

I-606

衝突・貫入による埋設管の地震被害分析

N K K 正員 鈴木信久 正員 矢野達夫
防衛大学校 正員 大野友則 正員 石川信隆

1 はじめに 埋設鋼管の地震被害のなかに、強度が不十分な溶接継手が破断した後で、破断面が互いに衝突を繰り返し、最終的に管体を切り裂くように貫入した例が報告されている¹⁾。ただし、これらは何れも、溶接継手に関する十分な検査基準が確立される以前に建設された管路である²⁾。本文では、このような被害を発生させるのに必要な衝突速度、貫入に必要な衝突エネルギー等について検討する。

2 実験の概要 実験では、管端の衝突後の貫入状況を調べるため、SGP100A(配管用炭素鋼鋼管、管径114.3mm、管厚4.5mm)を使用した。実験は、①静的貫入実験、②定速度貫入実験、③衝突貫入実験の3種類を実施した。試験機はそれぞれ、①および②に高速変形試験機、③に落錘式衝突試験機を使用した³⁾。供試体には長さ300mmの短管を使用し、衝突時に試験機に無理な負荷を発生させないように、写真1のように下に2本、変位を与える上側に一本設置して対称性を確保した。

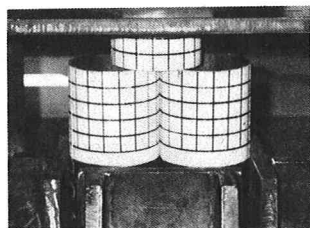


写真1 供試体の設置方法

3 実験結果 静的貫入実験および定速度貫入実験で得られた荷重～変位曲線を図1に示す。図の変形速度は、静的が $V=0\text{cm/sec}$ 、低速が $3\sim5\text{cm/sec}$ 、中速が $70\sim150\text{cm/sec}$ 、高速 $200\sim450\text{cm/sec}$ であり、変形速度が速くなるほど荷重の立ち上がりが早くなっている⁴⁾。また、静的および低速変形では、貫入量が $10\sim20\text{mm}$ のところで荷重が一旦安定しているが、貫入量の増加に伴ってさらに荷重増加が認められ、最終的には中速変形および高速変形と同程度の荷重に達している。

供試体が互いに切り裂くように貫入している状況を写真2に示す。貫入部分の形状は、高速変形ではシャープに直線的に切れ込んでいるが、中速変形ではやや直線性を失っている。さらに低速変形では貫入部分に波状の痕跡が認め

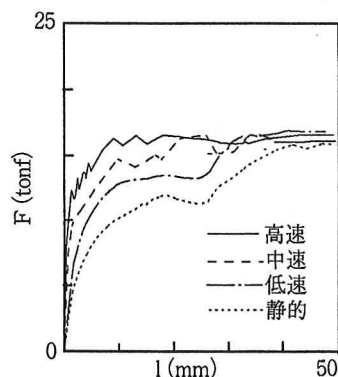


図1 荷重～変位曲線

られ、静的変形ではその傾向が特に顕著に認められる。そして、実際の被害事例で観察された破断面は、中速および高速変形実験で得られた破断面と類似したものがある。

また、衝突貫入実験の結果も合わせて貫入体積を図2に示す。ただし縦軸は、衝突貫入実験については落錘の位置のエネルギーおよび衝突後の荷重と貫入量の積、静的お

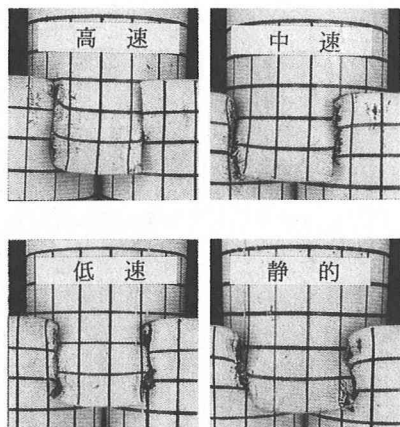


写真2 衝突貫入後の破面

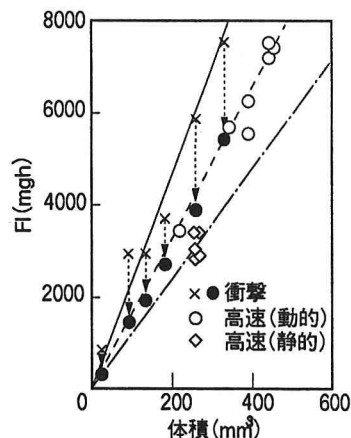


図2 E初値、仕事量と貫入体積

よび定速貫入実験については荷重と貫入量の積で表している。図のように、貫入量とエネルギーの関係は線形と見なすことができる。

また、接触面圧と衝突後の貫入速度(V_{pene})の関係を図3に示すが、接触面圧(σ_{cont})は貫入速度に関係せず、ほぼ一定値($\sigma_{\text{cont}}=18000\text{kgf/cm}^2$)となっている。この接触面圧は、SGP材料の機械的特性が、降伏点(σ_y)=2200~2400kgf/cm²、耐力(σ_u)=3800~4200kgf/cm²であることを考慮すると、貫入に必要な σ_{cont} は、 σ_u の約4.5倍となっている。

したがって、 $\sigma_{\text{cont}}=18000\text{kgf/cm}^2$ に達するような管体の平均軸応力(σ_{cr})を求めると次式のようにになる。

$$\sigma_{\text{cr}} = \frac{\sigma_{\text{cont}} A_{\text{cont}}}{A} = \frac{2\sigma_{\text{cont}} t^2}{\pi D t} = \frac{2\sigma_{\text{cont}} t}{\pi D} \quad (1)$$

上式にSGP100Aの諸元を代入すると、 $\sigma_{\text{cr}}=451\text{kgf/cm}^2$ となり、管体ひずみは $\varepsilon_{\text{cr}}=0.0215\%$ となる。

4 埋設管の応答変位と被害分析 半無限長の直線管路が一樣な地盤ひずみ場にある場合、管路の自由端に発生する変位(u_p)は近似的に(2)式で与えられる²⁾。

$$u_p = \frac{Et}{2\tau_{\text{cr}}} \varepsilon_g^2 = \frac{Et}{2\tau_{\text{cr}}} \left(\frac{2\pi}{L} \right)^2 U_g^2 \quad (2)$$

ここに、 E :管の弾性定数、 t :管厚、 ε_g :地盤ひずみ、 τ_{cr} :管軸方向への最大摩擦力、 L :見かけの波長、 U_g :地盤の変位振幅。

また、切断された管の自由端における管軸方向変位(v_p)は、地盤の変位振幅の関数で次式のように表される。

$$v_p = \frac{4\pi^3 Et}{f_r \tau_o V^2 T^3} U_g^2 = \frac{1}{f_r} v_{p0} \quad (3)$$

ここに、 f_r :地盤ばね特性の低減係数、 τ_o :基準摩擦力、 V :地震波の見掛けの伝播速度、 T :表層地盤の固有周期、 v_{p0} :基準管端変位($\tau_{\text{cr}}=0.1\text{kgf/cm}^2$)に対する管端の応答速度。

(2)、(3)式を高圧ガス導管耐震設計指針の基本的な定数に基づいて、地盤の固有周期をパラメータに試算した結果をそれぞれ図4および図5に示す⁵⁾。何れも、周期の増加に伴って減少しているが、 f_r に反比例している。

5 まとめ 衝突、貫入を伴う埋設鋼管の地震被害を実験的に検討した。その結果、貫入抵抗力は貫入速度によらずほぼ一定で、比較的小さな軸応力でも貫入する可能性がある。しかし、被害を受けた管の破断面を観察すると、貫入速度は100~300cm/sec程度であろうと思われる。この貫入速度は地盤の変位速度よりも大きい、管端の変位速度は地盤の変位速度よりも大きく、摩擦力が低下するほど大きくなる。したがって、破断後繰り返し変形を受けてばね特性が劣化したり、液状化によってばね特性が低減する場合には、このような貫入が発生する可能性があるものと考えられる。

参考文献

- 1) 鈴木: '埋設管の地震被害と信頼性', 確率論的安全性(PSA)に関する国内シンポジウム論文集, 1989.
- 2) 鈴木, 浜田: '埋設管の地震被害と管路網の変形特性', 構造工学論文集, Vol. 37A, 1991.
- 3) 伊藤, 石川, 川嶋, 鈴木: 'モルタル充填鋼管の衝撃限界吸収エネルギーに関する実験的考察', 構工論, Vol. 36A, 1990.
- 4) 首藤, 松本, 高橋, 大野: '高速载荷を受ける鋼材の動的応力~ひずみ関係モデル', 土木第45回年講, 1991.
- 5) (社)日本ガス協会: 高圧ガス導管耐震設計指針, 1982.

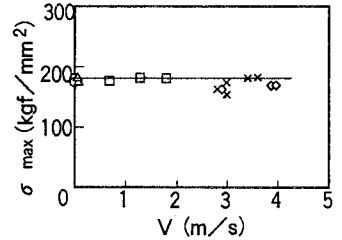


図3 貫入速度と貫入抵抗力

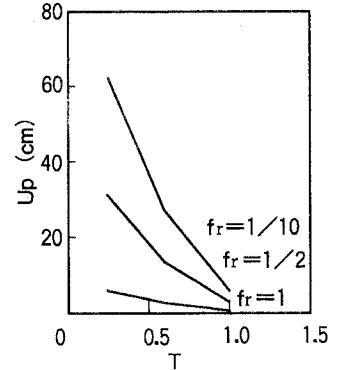


図4 管端の応答変位

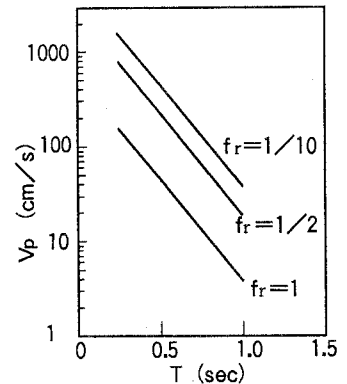


図5 管端の応答速度