

金沢大学工学部 正 員 宮島 昌克
 金沢大学工学部 正 員 北浦 勝
 茨 城 県 小杉 俊一

1. はじめに

地震時に地盤が液状化した場合、地中埋設管には地震波動のほかに浮力や浸透力による上向きの力が働くものと考えられる。すなわち、液状化時の地盤は単位体積重量 $1.9 \text{ tf/m}^3 \sim 2.0 \text{ tf/m}^3$ の流体のように挙動するので、その単位体積重量と地中埋設管の単位体積重量の差に相当する力が、地中埋設管に上向きに作用する。また、過剰間隙水圧の消散に伴う上向きの浸透流も地中埋設管に作用する。著者らは、文献 1)において、浮力による影響を軽減するための対策として、地中埋設管の単位体積重量を増して液状化時の周辺地盤のそれに近づけることを提案している。しかし、そこでは浸透流による影響は検討されていない。そこで本研究では、過剰間隙水圧の消散に伴って生ずる浸透流に注目し、それが地中埋設管の挙動に与える影響を明らかにする。

2. 実験概要

新潟地震 (1964, M7.5) の震害記録によれば、地震の弾性震動が終ったとみられる頃から噴砂噴水現象が見られ、場所によっては20分～30分近く続いたということである²⁾。このように、地中埋設管が埋設されている地表面付近においては、地下水位の影響などにより相対的に有効応力が大きいために間隙水圧が上昇しにくく、それよりも深い地点で液状化が生じ、その過剰間隙水圧の消散に伴う上向きの浸透流によって、地表面付近の地盤が液状化する場合が多いと考えられる。この場合には、地盤下方から浸透流を与えるというボーリング実験によって、液状化時の地中埋設管の挙動をシミュレートすることができる。このような観点から、以下の実験装置を用いて実験を行った。

実験装置の概略をFig. 1に示す。幅 500 X 長さ1500 X 高さ350 mmの

鋼製の砂箱の底に、直径1.5 cmの塩ビ管を等間隔で4本配置した。各々の管には17cm間隔で直径0.2 cmの穴が7個開けられており、これらの管の左右はそれぞれ連結され、ホースを介して水道管に接続されている。地中埋設管模型としては、サンウレタン丸棒ゴム (20 ϕ X 1000mm) を使用した。丸棒ゴムの上部に15枚のひずみゲージを接着し (Fig. 2)、管ひずみを測定するとともに、管の浮上量も測定した。丸棒ゴムはFig. 1に示すように、砂箱の側壁に剛結された鋼製の腕に固定されている。埋設深さは4.0 cmとし、水の湧き出し口の真上に設置した。また、間隙水圧計 (豊田工機製、最大0.5 kg/cm², PMS-5M) を地表面と管の埋設位置に設置し、間隙水圧と静水圧の変化を測定した。

3. 実験結果及び考察

実験結果の一例をFig. 3に示す。それぞれ、埋設管模型の埋設深さにおける間隙水圧と、ひずみゲージ1, 4, 7, 10におけるひずみ記録である。この時の供給流量は 818cm³/sec である。砂地盤の地表面積は7500cm²であるので、上向き浸透流の平均流速として0.11cm/sec が得られる。しかし、本実験装置においては全層に一樣に水が流れるのではなく、Fig. 4に示すように水の湧き出し口付近のみでボーリングが起こり、不均一な状態となっている。そこで、上昇流の影響範囲を視察により算出すると、約2660cm²であった。したがって

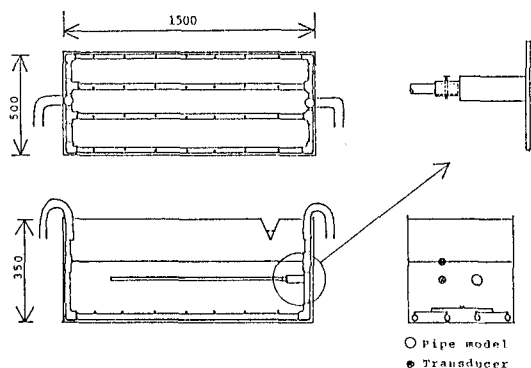


Fig.1 General view of experimental apparatus

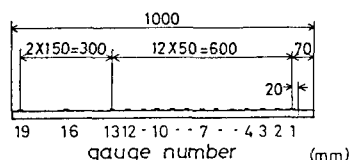


Fig.2 Pipe model

その影響範囲における平均流速は、 0.31cm/sec となる。一方、液状化が生じた時の間隙水の流出速度は、Darcy の法則から求められる。

$$v = ki \quad i: \text{境界動水勾配}, k: \text{透水係数}$$

$$i = (G-1)/(1+e) \quad G: \text{砂密度の比重}, e: \text{間隙比}$$

本実験においては、 $G=2.6$, $e=0.86$ であり、透水係数は $k=0.03\text{cm/sec}$ 程度と考えられるので、 $v=0.026\text{cm/sec}$ となる。この値は、砂地盤全体が一様に液状化した時に生ずる浸透流速と言える。実験より得られた値と比較すると、模型砂層全体の平均流速はこの値の約4倍、水の湧き出し範囲を考えた時はこの値の約12倍の値となっている。したがって、本実験における浸透流の速さは、噴砂噴水孔の面積の約4～12倍の範囲にわたって液状化した時の浸透流が地表面の比較的弱い部分に集中し、噴砂噴水現象を起こした場合に対応すると考えられる。

間隙水圧の記録を見ると、約5秒後までに水圧の急激な上昇があり、それ以降は一定の増加率を示している。これは、2つの水道の蛇口を開くことによって水を供給しているので、約5秒後までに砂粒子は浮遊状態となり、約25秒後までは非定常な流れが生じているが、それ以降は地表面上に水がたまることにより静水圧が増加しているものと考えられる。この時のひずみ記録を見ると、約30秒後までにひずみは最大値を示しており、30秒以降ではほぼ一定の値を示している。これは管の単位体積重量が 1.14gf/cm^3 であり、ボーリング時の周辺地盤のそれより小さいことにより生ずる浮力と上向きの浸透流の影響により管は浮上するが、約30秒後に管の曲げ抵抗と浸透流および浮力の和による力とが釣り合って管の浮上が止まるためと考えられる。ひずみ値は固定端に最も近いゲージ1において最大を示しており、約 1500×10^{-4} となっている。

つぎに、埋設管模型の12箇所に板鉛を巻きつけ、管の単位体積重量を 1.82gf/cm^3 と増加させ、液状化した地盤のそれに近づけて同様の実験を行った。Fig. 5にひずみの最大値分布を、Fig. 6に埋設管模型の最終浮上量をそれぞれ示す。単位体積重量 1.14gf/cm^3 の管では自由端が地表面付近にまで浮上していたが、単位体積重量 1.82gf/cm^3 の管ではほとんど浮上していない。したがって、固定端近傍に集中するひずみも後者の方が小さくなっている。この時、板鉛を巻きつけることによる曲げ剛性の増加が管をたわみにくく、すなわちこの場合は浮上しにくくしていることが考えられるが、これを考慮に入れても管の浮上量は軽減されていることが明らかとなった。

以上のことより、管の単位体積重量を増すことは、本実験のように噴砂噴水孔の面積の約4～12倍の範囲が液状化し、その影響で浸透流が卓越し噴砂噴水現象が生ずるような地点においては管の浮上を軽減するのに有利であるという結論を得た。しかし、実際の地盤においてはもっと大規模な噴砂噴水現象が見られるので、さらに検討が必要である。

- 参考文献 1) 北浦勝, 宮島昌克; 構造物近傍における地中埋設管の液状化被害軽減に関する実験, 第6回日本地震工学シンポジウム, 1982.
2) 建設省土木研究所; 新潟地震調査報告, 土木研究所報告, No.125, 1965.

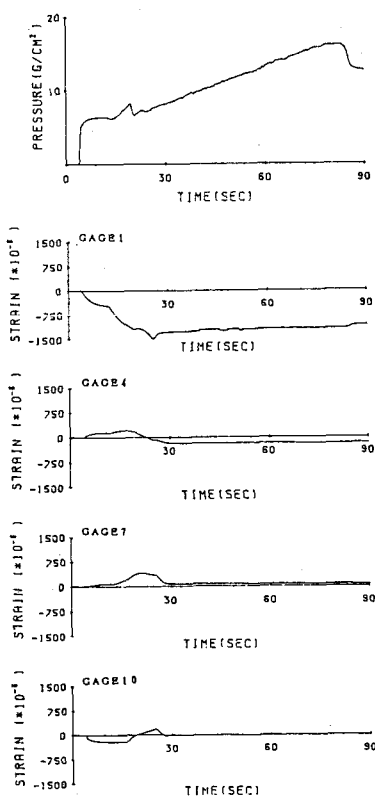


Fig.3 Records of water pressure and strains of the pipe

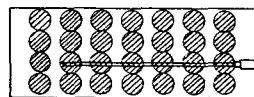


Fig.4 State of sand boiling

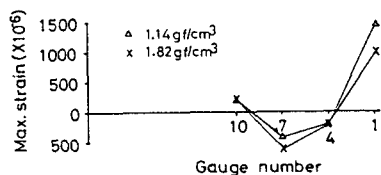


Fig.5 Distribution of maximum strains of the pipe

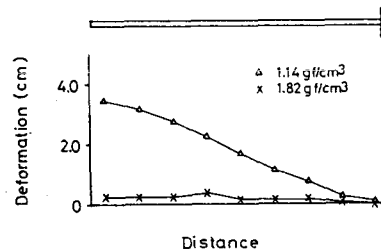


Fig.6 Deformation of the pipe