

松代地震による土の歪観測結果と地中埋設パイプラインの 地震時歪の推定

電力中央研究所 正員 榎井 彰雄
高橋 忠

1. まえがき

地中埋設パイプラインの耐震性については、過去に多くの被害を受けているにもかかわらず多くの不明な点が残されたまゝになっている。この種の構造物は線状に広がりを持つことから、従来の多くの研究がいわゆる地盤動に立脚していること、また構造物が加速度よりは地盤変形により依存する構造であることなどから、従来の地震工学の応用問題としてその耐震性を扱うことができない問題が多い。またその実験的アプローチについても地震動の動的性質を考慮しなければならぬため、多くの困難を伴うものである。

昭和40年8月3日、長野県松代町を中心と頻発した松代地震は、地震動の平面的な性質、実物大のモデルによる地震応答観測など、実際の地震動による研究が短期間に行われ得て、千載一遇の好材料とも云うべき研究の場を与えてくれたものであった。当所耐震研究室では、この時に当り、東京電力KK・中部電力KKと共同して、中部電力北信変電所構内（長野県篠ノ井・塩崎）において実物の地中電線路について地震応答観測を行った。また、各種の起振実験・弾性波速度試験などを併用して実験的アプローチの方法について地震観測結果と対比しながら検討を加えた。さらに、地震動の平面的・立体的分布について地震観測を行い、地盤の震動特性を把握する様努めた。これらの結果については、講演題目(1)、(7)、(8)、(10)、(21)に述べられているが、地中埋設パイプラインの地震時歪の推定に関連して、北信変電所構内において地震時の土の歪観測を行った。ここで、観測結果の二・三について報告し、また地中埋設パイプラインの地震時歪の推定について検討を加えた。

2. 地震時における土の歪

(観測方法) 観測には計器を地下40m、地表面に平行に90°、45°のロゼットを組んで土の歪歪が得られる様にしてある。使用した計器は新しく開発した土歪計で、ゲージ長さはこの場合1.7mとしてある。この土歪計は電磁型で、増巾器を用いお記録器に直結されるので誘動電流分が無く長期の地震観測に対して安定である。さらに、念のため地上にゲージ長さ45mにピアノ線を張り電気抵抗線型の圧み計で土の歪を観測した。その他、抵抗線型の土歪計を試作併用した。これは、ゲージ長さ、見掛のコンプライアンスを可変出来、地盤に応じて堅める様になっている。また土中の地震時土圧を測定するため電磁直結型の土圧計・鉄筋計利用の土圧計なども用いている。

(結果) 得られた結果については目下解読中であるが、土の歪観測結果から計算した歪歪について、ここでは、報告する。結果を要約すると次の様になる。

(1) 歪歪についても加速度最大の時が必ずしも歪歪最大でなく、加速度が衰えてもかなりの歪歪が続く。

(2) 一次歪歪も二次歪歪も同様の波形を示す。これはP波・S波に関係なく記録の全体について

見られる。

(3) 主歪の方向の時間的経過と見ると、P波、S波、表面波部分と思われ記録の各部について特徴を示し、S波部分では方向の変動は激しいが、P波、表面波部分では変動は小さくなる(加速度ベクトルでは変動が激しく、各波部分についても特徴は明確でない)。

3. 地中埋設パイプラインの地震時歪の推定

土の歪観測結果及び項目(1)、(8)、(10)、(21)に基づく観測、実験結果より地震時における地中埋設パイプラインの歪推定について二・三の考察を加えることができる。

3.1 地震時における土の歪

パイプラインに主要な歪は軸方向であるから、地震による地動を、

$$Y = a \cdot \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (1)$$

と仮定すると、ひずみ ϵ は $\epsilon = -a \rho \omega \cdot \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$ であるから、加速度との関係は、

$$\epsilon = C \cdot \frac{T \cdot A}{U} \quad (2)$$

ϵ : 歪 A : 地震加速度
 C : 地震波の種類に關係した定数、表面波 = $\frac{1}{2}\pi$
 T : 周期 U : 地震波の見掛け速度

(2)式によれば、土の歪は地盤の変形速度($T \cdot A$)とその地盤における地震波の速度の比に比例する。もし、パイプラインが地盤と同一の動きをするならば、(2)式の関係はまた管の歪の関係である。(2)式によれば、次の様にして地震時における土の歪を推定することができる。

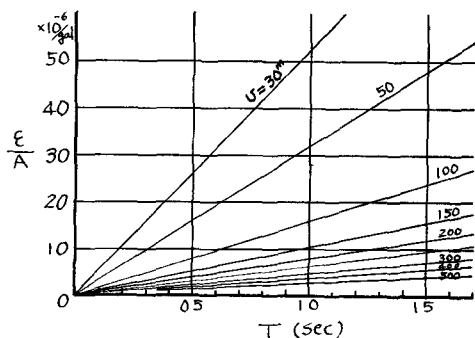
- a) 設計上の加速度・周期、または変形速度を決定する。
- b) 埋設予定地盤の弾性波速度を測定する。
- c) $C = \frac{1}{2}\pi$

a) については、過去の地震記録、金井博士の式¹⁾、常時微動測定などが参考になる。しかし最大の歪を与える時侯は、その入射角(U に關係)その他の理由から加速度最大の時侯でなくその後には生ずることに注意すべきである。b) は埋設予定地盤の弾性波速度試験、又は起振実験による地盤振動観測などによって決定できる(2)式の關係は、起振による地盤振動実験によっても確かめられたのでこの方法は有用である。講演(1)、(2)参照)。c) 定数は地震波の種類に關係する。例えば地表にあって純粋せん断の波があるとするれば、波の進行方向に45°の線にある管が最大の歪を示し、 $C = \frac{1}{4}\sqrt{2}\pi$ となる。(しかし、結果(2)にはこの様な現象が見られないので、 $\frac{1}{2}\pi$ としておく。なお図1に示した様に弾性波の速度が300 m/sec以下では歪は急速に大きくなるので、この様な軟弱地盤では注意する必要がある。

3.2 管剛性の影響

管に対する地盤の軸方向拘束を、

図1. 管に生ずる歪



$$f = k' u / u_0 \quad (0 \leq u \leq u_0) \quad (3)$$

$$= c_0 \quad (u_0 \leq u) \quad (4)$$

また、 $u = Y - y$ (y : 管の変形) とする。こゝでは比例限度内について考えるとすると、 $f = k' u / u_0$
 $\equiv k \cdot u$ としておくのが便利である。地震波 Y を受ける管の軸方向振動方程式は、

$$PA_0 \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - EA_0 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + ky = k a_0 \sin p(t - x/c_0) \quad (5)$$

A_0 : 管の断面積

この解は容易に求まり、

$$y = \frac{1}{1 + (\frac{p}{\omega_0})^2 (\frac{u_0}{c_0})^2 - (\frac{p}{\omega_0})^2} \cdot Y(t, x) \quad (6)$$

こゝに、 $v_2 = \sqrt{E/\rho}$ (管を伝わる縦波の速度) $\omega_0 = \sqrt{k/PA_0}$ (管を剛体としたときの固有(円)振動数) である。 ω_0 は、地震動の周波数範囲に対し、大きな値を示すから慣性項を無視して、ばね長による管の変形の減衰率を計算した一例を図2に示した。同様に、横方向振動について、減衰率を計算すると、同一のばね長について横方向でははるかに減衰率が小さい。250A管についての実験では $l > 130 \text{ kg/cm/cm}$ であり、横方向変形に対する減衰ははるかに小さい。

3.3 管と地盤が一体で振る時の歪

(直管部限界歪) $u = Y - y \geq u_0$ のとき地盤と管ににりを生ずる。にりを生ずる時の地震動

$$\text{は、} \quad \frac{vT}{2\pi} = \frac{AT^2}{4\pi^2} = u_0 \left\{ 1 + \frac{1}{(\frac{p}{\omega_0})^2 (\frac{u_0}{c_0})^2} \right\} \quad (7)$$

で与えられる。管全体ににりが生ずる程の地震に対し管に生ずる歪の限界は、

$$\epsilon u = \frac{C_0 vT}{4EA_0} \quad (A_0: \text{管の断面積}) \quad (8)$$

である。

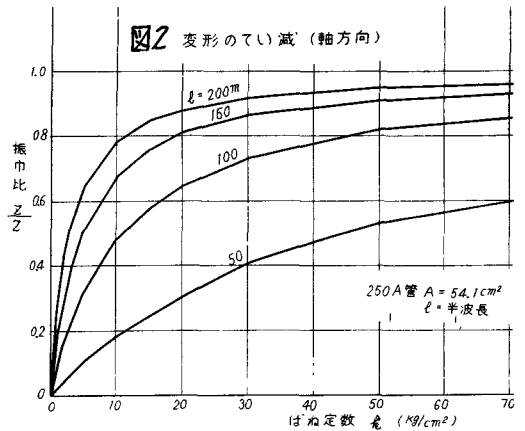
(部分的に固定されている管の歪) 管路には、マンホール、曲管・分岐管部・異形部など地盤と同一の動きをする部分が含まれる。これら各部分の長さを入とする。にりが全体に及ぶ程の地震に対して、入向に生ずる歪 ϵ_m は、

$$\epsilon_m = \frac{1}{2\pi^2} \cdot \frac{AT}{v} \cdot \frac{L}{2\lambda} \left\{ 1 - \sin \frac{2\pi}{4} \left(1 + \frac{4\lambda}{L} \right) \right\} \quad (9)$$

こゝに、 L は地震波長である。 $2\lambda = vT (= L)$ なるとき、

$$\epsilon_m = \frac{1}{\pi^2} \cdot \frac{AT}{v} \quad (10)$$

となる。 T がその地盤の卓越周期に近ければ AT が増大されるから、 $\lambda = vT/2$ なる入については全体が損傷を受ける程の大きな地震でなくとも管の他の部分に比べ被害をうけ易いと云える。その意味で、入は危険な長さであると考えられる。



4. あとがき

本報告は、松代地震を利用して行った地盤変動観測、埋設管の応答観測、土の歪観測の結果、及び各種起振実験結果を基にして地中埋設パイプラインの地震時における歪の推定を試みたものである。現段階では、大きな単純化を行わざるを得ないが、不明な点の多い地中埋設パイプラインの地震時挙動を解明する一つの糸口となるものと考え、あえて報告する次第である。本報告は東京電力、中部電力と共同して行った各種実験を基にしたものであり、両社の御協力を心から感謝する次第である。

参考文献

- 1) 大築志夫・金井清「耐震設計」 コロナ社
- 2) 岡本舜三「地震力を考へた構造物設計法(改訂版)」 オーム文庫
- 3) 高橋忠他「松代地震による電力施設・機器の耐震研究(座報)」 電研・技研報告 66078
1967.3
- 4) 桜井・高橋・野口・岩片他「松代地震を利用して超高压地中電線路埋設管の耐震性研究」電研技研報告. 1967

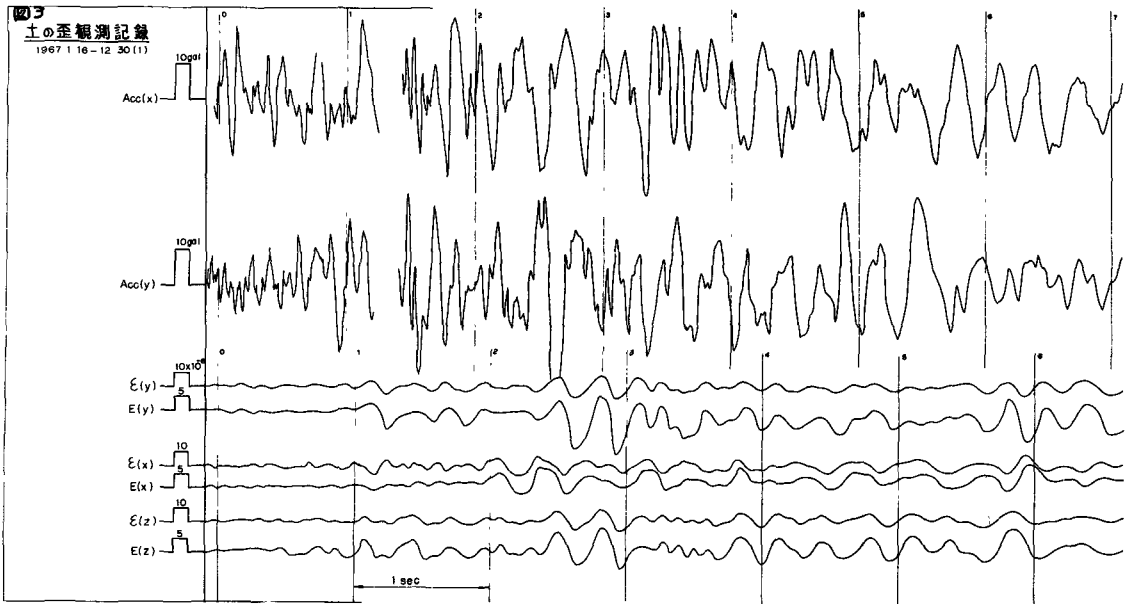


図4

