

任友金属 正員 久光脩文

シ 坂本 傑

リ 正員 ○渡辺奉昭

1. 緒言

近年タンカーの大型化とともに、その接岸が困難となってきたため、石油精製各社の間では水際の深い沖合に機械造り、ここから海岸の精油所へ海底パイプラインで原油を送るという方式のとられることが多く方っている。この海底パイプラインをフロータ工法によって敷設する場合、自重などに起因する曲げモーメントを許容値以下にする必要がある。この報告はどのような作業方法によればパイプラインの鋼管が敷設中に破壊せず、また作業が簡単にかつ迅速に行ないうるか、電子計算機を用いて検討したものである。

2. 解法の説明

図一に示すごとくパイプラインは、海底面と接する点では水平となり、それより左側のパイプによって固定されると考え、またB点ではそれより右側の鋼管を接続するため外力を与えて、或る角度を保持させるものとする。このときにはA点において固定され、分布荷重および外力 $R_1, R_2, \dots, R_n, P_B, M_B$ が与えられて、B点で変位 h 及び回転角 θ を生じている片持梁であるというモデル化が行なえる。このモデル化されたパイプラインの解析は直接剛性法によるラーメン構成

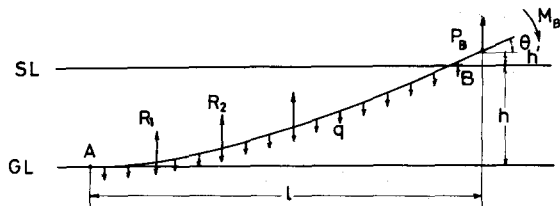
解析のプログラムを作成すれば容易に行なうことができる。

作成したプログラムの内容については省略する。

3. パイプラインの諸元

海底パイプライン敷設の検討を行なうのに用いた鋼管の諸元を表一に示す。敷設作業中の許容応力は 1400 kg/cm^2 にとり、許容曲げモーメントは $2.38 \times 10^6 \text{ kg cm}$ となる。また許容剪断応力は許容曲げ応力の $1/\sqrt{3}$ を考え、許容剪断力は $46 \times 10^4 \text{ kg}$ とした。波浪による影響を考慮する際の許容応力は 2100 kg/cm^2 にとり、許容曲げモーメントを $3.57 \times 10^6 \text{ kg cm}$ とした。

海面より海底面までの距離は 9.5 m 、海面より敷設船の甲板までの高さは 1.5 m 、またパイプラインは敷設船の位置で 5.5° の傾斜をなすものとした。



図一 / 敷設する際のパイプラインの状態

q: 分布荷重 (パイプの自重)

 $R_1, R_2, \dots, R_n$: フロートによる吊り力 P_B : 先端に加えられる外力 M_B : 先端に加えられるモーメント

SL: 海面

GL: 海底面

h: 海面より海底面までの距離 (水深)

h': 海面より敷設船甲板までの距離

L: パイプライン AB の水平距離

表一 / 鋼管の諸元

項目	単位	数値
外径	mm	609.6
内径	mm	597.6
肉厚	mm	6.0
全断面積	cm^2	2918.6
内断面積	cm^2	2804.6
実断面積	cm^2	114.0
海中重量	kg/m	77
断面二次モーメント	cm^4	51820

4. 敷設作業手順

パイプラインを敷設して行く際には、各フロートの吊上げ長さやパイプラインを敷く程度を延ばした後変更するものとして検討を行なった結果、フロート間隔は30m、フロート必要個数は6、各作業段階に延ばすパイプライン長さを

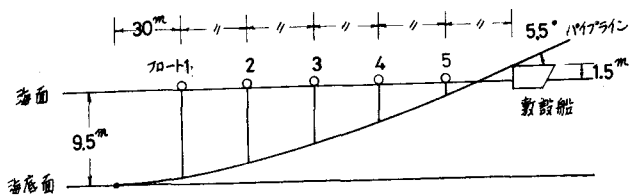


図-2 作業段階1のパイプライン吊上げ概要

5mとすればよいことがわかった。図-2に作業段階1のパイプライン吊上げ概要を示す。各作業段階を図-3に示す。作業段階3,5,---11はパイプラインを延長せず、フロートの吊上げ長さを変更する段階である。図-3に示される12種類の作業を行なえば、パイプラインは30m延長され、以後これらの繰返しを行なうことによって敷設される。

5. 各作業段階を独立させた場合の

吊上げ方法

作業を連続的に行なう場合の吊上げ長さを求めるため、図-3の各敷設作業段階を独立させた場合の吊上げ方法を明らかにする必要がある。図-3に示されるように各敷設作業段階1と12、2と3、---10と11はパイプラインの海底面と接する点が5m異なるものであり、曲げモーメントには余り影響をおよぼさないことから、各組合せの一方を検討すればよいことがわかる。

表-2に各作業段階を独立させた場合の吊上げ方法を示す。

表-2 各作業段階を独立させた場合の吊上げ方法

		フロート1	フロート2	フロート3	フロート4	フロート5	フロート6	最大曲げモーメントの大きさおよび生ずる位置
作業段階1, 12	パイプライン吊上げ長さ*	41 ^{cm}	157	334	559	819		1.26×10 ⁶ kg cm フロート1より左部
	吊上げ力	2.28 ^t	2.32	2.31	2.30	2.34		
作業段階2, 3	吊上げ長さ	29 ^{cm}	133	301	519	773		1.16×10 ⁶ kg cm フロート1,2の間
	吊上げ力	2.16 ^t	2.33	2.31	2.29	2.46		
作業段階4, 5	吊上げ長さ	19 ^{cm}	111	269	479	733		1.20×10 ⁶ kg cm フロート1,2の間
	吊上げ力	2.09 ^t	2.31	2.42	2.00	2.93		
作業段階6, 7	吊上げ長さ	11 ^{cm}	91	239	441	691		1.23×10 ⁶ kg cm フロート1,2の間
	吊上げ力	2.09 ^t	2.30	2.47	1.86	3.21		
作業段階8, 9	吊上げ長さ	5 ^{cm}	72	210	404	655		1.30×10 ⁶ kg cm フロート5の位置
	吊上げ力	2.35 ^t	2.23	2.62	1.52	3.68		
作業段階10, 11	吊上げ長さ	1 ^{cm}	56	183	369	600	864	1.29×10 ⁶ kg cm フロート1,2の間
	吊上げ力	2.00 ^t	2.39	2.28	2.32	2.34	2.13	

*パイプライン吊上げ長さは海底面からの距離として表わした。

6. 作業を連続的に行なう場合の吊上げ方法

パイプラインの敷設作業を連続的に行なう場合は、作業手順から明らかにするように作業段階1と2、3と4、---11と12においてフロート吊上げ長さを同じにし、各々の曲げモーメントを小さくする必要がある。表-2を参考にして各フロート吊上げ長さを変化させて検討し、表-3の結果が得られた。

表-3 作業を連続的に行なう場合の吊上げ方法

		フロート1	フロート2	フロート3	フロート4	フロート5	フロート6	最大曲げモーメントの大きさおよび生ずる位置
作業段階1	パイプライン吊上げ長さ	40 ^{cm}	151	324	546	804		1.26×10 ⁶ kg ^{cm}
	吊上げ力	2.35 ^t	2.29	2.25	2.58	1.66		敷設船位置
作業段階2	吊上げ長さ	40 ^{cm}	151	324	546	804		1.28×10 ⁶ kg ^{cm}
	吊上げ力	2.36 ^t	2.24	2.46	1.78	3.48		フロート5
作業段階3	吊上げ長さ	28 ^{cm}	128	292	507	760		1.29×10 ⁶ kg ^{cm}
	吊上げ力	2.19 ^t	2.32	2.27	2.46	2.07		敷設船位置
作業段階4	吊上げ長さ	28 ^{cm}	128	292	507	760		1.24×10 ⁶ kg ^{cm}
	吊上げ力	2.20 ^t	2.28	2.45	1.79	3.46		フロート5
作業段階5	吊上げ長さ	18 ^{cm}	107	261	470	719		1.34×10 ⁶ kg ^{cm}
	吊上げ力	2.03 ^t	2.38	2.26	2.32	2.49		敷設船位置
作業段階6	吊上げ長さ	18 ^{cm}	107	261	470	719		1.34×10 ⁶ kg ^{cm}
	吊上げ力	2.05 ^t	2.34	2.41	1.75	3.59		フロート5
作業段階7	吊上げ長さ	10 ^{cm}	87	232	432	678		1.50×10 ⁶ kg ^{cm}
	吊上げ力	1.99 ^t	2.33	2.39	2.07	2.90		敷設船位置
作業段階8	吊上げ長さ	10 ^{cm}	87	232	432	678		1.52×10 ⁶ kg ^{cm}
	吊上げ力	2.00 ^t	2.29	2.53	1.56	3.83		フロート5
作業段階9	吊上げ長さ	5 ^{cm}	70	204	396	639		1.72×10 ⁶ kg ^{cm}
	吊上げ力	2.39 ^t	2.29	2.45	1.85	3.30		敷設船位置
作業段階10	吊上げ長さ	5 ^{cm}	70	204	396	639		1.74×10 ⁶ kg ^{cm}
	吊上げ力	2.41 ^t	2.26	2.58	1.39	4.10		フロート5
作業段階11	吊上げ長さ	1 ^{cm}	54	177	359	562	840	1.72×10 ⁶ kg ^{cm}
	吊上げ力	2.07	2.50	1.90	3.13	1.69	1.54	敷設船位置
作業段階12	吊上げ長さ	1 ^{cm}	54	177	359	562	840	1.73×10 ⁶ kg ^{cm}
	吊上げ力	2.05 ^t	2.52	1.82	3.39	0.88	4.18	フロート5

表-3から明らかにように全作業段階を通しての最大曲げモーメントは、作業段階9の $1.74 \times 10^6 \text{ kg cm}$ であるが許容値の73%となり、安全である。最大曲げモーメントの生ずる位置は、奇数番目の作業段階では敷設船位置、偶数番目では敷設船に最も近いフロート位置である。各作業段階の剪断力図、曲げモーメント図は同様の傾向を示すため、作業段階9、10についてのみ図-4に示す。図-4から

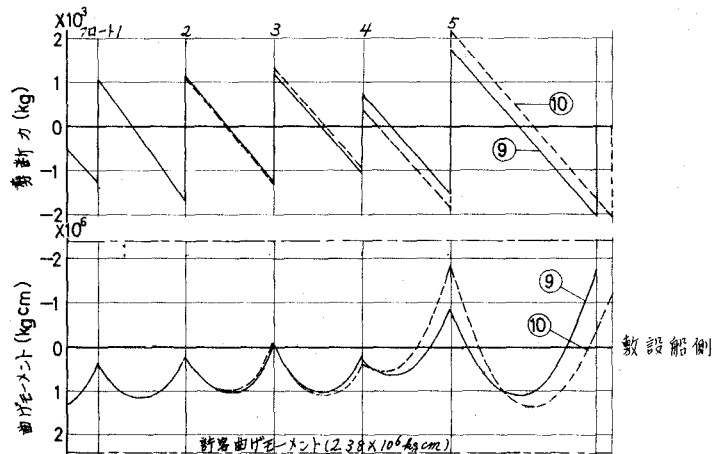


図-4 作業段階9、10の剪断力図、曲げモーメント図

明らかのようにパイプラインを延ばすことによる曲げモーメントへの影響は、主としてフロートより右側の部力に現われることがわかる。作業段階 9, 10 の最大曲げモーメントはほぼ等しく、最適な吊上げ方法と思われる。なお剪断力は許容値に比して非常に小さく問題はない。

7. 波浪の影響

波浪の影響を考慮する場合、フロートは波浪により 20cm 程度上下すると仮定して検討を行なった。図一 4 より明らかのように最大曲げモーメントは敷設船位置、あるいは敷設船に最も近いフロート位置で生じている。この最大曲げモーメントにおよぼす波浪の影響は、敷設船側の 2 個のフロートによるものが大部分であることから、この 2 個のフロート吊上げ長さを ± 20 cm 変化させることを原則とした。表一 4 に作業を連続的に行なう場合の各作業段階へおよぼす波浪の影響を示す。

表一 4 作業を連続的に行なう場合の各作業段階へおよぼす波浪の影響

		フロート1	フロート2	フロート3	フロート4	フロート5	フロート6	最大曲げモーメントの大きさおよび生ずる位置
作業段階 1	パイプライン吊上げ長さ 吊上げ力	40cm 2.31 ^t	151 2.41	324 1.82	546 3.63	782 0*		2.73 $\times 10^6$ kgcm 敷設船位置
作業段階 2	吊上げ長さ 吊上げ力	40cm 2.47 ^t	151 1.85	324 3.51	530 0*	824 5.36		2.87 $\times 10^6$ kgcm フロート5
作業段階 3	吊上げ長さ 吊上げ力	28cm 2.04 ^t	128 2.79	292 1.04	527 4.48	740 0.02		2.69 $\times 10^6$ kgcm 敷設船位置
作業段階 4	吊上げ長さ 吊上げ力	28cm 2.33 ^t	128 1.86	292 3.55	489 0*	780 5.14		2.73 $\times 10^6$ kgcm フロート5
作業段階 5	吊上げ長さ 吊上げ力	18cm 1.87 ^t	107 2.84	261 1.06	490 4.25	699 0.72		2.53 $\times 10^6$ kgcm 敷設船位置
作業段階 6	吊上げ長さ 吊上げ力	18cm 2.19 ^t	107 1.92	261 3.52	452 0*	739 5.09		2.70 $\times 10^6$ kgcm フロート5
作業段階 7	吊上げ長さ 吊上げ力	10cm 1.80 ^t	87 2.79	232 1.21	452 3.92	658 1.34		2.53 $\times 10^6$ kgcm 敷設船位置
作業段階 8	吊上げ長さ 吊上げ力	10cm 2.16 ^t	87 1.92	232 3.52	416 0*	698 5.10		2.70 $\times 10^6$ kgcm フロート5
作業段階 9	吊上げ長さ 吊上げ力	5cm 2.15 ^t	70 2.75	204 1.29	416 3.64	619 1.89		2.62 $\times 10^6$ kgcm 敷設船位置
作業段階 10	吊上げ長さ 吊上げ力	5cm 2.59 ^t	70 1.92	204 3.46	382 0*	659 5.19		2.78 $\times 10^6$ kgcm フロート5
作業段階 11	吊上げ長さ 吊上げ力	1cm 2.09 ^t	54 2.47	177 1.98	359 2.81	562 2.50	825 0*	3.05 $\times 10^6$ kgcm 敷設船位置
作業段階 12	吊上げ長さ 吊上げ力	1cm 2.05 ^t	54 2.52	177 1.81	359 3.58	567 0*	860 5.48	2.81 $\times 10^6$ kgcm フロート6

* 2 個のフロートの吊上げ長さを ± 20 cm 変化させた場合、吊上げ力が負となり、実際には存在しない状態であるため、フロートは無いものとして計算した。

いずれの作業段階の場合も最大曲げモーメントは許容値 3.57×10^6 kgcm よりも小さく、波浪に対して安全である。

8. 結 言

海底パイプラインをフローティング工法によって敷設する場合に、自重などに起因する曲げモーメントを許容値以下にし、作業が簡単にかつ迅速に行なえる敷設方法が明らかになった。なお潮流、潮位などの影響も考えられ、これに関しては今後実大実験により検討する予定である。