

早稲田大学理工学部 学生会員 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。本研究は、断層を横切る海底パイプラインの耐震性を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断層変位を強制変位としてパイプ材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。

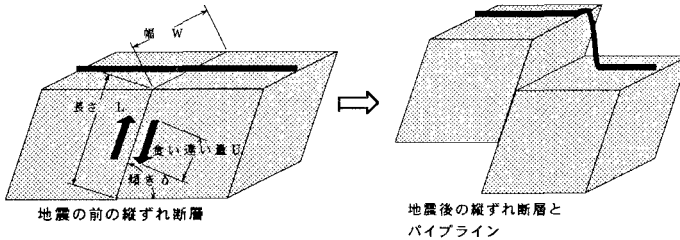


図-1. 地震前後の縦ずれ断層

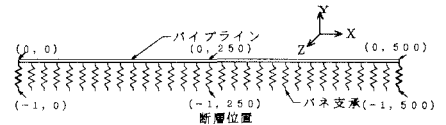


図-2 モデル図

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。パイプラインの端点は、Y軸方向のみ自由にした。

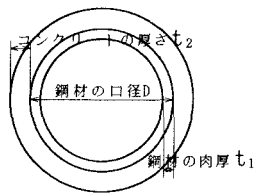


図-3 パイプ断面の形状

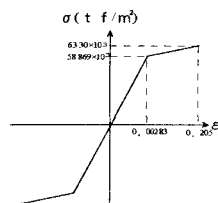


図-4 パイプの非線形性

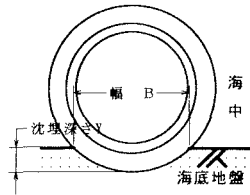


図-5 パイプの埋設状況

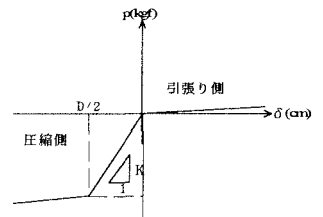


図-6 地盤の非線形性

図-3 にパイプ断面の形状を示す。パイプの周りのコンクリート部分の厚さ t_2 は、 15cm とした。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考慮した。コンクリートの水中単位体積重量 1.3tf/m^3 とした。鋼材の材質は、API 5L X80 で、図 4 に示すように応力をひずみ関係を設定しこの際、ヤング率は $2.1 \times 10^7\text{tf/m}^2$ 、ポアソン比 0.3、降伏応力 $58.869 \times 10^3\text{tf/m}^2$ とした。地盤

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

のヤング率は標準貫入試験のN値より $E=28N \text{ kgf/cm}^2$ (道示の式)より求めた。次に、図-5 に示すようにパイプ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。パイプと地盤バネの荷重と変位の関係を図-6に示す。

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。強制変位量は4mまで段階的に与えた。計算ケースを表-1に示す。パイプの直径は101.6cmと76.2cmとし、海底地盤を非常に柔らかい場合から硬い場合を想定して、N値を変化させて合計6ケースの計算を行った。

3 解析結果

図-7に強制変位を与えたときの直径101.6cmでN値=1のときのパイプラインの変形状況を示す。強制変位が4mのときパイプは断層位置より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-8に示す。N値が1のとき、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。N値が大きくなると最大曲げモーメントの計算される箇所は断層位置に近づく。

表-1 計算ケース

鋼材の口径 D (cm)	鋼材の肉厚 t_1 (cm)	降伏モーメント (tf·m)	塑性モーメント (tf·m)	N 値	パイプの埋設深さ Y (cm)	鉛直方向地盤バネ定数 (kgf/cm)	水平方向地盤バネ定数 (kgf/cm)
101.6	1.91	861.4	1117.9	1	1.07	1.5×10^3	0.5×10^3
				10	0.18	8.5×10^3	2.8×10^3
				40	0.07	2.5×10^4	8.4×10^3
76.2	1.91	464.0	620.7	1	0.93	1.3×10^3	4.4×10^2
				10	0.16	7.9×10^3	2.6×10^3
				40	0.06	2.2×10^4	7.4×10^3

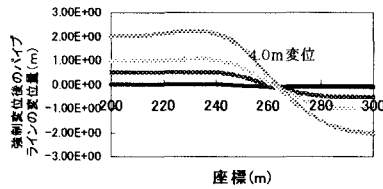


図-7 変位分布図

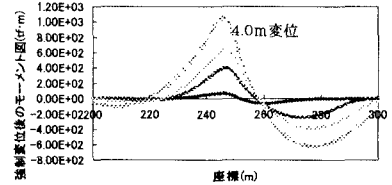


図-8 モーメント分布図

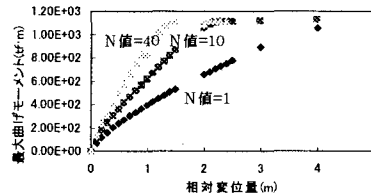


図-9 D=101.6cmの最大曲げモーメント図

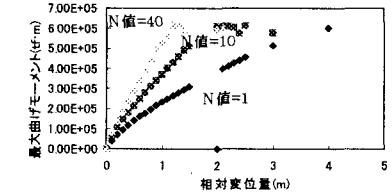


図-10 D=76.2cmの最大曲げモーメント図

図-9に直径101.6cmの

パイプの場合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-10には、直径76.2cmの場合の最大曲げモーメントと強制変位量との関係を示す。この場合も図-9と同様な計算結果となった。

4 結論

解析の結果、海底パイプラインの降伏モーメントに至るまでの強制変位量は、海底地盤の硬さに依存する事が分った。また、パイプ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。今後断層付近での海底パイプラインの断面力を低減する対策、他の荷重との組み合わせによる合成応力等について検討したい。

5. 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