

運輸省港湾技術研究所 ○ 正員 土田 肇, 倉田 栄一
正員 中山 茂雄, 正員 林 聡

1. はじめに

埋設パイプラインの地震動による影響は、地震動の加速度による影響よりも、パイプラインの延長に沿つた地震動の変位分布、換言すれば相対変位による影響が大きいと考えられている。しかしながら、現在行われている工学的な地震動の観測は点における地震動の観測が大部分で、線状に地震計を設置して地震動を観測することは極く少数の例に限られている。したがって、実測された地震動の分布にもとづいて、埋設パイプラインの耐震性を考察された例は限られている。

地理トネル、埋設パイプライン、滑走路等の線状構造物の耐震性を検討するための基礎的データを取得するために、延長2500mの直線上に500m間隔に6組の地震計を設置し、地震動の同時観測を実施している¹⁾。本報告では、その観測により得られた記録の主要なものを対象として、地震計設置地点を連ねた直線（以後、測線と書く）位置にパイプラインが埋設されたこと想定し、観測された地震動により埋設パイプに生じた応力度を求めたものを示す。同時に、現在における埋設パイプラインの設計法として提示されているもの²⁾（以後、技術基準と書く）により地震動による応力度を求め、前者と比較した結果を示し、現行の設計法により設計された埋設パイプラインの耐震性を考察するための一資料とする。

2. 地震動観測

地震動観測のための測線は、東京国際空港内にC滑走路と平行に設定された。測線位置の工断面面図を図-1として示す。図中のA～Fの記号を付した点は、地震計の設置位置を示す。各測点には地震動の測線平行成分と直交成分を観測するように2個の換振器を設置してある。

3. 地震記録

本報告では表-1に示す地震の記録を対象とする。表-2に各地震の各測点における最大加速度を示す。図-2には、3地震のA点における測線平行成分の加速度波形を示す。また、これらの地震動と過去の大地震の地震動とを比較するため、各記録のA点の平行成分の波形と1968年十勝沖地震の八戸港における記録のEW成分の波形の主要部分20.47秒間の7-リエスベクトルを図-3に示す。

4. 変位波形

観測により得られる記録は加速度波形であり、埋設パイプラインの検討には、加速度波形から変位波形を求める必要がある。このためには、観測された加速度波形を入力とし、固有周期6秒、減衰定数0.55の1自由度1質点系へ応答を計算し、その応答相対変位をもつ変位とし、これは、図表片において使用している1倍変位計の動作をシミュレートしたものである。計算の結果得られた各点の最大変位および隣接する2測点間の最大相対変位を表-2に示す。また、TIA-3およびTIA-9のA、B、F点における変位波形を図-4.5に示す。

5. 埋設パイプの応力度

地震動による応力度は、測線位置の地表付近に鋼管(管径1,000mm)が埋設されているものとし、鋼管はそれが埋設されていない場合の地盤の変位と同一変位とするものとして計算した。なお突刺地震動による応力度は2方法で計算した。この報告では、混乱を避けるため、次のように用語を定義する。

軸応力度(σ_x):埋設パイプの延長方向に平行な方向の地盤の相対変位によりパイプに生ずる応力度

曲げ応力度(σ_b):埋設パイプの延長方向に直角な方向で、かつ水平方向の地盤の相対変位により生ずるパイプの曲げによる線応力度

合成応力度(σ_c): σ_x および σ_b の和、ただし、技術基準による計算応力度については4方向から振動が伝播していると考え、 $\sqrt{3 \cdot 1/2 \sigma_x^2 + \sigma_b^2}$ として求める。

(1) 突刺地震動による応力度(計算-1)

軸応力度は相隣る2測点間の最大相対変位と2測点間の距離(500m)の比をもち、軸ひずみとし、これにヤング率を乗じて求めた。

曲げ応力度は、記録のある瞬間に対して、次のような方法で最大曲げ応力度を求めた。連続する3測点を選び、各点の変位を連ねる二次曲線を設定し、この曲線がパイプの撓み曲線であると見做し、この区間における最大曲げ応力度を求めた。この方法を異なる測点の組合せに対して実施し、その瞬間における測線全長における最大曲げ応力度とし、これを記録全長に対してくり返し、その最大をもち、その地震動に対する最大曲げ応力度とした。

(2) 突刺地震動による応力度(計算-2)

TIA-3, 6の各測点の変位波形はよく似た波形であるので、測定下の変位波形と他の測点の変位波形の相互相関数を求め、その最大値を与えるずらし時間を調べると、それが測点下から遠ざかるにつれ単調に増加していた。TIA-9の変位波形は、TIA-3, 6の場合に比し、各測点の変位波形が良く似ているとは言えない。しかし、ここでは下点およびA点の変位波形の相互相関数の最大値を与えるずらし時間と2測点間の距離の比をもち、見掛けの波動の伝播速度とした。この伝播速度で各点での変位波形が測線方向に伝播すると考え、最大軸ひずみを求め、ヤング率を乗じて最大軸応力度とした。最大曲げ応力度は最大軸応力度に比し著しく小さいことが先の検討で明らかになっているので、この場合は求めなかった。

(3) 技術基準による応力度

技術基準による応力度の計算方法の原理はゆとり省略する。しかし、観測された地震動が設計震度に変換した場合どのような値に対応するかの求める必要がある。これには多くの議論があらうが、ここでは、各測点の水平最大加速度(水平成分を時間ごとに合成したものの最大)と重力加速度の比を地表面における設計水平震度とし、これを地震動補正係数を割ったものを設計差盤面における水平震度とした。以上の各方法による計算結果をまとめた表-3に示す。

5. まとめ

著者がこの報告で行った検討は、観測を行った地盤条件で、観測されている波形についての検討である。しかし、今回の検討の範囲では、観測された地震動にもとづく埋設パイプの応力度は技術基準による応力度よりも著しく小さいものである。この結果をもち、一般性のある結論を求めることは無理がある。観測結果にもとづいて、一般性のある地震時の表層地盤の応答の推定を導き、それに基いて一般性のある埋設パイプラインの耐震性を検討することが可能になるであろう。しかし、これにはなお多くの検討時間を必要とするので、とりあえず、観測結果を直接的に利用し、観測された地震動にもとづく埋設パイプの応力度と技術基準による応力度とを対比してみた。

才4回日本地震工学シンポジウム講演集, 1975年11月, PP. 137~144.

2) 石畑パイプライン事業の事業用施設へ技術上の基準の細目定める告示, 通商産業省, 運輸省, 建設省, 自治省, 告示才1号, 官報, 号外125号, 1973年9月.

地震番号	TIA-3	TIA-6	TIA-9
発震年月日	1974年5月9日	1974年7月8日	1974年8月4日
震源地名	伊豆半島南海岸付近	茨城県沖	茨城県南西部
深さ	10km	40km	50km
マグニチュード	6.9	6.3	5.8
震央距離	140km	161km	54km

表-1 地震諸元

地震記録	種別 成分	最大加速度 (gal)						最大相対変位 (cm)				
		A	B	C	D	E	F	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F
TIA-3	平行成分	15.0	14.0	16.0	21.7	23.2	18.5	0.50	0.37	0.71	0.74	0.64
	直交成分	9.1	9.8	12.8	11.2	19.2	13.2	0.59	0.64	0.61	0.53	0.64
TIA-6	平行成分	6.4	11.4	9.6	11.7	10.7	11.7	0.16	0.19	0.13	0.32	0.68
	直交成分	6.1	8.8	7.5	9.1	11.4	11.9	0.16	0.13	0.25	0.21	0.24
TIA-9	平行成分	20.0	47.0	36.6	29.3	51.8	40.9	0.39	0.22	0.51	0.34	0.23
	直交成分	24.6	35.8	31.0	22.5	32.4	34.7	0.31	0.87	0.34	0.27	0.26

表-2 最大加速度および最大相対変位

地震記録	測点	軸応力度			曲げ応力度			応力度
		観測1	観測2	投基	観測1	投基	投基	
TIA-3	A	21.0	6.8	120.6	0.06 全体の最大	1.76	213	
	B		7.0	109.6		3.27	194	
	C		7.4	125.7		3.88	222	
	D		9.4	167.7		5.31	296	
	E		8.8	117.9		3.88	208	
	F		7.8	129.5		3.24	229	
TIA-6	A		1.6	50.8	0.02 全体の最大	0.74	90	
	B	6.7	1.5	87.6		2.62	155	
	C	8.0	2.0	76.9		2.38	136	
	D	5.5	2.3	94.0		2.98	166	
	E	13.4	2.1	60.5		1.99	107	
	F	28.6	1.9	76.4		1.91	135	
TIA-9	A		5.6	204.9	0.07 全体の最大	2.99	362	
	B	16.4	7.9	358.9		10.71	634	
	C	9.2	8.0	269.5		8.33	476	
	D	21.4	6.8	243.9		7.72	431	
	E	14.3	12.3	251.8		8.29	445	
	F	9.7	14.4	271.0		6.79	479	

表-3 埋設パイプ応力度 (単位: kg/cm²)

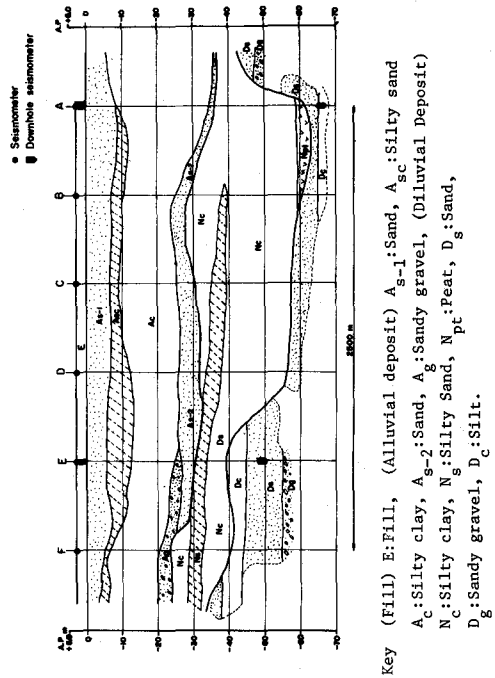


図-1 土質断面図

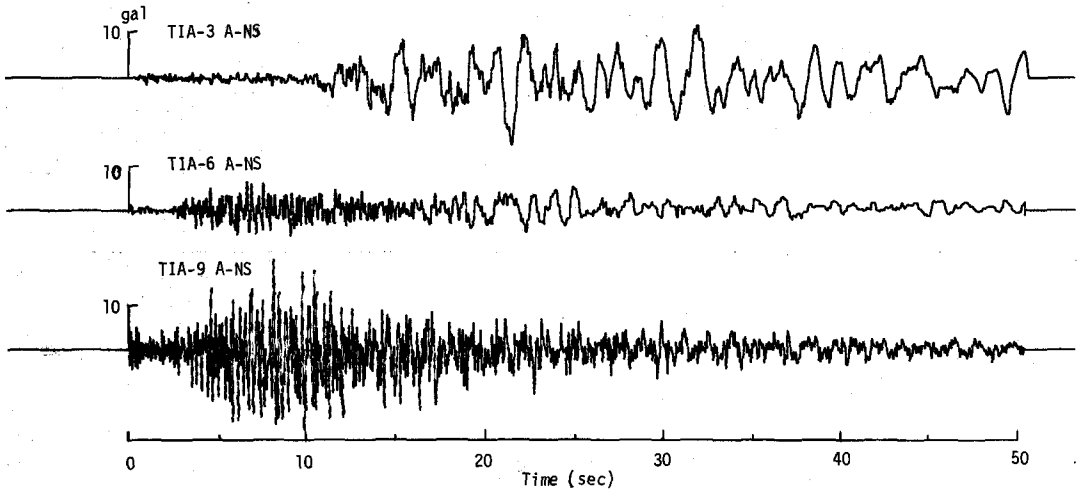


図-2 加速度波形 (測点 A 平行成分)

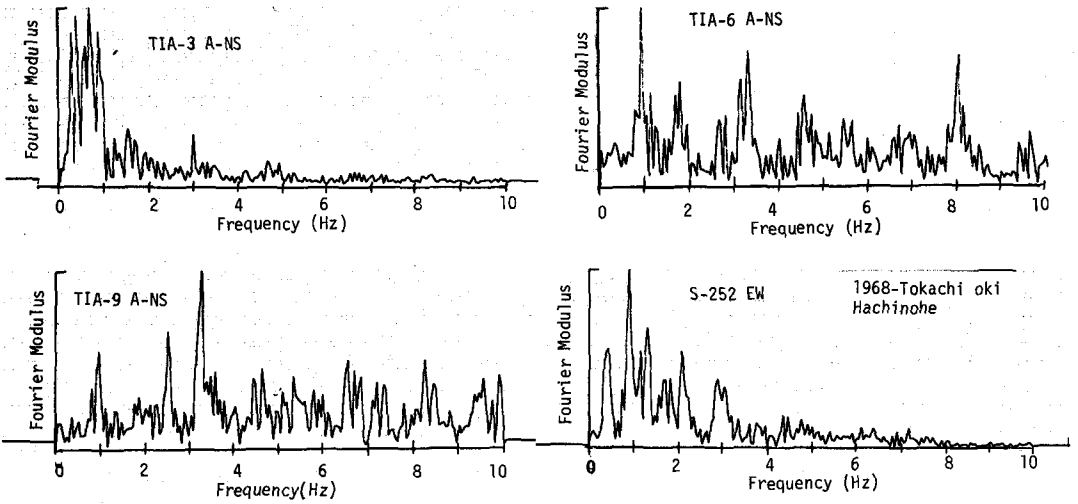


図-3 フーリエスペクトル

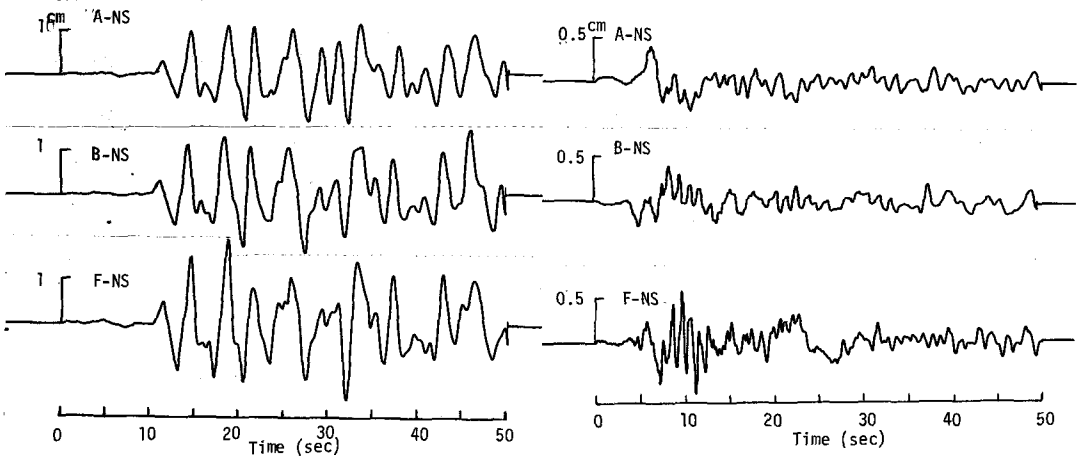


図-4 変位波形 (TIA-3)

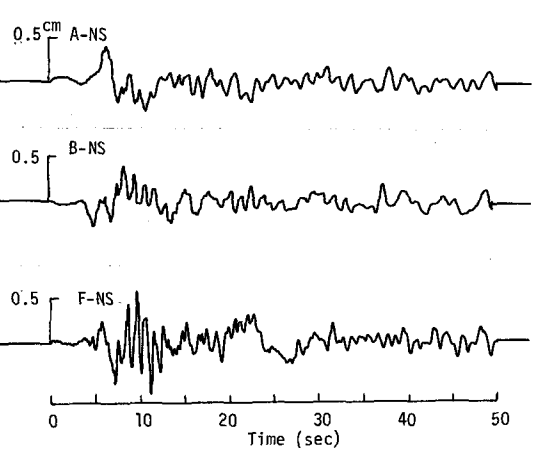


図-5 変位波形 (TIA-9)