

(112) 地震時埋設管に作用する地盤拘束力の速度及び繰り返し依存性
—管軸方向における振動台実験結果—

東京ガス基礎技術研究所 正員 ○小林実央
正員 安藤広和
小口憲武

1. はじめに

地震時に、埋設構造物が揺動している地盤から受ける拘束力は、一般に周囲の地盤を線形バネでモデル化することによって評価されることが多い。埋設管についても例外ではないが、周辺地盤と管との相対変位が大きくなる大規模地震を考えた場合には、図1に見られるように拘束力を著しく過大に評価する可能性が生じる。そのような大変位問題には、滑りを考慮した非線形バネモデル¹⁾が考案されており、耐震設計²⁾にも反映されている。しかし、このモデルでは、相対変位は一方のみで、現実の地震で経験するような地盤変位の繰り返しやその速度についての検討³⁾は十分試されていないのが現状である。

そこで、大地震を想定した合理的な地盤拘束力モデルの構築を目指して、当研究所では地盤変位の繰り返し及び繰り返し速度が動的地盤拘束力に与える影響を調べている。本報告は、振動台を用いて行った管軸方向に関する実験の結果である。

2. 実験方法

図2に実験装置および計測項目の概要を、写真1に実験状況を示す。表1はその実験条件である。鋼製土槽（奥行き1.2×長さ1.8×高さ1.9m）を振動台に固定し、充填した山砂の中に口径150Aのポリエチレン被覆（PLP）鋼管を土被り1.2mで埋設した。なお、山砂は30cm毎に転圧、締固め度95%以上となるようにした。実験は管の端部を反力壁に固定し、土槽を管軸方向に加振することにより行った。加振波形としては、地盤の速度、および繰り返し等の影響を見るために、表に示すように、異なる速度で制御した正弦波、微小領域（最大10mm）で振幅をテーパ状に増減させた正弦波、実地震波、の3種類とした。

計測は図に示すように、土槽には速度計、加速度計および変位計を、管にはひずみゲージおよび荷重計を設置することにより、それぞれのケースにおける地盤拘束力と変位等の関係を記録した。

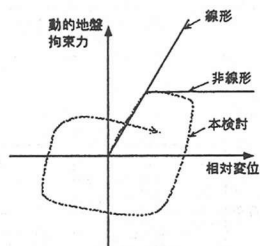


図1 地盤拘束力モデル例

表1 実験条件

条件	諸元
管	ポリエチレン塗覆鋼管（外径=165.2mm、管厚t=5mm。原管ベース）
山砂	- 単位体積重量 $\gamma = 1.71 \text{g/cm}^3$ - 粘着力 $c = 0.22 \text{kgf/cm}^2$ - 内部摩擦角 $\phi = 37^\circ$ 50%粒径 $D_{50} = 0.22 \text{mm}$
加振	- 速度制御波（最大50、5、0.5kine。振幅共に100mm） - 微小振幅テーパ波（振幅0.5mm～10mm） - 実地震波（1978年宮城県沖地震、東北大1F NS方向 最大加速度 258.3gal）

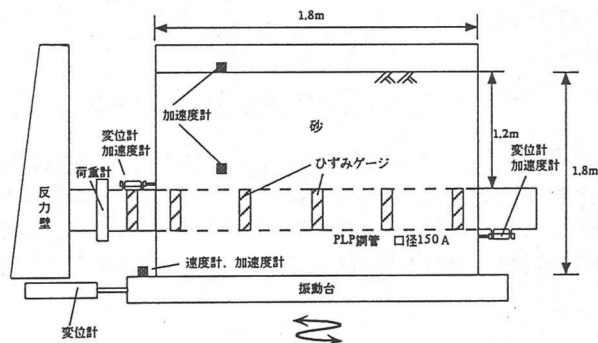


図2 実験装置及び計測項目

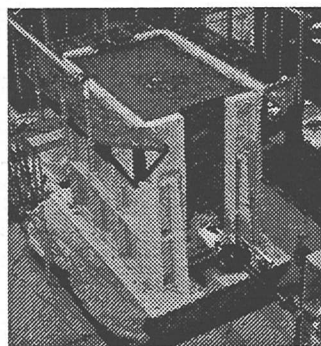


写真1 実験状況

3. 実験結果

3.1 速度制御実験

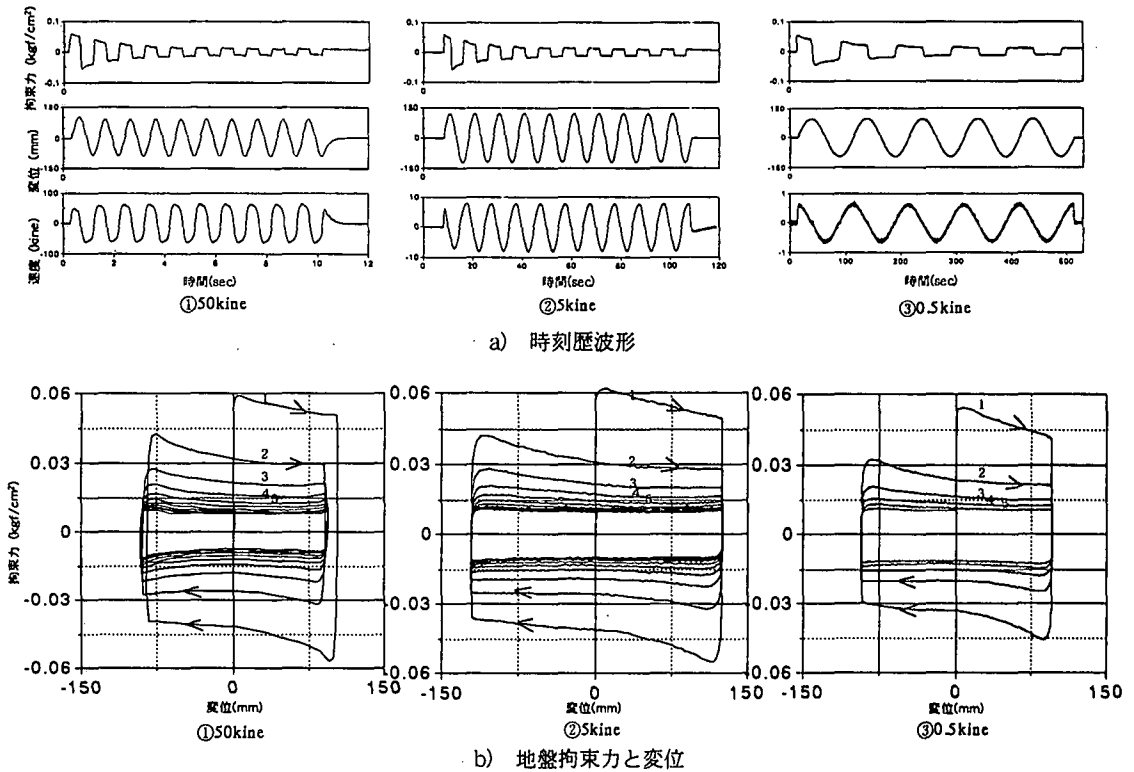


図3 各速度における動的地盤拘束力

地盤速度は大規模地震を想定した場合（最大速度50kine）とそれ以外（5,0.5kine）の3種類に設定した。図3に各速度における地盤拘束力の結果を示す。ここで、地盤拘束力は発生する荷重を管の埋設部の表面積で除した値 (kgf/cm^2) とした。

各速度において、地盤拘束力の最大値はほぼ一致し、1サイクル目の微小変位時に約 $0.06\text{kgf}/\text{cm}^2$ となった。4サイクル目程度までは変位方向が変化する、つまり速度の正負が変わる位置の付近で若干増加する傾向にある。しかし、5サイクル目以降は繰り返しの伴い、完全塑性に近い挙動を示し、最大値も $0.02\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以下となった。

変位の繰り返し回数と最大地盤拘束力の関係を図4に示す。この結果からも、拘束力は速度依存性が見られないこと、各速度とも繰り返し回数に伴い拘束力が低下し、5回程度の繰り返しの拘束力が30%以下となることが明らかになった。また、各速度につき2回の実験を行っているが、バラツキが少なく、再現性が高いことがわかる。さらに、埋設後1ヶ月程度放置し、地盤と管のなじみの影響をみる実験も行ったが結果の相違は見られなかった。

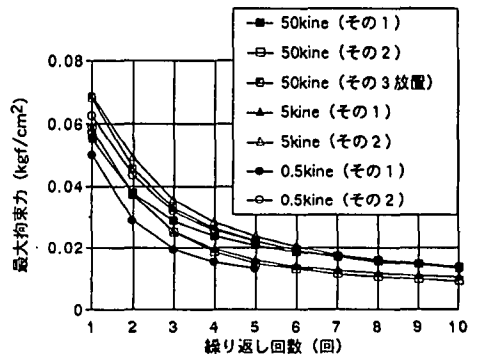


図4 地盤拘束力と変位の繰り返しの関係

3.2 微小変位振幅実験

振動数1Hzの正弦波で振幅をテーパ状に0.5mmピッチで10mmまで漸増後、同じピッチで漸減するように加振した。結果を図5に示す。地盤拘束力は3サイクル目（振幅約0.5mm）で最大値約0.06kgf/cm²をとり、その後、変位の増加に関わらず、ほぼ一定の値となった。しかし、拘束力は速度制御実験に比べ、際だったピークや一定値をもたず、大変形挙動時と比較して埋設管周辺と管の地盤降伏の範囲や程度が小さいものと思われる。

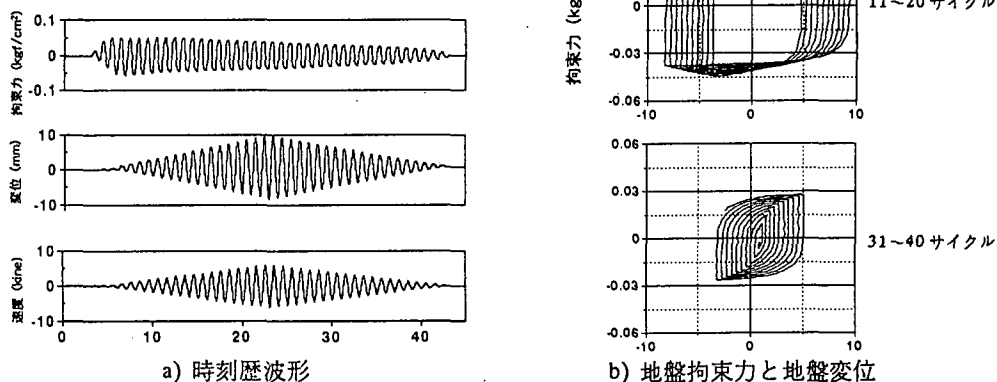


図5 微小変位振幅に対する地盤拘束力

3.3 実地震波実験

実地震波での特性を把握するため、宮城県沖地震において東北大1Fで観測されたNS方向記録（最大加速度258.3gal）を入力した実験を行った。結果を図6に示す。ここで、振動台再現波の最大速度および変位は約36kine、約11cmであった。

この場合でも、地震の主要動領域に達する前の微小変位領域で地盤拘束力は最大となり、約0.06kgf/cm²となった。この値は前述した2ケースの実験結果と一致した。これにより、地震波などランダムな波形であっても拘束力は地盤変位の大きさに依存しないこと、繰り返しに伴い、速度制御実験と同様、0.02kgf/cm²程度に低下する傾向にあることが示唆された。

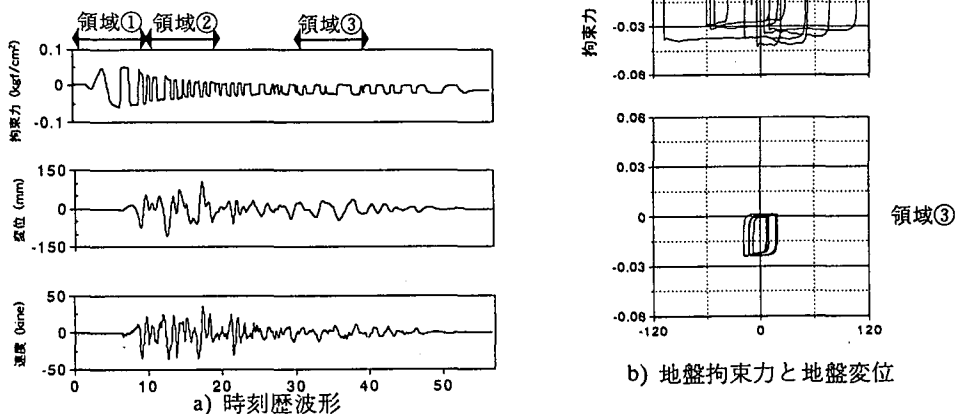


図6 実地震動での地盤拘束力

3.4 管のすべり出し変位について

ここでは、前述した速度制御波、微小振幅波および実地震波を用いた実験について、地盤拘束力が最大となる初期くり返し時付近での同拘束力と変位の関係を比較した。ただし、速度制御型については各速度ともほぼ挙動は一致しているため、50kineの結果のみとした。

図7のように、各加振条件とも地盤拘束力は0.3mm程度までは著しく増加傾向にあるが、それ以降は漸増しながらも、ほぼ一定値となった。また、それ以上の変位振幅領域では、どの加振条件でも、図4～6のように、拘束力が漸減する傾向が示された。

そして、滑り出し変位付近の拘束力-変位曲線経路は加振条件間に差がほとんど見られない。すなわち、管の滑り出し変位や、滑り出し時の地盤拘束力の挙動は、加振速度や変位振幅には依存しないことがわかった。

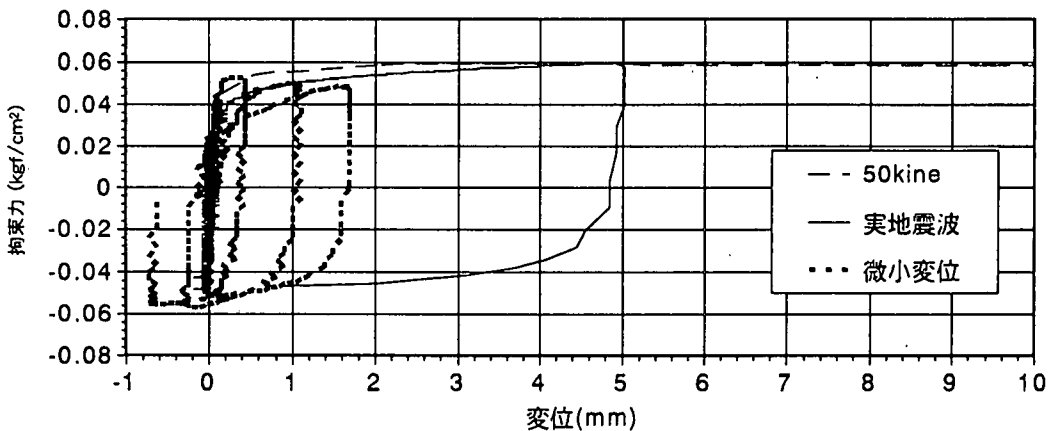


図7 動的地盤拘束力と滑り出し変位

4. まとめ

埋設管の管軸方向における地盤拘束力について、速度依存性および繰り返し特性を検討するため、実管（口径150A、PLP鋼管）を用いた振動台実験を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- ・大規模地震を想定して最大速度50kineで加振した場合の地盤拘束力は、静的な結果と相違なく、同拘束力の速度依存性は確認されなかった。
- ・微小変位で振幅を変化させた結果も大変位振幅と同様、地盤拘束力は非線形性（完全塑性挙動）を示した。最大地盤拘束力は0.06kgf/cm²前後の値を示した。そして、変位の繰り返しとともに拘束力は低下し、数回の繰り返しで30%程度（0.02kgf/cm²）に減少した。この傾向は実地震動を入力した場合も同様であった。
- ・各加振条件とも最大地盤拘束力は、0.3～0.5mm程度の微小変位領域で発生し、それ以降の領域では、ほぼ一定となるか、または漸減している。

参考文献

- 1) O'Rourke, M. et al, Soil springs for buried pipeline axial motion, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol.114, No.11, pp.1335-1339, 1988
- 2) 日本ガス協会、ガス導管耐震設計指針、1982
- 3) 建設省土木研究所、地中管路の耐震設計法に関する調査結果、土木研究所資料第1073号、1975