

フジタ工業(株)技術研究所	正員	中村 正博
東京大学生産技術研究所	正員	片山 恒雄
東京大学生産技術研究所	正員	久保 慶三郎

1. よえがき

1973年にいわゆる「石油パイプライン技術基準」¹⁾が告示されてから、わが国における埋設管の耐震設計はこれに準拠して行われることが多い。この技術基準は設計に用いるひずみ(または応力)を算出することを目的にしたものであるから、計算されたひずみが実測ひずみに合致することを期待することはできないが、これまでも、実測値にくらべて計算値がかなり過大となることを指摘した報告例がある。そこで、近年多くの機関で独立に行われてきた埋設管の地震時ひずみの測定結果をできるだけ多数収集し、それらを統一的に整理したものを基に、技術基準による計算ひずみが実測値に對しどの程度の余裕を持っているか、すなわち技術基準の安全度とも言うべきものを検討してみる。

2. 埋設管の実測地震時ひずみ ϵ_L

対象とした地震記録は、1972年から1980年の8年間に7ヶ所の埋設管で測定されたものであり、地震数で46、実測ひずみデータで60である。図-1は、埋設管の軸ひずみ ϵ_L と軸方向加速度 a_x の関係を示したものである。図中の直線は、マグニチュード M の範囲ごとに求めた回帰直線($\log \epsilon_L = \alpha + \beta \log a_x$)であり、 β および γ はそれぞれ回帰直線の傾きおよび相関係数を示す。この図から、同じ程度の最大加速度の値に對して、マグニチュードの大きな地震の方が大きな地震時ひずみを生じさせる場合が多いこと、また、マグニチュードの大きい地震ほど回帰直線の β の値が1に近付くことがわかる。 $\beta=1$ のとき、ひずみ ϵ_L と加速度 a_x の関係は、 $\epsilon_L = 10^\alpha \cdot a_x$ と表わされ、ひずみが最大加速度に正比例することになる。図-1におけるマグニチュード M が7以上の回帰式は、式(1)で表わされる。ここに、データ個数は12、回帰式まわりの標準偏差は0.257である。

$$\log \epsilon_L = -5.83 + 0.808 \cdot \log a_x \quad (1)$$
3. 石油パイプライン技術基準の計算ひずみ ϵ_c と実測ひずみ ϵ_L の比較

技術基準における計算ひずみ ϵ_c のうち、5つのせん断波動が同時に埋設管に入射する場合を想定した設計用合成ひずみ ϵ_T と、1つのせん断波動によって生じる地盤ひずみ ϵ_G およびこれに伝達率 α を乗じて求まる埋設管軸ひずみ $\alpha \cdot \epsilon_G$ に着目する。これらと実測ひずみの比較は次の手順に従って行なった。まず、耐震計算上の基盤面における設計水平震度が $K_{oh}=1$ のときの変位振幅 u を技術基準のスペクトルから求め、これによる埋設管ひずみを計算する。このとき、地表面加速度が $A = (2\pi/T)^2 u$ と与えられると仮定する。 T は、地盤の固有周期である。したがって、実測の地表面加速度が a_x であるときには $R = a_x/A$ なる係数を計算ひずみ ϵ_G 、 $\alpha \epsilon_G$ および ϵ_T に乗じることにより、実測加速度に對する計算地盤ひずみ ϵ_{RG} 、埋設管の軸ひずみ ϵ_{RL} および合成ひずみ ϵ_{RT} が求められる。

これらの計算ひずみを実測ひずみ ϵ_L で除したものの累積度数百分率が、図-2である。当然のことながら、

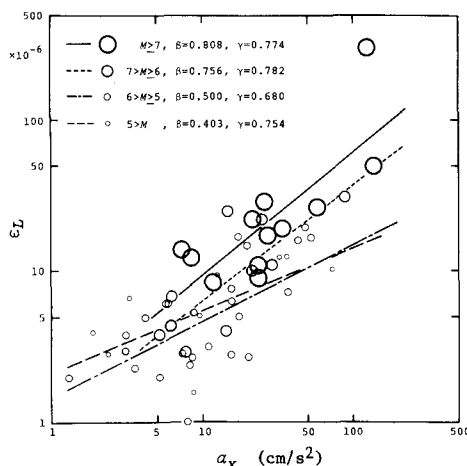


図-1 埋設管の地震時軸ひずみ ϵ_L と管軸方向の地震動最大加速度 a_x の関係

計算ひずみの実測ひずみに対する比は、合成ひずみ、地盤ひずみ、埋設管軸ひずみの順に大きい。50%値に着目すると e_{RT}/e_L 、 e_{RG}/e_L 、 e_{RL}/e_L はそれぞれ4.3、2.7、2.5であり、石油パイプライン技術基準による合成ひずみの値は、平均的に実測ひずみの4倍強となっている。もともと、石油パイプライン技術基準は大ひずみの場合を想定して定められたものであり、この技術基準の安全度を調べるためには、大ひずみの場合について実測値と計算値を比較する必要がある。対象としたデータの中で、最大の埋設管軸ひずみの実測値は 299×10^{-6} （軸方向最大加速度 $\alpha_x = 125 \text{ cm/s}^2$ ）であり、これは1978年6月12日に発生したマグニチュード7.4の宮城県沖地震により八戸市下長観測所で記録されたものである⁶⁾。図-3は、下長観測所のデータのみについて地震動加速度に対する埋設管軸ひずみの実測値と計算値との比較を示したものである。表-1は、実測のひずみ e_L 、地震動最大加速度 α_x および実測ひずみに対する計算ひずみの比(e_{RL}/e_L 、 e_{RG}/e_L 、 e_{RT}/e_L)をマグニチュードの大きい順にならべたものである。この表から、技術基準による合成ひずみ e_{RT} は、最大の実測値($e_L = 299 \times 10^{-6}$)の場合にも、その3倍を与えることがわかる。また、図-1および3からもわかるように、実測ひずみ e_L はおおむね加速度 α_x とともに大きくなるが、表-1によれば実測ひずみに対する計算ひずみの比は必ずしも加速度の大きさと関係せず、マグニチュードの大きい地震ほど小さな値となる傾向がうかがわれる。例えば、 $M = 5.8$ および 7.4 に対する e_{RT}/e_L は、それぞれ22.8および3.0である。したがって、地震時埋設管ひずみをより高い信頼度で推定するためには、マグニチュードの大きい地震で生じる実測ひずみの蓄積が重要である。

4. あとがき

本報告で対象とした実測地震時ひずみには、耐震設計を考える場合に特に重要な大マグニチュード、近距離地震のデータはほとんどない。また、埋設管に被害が生じるであろう地震動最大加速度として、仮に $\alpha_x = 500 \text{ cm/s}^2$ を考えると、式(1)から得られる埋設管の軸ひずみはたかだか 10^{-4} 程度である。常識的に考えれば、埋設管が一樣なひずみを生じるとき、この程度のひずみで破壊するとは思えない。データそのものに、極めて強い地震動によるひずみが含まれていないことに加え、このようなひずみのみに対して設計を考えることには無理がある。技術基準の計算値が実測値にくらべて過大であるのは中規模程度の地震動までである可能性もあり、現時点で強震時に対して本文の結果を外挿することには問題がある。

謝辞：本研究を行うにあたり貴重な実測資料を御提供いただいた下記の方々に、厚きなる謝意を表します。

神奈川県広域水道企業団	西澤正美
久保田鉄工業株式会社	北条真実、岩本利行、若井幹彦
新日本製鐵株式会社	辻本 潤、大隈史雄
東京瓦斯株式会社	宇崎忠雄、塚本克良

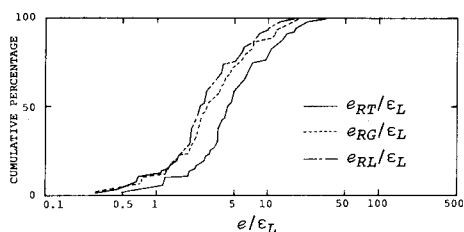


図-2 計算ひずみ e を実測ひずみ ε_L で除したものの累積度数百分率

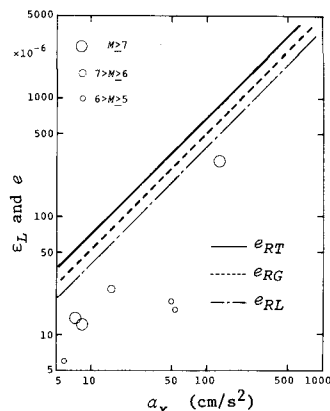


図-3 地震動加速度 α_x に対する埋設管軸ひずみの実測値と計算値の比較⁶⁾ (下長観測所のデータ)

表-1 実測ひずみと計算ひずみの比較 (下長観測所のデータ)⁶⁾

M	$e_L (\times 10^{-6})$	$\alpha_x (\text{cm/s}^2)$	e_{RL}/e_L	e_{RG}/e_L	e_{RT}/e_L
7.4	299	125	1.7	2.2	3.0
M>7	13.9	7.2	2.1	2.7	3.7
7.3	12.2	8.3	2.8	3.6	4.9
6.3	24.8	14.8	2.4	3.1	4.3
5.8	6.1	5.9	4.0	5.1	7.0
5.8	19.4	48.6	10.2	13.2	17.9
5.8	16.5	52.8	13.0	16.8	22.8

参考文献

- 石油パイプライン事業の事業用施設の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、自治省告示第1号、1973。
- 西尾・宇梶・塚本、第5回日本地震工学会シンポジウム、1978。
- 西尾・加室・木山他、東京瓦斯技術研究所報告、第22号、1977。
- 西尾・木山・宇梶他、東京瓦斯技術研究所報告、第24号、1979。
- 小越米・北条・若井、第5回日本地震工学会シンポジウム、1978。
- 小越米・北条・若井、第15回土木学会地震工学研究発表会、1979。
- 宮内・辻本、第7回世界地震工学会議、1980。
- 藤田・西澤・高橋、水道協会誌、第550号、1980。
- 中村・片山・久保、Bulletin of E.R.S., No.14, 1981。