

断層を横切る海底パイプラインの耐震性の検討

早稲田大学理工学部 学生員 東 宏城
早稲田大学理工学部 フェロー 清宮 理

1. はじめに

現在、日本周辺では天然ガス輸送用の海底パイプラインが計画されている。日本近海の大陸棚にはいくつかの活断層が存在し、海底パイプラインがこれら断層を横切る箇所がある。地震発生時の断層の動きに対して海底パイプラインが安全でなければならない。トルコ・台湾等の地表では断層に対する安全性が指摘されている。本研究は、断層を横切る海底パイプラインの耐震性を材料非線型性を考慮した有限要素法により検討した。海底パイプラインを海底地盤上の梁と仮定し、縦ずれ断層と横ずれ断層の断層変位を強制変位としてパイプラインの断面力を評価したのでこの結果について報告する。

2. 断層変位の計算

図-1に海底パイプラインと断層の状況を示す。海底パイプラインは海底地盤上に静置される。断層は縦ずれ断層を想定した。縦ずれ断層の上下変位を対象とした地震は1964年新潟地震で、安芸⁽¹⁾の想定した長さ $L=100\text{km}$ 、幅 $B=20\text{km}$ 、食い違い量 $U=400\text{cm}$ 、傾き $\delta=70^\circ$ の断層面を想定した。この断層での各パラメータを基に計算された海底地盤の最大変位は 380cm であった。

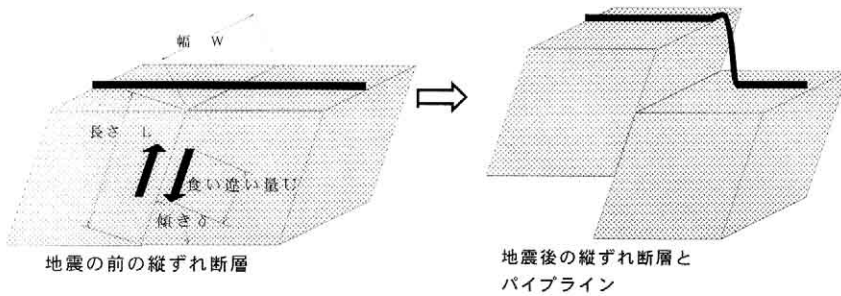


図-1. 地震前後の縦ずれ断層

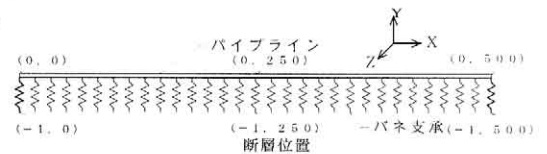


図-2 解析モデル図

3. 解析モデル

今回使用するパイプラインの解析モデルを図-2に示す。パイプラインの長さは、 500m とし中央に断層が存在する。パイプラインは節点数 501 、要素数 500 の2次元梁要素で置換し、各節点には地盤バネを鉛直と水平方向に取付けた。

海底パイプラインの鋼材の材質は、API5LX80で、口径 $=101.6\text{cm}$ 、ヤング率 $2.1 \times 10^7 \text{tf/m}^2$ 、降伏応力 $58.9 \times 10^6 \text{tf/m}^2$ とした。パイプラインの周りのコンクリート部分の厚さは 15cm とし、このコンクリートの強度はひび割れが既に入っているものとして強度は考慮せず重量のみを考慮した。コンクリートの水中単位体積重量は 1.3tf/m^3 とした。降伏モーメントは $861.4\text{tf}\cdot\text{m}$ 、塑性モーメントは $1117.9\text{tf}\cdot\text{m}$ である。地盤は、地盤のヤング率を標準貫入試験のN値より $E=28\text{N kgf/cm}^2$ (道示の式)より求めた。次に、パイプラインの地盤への埋設深さ(地盤との接触幅)を考慮して、鉛直方向地盤バネを求めた。また、地盤バネの降伏力は、パイプがパイプの半径だけ地盤に沈み込んだときの値を用いた。水平方向地盤バネは、鉛直方向地盤バネの $1/3$ の大きさとした。海底地盤のN値は1から40までの範囲を考えた。

以上のような条件で、強制変位量を地盤バネ端部に与えた。縦ずれ断層は鉛直方向の強制変位量を 4m まで、横ずれ断層は水平方向の強制変位量を 8m まで段階的に与えた。

キーワード：パイプライン、断層、材料非線形性、有限要素法、強制変位

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 51号館16F-01 TEL & FAX.03-5286-3852

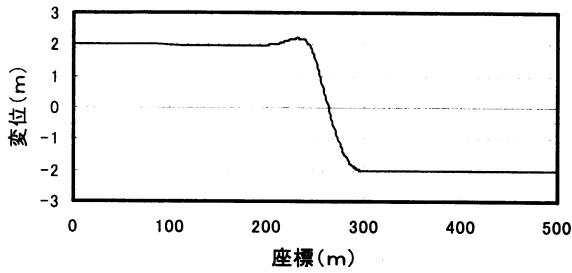


図-3 縦ずれ断層の変位分布図

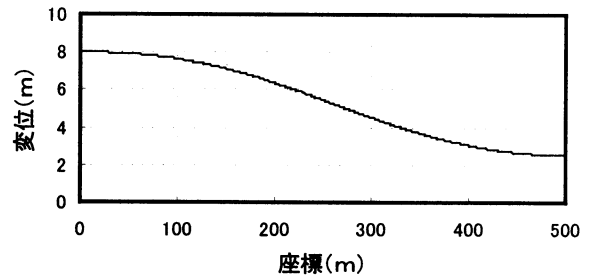


図-6 横ずれ断層の変位分布図

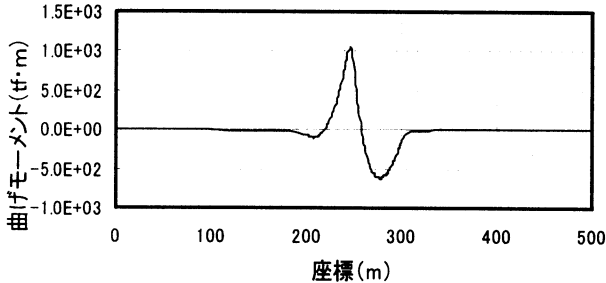


図-4 縦ずれ断層のモーメント分布図

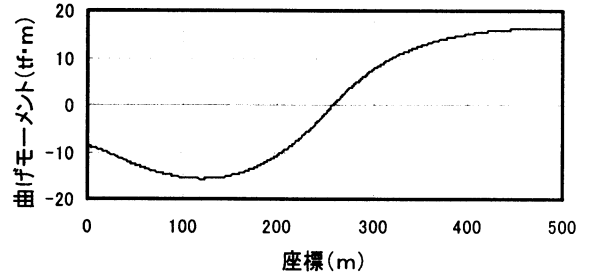


図-7 横ずれ断層のモーメント分布図

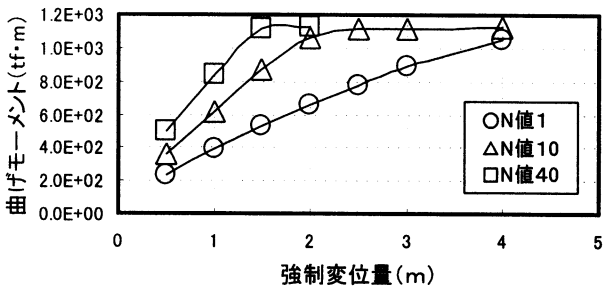


図-5 縦ずれ断層の最大曲げモーメント

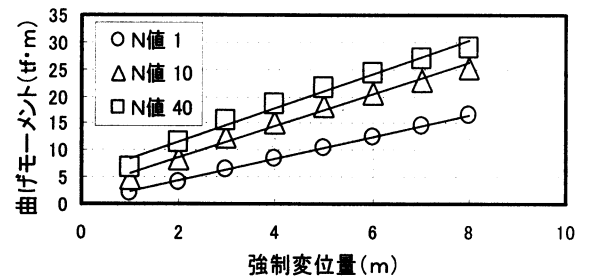


図-8 横ずれ断層の最大曲げモーメント

4. 解析結果

図-3にN値=1で鉛直方向に強制変位を4m与えたときのパイプラインの鉛直方向の変位図を示す。パイプラインは断層位置より30m位の範囲で海底地盤から離れて水中に浮いた状態となった。このときのパイプラインに計算された曲げモーメントの分布を図-4に示す。最大曲げモーメントが断層から10m位の位置に計算され、断層から30mも離れたとほとんど曲げモーメントは計算されなかった。図-5に縦ずれ断層の最大曲げモーメントとN値との関係を示す。N値が40と大きい場合は、強制変位量が1mのときに塑性モーメントに達し、N値が小さくなるに連れて最大曲げモーメントに達する強制変位量が大きくなった。図-6にN値=1で水平方向に強制変位8mを与えたときのパイプラインの水平方向の変位図を示す。パイプラインは、500mの区間全体でずれ動いている。このときパイプラインに計算された曲げモーメントの分布図を図-7に示す。最大曲げモーメントが断層位置より250m離れた部分で計算された。図-8に横ずれ断層の最大曲げモーメントと強制変位量との関係を示す。N値が大きいほど最大曲げモーメントが大きくなった。また、最大曲げモーメントは、降伏モーメントの1/30以下の値である。

5. 結論

解析の結果パイプラインの断面力は、海底地盤の硬さに依存する事が分かった。縦ずれ断層の場合、パイプラインはある程度の強制変位量により破壊に至った。また、パイプラインの断面力が大きくなるのは断層面から40m位の範囲であった。横ずれ断層の場合、パイプラインは破壊には至らなかった。また、パイプラインの断面力が大きくなるのは、断層位置より離れた部分であった。今後、パイプラインをSHELL要素に置換したモデルで、強制変位量を部材に与えた時のパイプラインの変形状況、局所的な座屈の発生の有無、合成応力等についても検討したい。

6. 参考文献

(1) 佐藤 良輔 ; 日本の地震断層パラメーター・ハンドブック, 鹿島出版会, 1989年