

氷海構造物基礎地盤の地震時挙動に及ぼす氷荷重の影響

山口大学大学院	学生員	○河本好広
山口大学工学部	正会員	兵動正幸 吉本憲正
復建調査設計(株)	正会員	藤井照久
五洋建設(株)	正会員	福田賢二郎
NKK	正会員	山内豊 亀崎一彦

1.まえがき 陸域、海域における巨大油田が発見し尽くされた現状においては、厳しい環境下にある氷海域での開発を行わざるを得なくなってくる。氷海域には地震地帯と重合する海域もあるが、氷海域において地震が海洋構造物に及ぼす影響に関するデータはほとんどなく、地震時に構造物と基礎地盤が如何なる挙動をとるか十分に解明されていない。そこで、本研究では地震時の氷海における環境の中で最も危険な条件と考えられる移動氷盤による氷荷重と地震外力を同時に作用させ、地震時の氷海構造物と基礎地盤の挙動を把握することを目的とした。

2.オンライン地震応答実験の概要 本研究においては海洋構造物基礎地盤の挙動を正確に表現するために、オンライン地震応答実験を行った。その原理を図-1に示す。また、実験システムのアルゴリズムは以下に示す通りである。まず、解析対象地盤を質点系にモデル化し、基礎面から地震動を入力する。そして、コンピュータにより質点系の運動方程式を解き、各質点の応答変位を求める。次に得られた変位に相当するせん断ひずみをコンピュータ制御により供試体に与え、その時自動計測された復元力を用いて次のステップの応答変位を計算する。この過程を地震動が継続する間繰り返す。この方法によれば複雑な土の構成式に頼らずに、土の実際の挙動を評価した地震応答解析が可能になる。

3.実験条件 本研究では、図-2に示すような重力式構造物および基礎地盤を解析対象に、1次元の集中質量モデルで表した(m1~m8)。変形が大きいと予想される構造物直下の S4~S6 層をオンライン層として直接せん断試験を行い、その他の層は修正 R-Oモデルを適用してオンライン地震応答実験を行った。このようなモデルに対し、移動氷盤による氷荷重を構造物の最上部の質点から、地震力を基礎からそれぞれ入力を行った。加振中は、重力式構造物による揺り込み沈下を想定し、オンライン層を非排水状態で鉛直変形および側方変形の両方を許容するシェイクダウンモードとした(図-3)。入力地震動はレベル 2 地震動を想定して、兵庫県南部地震において SMAC 強震計で観測された最大加速度 $\alpha_{max}=570Gal$ の波形(以後 Smac570 と示す)を用いた。氷荷重は、移動氷盤(厚さ 2m)の貫入速度を 1.0m/sec とし、地震時を想定して作製した加速度波形を作用させた。なお、地震動(主要動部分)および氷荷重の継続時間は 10 秒とした。また、試料は砂地盤を想定して豊浦標準砂を用い、水中落下法により直径 6cm、高さ 4cm の供試体を相対密度 $D_r=60\%$ で作製した。

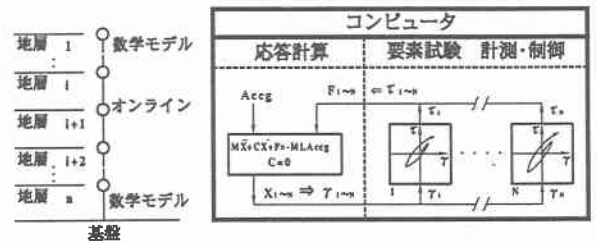


図-1 オンライン地震応答実験手法の概念図

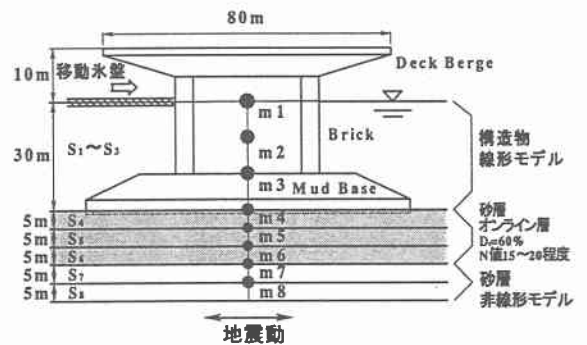


図-2 実験対象モデル図

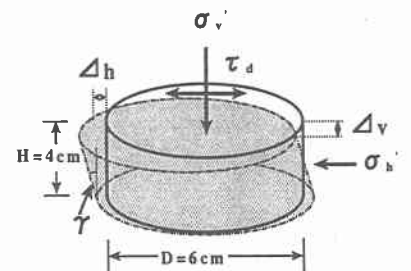


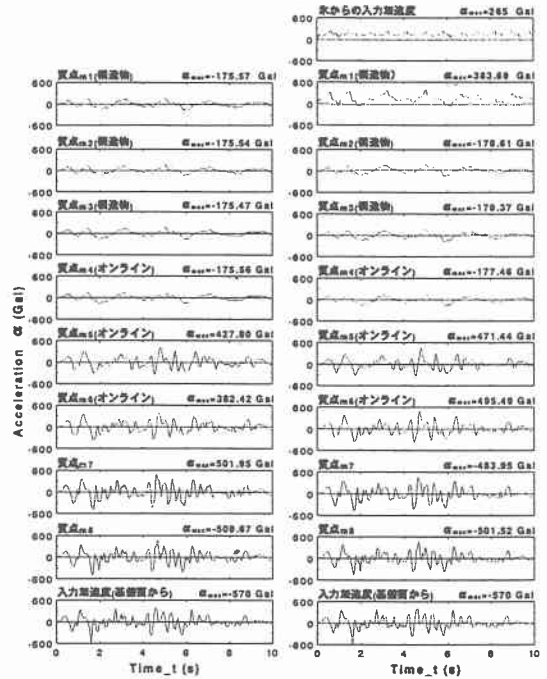
図-3 シェイクダウンモードにおける供試体の状態

4.結果および考察 (a)に氷荷重を作用させない場合(地震外力のみを作用)、(b)に氷荷重を作用させた場合(地震外力と氷荷重を同時に作用)の実験結果を示す。図-4は、入力加速度と各質点の応答加速度の時刻歴である。氷荷重の入力を行った質点 m1 においては、氷荷重の影響によりその作用方向に短周期的な応答が見られるが、その他の質点では氷荷重の有無にかかわらず応答の傾向は類似しており、質点 m5 から m4 にかけて振幅が著しく減衰している。また、質点 m6 より上部の質点においては氷荷重の影響を受けて最大加速度は大きくなっているのが読み取れる。図-5、図-6 はせん断応力比-せん断ひずみ関係、せん断応力比-鉛直ひずみ関係を示している。ここでは、応答加速度で著しく違いの見た質点 m4 と m5 の間の層である S4 層における関係を示した。図-5 より、双方における振幅の大きさはほぼ同じであるにもかかわらず、氷荷重が作用することによってせん断応力比がその作用方向(正の方向)に大きくなっている。また、氷荷重が作用しない場合においてはせん断ひずみが両方向に対称に生じているのに対し、氷荷重が作用するとその作用方向にせん断ひずみが増大しているのが見て取れる。

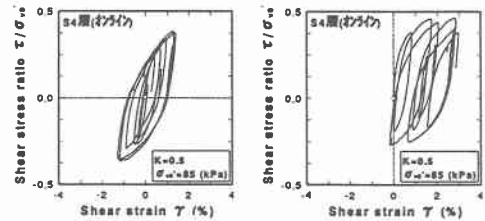
このように、氷荷重が作用するとせん断ひずみが大きく生じる理由は、構造物直下の S4 層では氷荷重の作用による構造物の慣性力の影響を直接受けているためと考えられる。図-6 より、シェイクダウンモードでは終始一定の軸差応力が作用しているために双方とも鉛直ひずみが徐々に蓄積されていき、残留鉛直ひずみが生じている。氷荷重の有無で比較すると、氷荷重の作用によって鉛直ひずみがより大きく発生しているが、これはせん断応力比が一定の方向に大きく現われているためと考えられる。図-7 は水平応答変位の時刻歴を示したものであるが、縦軸は氷荷重の作用方向を正の方向としている。この図より、上方の質点ほど氷荷重の有無による差がうかがえ、残留水平応答変位は氷荷重が作用しない場合は約 2cm であるのに対し氷荷重が作用するとその作用方向に約 21cm 生じており、氷荷重の影響が大きいといえる。

5.あとなぎ 本研究では氷荷重の有無による基礎地盤の挙動を比較したが、その結果より氷荷重が作用することで各ひずみ、変位は大きく生じ、残留変形が大きいことが認められた。

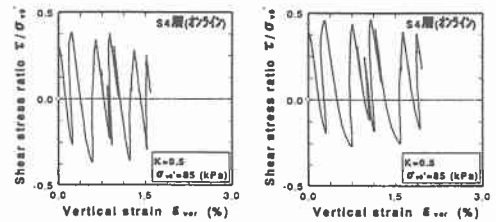
- 【参考文献】1)日下部, 森尾, 有本: オンライン地震応答実験による2層系砂地盤の液化化挙動, 土質工学論文報告集, 1990
 2) 日下部, 森尾, 岡林, 藤井, 兵動: 簡易単純せん断試験機装置の試作と種々の液化化試験への適用, 土木学会論文集, 1999
 3) Kamesaki, K. Yamaguchi, Y. and Karna, T.: "Ice force as a function of structural compliance" Proceedings of the 13th IAHR Ice Symp., Beijing



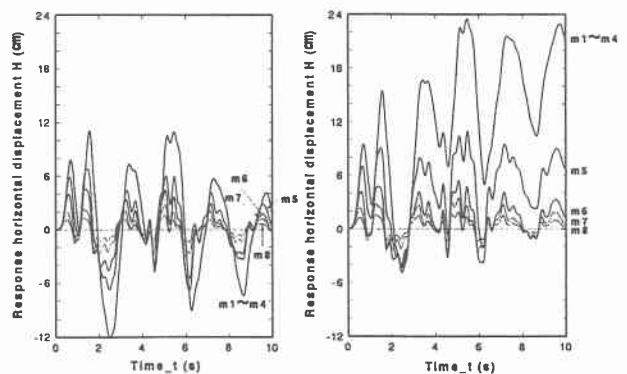
(a)氷荷重なし (b)氷荷重あり
 図-4 応答加速度の時刻歴



(a)氷荷重なし (b)氷荷重あり
 図-5 せん断応力比-せん断ひずみ関係



(a)氷荷重なし (b)氷荷重あり
 図-6 せん断応力比-鉛直ひずみ関係



(a)氷荷重なし (b)氷荷重あり
 図-7 水平応答変位の時刻歴