

16. 液状化地盤における伸縮可とう管の挙動について（その2）

Behaviour of Buried Pipes with Flexible Joints in Liquefied Ground (Part2)

浅田 毅*

溝口 義弘*

要 旨

構造物に取り付けた伸縮可とう管または直管との固定部が地震動を受け液状化したときに、どのような荷重が作用するかを確認するために振動台実験を行った。その結果、埋設管の固定部に作用する鉛直荷重は、地盤の液状化に伴って小さくなり、地震動が収まり過剰間隙水圧が消散するにつれて再び大きくなること、伸縮可とう管では、固定部に作用する鉛直荷重は加振前後でほぼ変化なく、直管の場合に比べて地震動による上下方向の荷重変動が小さく、液状化の影響をほとんど受けないことがわかった。また、水平荷重においても、鉛直荷重の場合ほど顕著な差は認められないものの、同様な傾向があることなどがわかった。

キーワード：液状化／伸縮可とう管／作用荷重

1. はじめに

前報では、液状化地盤における伸縮可とう管の挙動について振動台実験を行い、地盤が液状化するとともに埋設管が動き始め、地震動が収まると管の動き、沈下が止まり、過剰間隙水圧が消散していく過程では管の沈下等はほとんど見られないこと、地震動が管の設置方向に対して直角方向に作用した場合、管の挙動変位量が最大となることなどを述べた。

本報では、伸縮可とう管または直管を設置したせん断土槽を振動台上に載せ、前回と同様な方法で加振実験を行い、地盤が液状化した際に構造物と埋設管との固定部にどのような荷重が作用するかについて検討した結果を述べる。

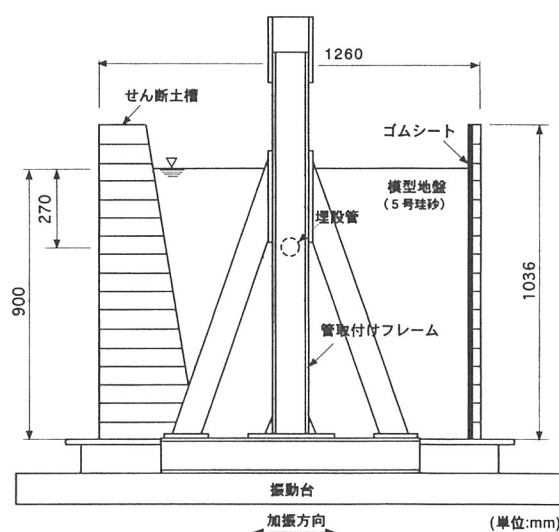


図-1 実験装置の概要図

2. 実験概要

2.1 実験装置

実験装置の概要図を図-1に示す。振動台は、長さ2m、幅1.5mで、最大積載荷重24.5kNであり、水平方向に1G、鉛直方向に0.5Gで加振することができる。振動台上に載せたせん断土槽は、幅60mmのローラー付きアルミフレームを積層した長さ1.2m、幅1.0m、高さ1.036m（内法寸法）のものであり、内側に止水のためのゴムシートを取り付けている。管の取付けフレームは振動台上に直接固定され、せん断土槽と独立した動きをする。

実験に用いた管の形状寸法を図-2に示す。管は口径50mmの鋳鉄製で、見かけ比重は $\rho_p = 26.5 \text{ kN/m}^3$ であり、

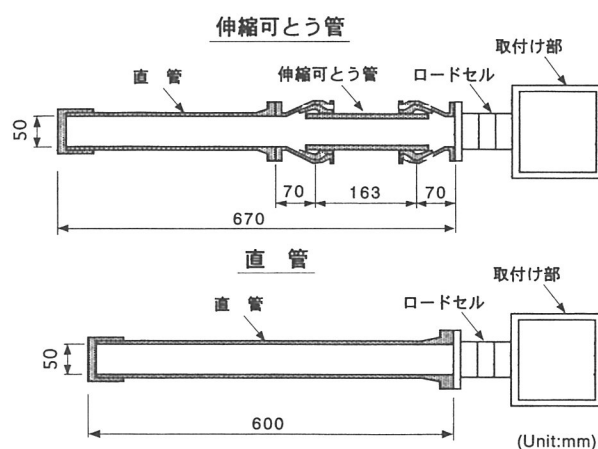


図-2 実験に用いた管

*土木構造研究室

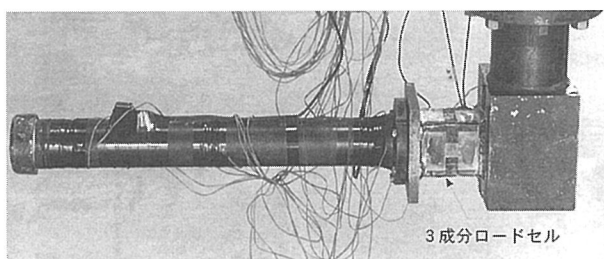
実際の埋設管と同じ値に調整されている。作用荷重を測定するため、3成分（X、Y、Z方向）ロードセルを管固定部に取り付けた。写真－1に、ロードセルの取り付け状況を示す。

2.2 実験方法

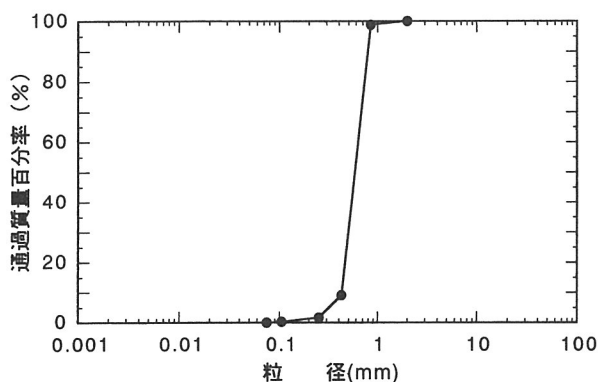
実験に用いた試料は、岐阜県土岐産の珪砂5号である。その粒度分布を図－3に、物理特性を表－1に示す。

相対密度が $Dr=60\%$ になるように、珪砂を水中落下法によってせん断土槽に投入しながら、埋設管、間隙水圧計、加速度計などを順次設置してモデル地盤を作製した。写真－2に、作製したモデル地盤を示す。

実験では、振動台を水平方向に周波数1Hz、加速度50galの正弦波で10秒間加振し、その後、加速度100galで10秒間加振した。



写真－1 3成分ロードセルの取り付け状況



図－3 珪砂5号の粒度分布

表－1 物理特性

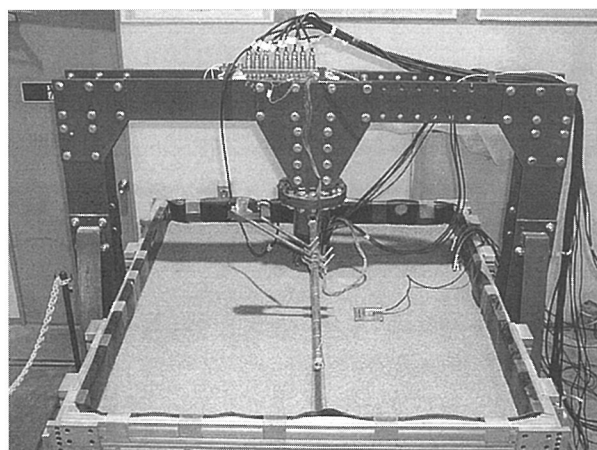
土粒子の密度 ρ_s (kN/m ³)	25.9
最大間隙比 e_{max}	0.983
最小間隙比 e_{min}	0.668
平均粒径 D_{50} (mm)	0.62
均等係数 U_c	1.57
曲率係数 U_c'	1.05

図－4に示すように、加振方向に対し、伸縮可とう管を直角方向（ケース(1)）、平行方向（ケース(2)）に設置した場合と、直管を直角方向（ケース(3)）、平行方向（ケース(4)）に設置した場合の4ケースについて実験を行った。

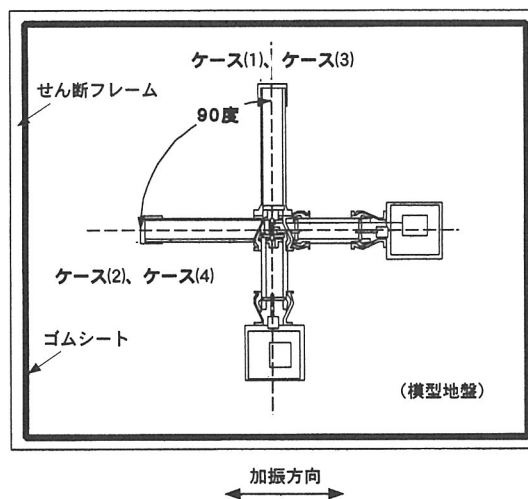
3. 実験結果および考察

4ケースの振動台実験とも、加速度50galでは地盤は液状化せず、100galにおいて液状化した。次に、ケース(1)からケース(4)の実験結果について述べる。

ケース(1)におけるせん断フレームの変位と、振動台の加速度の時刻歴を図－5に示す。この図から、せん断土槽は加速度100galで10秒間（図中、5～15秒の間）加振され、フレームの変位は加振開始から徐々に大きくなり、以後漸増して加振開始後約8秒で最大となり、加振終了



写真－2 モデル地盤



図－4 実験ケース

後2秒でその動きが止まったことがわかる。このことから、加振開始後約4秒で地盤の液状化が起り、地盤剛性が急激に低下してフレームが動いたことがわかる。その他のケースにおけるフレーム挙動の時刻歴も、同様の経過であった。

ケース(1)、ケース(3)における地盤内の過剰間隙水圧の時刻歴を図-6に示す。両ケースの場合も、加振開始後4～5秒に過剰間隙水圧比（過剰間隙水圧／有効土被り圧）が $\Delta u / \sigma v' = 0.95$ 以上となって地盤が液状化し、その状態が加振終了から5秒後まで続き、その後、過剰間隙水圧が地盤深部から順次消散したことがわかる。このこと

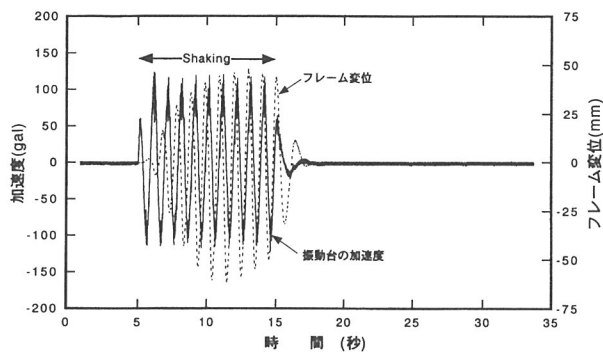


図-5 フレーム変位と加速度の時刻歴

は、前述したフレーム挙動の時刻歴と符号している。また、ケース(2)、ケース(4)における過剰間隙水圧の時刻歴を図-7に示す。これらのケースでの時刻歴も、同様の経過であることがわかる。

図-8に、ケース(1)、ケース(3)における地盤内の加速度の時刻歴を示す。また、ケース(2)、ケース(4)での時刻歴を図-9に示す。4ケースの場合とも、深さ方向に位置を変えて埋設した3個の加速度計の値が加振開始から4～5秒後にほぼ同時に変動し始め、その後加振終了から2～3秒まで大きな変動を繰り返している。このことから、地盤の液状化が土槽全体で同時に起り、それに伴い地盤流動が生じたことがわかる。

図-10に、ケース(1)、ケース(3)における管固定部に作用する鉛直荷重の時刻歴を示す。ケース(1)では、加振直後から鉛直荷重が徐々に小さくなり、地盤の液状化時点から荷重が上下に多少変動しているが、その値はほぼ一定である。ケース(3)の場合、ケース(1)と同様に加振直後から徐々に減少しており、液状化の発生とともに、ケース(1)の場合より、上下方向の大きな荷重が管固定部に作用している。

これらのことから、両ケースの場合とも、液状化に伴い鉛直荷重が小さくなったのは、加振前に埋設管へ作用

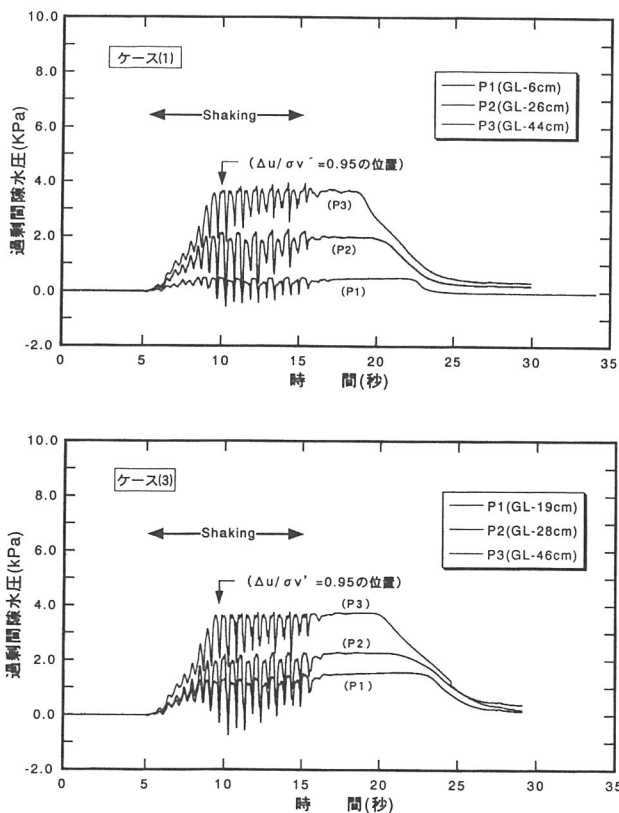


図-6 過剰間隙水圧の時刻図（ケース(1)、(3)）

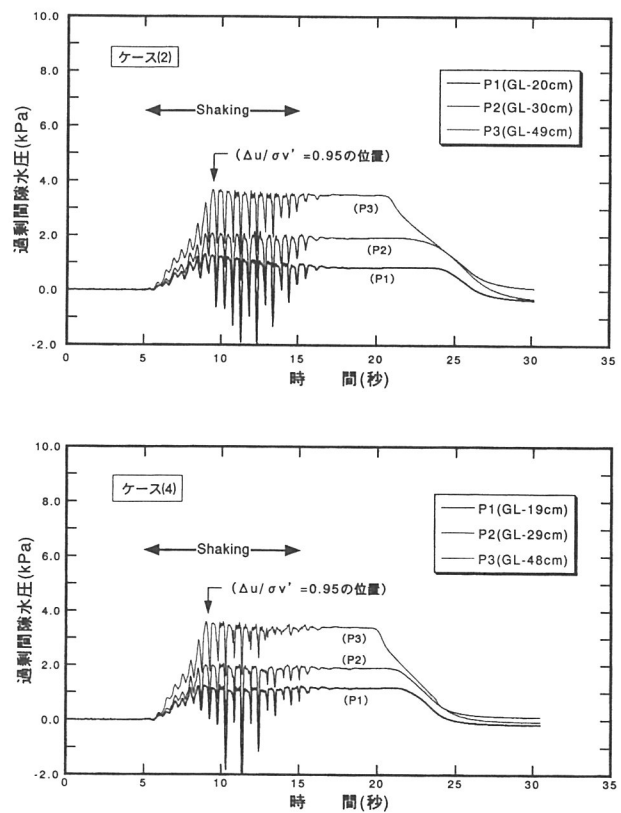


図-7 過剰間隙水圧の時刻図（ケース(2)、(4)）

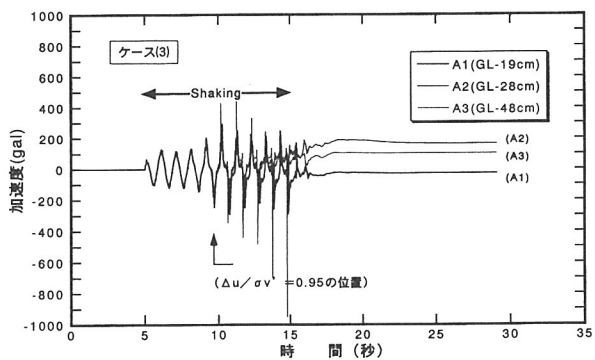
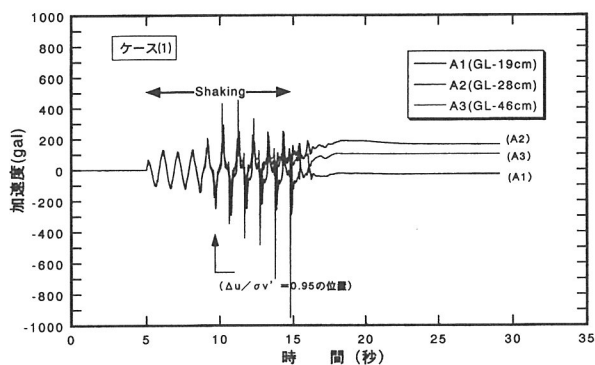


図-8 加速度の時刻歴 (ケース(1)、(3))

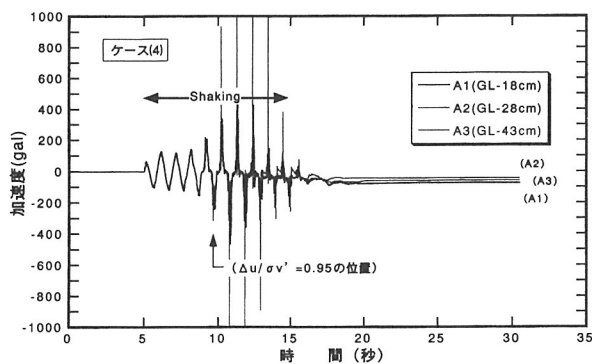
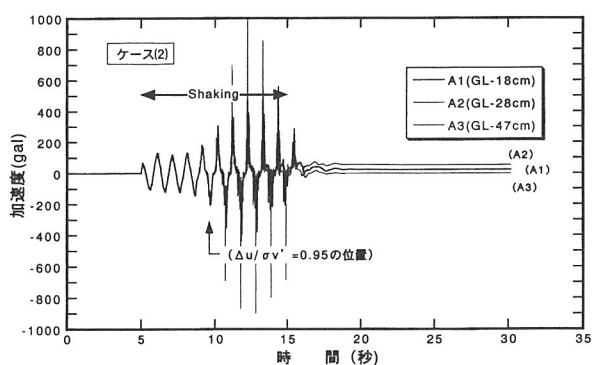


図-9 加速度の時刻歴 (ケース(2)、(4))

していた有効土被り圧が地盤の液状化により減少したと、管に浮力が働いたことによるものであり、加振終了後に荷重が増加したのは、流動が収まったのち地盤の再圧密が起り、有効土被り圧が大きくなったためと考える。この傾向は特にケース(3)の場合において顕著であり、地盤流動で発生した大きな流動圧が構造物と直管との固定部に作用したことを示す。

図-11に、ケース(1)、ケース(3)での管固定部に作用する水平荷重の時刻歴を示す。両ケースの場合とも、加振開始直後から水平荷重が左右方向に作用し、液状化時点からその変動幅が大きくなって、加振終了から2秒後までその状態が継続している。なお、ケース(1)における荷重の変動幅は、ケース(3)の場合より小さい。

図-12に、ケース(2)、ケース(4)における管固定部に作用する鉛直荷重の時刻歴を示す。両ケースの場合とも、加振開始直後から鉛直荷重が上下方向へ変動しながら徐々に小さくなり始め、液状化時点から加振終了後4秒までの間で最小となり、その値は過剰間隙水圧の消散とともに少しずつ増加しながら一定値に収束している。ケース(2)での液状化に伴う荷重の減少幅は、ケース(4)の場合の半分程度であり、加振前の初期値と最終値との差もケース(4)に比べて小さい。また、ケース(4)では、液状化中に

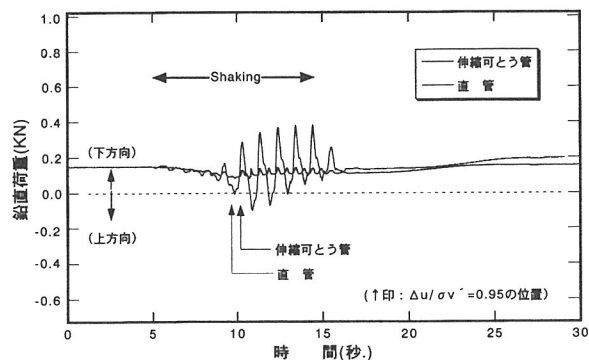


図-10 鉛直荷重の時刻歴 (ケース(1)、(3))

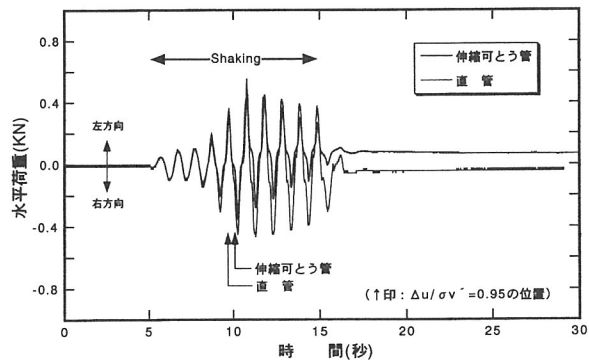


図-11 水平荷重の時刻歴 (ケース(1)、(3))

加振前の初期値よりも大きな荷重が上方向に作用したことがわかる。

図-13に、ケース(2)、ケース(4)での管固定部に作用する管軸方向の荷重の時刻歴を示す。両ケースの場合も、加振開始と同時に前後方向に変動しており、ケース(2)での荷重変動幅がケース(4)に比べて大きい。また、ケース(2)の場合、加振終了後では管軸方向に荷重が作用してい

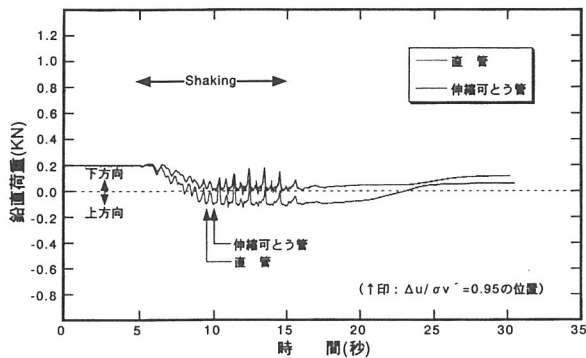


図-12 鉛直荷重の時刻歴 (ケース(2)、(4))

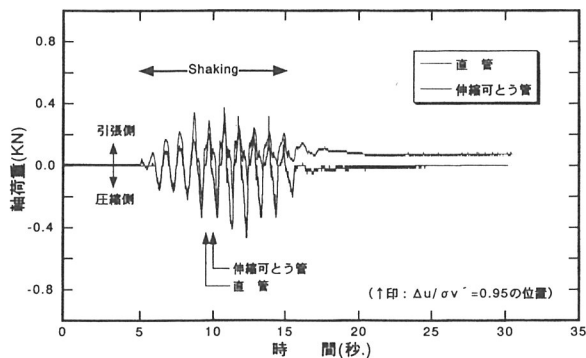


図-13 軸荷重の時刻歴 (ケース(2)、(4))

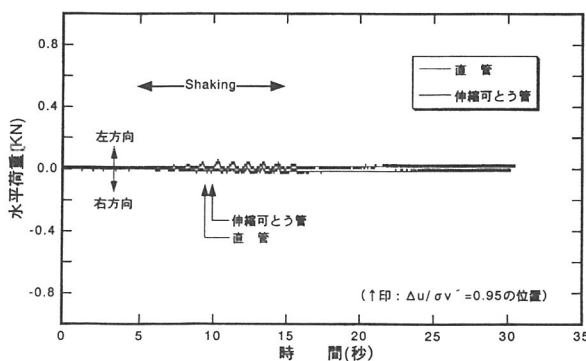


図-14 水平荷重の時刻歴 (ケース(2)、(4))

ないのに対して、ケース(4)では引張力が作用したままの状態が続いている。伸縮可とう管の場合、加振中に大きい荷重を受けているのは、管が前後に伸縮しながら変形することにより、固定部に管軸方向の荷重が働いたためと考える。

図-14に、ケース(2)、ケース(4)での管固定部に作用する水平荷重の時刻歴を示す。両ケースの場合も、水平荷重が管固定部にほとんど作用しなかったことがわかる。

4. まとめ

液状化地盤中における埋設管と構造物との固定部に作用する荷重について、振動台実験を行って検討した結果、以下のことがわかった。

- (1) 地震力が管の設置方向に対して直角に作用した場合、直管では、地盤の液状化によって固定部には大きな鉛直荷重が働き、その上下方向の変動も大きいのに対して、伸縮可とう管では、固定部に働く荷重は小さく、液状化によって地盤が流動している間の荷重変動も少なく、加振前後での荷重にほとんど変化が見られない。また、伸縮可とう管の固定部に働く水平荷重は、直管の場合と同じように加振開始時から左右に変動し始め、液状化するとさらに大きく変動するが、その変動幅は直管の場合より小さい。
- (2) 地震力が管の設置方向に対して平行に作用した場合、直管では、地盤の液状化に伴う土被り圧の減少と上向きの作用力とによって管固定部に大きな鉛直荷重が働き、加振中、上下に大きく変動する。伸縮可とう管では、直管の場合と同様な傾向を示すが、その値は直管の場合より小さい。また、伸縮可とう管での管軸方向に作用する荷重の変動幅は、直管の場合より大きい。
- (3) 構造物の管固定部に伸縮可とう管を用いた場合、固定部へ作用する荷重が管の伸縮変形によって緩和され、直管を用いた場合に比べて地震動による作用荷重の影響を受けにくい。

今回の実験では、伸縮可とう管の長さに比べて短い直管を用いたため、必ずしも実際の埋設管の挙動と一致しない動きもあるが、基本的な動作は同じであると考えられる。

今後、実験結果と阪神淡路大震災等における埋設管の事故例などから、埋設管と構造物との接合部に関する設計法について検討していきたいと考えている。

最後に、この研究を行うにあたり、ご指導頂いた神戸大学都市安全研究センター田中教授、実験を共同で行った大成機工(株)の方々に感謝の意を表する。

[参考文献]

- 1) 浅田毅・溝口義弘・田中泰雄・戸次浩之：液状化地盤における伸縮可とう管の挙動について（その1）、第34回地盤工学研究発表会講演集、pp.2095～2096、1999.7.
- 2) 溝口義弘・浅田毅・田中泰雄・戸次浩之：液状化地盤における伸縮可とう管の挙動について（その2）、第34回地盤工学研究発表会講演集、pp.2097～2098、1999.7.
- 3) 溝口義弘・浅田毅・田中泰雄・来馬章雄：地盤の液状化に伴う伸縮可とう管と周辺地盤の挙動について、土木学会第54回年次学術講演会講演概要集第3部門、pp.266～267、1999.9.
- 4) 田中泰雄・田村修次・沖村孝・来馬章雄：液状化地盤における伸縮可とう管の挙動に関する大型振動台実験、第34回地盤工学研究発表会講演集、pp.2093～2094、1999.7.
- 5) 田中泰雄・浅田毅・溝口義弘・小林功明：液状化地盤中の伸縮可とう管の挙動に及ぼす地震力作用方向の影響について、神戸大学都市安全研究センター研究報告第3号、pp.157～163、1999.3.
- 6) 浅田毅・溝口義弘・田中泰雄・戸次浩之：液状化地盤中の埋設管に作用する荷重について、土木学会第55回年次学術講演会講演概要集、Ⅲ－A164、2000.9.
- 7) 田中泰雄・浅田毅・溝口義弘・来馬章雄：液状化地盤における地中埋設管の挙動と構造物接合部での作用力について、建設工学研究所論文報告集第42-B号、2000.11.