

海中固定構造物の断面形状と支持杭に作用する軸力に関する一考察

北海道大学大学院工学研究科 学生員 ○三倉 寛明
 北海道大学大学院工学研究科 正会員 蟹江 俊仁
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 三上 隆
 北海道大学大学院工学研究科 正会員 佐藤 太裕

1. 研究の目的

新たな海域利用構造物として、函体を連続的に海中に並べて道路などに利用する「海中固定型水中トンネル」がある。このような構造物を設計する場合、波力は最も支配的な荷重のひとつであり、直杭で支持することを想定すると、周期的に作用する押込み、引抜き力を的確に制御することが経済性を大きく左右することになる。特に、引抜き力に対しては一般に高い安全率が科せられることから、杭に作用する軸方向力の低減対策は重要である。

本研究は、水深が 15m 程度の防波堤内側にこのような構造物を計画した場合を一例として取り上げ、その断面形状の違いが直杭に作用する軸方向力にどのような影響を与えるのかを評価し、同種構造物の設計にあたっての知見を得ることを目的とする。

2. 構造概要

対象として考えた構造物は、沿岸から 300m 程度離れた人工島へのアクセスとして計画されたもので、両側 2 車線の道路と片側に遊歩道を有する幅 10.6m、高さ 5.7m の箱型断面構造物を基本としている。函体の試設計によれば、沈埋トンネルと同様、沈設までは水バラスト、沈設後はコンクリートなどの固定バラストを投入することにより、比重 0.9～1.1 程度の比重コントロールが可能となっている。構造物の設置水深は、縦断線形に応じて変化するものの、波浪の最も強い影響を受ける付近で、およそ 5m のかぶり水深を有しており、本検討ではこの値を採用するものとした。また、支持構造物としては、海上での施工性を考慮して直杭を用いることとし、軸方向力の評価にあたっては、支持層の位置を変化させて検討を行った。本研究では、構造物の断面形状の違いが杭の軸方向力に与える影響を見ることを目的とするため、波浪の周期は 5.0～10.0 秒まで変化させるものの、波高は単位波高 1m に固定して計算を行った。

3. 解析モデルと解析条件

基本モデルである箱型断面構造物の概念図は、Fig.1 に示す通りである。構造物に作用する波力は線形ポテン

シャル理論に基づいて求めることとし、解析手法には二次元の境界要素法を適用した。支配方程式は式 (1) に示す通りである。

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

また境界条件として、上流側の入射波浪に浅海波の水粒子水平運動速度 $u(x, y, t)$ を与え、下流側では波浪ポテンシャルで与えられる完全透過条件とし、水面は自由表面、構造物面では完全反射条件を採用している。

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|_{x=0} &= u(0, y, t) & \left. \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|_{x=B} &= ik\phi & \left. \frac{\partial \phi}{\partial y} \right|_{y=-h} &= 0 \\ \left. \frac{\partial \phi}{\partial y} \right|_{y=0} &= \frac{\omega^2}{g} \phi & \left. \frac{\partial \phi}{\partial n} \right|_{\text{at Structure}} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

その他、基本解析モデルに用いた解析諸元は Table 1 に示す通りである。このようにして求めた波力を、式 (3) に適用することにより杭の軸方向力を求めることとした。

$$\begin{Bmatrix} R_R \\ R_L \end{Bmatrix} = -\frac{F_y}{2} \pm \frac{M}{L_s} \pm \frac{F_x H_P}{L_s} \quad (3)$$

なお、以降の軸方向力の低減効果を議論するに当たり、式(3)で求められる軸方向力のうち、最大引抜き力を取り上げて検討を行なっている。

Table 1 基本解析モデルの解析諸元

水深 h	14.70 m	構造水平幅 a	10.60 m
水平幅 B	300.00 m	構造鉛直幅 b	5.70 m
構造断面 A_s	60.42m ²	構造図心 G	(150.00, -7.85)

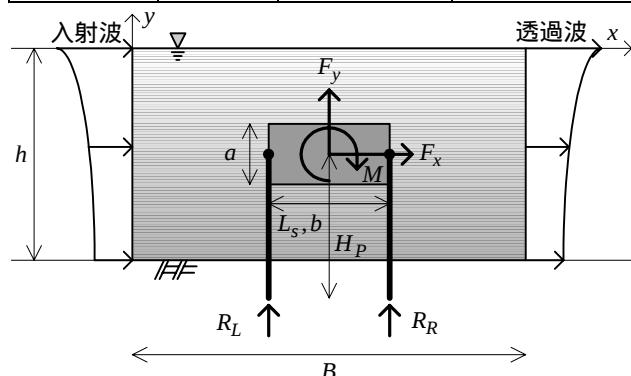


Fig. 1 解析モデル概念図

キーワード：杭固定式海中構造物，軸方向力，断面形状，軸方向力の低減対策

連絡先：〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学工学研究科社会基盤工学専攻計算構造力学分野 TEL 011-706-6177

4. 解析結果

(1) 断面形状の影響評価

まず、断面積と断面図心を同一にしたまま、形状の差異による影響を検討するため、基本断面を含め3つの断面 (Fig.2) を想定して検討を行った。

Fig.3 には Case-1 (基本断面) と Case-2 (十角形断面)、Case-3 (楕円断面) の場合の波力を比較して示している。図から分かるように、鉛直方向の高さの増加を反映して、Case-3 の水平波力は Case-1 のそれよりも若干大きいものの、鉛直方向波力や回転モーメントは、顕著に低減されている。しかし、杭に作用する最大軸方向力 R の低減率を図示すると、Fig.4 のようになる。この図は、杭の支持層の深さと、基本断面に対する軸方向力の低減率の関係を示したもので、横軸は杭長を表している。これによれば、杭が比較的短い場合を除いて、杭の軸方向力低減には矩形断面の採用が有利であり、断面形状を変化させたことによる効果が見られない。これは、水平方向力と回転モーメントがおよそ 180° 位相、水平方向力と鉛直方向力がほぼ 90° の位相遅れを有していることによるもので、杭長が短い時には回転モーメントの作用による軸方向力の低減が期待できるが、杭長が長くなると水平方向力の影響が顕著となり、わずかな水平方向力の増加も軸方向力の増大につながるためである。また、鉛直方向力の低減は、杭に作用する最大軸方向力の低減にはほとんど寄与しないと考えられる。

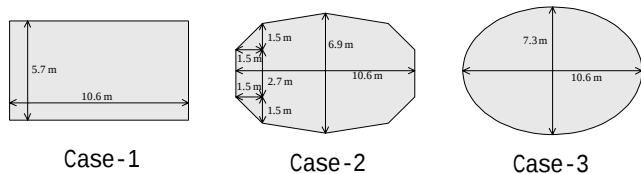
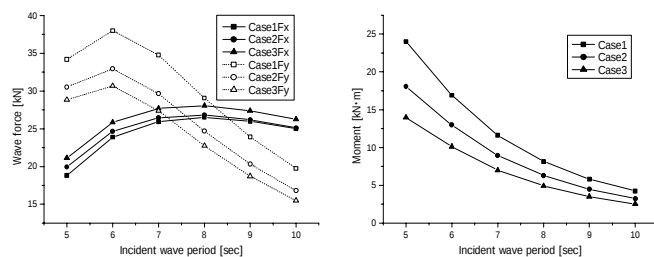


Fig. 2 断面形状の比較



(a)水平力・鉛直力 (b)回転モーメント

Fig. 3 作用波力の評価

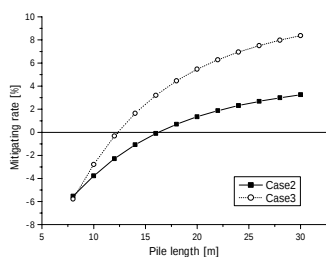


Fig. 4 軸方向力の低減率と杭長の関係

(2) 軸方向力の低減対策

水平方向力と回転モーメントの位相差はおよそ 180° のため、水平方向力の増加を抑えながら回転モーメントを増加させるような対策が有効と考え、Fig.5 のような対策を施して軸方向力の低減を図った。Fig.4 と同様、基本断面に対する軸方向力の低減率と杭長の間を Fig.6 に示す。この図から明らかなように、Case-4 を採用すると杭長がかなり大きくなる範囲まで軸方向力の低減効果が見られ、楕円形状を採用するよりも、回転モーメントを増加させて軸方向力の抑制を図る方が有効であることが判明した。なお、Fig.4 ならびに Fig.6 には、周期 5.0 秒のケースしか示していないが、周期が長い場合でも同様の結果が得られている。

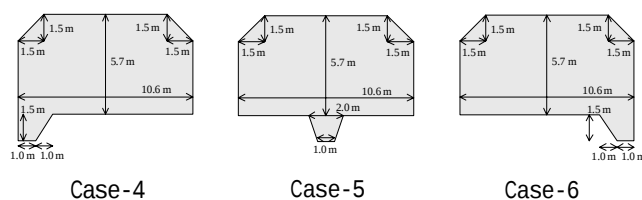


Fig. 5 低減対策工

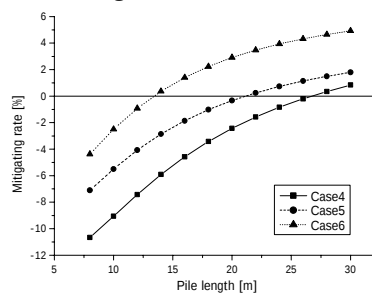


Fig.6 軸方向力の低減率と杭長の関係

5. 考察とまとめ

海中に完全没水した構造物を杭で支持する場合、楕円形状などの採用による鉛直方向成分や回転モーメント成分の波力低減が必ずしも適切ではなく、むしろ杭の軸方向力にとっては悪い影響をもたらすことが明らかとなった。

このような構造物の経済設計を行うには、波力の位相差を活かして回転モーメントによる軸方向力の抑制を図るなどの工夫が考えられる。

今後は、今回解析的な手法で求められた結果を実験等と比較・検証することにより、浅海域における完全没水型海中固定構造物の設計の一助となるよう研究を進めたい。

参考文献

- 1) 三倉寛明, 蟹江俊仁, 三上隆, 佐藤太裕: 完全没水型海中固定構造物に作用する鉛直方向力の断面形状による低減効果について, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 60 号, pp84-85, 2004