

運輸省港湾技術研究所 正会員 清 官 理

同 上 正会員 横 田 弘

まえがき 砂質地盤内に埋設された海底パイプラインの周辺地盤が激しい地震等による繰返し荷重によって液状化する可能性が皆無であると言えない。パイプの見掛け上の単位体積重量は、液状化した周辺地盤の単位体積重量よりも通常小さいので、パイプは液状化時に浮上る。海底パイプラインがほぼ一様に浮上れば、パイプに生じる応力度は小さいと推定される。しかし海底パイプラインの一部が拘束されていたり、周辺の砂質地盤で水平方向に部分的に液状化する場合等には、パイプライン軸に沿ってパイプの浮上り量が場所毎に異なり、パイプに大きな応力度が生じる¹⁾。埋設深さ、パイプの諸元等の条件によっては、パイプに降伏応力度を超える応力度が生じる時もある。じん性の良いパイプでは、降伏応力度を若干超えても直ちにパイプの破断に至らないが、塑性変形の生じたパイプの海底での修理、再埋戻し等は、技術的な困難や高額の費用が伴うと予想される。本報告では、パイプの重量増加の方法及び浮上り防止杭の方法によってパイプに生じる応力度をどの程度低減できるか、有限要素法による数値計算によって検討を行ったので、この計算結果について述べる。

パイプと地盤のモデル化 パイプと地盤の計算モデル化の概要を図-1に示す。パイプを梁部材、周辺の地盤（液状化地盤と非液状化地盤）をばね部材とに離散化した計算モデルを作成する。考慮する荷重は、パイプ内の液体重量、パイプ重量、パイプに作用する浮力及び地盤反力である。ただし地震等によるパイプや周辺地盤の振動及び液状化地盤内での過剰間隙水圧の分布については考慮しておらず静的問題として取扱う。梁部材での曲げモーメントと曲率との非線型関係を図-2に示す。ここで M_y は最大弾性曲げモーメント、 M_r は塑性曲げモーメントである。液状化地盤中のパイプには、パイプの重量と浮力との差による上向き力が作用する。その後、海底地盤面にパイプが露出した場合には、パイプの重量と海水による浮力の差の下向きの力が作用する。液状化地盤のモデル化を図-3に示す。非液状化地盤では、パイプが上向きあるいは下向きに変位する時、変位量に比例する地盤反力を受けると考え、そのばね定数を横方向地盤反力係数 ($K_h = 0.15 N$, $N: N$ 値) より設定する。地盤反力の上限値 (q_{max}) は、 $q_{max} = c + \gamma' H F_g^{2)}$ より設定する。ここで C : 地盤の粘着力、 γ' : 地盤の単位体積重量、 H : 土被り厚さである。非液状化地盤のモデル化を図-4に示す。

計算条件 図-1に示すように海底パイプラインが液状化地盤内に浮上る状況を設定する。海底パイプラインの埋設深さは、4 m、パイプの種類は42 Bと設定する。パイプの外径は、1066.8 mm、肉厚12.61 mm、材質はAPI規格の5LX-X52である。したがって M_y は437 tf・m ($\sigma_y = 3660 \text{ kgf/cm}^2$)、 M_r は563 tf・mである。ただし、液状化地盤と非液状化地盤の境界付近での地盤の強度低下については、今回の計算では考慮していない。

計算結果 図-5に対策を施していない時のパイプラインに生じる曲げモーメントの分布を示す。最大曲げモーメントは、476 tf・mで液状化地盤と非液状化地盤の境界付近に生じている。この箇所でのパイプに生じている応力度は、降伏応力度を超えている。またパイプに生じる最大ひずみ量は、0.25%である。図-6にパイプのコーティング厚さを厚くする等の方法でパイプの重量を増した場合の増加重量（水中重量）と最大曲げモーメントとの関係を示す。重量の増加に伴い、最大曲げモーメントは減少する。この計算例では約0.25 tf/mの重量を増加した場合、パイプに与えられる最大曲げモーメントは、最大弾性曲げモーメント以下となった。図-7に液状化地盤中に門型の浮上り防止杭を設置した場合のパイプラインの変位の分布を示す。防止杭は、液状化地盤と非液状化地盤との境界より20 m液状化地盤内に入った箇所に設置されている。パイプは、液状化中に1 m浮上り、そこで杭上部の梁と接触してそれ以上浮上らないと仮定する。すなわち、パイプラインの浮上りによる曲率を防止杭によって緩和することになる。この計算例での最大曲げモーメントは、375 tf・mで最大弾性曲げモーメント

より小さい値である。以上の2方法によってパイプに生じる応力度を有効に低減できることが明らかとなった。

あとがき 海底パイプラインの液状化対策は、上記以外にも何種類か考えられる。パイプが液状化時に浮上らない工法の採用、あるいは浮上った後の修理等の対策をも含めて今後検討を行う必要があろう。低い工費でかつ適切に海底パイプラインの安全性を保持できる工法の開発が望まれる。なお、運輸省港湾技術研究所、小林正樹土性研究室長の開発した有限要素法プログラムを今回の計算に利用させていただいた。ここに感謝の意を表します。

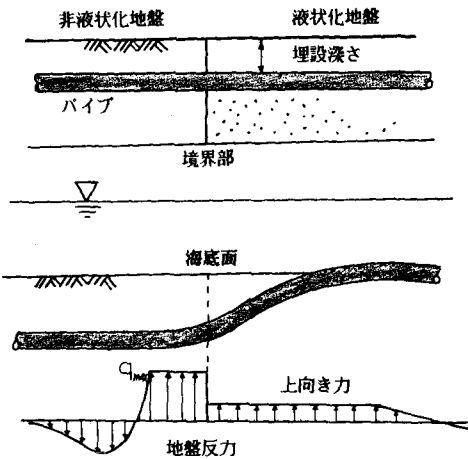


図-1 計算モデルの概略

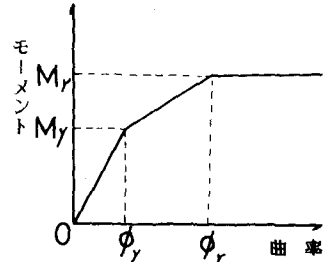


図-2 梁部材でのモーメントと曲率との関係

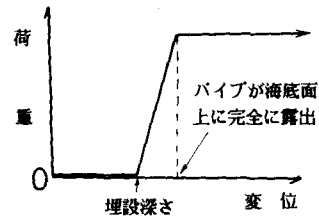


図-3 液状化地盤でのばねのモデル化

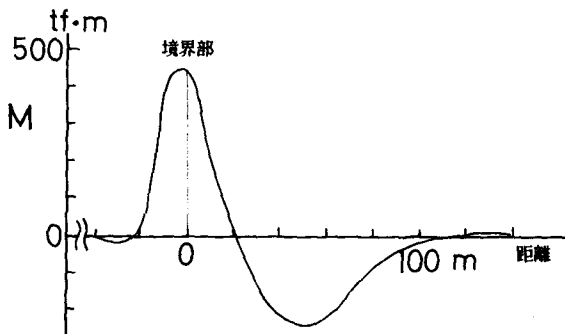


図-5 曲げモーメントの分布

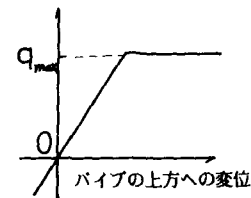


図-4 非液状化地盤でのばねのモデル化

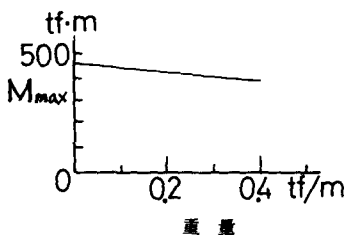


図-6 最大曲げモーメントと重量との関係

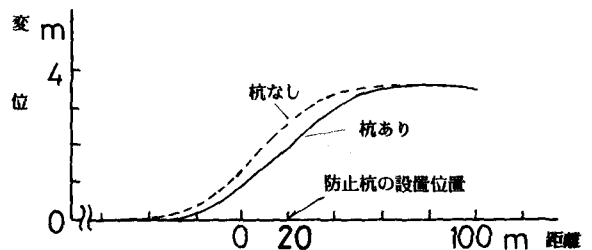


図-7 パイプラインの変形状況

参考文献

- (1) 南兼一郎、清宮理、土田肇：液状化が海底パイプラインの応力度に及ぼす影響、港湾技研資料 No.441, 1983年3月, 27p. , (2) Aleksander S. Vesic : Breakout Resistance of Objects Embedded in Ocean Bottom, ASCE SM9, Sept., 1971, pp.1183~1205.