

オンライン動的応答実験による氷海構造物基礎地盤の挙動

山口大学大学院 学 河本 好広 ○木村 真也
 山口大学工学部 正 兵動 正幸 吉本 憲正
 NKK(株) 正 亀崎 一彦 長山 秀昭

1. まえがき 現在陸域及び海域における主要な石油生産が頭打ちとなり、涸渇化が予測されることから、氷海域における油田開発が計画されている。我が国の近隣では、サハリン周辺海域における石油・天然ガスの開発が有望視されている。このサハリン周辺海域は一年の約 1/3 を氷で閉ざされているうえ、地震地帯に位置しているため、石油掘削の際に建設される海洋構造物の設計条件として、氷と地震の影響を考慮しなくてはならない。しかし、このような複数の外力が同時に作用するような状況での設計条件は未だ確立されていない現状にある。そこで、本研究では氷海域における海洋構造物基礎地盤の地震時挙動の把握を目的とし、地震力および氷荷重を作用させたオンライン動的応答実験を行った。

2. オンライン動的応答実験の概念 オンライン動的応答実験は、コンピュータにより応答計算と変位制御の室内要素実験をオンラインで結合し、地震時の挙動を再現するものである。図-1 はオンライン動的応答実験の概念図であり、以下にそのアルゴリズムを示す。

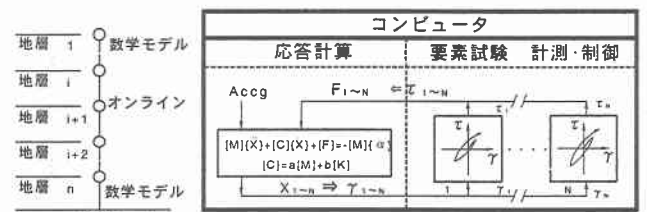


図-1 オンライン動的応答実験の概念

まず、解析対象地盤を質点系にモデル化し、基盤面より地震動を入力する。そしてコンピュータにより振動方程式を解くことで各質点の応答変位を求め、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る。そのとき自動計測されたせん断応力を復元力として次のステップに使い、応答変位を求める。この過程を地震動が継続する間繰り返す。この手法では、時々刻々と変化する地盤の非線形な復元力を要素試験の供試体から直接求め、オンラインで解析に結びつけることで地盤の地震時挙動をシミュレートすることができる。

3. 解析対象モデル及び実験条件 本研究の解析対象モデルを図-2 に示す。本研究では重力式海洋構造物及び基礎地盤を集中質量法により 1 次元 12 質点系にモデル化した。このうち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 モデルによる数学モデルとしてオンライン動的応答実験を行った。地震力は基盤面、氷荷重は構造物の最上部の質点より入力した。入力地震動には、兵庫県南部地震の際に神戸ポートアイランドにおいて観測された最大加速度 $\alpha_{max}=570Gal$ （不規則波）と、規則波として構造物の固有周期をもとに作成した周期 0.71Hz、最大加速度 $\alpha_{max}=100Gal$ 、及び 200Gal の正弦波をそれぞれ用いた。氷荷重は山内・亀崎ら²⁾により開発された氷荷重推定プログラムを用い、地震時に層厚 2m の移動氷盤が貫入速度 1.0m/sec で構造物に作用した場合を想定して作成した。また、要素試験の試料としては相馬硅砂を用い、直径 6cm、高さ 4cm の円柱形供試体を相対密度 $D_r=60\%$ を目標に水中落下法で作製した。加振中の変形モードは非排水状態、つまり体積一定条件下で鉛直変形及び側方変形の両変形を許容する図-3 に示すような変形モード（以下シェイクダウンモードと称す）で行った。

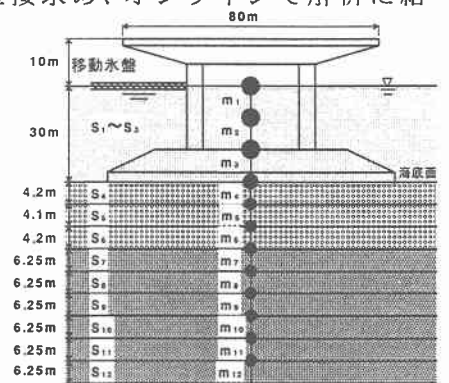


図-2 解析対象モデル

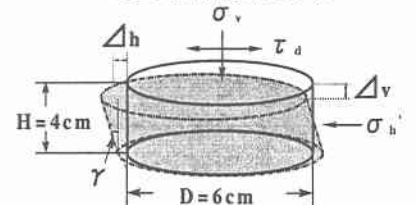


図-3 供試体の変形モード

4. 結果及び考察 図-4 は入力加速度及び各質点で得られた応答加速度の時刻歴を示すものである。

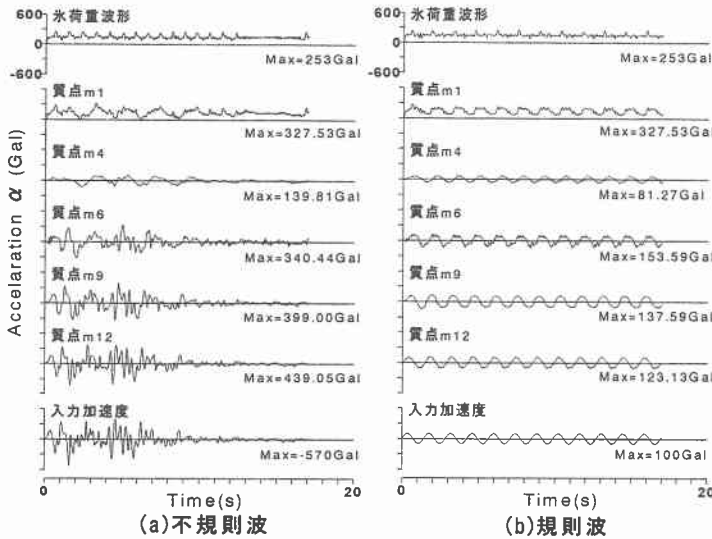


図-4 入力加速度及び応答加速度

図(a)、(b)のに示す不規則波及び規則波の入力とも最上部の質点 m1 では氷荷重の影響を直接受けるために応答に短周期成分が含まれ、氷荷重が作用する方向にシフトしていることがわかる。また、基礎

地盤部分(m12)から構造物部分(m1)にかけて応答加速度が減衰して長周期化していることが認められる。図-5、6にもっとも大きな変形が認められた構造物直下 S4 層におけるせん断応力比-せん断ひずみ関係、及びせん断応力比-鉛直ひずみ関係を示す。なお、せん断応力比は初期有効鉛直応力で正規化したものである。図-5 においては両者ともに非線形挙動を示したループが描かれており、氷荷重の作用方向にひずみが残留する様子が認められる。図-6 に関しては、不規則波では5%付近でひずみが収束しているのに対し、規則波ではさらに増加する傾向にある。また、図-7 には基礎地盤最上部の質点 m4 における応答水平変位の時刻歴を示す。応答水平変位は氷荷重の作用方向に残留しており、氷荷重の影響を受けているのを見て取れる。不規則波においては10秒あたりで30cm程度まで発生し、その後変位の増加が見られないのに対し、規則波においてはさらに変位が増加する傾向が認められる。図-8 に、加速度振幅 100Gal 及び 200Gal の規則波入力実験により得られた質点 m4 における最大水平変位をプロットし直線で結んだものを示す。図中の2重丸は不規則波入力による質点 m4 で得られた最大水平変位を直線上にプロットしたものである。これにより、規則波においては正弦波 100Gal のものでもレベルII地震相当の残留変位が生じていることがわかる。

5. 結論 本研究における不規則波、規則波の入力に対する比較により、加速度振幅の大きい波が全体として少ない不規則波に比べて、一定振幅が繰返し作用する規則波の方がより大きな残留変形が発生することが明らかとなった。このことより、正弦波的な波形で継続時間の長い地震波の作用に対し、ダメージが大きくなることが推察される。

【参考文献】 1)日下部伸,森尾敏,有本勝二:オンライン地震応答実験による2層系砂地盤の液状化挙動,土質工学論文報告集,vol.30,No.3,pp174-184,1990 2)山内豊・亀崎一彦:構造物に作用する氷荷重と地震力の相互作用-その2,第16回寒地技術シンポジウム論文報告集,2000 3)田中邦安・関口秀雄:飽和砂の非排水繰返しせん断における鉛直ひずみの累積,第31回地盤工学会研究発表会,pp.1015-1016,1996

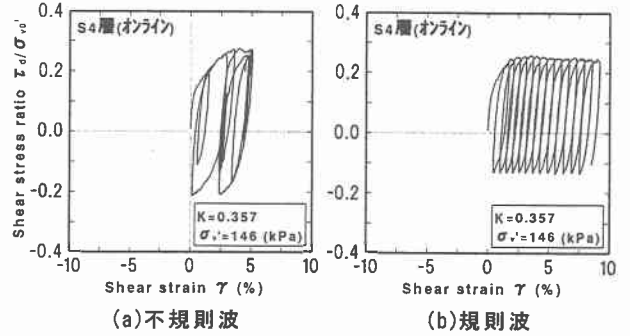


図-5 せん断応力比-せん断ひずみ

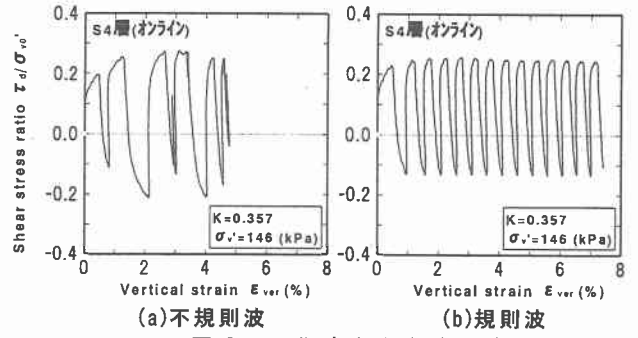


図-6 せん断応力比-鉛直ひずみ

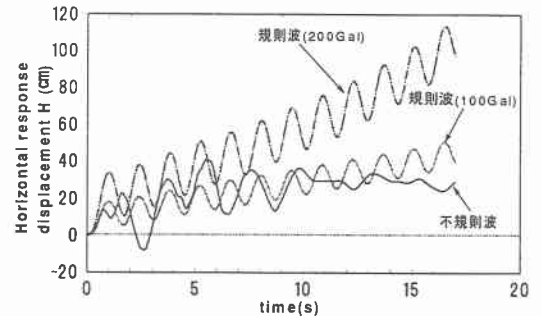


図-7 応答水平変位の時刻歴

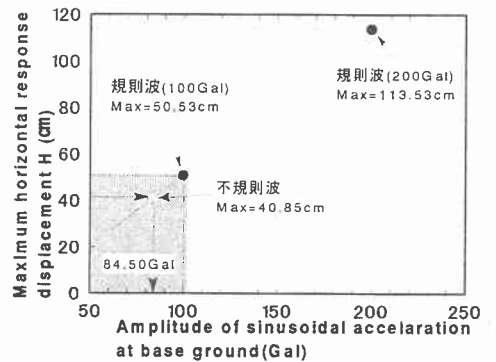


図-8 最大応答水平変位と入力加速度波形の関係