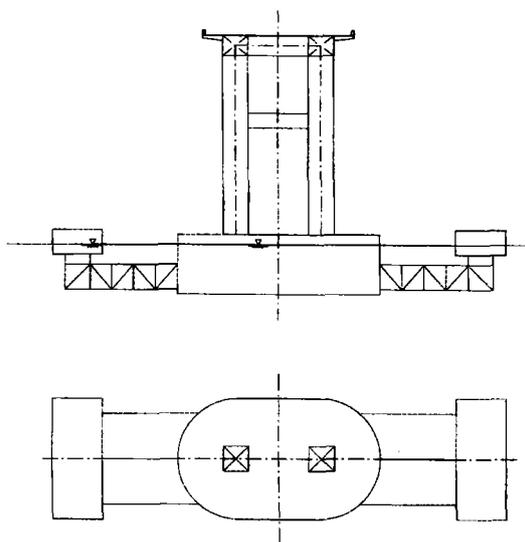
よって、安定性のあるポンツーンとして波力を抑え、橋軸回りの回転バネ値が大きくなるような構造形状を提案する。



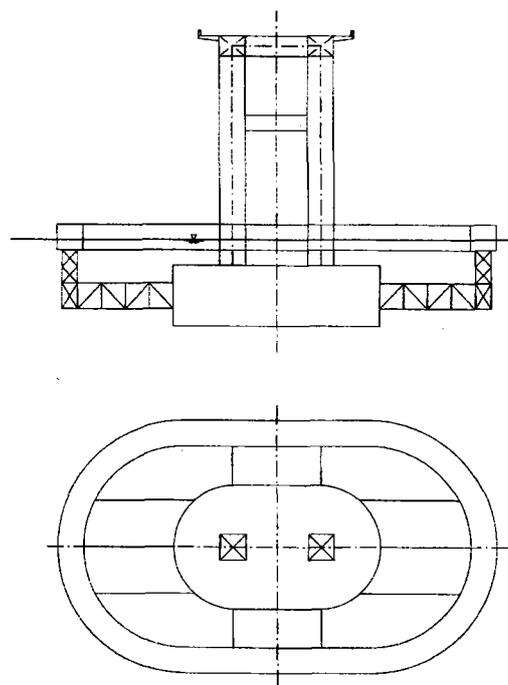
(a) 横長タイプ



(b) ツインタイプ

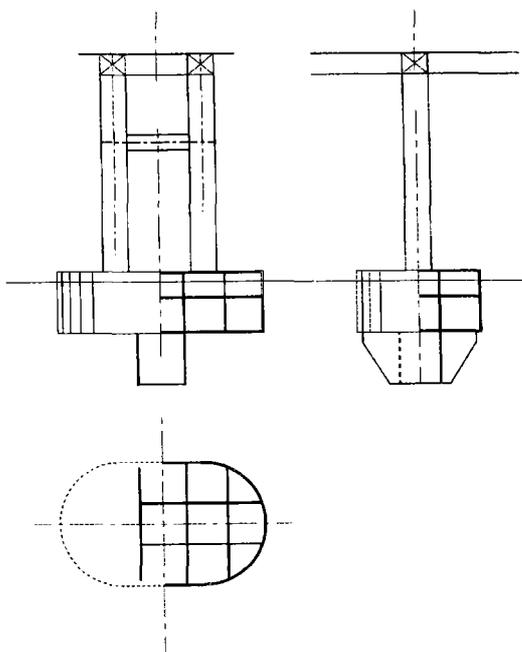


(c) 張り出しタイプ

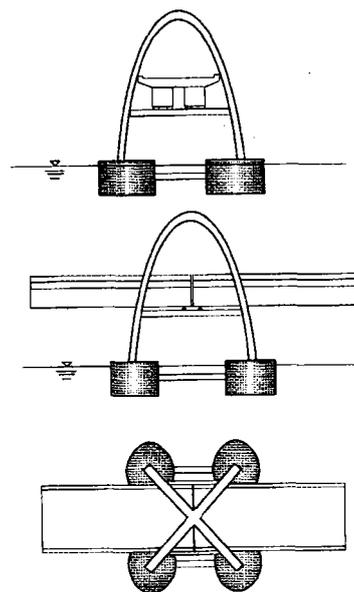


(d) セミサブタイプ

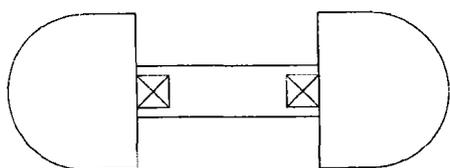
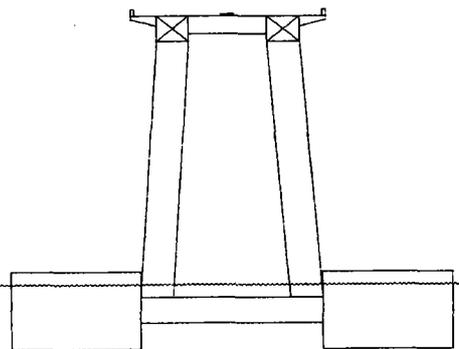
図. 8. 1. 1 安定型ポンツーン案(1)



(e) 突起タイプ



(f) 4個タイプ



(g) ツインタイプ（半円断面）

図. 8. 1. 2 安定型ポンツーン案(2)

表. 8. 1. 1 各ポンツーンの特徴

タイプ	特徴	安定性及びその他
(a)横長タイプ	現状案から橋脚を広げ、ポンツーンの橋軸 直角方向の長さを広くする.	波力の大きさは、現状よりも多少小さくなる可能性あり. 橋軸回りの回転バネを大きくすることが可能.
(b)ツインタイプ (楕円断面)	横長タイプと同様の橋脚形状とし、各柱にポンツーンを設置する. ただし、2つのポンツーンが一体に挙動できるように、トラス部材(鋼材)で結合させる.	波力の方向に対して反対側のポンツーンも波力の影響を受けることから、波力の合計は現状よりも大きくなる. 橋軸回りの回転バネを大きくすることが可能.
(c)張り出しタイプ	橋脚形状は、現状案と同様とし、橋脚部のポンツーンの両端にトラス部材(鋼材)を用いて、さらにポンツーンを張り出させた構造. 両サイドのポンツーンは鋼材とし、横荷重に対して不安定にならないような浮力を確保させる	波力の大きさは、現状よりも多少小さくなる可能性がある. 橋軸回りの回転バネを大きくすることが比較的容易.
(d)セミサブタイプ	橋脚部のポンツーンをセミサブとし、その回りに鋼材のポンツーンを設置する. 橋脚部のポンツーンは死荷重完成形状で中立となるような浮力を確保させる. また、外側ポンツーン(鋼材)は、活荷重反力、橋軸・橋直の回転に対して不安定にならないような浮力を確保させる.	水深が比較的深い場合、ポンツーン函体を海面から波力の影響を受けない位置に設定すれば、波力を大きく低減できる可能性がある.
(e)突起タイプ	現状案から、ポンツーンの下部にさらに突起を出し水の抵抗で安定性を向上させる.	波力は現状よりも大きくなるが突起に水の抵抗が作用し、橋軸回りの回転バネを大きくすることが可能.
(f)4個タイプ	ポンツーンの函数を4個として、橋軸方向、橋軸直角方向の両方の回転に対して安定を図る. 上部工は、ポンツーンの配置に対して対角状に結ばれたアーチ部材の横梁状の沓で支持される.	波力は現状よりも大きくなるが、橋軸回りの回転バネを大きくすることが容易である. アーチに横梁を結合する方法が不明.
(g)ツインタイプ (半円断面)	横長タイプと同様の橋脚形状とし、各柱にポンツーンを設置する. ただし、2つのポンツーンが一体に挙動できるように、トラス部材(鋼材)で結合させる. (2つのポンツーン浮力作用位置を極力離す. 橋脚を支えている部分もポンツーンとして考慮)	波力の方向に対して反対側のポンツーンも波力の影響を受けることから、波力の合計は現状よりも大きくなる. 橋軸回りの回転バネを大きくすることが可能.

8. 1. 2 タイプ1（横長案）の検討

1) 概要

7. 2箱桁100m案をベースに波力のみを対象として、横長案について安定性を検討する。ポンツーンは波力が一定となるように横断面積を同一にし、以下の3つのモデルにて全体骨組解析を行う。

モデルA：試設計で検討したポンツーン

モデルB：回転バネが  $K_{px}=5 \times 10^5$  程度

モデルC：回転バネが  $K_{px}=1 \times 10^6$  程度

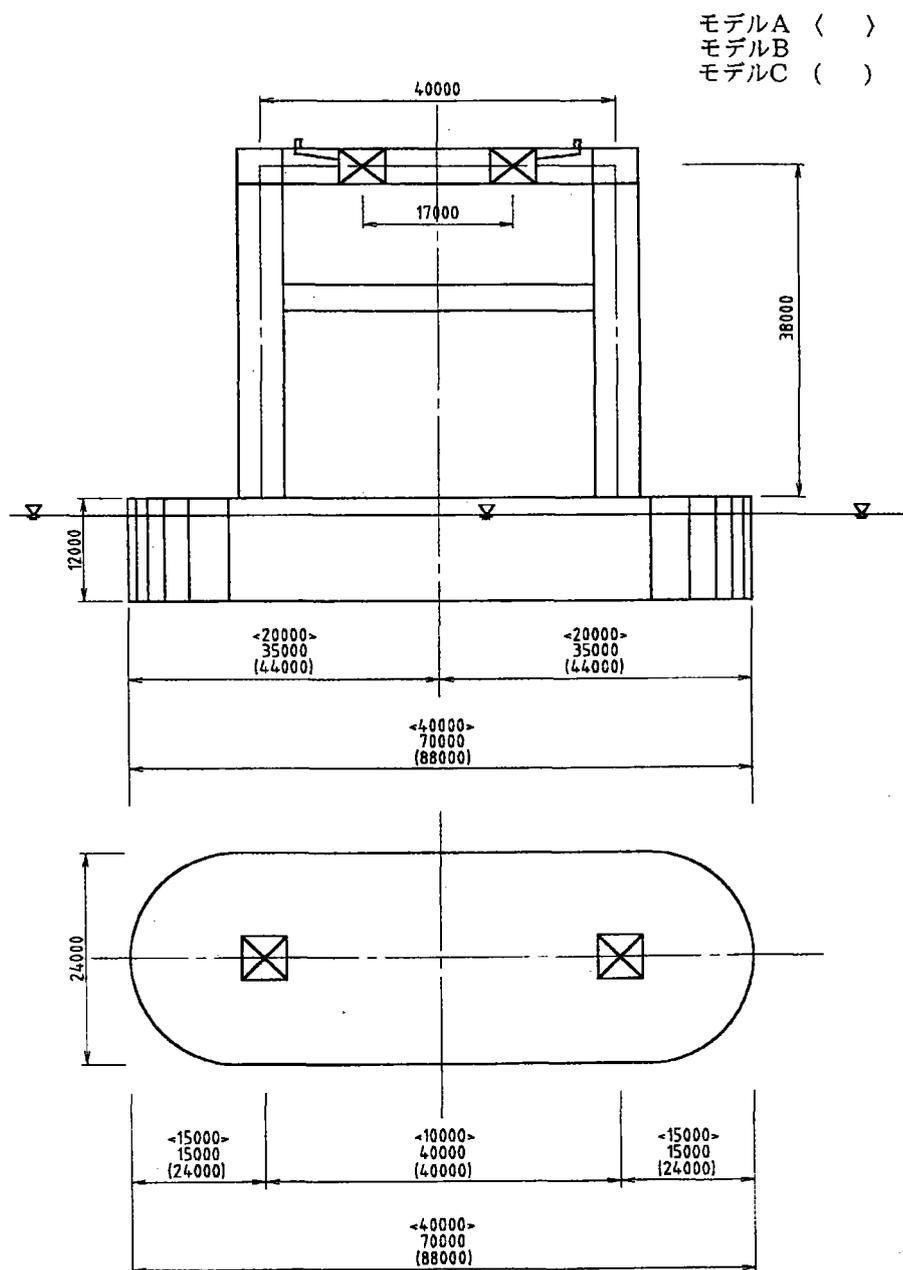


図. 8. 1. 3 ポンツーン形状図

2) ポンツーンの諸元

ポンツーンの平面形状は小判型であるが、断面積を等価に置換した矩形形状として算出する。

重心位置  $G=15.0\text{m}$  (橋脚高さ  $h=38.0\text{m}$ ) としてバネ定数を算出すると、橋軸直角回りのバネ定数 ( $K_{py}$ ) がマイナスとなるため、重心位置を  $G=9.5\text{m}$  ( $h=22.0\text{m}$ ) まで下げて再度算出した。

但し、7. 2箱桁100m案では上部工鉛直反力を除いてポンツーンの重心位置を算出したが、上部工鉛直反力を考慮することによりポンツーンの重心位置が上がり、安定性に大きく影響するため、本章では上部工鉛直反力を考慮した重心位置を算出し解析を行う。

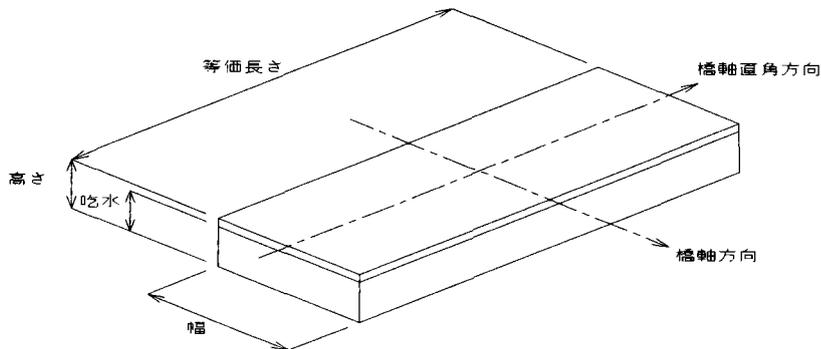


図. 8. 1. 4 ポンツーンバネ定数算出モデル

表. 8. 1. 2 ポンツーン諸元

	モデルA	モデルB	モデルC
幅 (m)	24.0		
高さ (m)	12.0		
吃水 (m)	10.0		
R部半径 (m)	12.0		
直線部長 (m)	16.0	46.0	64.0
平面積 (m <sup>2</sup> )	836.0	1556.4	1988.4
等価長さ (m)	34.85	64.85	82.85
鉛直反力F (tf)	3500		
重量W (tf)	4864	12064	16384
排水容量V (m <sup>3</sup> )	8364	15564	19884
重心位置G (m)	9.5		
浮心位置C (m)	5.0		

バネ定数の算出

(a) モデルA

水線面断面2次モーメント  $I_{px}$  (橋軸回り)

$$I_{px} = \frac{34.85^3 \times 24.0}{12} = 84645 \text{ m}^4$$

水線面断面2次モーメント  $I_{py}$  (橋軸直角回り)

$$I_{py} = \frac{34.85 \times 24.0^3}{12} = 40146 \text{ m}^4$$

バネ定数

鉛直方向 (Kpz)

$$K_{pz} = \frac{\text{排水重量}}{\text{吃水}} = \frac{8364}{10.0} = 836 \text{ tf/m}$$

橋軸回り (Kpx)

$$GM = \frac{I_{px}}{V} - GC = \frac{84645}{8364} - (9.5 - 5.0) = 5.6 \text{ m}$$

$$K_{px} = (F+W) \times GM = 47008 \text{ tf}\cdot\text{m/rad}$$

橋軸直角回り (Kpy)

$$GM = \frac{I_{py}}{V} - GC = \frac{40146}{8364} - (9.5 - 5.0) = 0.3 \text{ m}$$

$$K_{py} = (F+W) \times GM = 2509 \text{ tf}\cdot\text{m/rad}$$

潮流力

$$\begin{aligned} F &= w/2g \times v^2 \times C_d \times A \\ &= 1.03/(2 \times 9.8) \times 0.3^2 \times 1.05 \times 240 \\ &= 1.192 \text{ tf} \end{aligned}$$

波力

$$\begin{aligned} F &= w \times H \times L \times D \\ &= 1.03 \times 6.3 \times 24.0 \times 10 \\ &= 1622 \text{ tf} \end{aligned}$$

(b) モデル B

水線面断面 2 次モーメント  $I_{px}$  (橋軸回り)

$$I_{px} = \frac{64.85^3 \times 24.0}{12} = 545431 \text{ m}^4$$

水線面断面 2 次モーメント  $I_{py}$  (橋軸直角回り)

$$I_{py} = \frac{64.85 \times 24.0^3}{12} = 74706 \text{ m}^4$$

バネ定数

鉛直方向 (Kpz)

$$K_{pz} = \frac{\text{排水重量}}{\text{吃水}} = \frac{15564}{10.0} = 1556 \text{ tf/m}$$

橋軸回り (Kpx)

$$GM = \frac{I_{px}}{V} - GC = \frac{545431}{15564} - (9.5 - 5.0) = 30.5 \text{ m}$$

$$K_{px} = (F+W) \times GM = 475394 \text{ tf}\cdot\text{m/rad}$$

橋軸直角回り (Kpy)

$$GM = \frac{I_{py}}{V} - GC = \frac{74706}{15564} - (9.5 - 5.0) = 0.3 \text{ m}$$

$$K_{py} = (F+W) \times GM = 4669 \text{ tf}\cdot\text{m/rad}$$

潮流力

$$\begin{aligned} F &= w/2g \times v^2 \times Cd \times A \\ &= 1.03/(2 \times 9.8) \times 0.3^2 \times 1.05 \times 240 \\ &= 1.192 \text{ tf} \end{aligned}$$

波力

$$\begin{aligned} F &= w \times H \times L \times D \\ &= 1.03 \times 6.3 \times 24.0 \times 10 \\ &= 1622 \text{ tf} \end{aligned}$$

(c) モデルC

水線面断面 2 次モーメント  $I_{px}$  (橋軸回り)

$$I_{px} = \frac{82.85^3 \times 24.0}{12} = 1137344 \text{ m}^4$$

水線面断面 2 次モーメント  $I_{py}$  (橋軸直角回り)

$$I_{py} = \frac{82.85 \times 24.0^3}{12} = 95442 \text{ m}^4$$

バネ定数

鉛直方向 ( $K_{pz}$ )

$$K_{pz} = \frac{\text{排水重量}}{\text{吃水}} = \frac{19884}{10.0} = 1988 \text{ tf/m}$$

橋軸回り ( $K_{px}$ )

$$GM = \frac{I_{px}}{V} - GC = \frac{1137344}{19884} - (9.5 - 5.0) = 52.7 \text{ m}$$

$$K_{px} = (F+W) \times GM = 1047867 \text{ tf}\cdot\text{m/rad}$$

橋軸直角回り ( $K_{py}$ )

$$GM = \frac{I_{py}}{V} - GC = \frac{95442}{19884} - (9.5 - 5.0) = 0.3 \text{ m}$$

$$K_{py} = (F+W) \times GM = 5965 \text{ tf}\cdot\text{m/rad}$$

潮流力

$$\begin{aligned} F &= w/2g \times v^2 \times Cd \times A \\ &= 1.03/(2 \times 9.8) \times 0.3^2 \times 1.05 \times 240 \\ &= 1.192 \text{ tf} \end{aligned}$$

波力

$$\begin{aligned} F &= w \times H \times L \times D \\ &= 1.03 \times 6.3 \times 24.0 \times 10 \\ &= 1622 \text{ tf} \end{aligned}$$

3) 解析条件

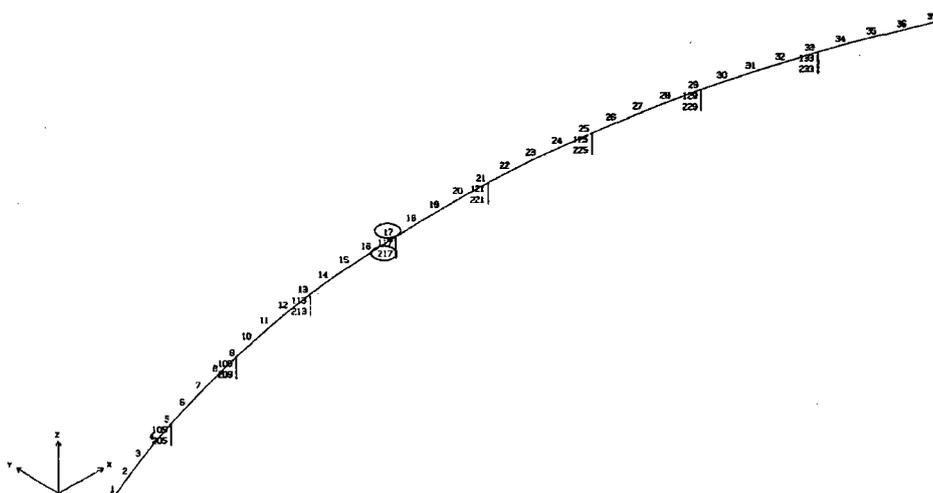


図. 8. 1. 5 全体解析モデル図

表. 8. 1. 3 解析諸元

部材	諸元	モデルA	モデルB	モデルC	
上部工	形式	鋼床版箱桁(2-BOX)			
	支間長 (m)	9@100			
	桁高 (m)	4.0一定			
	総幅員 (m)	30.0(0.5+13.5+2.0+13.5+0.5)			
	断面積 (m <sup>2</sup> )	1.1370			
	ねじり定数 (m <sup>4</sup> )	2.7680			
	断面2次モーメント(面内) (m <sup>4</sup> )	3.6360			
	断面2次モーメント(面内) (m <sup>4</sup> )	93.9100			
橋脚	形式	鋼製橋脚			
	高さ (m)	20.0			
	柱中心距離 (m)	17.0	40.0	60.0	
	断面積 (m <sup>2</sup> )	0.7416	0.8899	0.8899	
	ねじり定数 (m <sup>4</sup> )	1.8861	2.8292	2.8292	
	断面2次モーメント(面内) (m <sup>4</sup> )	56.1597	359.8397	804.8045	
	断面2次モーメント(面内) (m <sup>4</sup> )	1.1844	1.7767	1.7767	
ポンツーン	形式	コンクリートポンツーン			
	幅 (m)	24.0			
	長さ (m)	40.0	70.0	88.0	
	高さ (m)	12.0(吃水10.0m)			
	水線面断面2次モーメント(橋軸回り) (m <sup>4</sup> )	84645	545431	1137344	
	水線面断面2次モーメント(橋直回り) (m <sup>4</sup> )	40146	74706	95442	
	バネ定数	鉛直方向 (tf/m)	836	1556	1988
		橋軸回り (tf・m/rad)	47008	475394	1047867
		橋直回り (tf・m/rad)	2509	4669	5965
波力 (tf)	1622				

4) 解析結果

上部工中央径間の支点上 (Pt.17) 及び橋脚基部 (Pt.217) における変位量を抽出し、相対変位とポンツーンの回転バネとの関係をグラフにて表す。

表. 8. 1. 4 上部工とポンツーンの相対変位

	変位 (m)		
	Pt.17	Pt.217	相対変位
モデルA	1.284	10.665	9.381
モデルB	1.284	2.624	1.340
モデルC	1.284	1.899	0.615

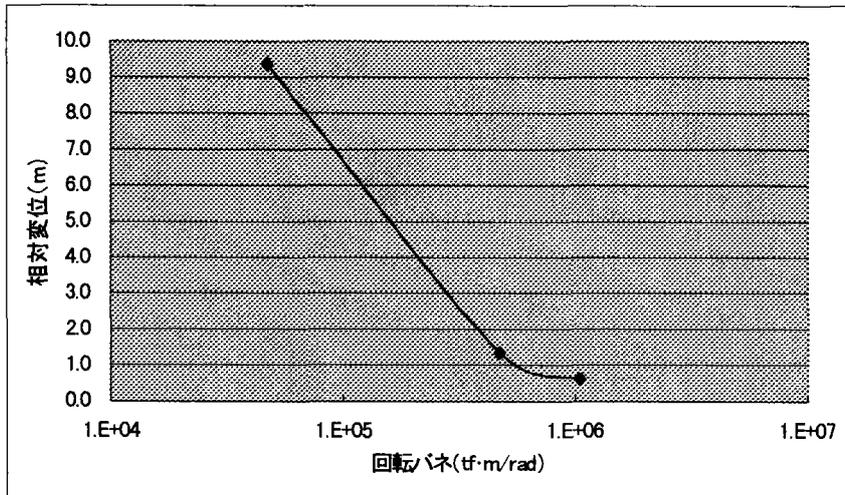


図. 8. 1. 6 相対変位とポンツーンの回転バネ定数の関係

5) ポンツーンの安定性検討

「浮体構造物マニュアル」より、以下の式を満足すればよい。

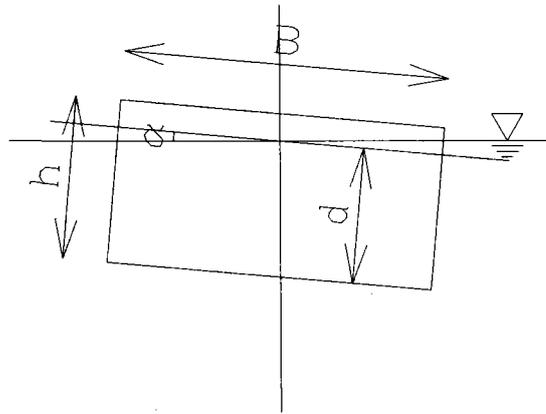


図. 8. 1. 7 ポンツーン橋軸方向断面図

$$\tan \alpha < \frac{2(h-d)}{B}$$

・モデルA

$$\frac{2(h-d)}{B} = \frac{2(12-10)}{34.85} \approx 0.1147$$

$$\tan \alpha = \frac{\text{変位}}{\text{橋脚高さ}} = \frac{9.381}{20} \approx 0.4691 > 0.1147 \quad \text{OUT}$$

・モデルB

$$\frac{2(h-d)}{B} = \frac{2(12-10)}{64.85} \approx 0.0617$$

$$\tan \alpha = \frac{\text{変位}}{\text{橋脚高さ}} = \frac{1.340}{20} \approx 0.0670 > 0.0617 \quad \text{OUT}$$

・モデルC

$$\frac{2(h-d)}{B} = \frac{2(12-10)}{82.85} \approx 0.0483$$

$$\tan \alpha = \frac{\text{変位}}{\text{橋脚高さ}} = \frac{0.615}{20} \approx 0.0308 < 0.0483 \quad \text{OK}$$

上式を満たさないモデルA, モデルBでは、ポンツーンの上表面が海中に沈む状態となる。

## 6) 考察

解析結果より、ポンツーンの橋軸回りの回転バネをある程度まで上げていけば相対変位を小さくでき、ポンツーンの安定性を得ることわかる。モデル A からモデル B までは、相対変位が急激に減少するが、それ以上回転バネを上げて相対変位の値はあまり下がらない。

よって、過大にならないような安定性のある最適ポンツーン形状にするべきである。

### 8. 1. 3 タイプ2（セミサブ案）の検討

#### 1) 概要

7. 2箱桁100m案をベースに、波力のみを対象としてセミサブ案について安定性を検討する。

ポンツーンは試設計で検討したものに対して、ポンツーン諸元、支点バネ定数、橋脚高さ、波力（荷重強度）を変更し、全体骨組解析を行う。

#### ポンツーンの特徴

- ・橋脚下端にコンクリートポンツーン（以下、センターポンツーン）を設置し、この周囲に鋼製ポンツーン（以下、アウターポンツーン）を設置する。
- ・センターポンツーンはその天端を水深5mの位置に設置し、平面形状は現状案同様とする。
- ・センターポンツーンの高さは、死荷重反力に対して中立状態となるような浮力を確保できる寸法とする（ $h = 8\text{ m}$ ）。
- ・アウターポンツーンは、活荷重反力に対して必要な浮力および波力に対して安定となるようなバネ定数を確保できるプロポーションとする。
- ・センターポンツーンとアウターポンツーンとは、トラス部材で結合する。

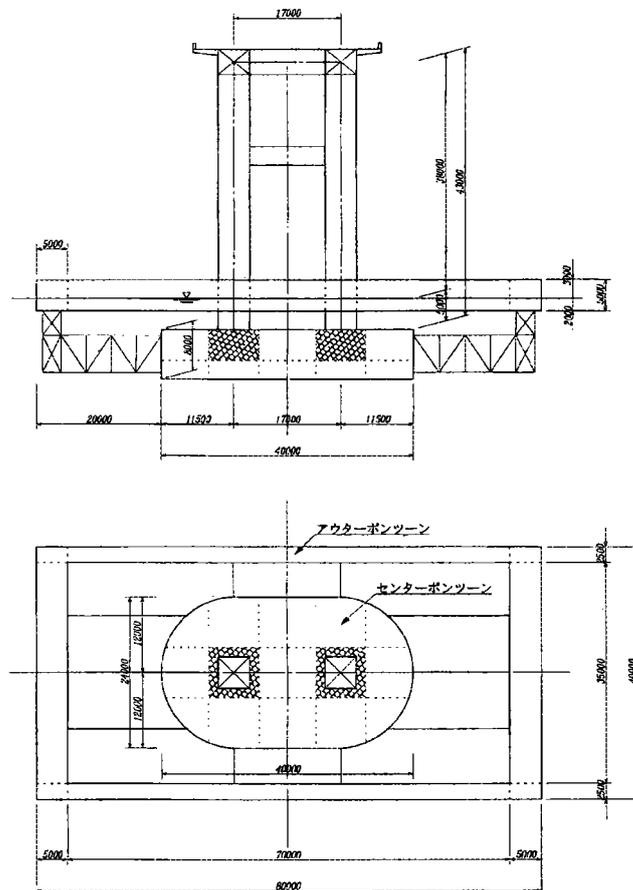


図. 8. 1. 8 ポンツーン形状図

## 2) ポンツーン諸元

### (a) ポンツーン諸元

上部工反力	W1 ;	2350tf (活荷重反力 650tf は除く)
橋脚自重	W2 ;	500tf
アウターホヅーン重量	W3 ;	600tf
バラスト	W4 ;	900tf
センターホヅーン重量	W5 ;	3800tf
死荷重合計	W ;	8150tf

### ホヅーン水平面積

$$\text{アウターホヅーン } A3 ; 40\text{m} \times 80\text{m} - 35\text{m} \times 70\text{m} = 750\text{m}^2$$

$$\text{センターホヅーン } A5 ; (40\text{m} - 24\text{m}) \times 24\text{m} + \pi \times 24^2 / 4 = 836\text{m}^2$$

### ホヅーン高さ

$$\text{アウターホヅーン } H3 ; 5.0\text{m}$$

$$\text{センターホヅーン } H5 ; 8.0\text{m}$$

### 吃水

$$\text{死荷重完成時 ; } (8150\text{tf} - 836\text{m}^2 \times 8.0\text{m} \times 1.0\text{tf/m}^3) / 750\text{m}^2 / 1.0\text{tf/m}^3 = 2.0\text{m}$$

$$\text{活荷重時 ; } 650\text{tf} / 750\text{m}^2 / 1.0\text{tf/m}^3 + 2.0\text{m} = 2.9\text{m}$$

$$\text{排水容積 } V = V3 + V5 = 8188\text{m}^3$$

$$\text{アウターホヅーン } V3 ; 750\text{m}^2 \times 2.0\text{m} \times 1.0\text{tf/m}^3 = 1500\text{m}^3$$

$$\text{センターホヅーン } V5 ; 836\text{m}^2 \times 8.0\text{m} \times 1.0\text{tf/m}^3 = 6688\text{m}^3$$

$$\text{重心位置 } G ; \text{ センターホヅーン底面から } 20.9\text{m}$$

$$\text{浮心位置 } C ; \text{ " } 5.5\text{m}$$

$$\text{水表面断面 2次モーメント (橋軸回り) ; } I_{px}$$

$$I_{px} = 1/12 \times (40 \times 80^3 - 35 \times 70^3) = 706250\text{m}^4$$

$$\text{水表面断面 2次モーメント (橋軸直角回り) ; } I_{py}$$

$$I_{py} = 1/12 \times (80 \times 40^3 - 70 \times 35^3) = 176563\text{m}^4$$

### (b) バネ定数

$$\text{鉛直方向 ; } K_{pz}$$

$$K_{pz} = 750\text{m}^2 \times 1.0\text{tf/m}^3 = 750\text{tf/m}$$

$$\text{橋軸直角軸回り ; } K_{p\theta x}$$

$$GM = I_{px} / V - GC = 706250 / 8188 - (20.9 - 5.5) = 70.9\text{m}$$

$$K_{p\theta x} = W \times GM = 8150 \times 70.9 = 578000\text{tf.m/rad}$$

$$\text{橋軸直角軸回り ; } K_{p\theta y}$$

$$GM = I_{py} / V - GC = 176563 / 8188 - (20.9 - 5.5) = 6.2\text{m}$$

$$K_{p\theta y} = W \times GM = 8150 \times 6.2 = 50500\text{tf.m/rad}$$

(c)波力

- w ; 海水単重(1.03tf/m<sup>3</sup>)
- H ; 最大波高 (=1.8×H1/3 =6.3m)
- L1 ; アウターポンツーンの幅 (40.0m)
- D1 ; アウターポンツーンの吃水 (2.0m)
- L2 ; 橋脚の幅 (5.0m)
- D2 ; 橋脚の吃水 (5.0m)

アウターポンツーンに作用する波力 ; F1

$$F1 = w \times H \times L1 \times D1 = 1.03 \times 6.3 \times 40.0 \times 2.0 = 519 \text{tf/函}$$

橋脚に作用する波力 ; F2

$$F2 = w \times H \times L2 \times D2 = 1.03 \times 6.3 \times 5.0 \times 5.0 = 162 \text{tf/函}$$

波力合計

$$F = F1 + F2 = 519 + 162 = 681 \text{tf/函}$$

※センターポンツーン部については波力の影響を受けないと考える。

※波力に対して下流側の部分についても波力の影響は受けないと考える。

### 3) 解析条件

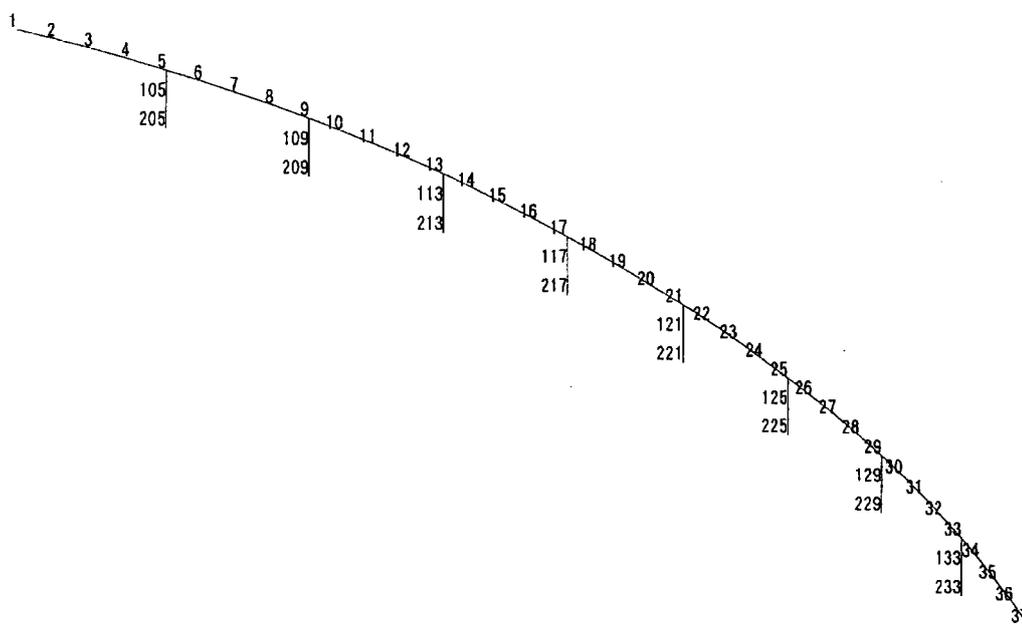


図. 8. 1. 9 全体解析モデル図

表. 8. 1. 5 解析諸元

部材	諸元			
上部工	形式		鋼床版箱桁(2-BOX)	
	支間長	(m)	9@100	
	桁高	(m)	4.0一定	
	総幅員	(m)	30.0(0.5+13.5+2.0+13.5+0.5)	
	断面積	(m <sup>2</sup> )	1.1370	
	ねじり定数	(m <sup>4</sup> )	2.7680	
	断面2次モーメント(面内)	(m <sup>4</sup> )	3.6360	
	断面2次モーメント(面内)	(m <sup>4</sup> )	93.9100	
橋脚	形式		鋼製橋脚	
	高さ	(m)	38.0	
	断面積	(m <sup>2</sup> )	0.8638	
	ねじり定数	(m <sup>4</sup> )	2.3980	
	断面2次モーメント(面内)	(m <sup>4</sup> )	64.0500	
	断面2次モーメント(面内)	(m <sup>4</sup> )	1.9660	
ポンツーン	形式		コンクリートポンツーン	
	水線面断面2次モーメント(橋軸回り)	(m <sup>4</sup> )	706250	
	水線面断面2次モーメント(橋直回り)	(m <sup>4</sup> )	176563	
	バネ定数	鉛直方向	(tf/m)	750
		橋軸回り	(tf・m/rad)	578000
		橋直回り	(tf・m/rad)	50500
波力	(tf)	681		

4) 解析結果

表. 8. 1. 6 波力を受けたときの支点上回転角

上部工支点位置		橋脚下端位置		相対変位 (m)	橋脚高さ (m)	回転角 $\alpha$ (deg.)
格点	変位(m)	格点	変位(m)			
Pt. 5	0.174	Pt.205	1.848	1.674	43.0	2.229 $\leq 2.862$
Pt. 9	0.340	Pt.209	2.396	2.056	43.0	2.737 $\leq 2.862$
Pt.13	0.469	Pt.213	2.611	2.142	43.0	2.852 $\leq 2.862$
Pt.17	0.539	Pt.217	2.700	2.161	43.0	2.877 $\geq 2.862$

表. 8. 1. 7 断面力比較表 (1)

	上部工支点位置の ねじりモーメント(tf·m)	
	現状案	セミサブ案
Pt. 5	74974	8774
Pt. 9	41831	2106
Pt.13	22603	578
Pt.17	10563	220

表. 8. 1. 8 断面力比較表 (2)

	橋脚下端の橋軸回り 曲げモーメント(tf·m)	
	現状案	セミサブ案
Pt.205	23621	22371
Pt.209	36521	27447
Pt.213	43239	28610
Pt.217	46061	28867

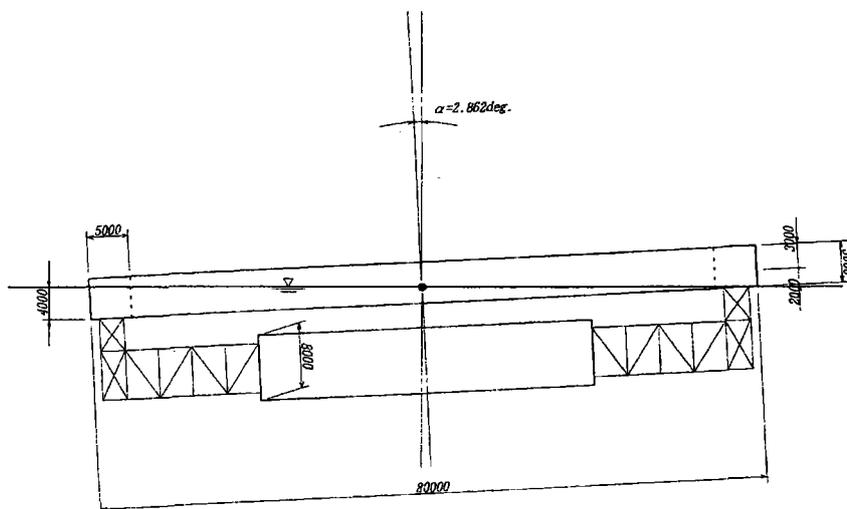


図. 8. 1. 10 セミサブ案の安定限界回転角

5) 考察

波力を受けたときの支点上回転角は、中央径間支点上のみ限界回転角を超えているが、他の支点上では全て安定性を得ている。

上部工断面計算に影響の大きい支点上位置のねじりモーメントは、現状案と比較すると、中央径間支点上で最大 1/48 程度にまで値が下がっており、上部工断面を小さくすることができる。同様に、橋脚下端の橋軸回り曲げモーメントも上部工ほどではないが最大 1/1.6 まで応力を下げることができ、橋脚ごとの応力差が小さくなった。

よって、上部工の荷重を受けるセンターポンツーンと波力を受けるアウターポンツーンを別々に設置することにより、波力の影響を最小限に抑えて相対変位を低減させ、ポンツーンの安定性を得られる。

## 8.2 波力低減型ポンツーン

ポンツーンに作用する波力を低減する方法としては、流体中に置かれた物体の抗力を低減することに他ならない。そのため、一般的には流線型のポンツーンが理想的と考えられる。

しかし、ポンツーン本来の目的が上部工反力を支えることであり、そのためには十分な浮体安定性が必要であり、必ずしも流線型のポンツーンが浮体安定性に優れているとは言えない。また、実際の製作、施工を考えると矩形構造に対する流線型ポンツーンの優位性はなくなるものと考えられる。

そこで、製作性や施工性も考慮し、かつ波力も低減できる構造として図 8.2-1 のようなコーン型ポンツーンを提案する。

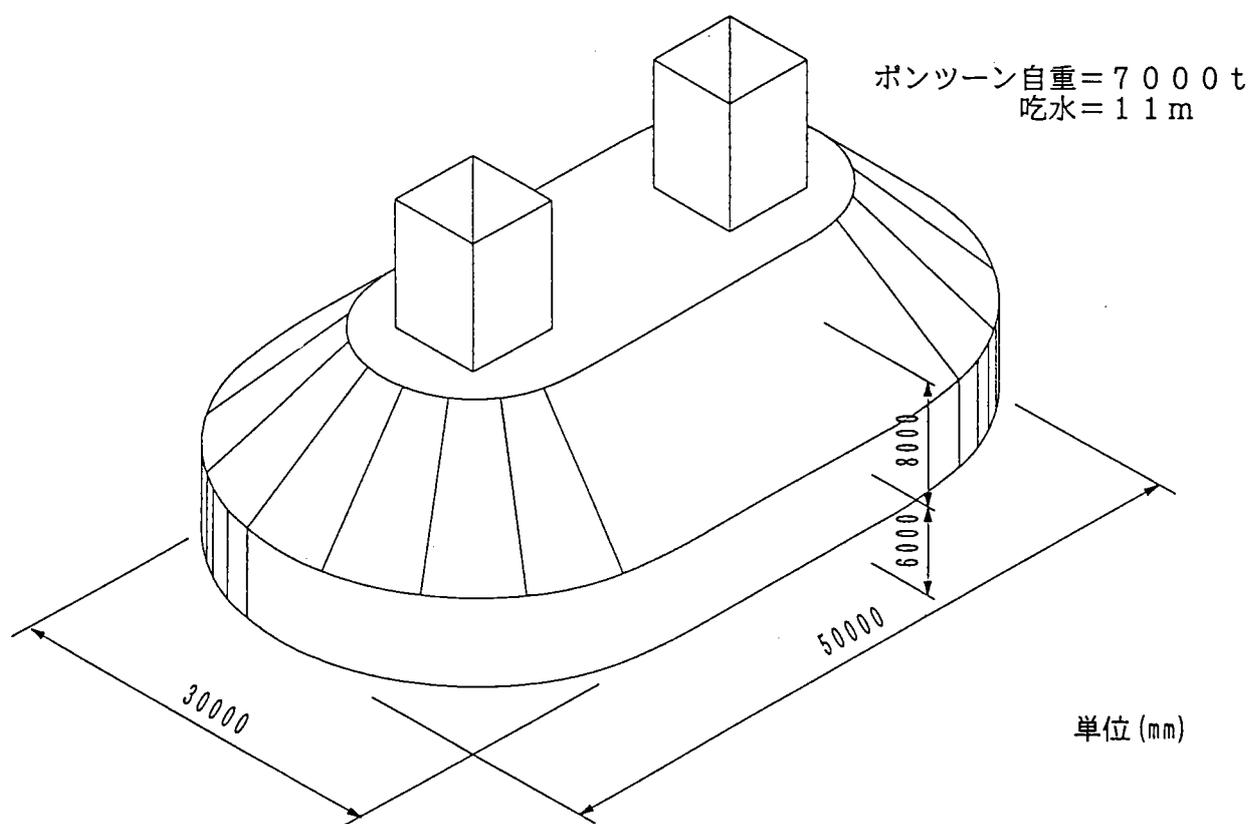


図 8.2-1 コーン型ポンツーン

図 8.2-2 に、波力低減のメカニズムを示す。海水とポンツーン壁面との粘性抵抗力を無視すれば、斜面部に作用する水平波力は  $1/2$  となる。また、ポンツーンには鉛直下向の波力が作用することになるが、ポンツーン底面には同時に上向の揚圧力が作用するため鉛直方向の力は相殺され小さくなる。このことは、動揺特性の改善にもつながるものと考えられる。

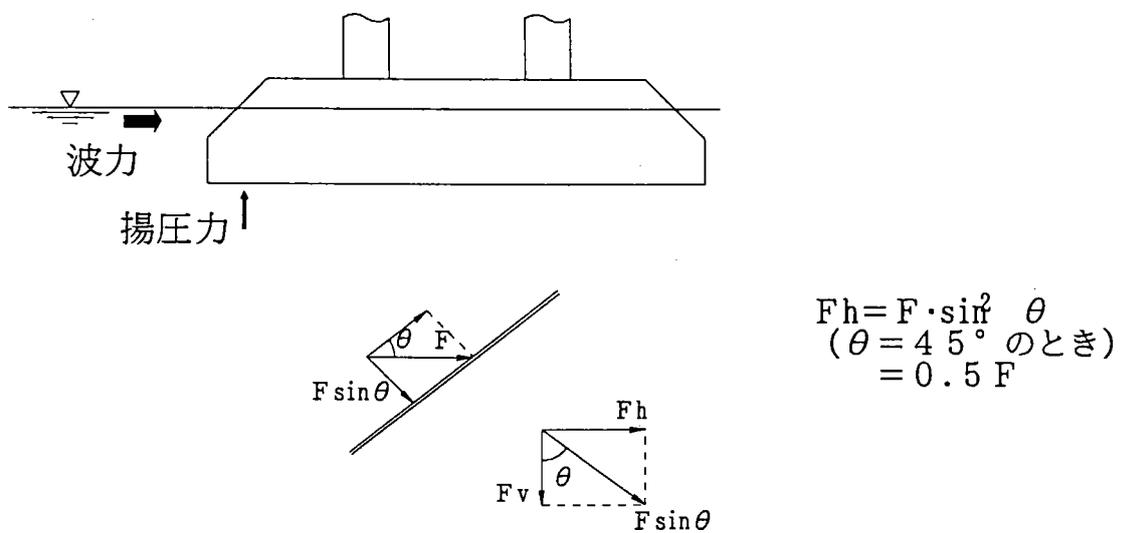
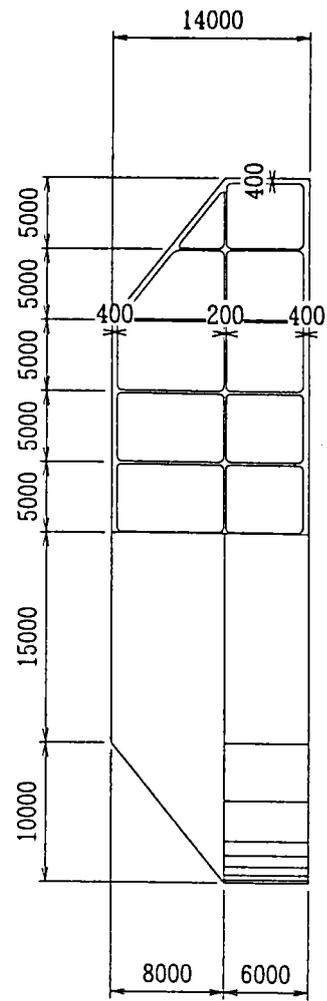
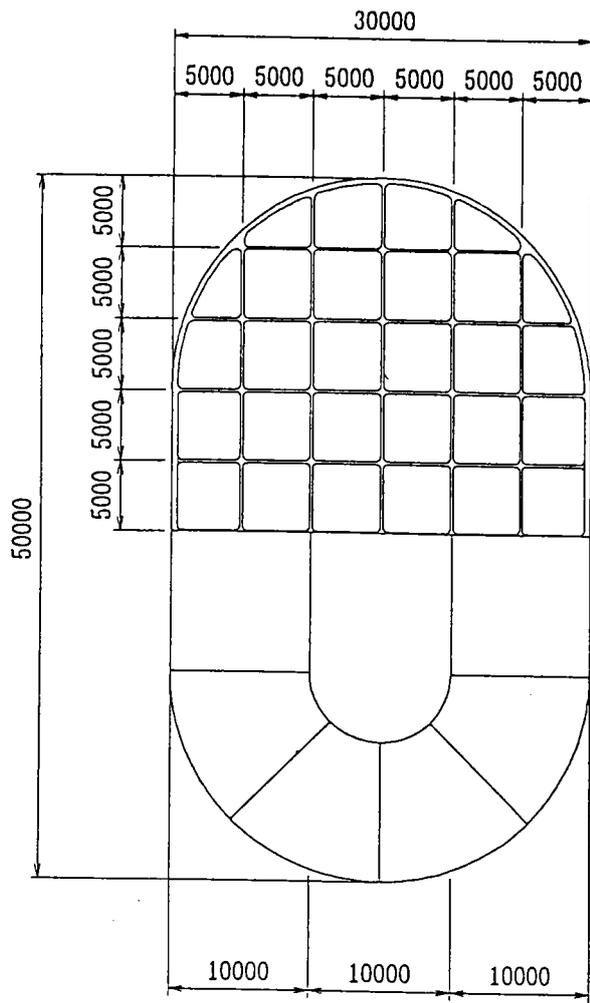


図 8.2-2 波力低減のメカニズム



单位(mm)

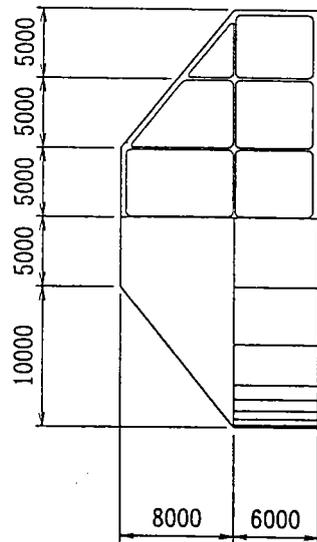


图 8.2-3 形状图

## 8. 3 対流型ポンツーン

### 8. 3. 1. 概要

別紙に示す改良案について検討する。

この形式の特徴は、死荷重に対しては、水中に設置した浮体の浮力のみで鉛直方向の力を釣合わせ、活荷重に対しては水面に設置した浮体で抵抗するものとする。

従って、水中浮体は、鉛直及び回転バネを持たず、水面に設置する浮体のバネで橋梁に作用する荷重に対して抵抗することとなる。

形状は、波力に対する抵抗を低減するため、水中浮体は先端を流線形とした円筒形とし、水面に設置する浮体は小判型とする。

水中浮体の個数については、下記に示す検討より、1個とした。

1個の場合の径を15mとすると、2個の場合、1個の場合と同じ面積を有する径は、 $d = 15.0 / \sqrt{2} = 10.6\text{m}$ となる。

この時の、重量を円筒形と仮定して比較すると、

$$\begin{aligned} \text{1個の場合 } V &= \pi / 4 (15.0^2 - 14.6^2) * 60 \\ &= 558 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{2個の場合 } V &= \pi / 4 (10.6^2 - 10.2^2) * 60 * 2 \\ &= 784 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

さらに、2個の浮体を接続する梁が必要となるため、2個の浮体の場合は1個の場合より不経済となると考えられる。

また、浮体の材料としては鋼製も考えられるが、ここではコンクリート製として検討する。

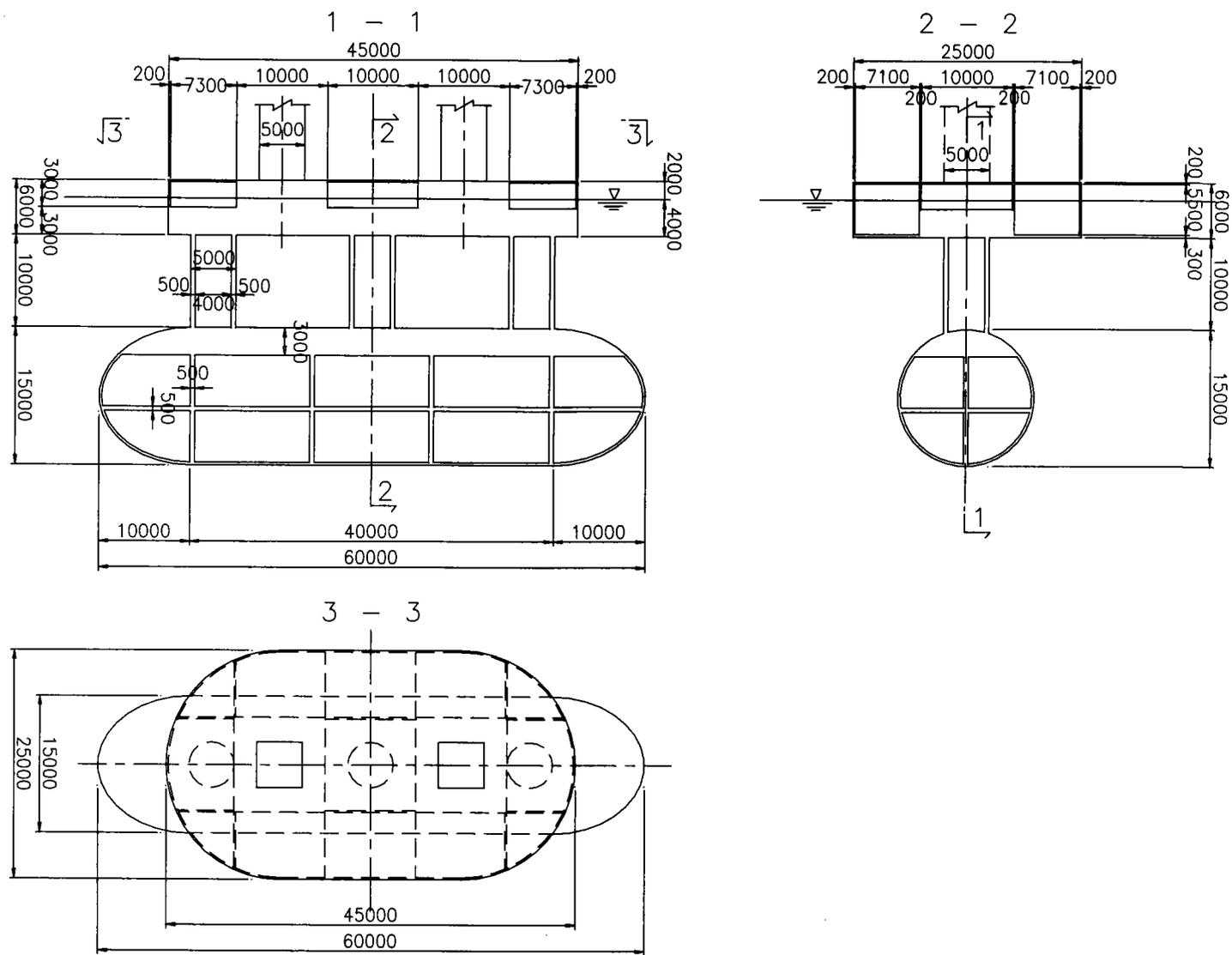


图 8. 3. 1 構造寸法図

### 8. 3. 2 浮体の吃水計算

#### (1) 上部工

- 1) 形式 : 6 径間連続トラス橋
- 2) 橋長 : 900 m (6 @ 150 m)
- 3) 幅員 : 30.0m (0.5+13.5+2.0+13.5+0.5)
- 4) 鋼重 : 16,500 tf (630kg/m<sup>2</sup>)
- 5) 最大反力 : 5400 tf
  - 死荷重 : 4,100 tf
  - 活荷重 : 1,300 tf

#### (2) 橋脚

- 1) 形式 : 鋼製ラーメン橋脚 (高さ 21 m)
- 2) 重量 : 500 tf / 基

#### (3) ポンツーン

- 1) 形式 : プレストレストコンクリート製ポンツーン
- 2) 材料 : 軽量骨材鉄筋コンクリート
- 3) 死荷重時吃水, 乾舷

総重量	上部工死荷重反力	4,100t
	橋脚	500
	ポンツーン	4,244
	柱部材	414
	水中浮体	4,911
	浮力 (柱部材, 水中浮体)	-10,308
-----		
	合 計	3,861 t

ポンツーン面積 991 m<sup>2</sup>

死荷重時吃水 =  $3861 / 991 = 3.9$  m -- 4.0 m  
 乾舷 -- 2.0 m  
 ポンツーン高 -- 6.0 m

#### 4) 活荷重時吃水, 乾舷

鉛直方向変位  $1300 / 991 = 1.3$  m  
 活荷重時吃水 =  $4.0 + 1.3 = 5.3$  m  
 乾舷  $2.0 - 1.3 = 0.7$  m  
 ポンツーン高 -- 6.0 m

## 浮体重量

### 1) ポンツーン

底面積	$A = \pi / 4 * 25.0^2 + 25.0 * 20.0$	= 991 m <sup>2</sup>
周長	$L = \pi * 25.0 + 20.0 * 2$	= 119 m
頂版	$991 * 0.2 * 1.95$	= 386 t
底版	$991 * 0.3 * 1.95$	= 580
側壁	$119 * (6.0 - 0.5) * 0.2 * 1.95$	= 255
中壁	$7.3 * (6.0 - 0.5) * 0.2 * 1.95 * 8$ $+ 6.5 * (6.0 - 0.2 - 3.0) * 0.2 * 1.95 * 4$ $+ 10.0 * (6.0 - 0.2 - 3.0) * 0.2 * 1.95 * 2$	= 176
中詰め	$10.0 * 10.0 * (6.0 - 0.5) * 1.95 * 2$	= 2145
	$10.0 * 6.0 * 3.0 * 1.95 * 2$	= 702
-----		
合 計		4244 t

### 2) 柱部材

$$\pi / 4 * (5.0^2 - 4.0^2) * 10.0 * 1.95 * 3 = 414 \text{ t}$$

### 3) 水中浮体

外壁	$\pi / 4 * (15.0^2 - 14.4^2) * 45.0 * 1.95$	= 1216
外壁	$\pi / 6 * (15.0^3 - 14.4^3) * 1.95$	= 397
	$5.5 * 3.0 * 52.5 * 1.95$	= 1689
隔壁	$14.0 * 0.5 * 60.0 * 1.95$	= 819
	$13.5 * 0.5 * 60.0 * 1.95$	= 790
-----		
合 計		4911 t

### 柱部材および水中浮体の浮力

柱部材	$\pi / 4 * 5.0^2 * 10.0 * 3$	= 589 t
水中浮体	$\pi / 4 * 15.0^2 * 45.0$	= 7952
	$\pi / 6 * 15.0^3$	= 1767
-----		
		10308 t

### 8. 3. 3 波力の検討

波力の算定に際しては、水面部のポンツーンについては、浮体力係船岸の設計・施工マニュアル（案）による簡易式を用い、水中部のポンツーンについては、水深方向の波力分析を考慮した浮体構造技術マニュアルの式を用いることとする。

- ・水面部のポンツーン：浮体式係船岸の設計・施工マニュアル（案）

$$P_w = w \cdot H \cdot L \cdot d$$

$$w : \text{海水の単位体積重量} = 1.025 \text{ tf/m}^3$$

$$H : \text{波高 (H}_{1/3}\text{)} \quad (\text{m}) = 6.3 \text{ m}$$

$$L : \text{浮体の水中長さ (m)} = 25.0 \text{ m}$$

$$d : \text{浮体の吃水 (m)} = 4.0 \text{ m}$$

$$\therefore P_w = 645.8 \text{ tf}$$

- ・水中部のポンツーン：浮体構造物技術マニュアル

$$\eta^* = 0.75 (1 + \cos \beta) H$$

$$p_1 = 0.5 (1 + \cos \beta) \alpha_1 \cdot w \cdot H$$

$$p_3 = \alpha_3 \cdot p_1$$

$$\alpha_1 = 0.6 + 1/2 \{ (4 \cdot \pi \cdot h / L) / \sinh (4 \cdot \pi \cdot h / L) \}^2$$

$$\alpha_3 = 1 - d / h \{ 1 - 1 / \cosh (2 \cdot \pi \cdot h / L) \}$$

$p_1$  : 静水面における波圧強度 (tf/m<sup>2</sup>)

$p_3$  : ポンツーン下面における波圧強度 (tf/m<sup>2</sup>)

$$w : \text{海水の単位堆積重量} = 1.025 \text{ tf/m}^3$$

$$H : \text{波高} = 6.3 \text{ m} \quad (1.8 \cdot H_{1/3})$$

$$L : \text{波長} = 118.8 \text{ m} \quad (T \cdot \sqrt{g \cdot H})$$

$$T : \text{周期} = 6.0 \text{ sec}$$

$$h : \text{水深 (m)} = 40.0 \text{ m} \quad (\text{仮定値})$$

$$d : \text{深さ (m)} = 21.5 \text{ m}$$

$$\beta : = 0.0 \text{ rad}$$

(主方向から15°の範囲主方向から15°の範囲で最も危険な方向となす角度)

$$\eta^* = 9.45 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = 0.607569$$

$$\alpha_3 = 0.590252$$

$$p_1 = 3.923 \text{ tf/m}^2$$

$$p_3 = 2.316 \text{ tf/m}^2$$

$$\therefore P_w = 409.3 \text{ tf}$$

(浮体の直径 = 15.0 m)

### 8. 3. 4 小判型ポンツーン案

#### (1) 小判型ポンツーン案

・波力（浮体式係船岸の設計・施工マニュアル（案））

$$P_w = w \cdot H \cdot L \cdot d$$

$$w : \text{海水の単位体積重量} = 1.03 \text{ tf/m}^3$$

$$H : \text{波高 (1.8H}_{1/3}) = 6.3 \text{ m}$$

$$L : \text{浮体の水中長さ} = 25.0 \text{ m}$$

$$d : \text{浮体の吃水} = 8.5 \text{ m}$$

$$\therefore P_w = 1378.91 \text{ tf}$$

#### (2) 対流型案

$$\text{水面部} \quad P_{w1} = 645.8 \text{ tf}$$

$$\text{水中部} \quad P_{w2} = 409.3 \text{ tf}$$

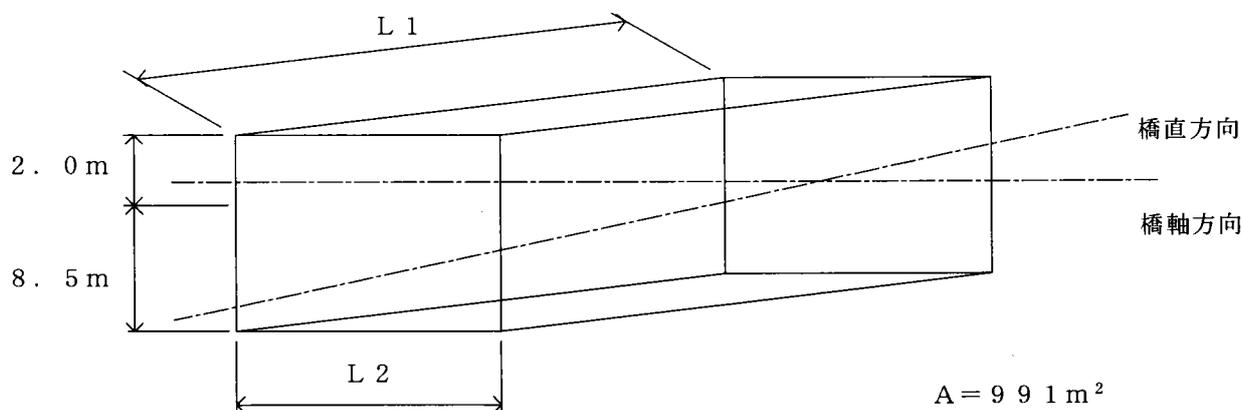
$$\text{合計} \quad P_w = 1055.3 \text{ tf}$$

従って、対流型案とすることで、波力を77%程度に低減できる。

### 8. 3. 5 ポンツーンのパネ定数

#### ・ポンツーンの諸元

ポンツーンの平面形状は小判型であるが、断面積を等価置換した矩形形状として諸元を算出する。



鉛直反力  $F$  : 1300 tf  
 重量  $W$  : 4244 tf  
 排水要領  $V$  : 3964 m<sup>3</sup>  
 重心位置  $G$  : 2.00 m  
 浮心位置  $C$  : 3.00 m  
 水線面断面二次モーメント

#### 橋直方向回り

$L1 = 24.0$  m  
 $L2 = 41.3$  m  
 $I = 47578$  m<sup>4</sup>

#### 橋軸方向回り

$L1 = 22.0$  m  
 $L2 = 45.0$  m  
 $I = 167063$  m<sup>4</sup>

#### ポンツーンのパネ定数

##### 鉛直バネ : $K$

$K = \text{排水重量} / \text{吃水}$  (海水の単重 : 1.03 tf/m<sup>3</sup>)

$$K = 3,964 \times 0.13 / 4.0 = 1,021 \text{ tf/m}$$

##### 回転バネ : $K\theta$

$$GM = I / V - GC$$

$$K\theta = (F + W) \times GM$$

##### 橋直方向回り

$$GM = 47,578 / 3,964 - (3.00 - 2.00) = 11.0 \text{ m}$$

$$K\theta = (1,300 + 4,244) \times 11.0 = 60,980 \text{ tf} \cdot \text{m/rad} \text{ (1.52 倍)}$$

##### 橋軸方向回り

$$GM = 167,063 / 3,964 - (3.00 - 2.00) = 41.1 \text{ m}$$

$$K\theta = (1,300 + 4,244) \times 41.1 = 227,860 \text{ tf} \cdot \text{m/rad} \text{ (1.39 倍)}$$

### 8. 3. 6 橋梁全体としての解析

橋梁全体の解析を立体フレームで行った。

骨組は小判型ポンツーン案と同様とし、荷重ケースも、同様に暴風時+温度変化時について検討した。

波力は水面部の浮体及び水中部の浮体のそれぞれに作用させ、また、浮体のバネは、水面部の浮体部のみ考慮し水面位置に鉛直及び回転バネを設けた。

以上の条件より解析した結果を、次頁に前回検討時の断面力との比較表の形で示す。

表8. 3. 1 立体解析結果 (暴風時+温度変化)

			第1支間中央			第1中央支点			
			小半型(前回検討)	対流型(今回検討)	比率	小半型(前回検討)	対流型(今回検討)	比率	
軸 力	風荷重		-3816			-3689			
	波力		-8068	-6174	0.77	-7573	-6149	0.81	
	潮流力		-2			-2			
	温度	最大		288			297		
		最小		-288			-297		
	合計	最大		-11598	-9704		-10967	-9543	
最小			-12175	-10281	0.84	-11561	-10137	0.88	
曲げモーメント (鉛直軸回り)	風荷重		8540			2272			
	波力		26424	20218	0.77	-13710	-10077	0.77	
	潮流力		8			-4			
	温度	最大		12774			3335		
		最小		-12774			-3335		
	合計	最大		47744	41538	0.87	-7566	-4473	
最小			22197	15991		-14237	-11144	0.78	
曲げモーメント (水平軸回り)	風荷重		0			0			
	波力		-29225	-24622	0.84	-45733	-37838	0.83	
	潮流力		-8			-13			
	温度	最大		0			0		
		最小		0			0		
	合計	最大		-29233	-24630	0.84	-45746	-37851	0.83
最小			-29233	-24630		-45746	-37851		
ねじりモーメント	風荷重		0			0			
	波力		-37125	-31286	0.84	-11355	-8857	0.78	
	潮流力		-11			-3			
	温度	最大		0			0		
		最小		0			0		
	合計	最大		-37036	-31297	0.84	-11358	-8860	0.78
最小			-37136	-31297		-11358	-8860		
せん断力 (鉛直方向)	風荷重		0			0			
	波力		-381	-227	0.61	-273	-227	0.83	
	潮流力		0			0			
	温度	最大		0			0		
		最小		0			0		
	合計	最大		-381	-227	0.61	-273	-227	0.83
最小			-381	-227		-273	-227		
せん断力 (水平方向)	風荷重		109			94			
	波力		236	181	0.77	-446	-342	0.77	
	潮流力		0			0			
	温度	最大		126			103		
		最小		-126			-103		
	合計	最大		471	416	0.88	-249	-145	
最小			219	164		-456	-352	0.79	

注) 空欄箇所は前回検討に対し変更なしを示す。

### 8. 3. 7 考 察

トラス主構に発生する断面力を小判型ポンツーン案と比較した場合、波力のみで60～80%、合計断面力で80～90%程度低減できる。

断面力の低減効果そのまま鋼重に当てはめた場合、小判型ポンツーン案の鋼重19000tに対して10%程度の1900tを低減できる効果があると考えられる。

水中の浮体の工事費は不明であるが、上部工本体のみを考慮すれば、ある程度の工事費を低減できる効果は期待できると考えられ、水面部の浮体高を小さくし、波力の影響が少ない水中に死荷重のみに抵抗する対流型のポンツーンは有効的であると考えられる。

ただし、水中部の浮体寸法がかなり大きくなることから、製作、輸送等の問題があるが、材料を鋼とすることで浮体寸法をかなり小さくできると推測され、製作、輸送面で有利となると考えられる。