

重力着定式氷海構造物の地震時安定性に及ぼす氷の影響

山口大学工学部 正会員 三浦勇紀 ○学生会員 平野勝志
日本鋼管 正会員 野沢逸男 正会員 榊 信昭

1. まえがき 重力着定式氷海構造物とは、北極海における油田のプラットフォームを想定したものである。冬季においては海上が凍結するため、当然その安定解析を行うにあつたては、構造物の周辺に存在する氷の影響を考えなければならない。そこで本研究では、2次元有限要素法を用いて構造物の地震時挙動および、滑動に対する安定性に及ぼす氷の影響に関して検討を行った。

2. 解析手法とモデル 構造物と地盤との間の滑動や剝離現象は、ここに修正ジョイント要素を配置することによって表現した。また、自由地盤の影響を考えると同時に、地盤の側方境界には粘性境界を用いて境界における振動エネルギーの吸収をはかった。運動方程式¹⁾は(1)式で与えられる。

$$[M]\{\ddot{X}\} + ([C] + [C_b] + [C_L] + [C_R])\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = \{f\} + ([C_L] + [G_{CL}])\{\dot{X}_L\} + ([C_R] + [G_{CR}])\{\dot{X}_R\} + [G_L]\{X_L\} + [G_R]\{X_R\} \quad (1)$$

- [M] ; 質量マトリックス, [K] ; 剛性マトリックス, [C] ; 減衰マトリックス
- [C_b] ; 底面粘性マトリックス
- [C_L], [C_R] ; 側方粘性マトリックス
- [G_L], [G_R] ; 側方境界剛性マトリックス
- [G_{CL}], [G_{CR}] ; 側方境界粘性マトリックス
- {X_L}, {X_R} ; 自由地盤の変位ベクトル
- {Ẋ_L}, {Ẋ_R} ; 自由地盤の速度ベクトル
- {f} ; 地震外力ベクトル

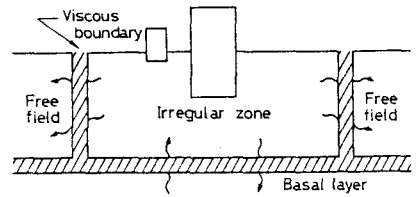


図1 地盤-構造物相互作用系

構造物本体はソリッド要素でモデル化する。その奥行きと底面の長さはそれぞれ、157.08m、200mでありこれは実際の構造物と底面積が等しくなるようにしたものである。本解析で採用した構造物の単位体積重量の値は、実際の構造物の総重量と解析モデルの総重量を同じとして、浮力を考慮して決定した。周辺海域の影響は、付加質量として評価し、解析モデルの中では集中質量としてこれを取り入れるようにした。構造物に対する減衰定数はh=0.02とした。また、ジョイント要素のばね定数は、K_n=7,200,000t/m²、K_s=1,200,000t/m²とした。氷は弾性体としてモデル化する。氷の物理定数は、温度、塩分、濃度などによって変化するが、ここでは温度-25°Cに対応する代表的な条件を設定した。氷の遠方境界については、水平方向のみ粘性境界とし、鉛直方向変位は固定とした。地盤の未凍土は深さ50mまで存在し、土質定数の異なる二層の地盤からなる。その境界は海底面から15mの深さにあるものとした。また深さ50mより下には凍土が存在するもの

とし未凍土との境界には4mの遷移域を考え、そこでの土質定数は未凍土と凍土の平均値を用いた。以上述べたモデルの材料定数と有限要素網を図-2に示す。

	単位体積重量 t/m ³	せん断波速度 m/s	減衰パラメータ	ポアソン比
構造物	0.310	3,200	0.00068	0.3
	0.056			
	0.300			
	0.682			
	0.877			
	1.068			
地盤	1.760	118.69	0.01591	0.497
	1.920	160.71		0.494
	1.920	1020.00		0.1
	1.728	1470.00		0.3

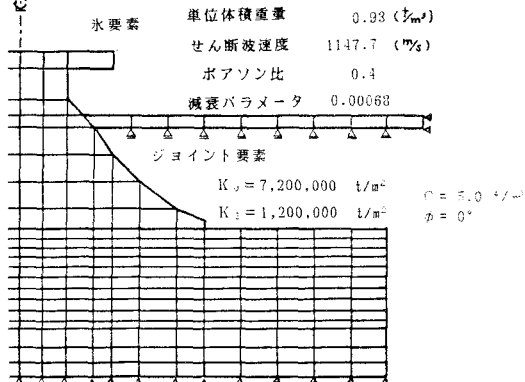


図-2 材料定数と有限要素網 (モデル1;氷要素なし モデル2;氷要素あり)

3. 解析結果と考察 図-3は、構造物底面における初期応力分である。ここでは氷は海上に浮いているものとし、それらの自重は構造物の初期応力分布には影響を及ぼさないものとした。また、入力地震波として、以下に示す3つの波を考え、入力波の違いによる系の応答に及ぼす入力地震波の周波数特性を検討する。なおそれぞれの波について、自由地盤の表面の最大加速度が100galになるようにDecompositionを行った。

- ①EI Centro NS 成分 (1945 Imperial Valley 地震)
- ②JPL S82E成分 (1971 San Fernando地震)
- ③八戸 EW 成分 (1968 十勝沖地震)

El centro波入力時についてモデル1とモデル2の結果を比較する。天端の応答は図-4を見るとわかるように、モデル2の方が小さくなっており滑動に対するT.S.F.も表-1より、モデル1が3.43に対してモデル2が4.15となり氷は滑動に対する安全率に対して安全側に作用することがわかる。

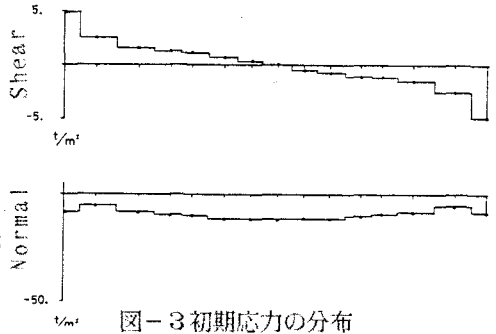
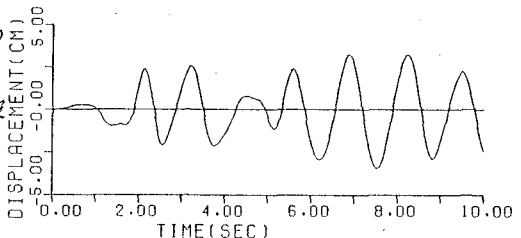


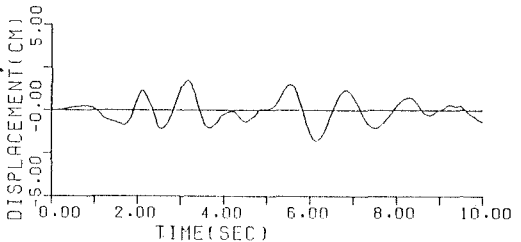
図-3 初期応力の分布

次に、卓越周期の異なる、他の2通りの地震波に対して同様の解析を行った結果について説明する。これら3成分の卓越周期波は、El Centoro波0.87秒、JPL波0.35秒、八戸波1.20秒であり、JPL波が最も短周期、八戸波が最も長周期、El Centro波はその中間にある。表-1より、JPL、八戸波いずれの波を入力した場合でも、El Centro波入力時同様、氷は構造物の滑動に対して安全側に作用することが分かる。また、入力波の違いによる安全率の大小がモデル2ではモデル1の場合とは逆になっている。



モデル1

これはJPL、八戸波の加速度が徐々に大きくなって最大値になるのに対して、El Centro波の場合それが小さい値から急に最大値になってしまうので、その結果、モデル2では構造物が氷と構造物の接点を軸として回転を起こし、安全率の値が小さくなってしまったと考えられる。



モデル2

図-4 天端の応答

次に、氷と構造物の間に配したジョイント要素の動的応力より、構造物の振動中に氷が破碎される可能性があるか否かの検討を行う。これは、氷が破碎されると構造物の応答が氷破碎前と異なってきて、氷のない場合、すなわちモデル1の応答に近づくことが考えられる。そう

なると、氷のある場合に比べ、応答量は大きくなり、滑動に対する安全率も低下する可能性が出てくるからである。氷の引張強度、およびせん断強度はそれぞれ20kg/cm²、2.5kg/cm²である。これらに対して、応答値より求めた最大引張応力および最大せん断応力を、

表-1 T.S.F.の最小値と最大応力

表-1に示す。最大応答量と強度を比較すると、引張方向せん断方向ともに El Centro波、JPL波八戸波のいずれの波を入力した場合にも、氷の応力がその強度を越えることなく、氷が破碎される可能性がないことがわかる。

	モデル1	モデル2	せん断応力	引張応力
El Centro	3.43	4.15	1.07kg/cm ²	0.37kg/cm ²
JPL	3.33	4.81	0.95	0.65
八戸	2.66	4.95	1.12	0.88

○参考文献 1) 岸下崇裕、三浦房紀；構造物の動的応答に及ぼす地盤との相互作用の影響、土木学会中国四国支部研究発表会研究概要集 1986