

## 氷海域における固定式海洋構造物の地震応答性状に関する研究

### Study on Earthquake Response Characteristics of Fixed Offshore Structures Closed by Ice Floes

○萩原悠太<sup>1</sup>, 北嶋圭二<sup>2</sup>, 中西三和<sup>2</sup>, 安達洋<sup>3</sup>

\*Yuta Hagiwara<sup>1</sup>, Keiji Kitajima<sup>2</sup>, Mitsukazu Nakanishi<sup>2</sup>, Hiromi Adachi<sup>3</sup>

Abstract: In this study, in order to grasp the influence of the ice floes which the fixed offshore structures closed by ice floes receives at the time of the earthquake, the seismic response analysis with the mass and strength of the ice floes as a parameter was performed.

#### 1. はじめに

現在、探鉱開発技術の発達により、北極圏においても膨大な量の石油が埋蔵されていることが発見されている。北極圏に石油掘削用構造物を設計する際には、冬季になると海水が形成されることから、流氷が構造物に衝突する際に作用する「氷荷重」や、氷盤に閉ざされた構造物の地震時における挙動を把握しなければならない。しかし、氷盤と構造物の地震時における相互作用に関しては、未だ明確にされていない点が多いのが現状である。本研究では、氷盤に閉ざされた固定式海洋構造物が地震時に受ける氷盤の影響を把握するために、氷盤の質量をパラメータとした地震応答解析を行う。さらに、氷盤の圧縮強度は歪速度に強く依存することから、氷盤の強度をパラメータとした地震応答解析を行う。

#### 2. 想定海域及び想定構造物

Table 1 に想定海域の海水の物性を示す。この海域に形成される氷盤は平坦氷であり、最大氷厚は 1 m とした。また、構造物と氷盤は完全に接触し、構造物を覆うものと仮定した。Fig.1 に想定する構造物の概念図を示す。本研究では、オホーツク海や北極海などの氷海域の沖合に建設される石油掘削用構造物を想定した鋼製多柱式構造物を対象とする。柱は高さ 60 m(喫水面:海底より 30 m)、直径 2.5 m の 4 本柱とし、プラットフォームは高さ 10 m、幅 25 m×25 m とした。

#### 3. 氷盤の復元力特性

氷盤の圧縮強度は歪速度に強く依存する。本研究では、既往の研究<sup>1)2)</sup>で行われた氷盤貫入試験の結果を元に氷盤の復元力特性をモデル化した。氷の強度が高い場合の復元力特性モデルを Fig.2(a)、氷の強度が低い場合の復元力特性モデルを Fig.2(b)に示す。除荷時の剛性は初期剛性と同じものとし、過去に経験した最大の残留変形点までスリップするモデルである。

#### 4. 地震応答解析

氷盤に閉ざされた固定式海洋構造物の地震時の挙動

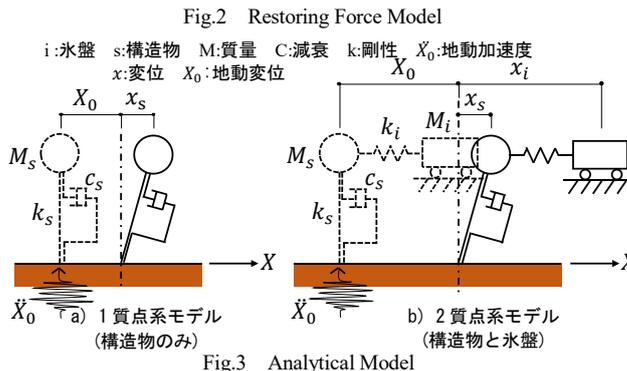
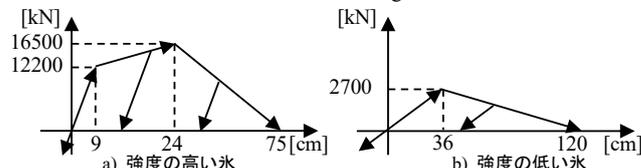
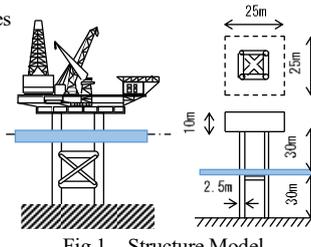
を明らかにするために、構造物を 1 つの質点、氷盤を 1 つの質点とした 2 質点系モデルにより、氷盤の質量、強度をパラメータとした応答解析を行う。

#### 4.1 解析諸元

氷盤に閉ざされていない場合(構造物のみ: CaseA)と、強度の高い氷盤に閉ざされている場合(CaseB)、強度の低い氷盤に閉ざされている場合(CaseC)を対象に応答解析を行う。構造物を覆う氷盤は 50 m×50 m のもの(CaseB-1, CaseC-1)、100 m×100 m のもの(CaseB-2, CaseC-2)、200 m×200 m のもの(CaseB-3, CaseC-3)とした。氷厚は 1 m とした。Fig.3(a)に CaseA(構造物のみ)の 1 質点系モデルを、Fig.3(b)に CaseB, C(構造物と氷盤)の 2 質点系モデルを示す。本研究では、氷盤が構造物に与える影響のみを把握することを目的としたため、海水による付加質量、抗力は考慮しない。Table 2, 3, 4 に解析諸元を示す。

Table 1 Ice Physical Property Values

氷厚 [mm]	1000	
水中塩分濃度 [%]	3	
水温 [°C]	-10	
応力度 [N/mm <sup>2</sup> ]	圧縮	3
	曲げ	0.6
	せん断	1
	付着	5.3
ヤング率 [N/mm <sup>2</sup> ]	1000	
ポアソン比	0.3	



1 : 日大理工・院(前)・海建 2 : 日大理工・教員・海建 3 : 日大・名誉教授

5. 解析結果

Table 5 に解析結果の最大応答値を示す。最大氷荷重は構造物と氷盤の相対変位(貫入量)に氷盤の剛性を乗じて求めた。Fig.4, 5, 6, に各ケースの構造物の応答加速度と応答変位を時刻歴波形で示す。

5.1 氷盤の有無による比較

強度の高い氷盤に閉ざされている CaseB-2 では、氷盤無しの CaseA に比べ、構造物に作用する最大応答せん断力が上回っている。氷盤の有無が構造物の応答に大きな影響を及ぼすことがわかる。

5.2 氷盤の質量の違いによる比較

CaseB では CaseB-2, CaseC では CaseC-1 が構造物の最大応答せん断力を示していることから、構造物に与える氷盤の影響は、取りつく氷の大きさではなく、氷盤を質点とした構造物全体の固有周期の影響が大きいと考える。

5.3 氷盤の強度による違い

氷盤の強度が異なる CaseB と CaseC では、最大氷荷

重に大きな差があり、構造物に与える影響も大きく異なる。また、CaseC に関しては、氷盤無しの CaseA の最大応答せん断力を上回ることがなかったことから、氷盤が構造物に与える影響は、必ずしも構造物に対して危険側の応答を示すとは限らないことがわかった。

6. まとめ

以上、得られた知見を以下にまとめる。

- ・強度の高い氷盤に閉ざされた構造物が地震動を受けるとき、構造物の応答が危険側になることがわかった。
- ・氷盤の質量が異なる場合、氷盤の大きさではなく、氷盤を質点とした構造物全体としての固有周期が応答に影響を及ぼすことが考えられる。
- ・氷盤の強度が異なる場合、最大氷荷重が大きく異なり、氷盤が構造物に与える影響は、必ずしも危険側になるとは限らないことがわかった。

【参考文献】

- 1)瀧山洋平:氷海域における海洋構造物と氷盤の相互作用に関する研究, 日本大学大学院理工学研究科修士論文, 2010
- 2)末武紘一:氷海域における海洋構造物に作用する氷荷重に関する実験的研究, 日本大学大学院理工学研究科修士論文, 2017

Table2 The Properties of Structure

	構造物のみ CaseA
構造物質量[ton]	2000
構造物剛性[kN/cm]	820
減衰定数	0.02
固有周期[sec]	0.98

Table3 The Properties of Ice

氷盤	CaseB-1 50m×50m	CaseB-2 100m×100m	CaseB-3 200m×200m	CaseC-1 50m×50m	CaseC-2 100m×100m	CaseC-3 200m×200m	
氷盤質量[ton]	2500	10000	40000	2500	10000	40000	
氷盤初期剛性[kN/cm]	1356			75			
固有周期	1次	1.62	2.89	5.61	3.80	7.59	15.16
	2次	0.52	0.58	0.60	0.94	0.94	0.94

Table4 The Properties of Seismic Wave

入力地震波	El-Centro (N-S)
最大加速度[gal]	342
継続時間[sec]	53.7
時間刻み[sec]	0.02

Table5 Maximum Response Value

	CaseA	CaseB-1 50m×50m	CaseB-2 100m×100m	CaseB-3 200m×200m	CaseC-1 50m×50m	CaseC-2 100m×100m	CaseC-3 200m×200m
構造物加速度[gal]	685	353	731	316	389	286	230
構造物変位(x <sub>s</sub> )[cm]	16.7	14.6	20.4	17.0	9.6	5.9	4.9
氷の最大貫入量[cm]		5.9	21.5	15.0	24.3	28.9	40.0
最大氷荷重[MN]		7.9	15.8	13.9	1.8	2.2	2.7
構造物せん断力[MN]	13.7	12.0	16.7	14.0	7.9	4.9	4.0

