

18. 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)

Behaviour of Buried Pipes with Flexible Joints in Liquefied Ground (Part 1)

浅田 毅*

溝口 義弘*

要 旨

伸縮可とう管と直管を組合せた埋設管を設置した単純せん断土槽を振動台上に載せ、せん断土槽を50gal、100galで加振し、地盤が液状化した場合における埋設管と周辺地盤の挙動について検討するための振動台実験を行った。

その結果、地盤の液状化に伴い地盤強度が低下し、それによって埋設管に水平、垂直方向の変位が発生して、その大半が地震動中に起ること、また、地震動が止まると管には何の変位も生じないことがわかった。また、埋設管の設置方向に対して直角に加振した場合に、管の変位量が最も大きくなることがわかった。

キーワード：液状化／地中埋設管／伸縮可とう管／地震力の作用方向

1. はじめに

阪神淡路大震災では、地盤の液状化によって地中埋設物等のライフラインに大きな被害があったことは記憶に新しいところである。震災後の被害調査報告では、地盤が液状化すると、埋設管と周辺地盤との間に大きな相対変位が生じて、管の離脱や破断が起ったことが報告されている。最近、その対策工法として建物などの構造物と埋設管との連結部に伸縮可とう管を用いるケースが多く見られるようになったが、地震力の作用方向によって、(1)伸縮可とう管が液状化した地盤中でどのような挙動を示すのか、(2)地盤から管にどの程度の流動圧がどの方向から作用するのかなど不明な点が多い。

本報では、伸縮可とう管と直管とを組合せた埋設管を設置した土槽を単純せん断箱に作製し、それを振動台で加振し、液状化地盤中における埋設管がどのような挙動を示すかについて調べた結果を述べる。

トを内側に張っている。管の取り付けフレームは振動台に固定され、振動台と同じ動きをする。

実験に用いた管の形状寸法を図-2に示す。管は铸铁製で、口径50mm、長さ300mmの伸縮可とう管と長さ370mm

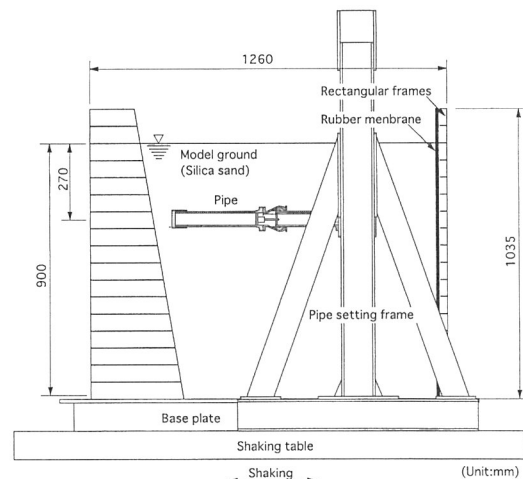


図-1 実験装置

2. 実験方法

2.1 実験装置の概要

実験装置の概要を図-1に示す。振動台は長さ2m、幅1.5mであり、最大搭載重量2.5tf、水平方向に1G、鉛直方向に0.5Gで加振する能力を有する。

振動台上に設置した単純せん断箱は、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1.035m（内寸法）のものであり、止水のためゴムシー

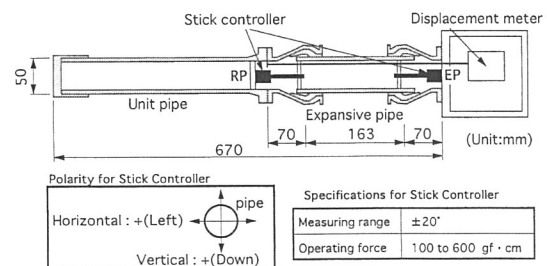


図-2 実験に用いた管

*土木構造研究室

で同口径の直管とを接続したものであり、実際の埋設管比重 2.7t/m^3 と同じになるように調整したものである。

写真一1に、管とそれに内蔵する計測機器を示す。伸縮可とう管内に管全体の伸縮測定用のワイヤー式変位計、2箇所の屈曲部に折れ曲がり角度測定用のスティックコントローラー（以下、角度計という）を取り付けた。今回の実験で用いた角度計は、電子機器などで前後左右の駆動を制御するジョイスティックに使われているスティックコントローラーを改造して、最大 ± 20 度の範囲で水平・鉛直方向の角度測定ができるようにしたものである。

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。その粒度分布を図一3に、物理特性を表一1に示す。

水中落下法によって、珪砂をせん断土槽に投入しながら埋設管、間隙水圧計、加速度計などを設置して、相対密度 $D_r=60\%$ の飽和した地盤を作製した。

振動台実験では、水平方向に周波数 1Hz 、加速度 50gal の正弦波を10秒間加振し、その後、加速度を 100gal に上げて10秒間加振した。

また、図一4に示すように、埋設管を加振方向に対し、モデル(1)（水平）、モデル(2)（ 45° ）、モデル(3)（ 90° ）の3種類の方向に設置して実験を行った。

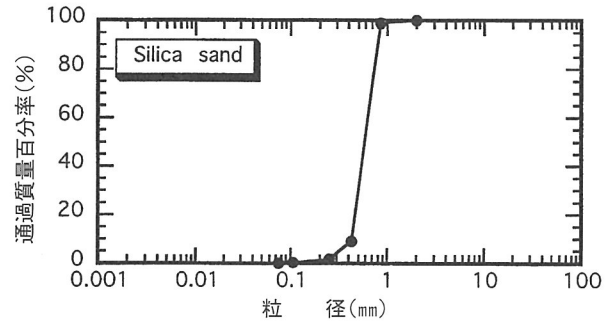
3. 実験結果および考察

埋設管の設置方向の違う3ケースの振動台実験とも、加振加速度 50gal では地盤は液状化せず、 100gal で始めて液状化し、管は水平、鉛直方向に動いた。写真一2、写真一3に、振動台を加振する前後の単純せん断土槽の状態を撮影したものを示す。

せん断フレーム上端での変位、振動台の加速度の時刻歴の一例を図一5に示す。この図から、せん断フレームには 100gal を越える加速度で10秒間（図中、4～14秒の間）加振され、フレーム変位は加振開始の約2秒後から

始まり、以後漸増して7秒後にピークに達し、加振終了後2秒間で急速に収束していることがわかる。

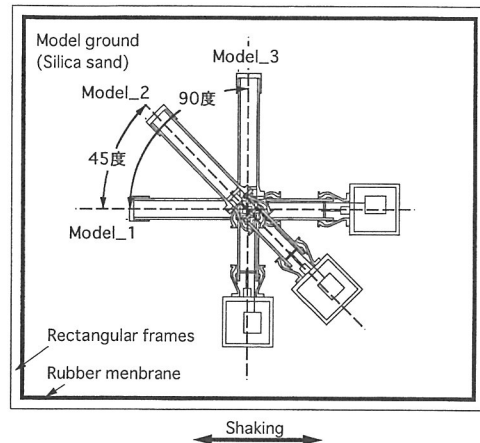
図一6に、地盤内の過剰間隙水圧の時刻歴を示す。こ



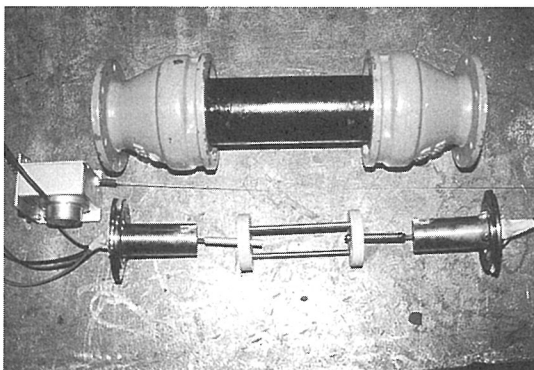
図一3 試料の粒度分布

表一1 試料の物理特性

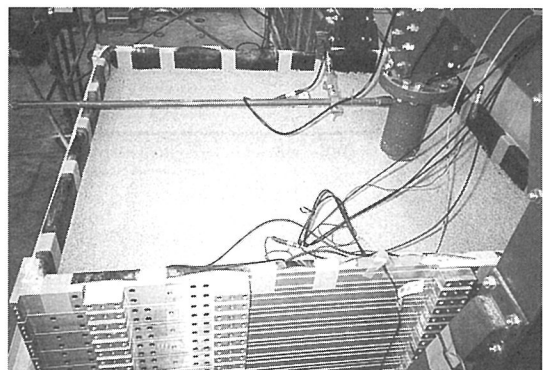
土粒子の密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$	2.641
最大間隙比 $e_{\max}$	0.983
最小間隙比 $e_{\min}$	0.668
平均粒径 $D_{50} (\text{mm})$	0.62
均等係数 U_c	1.57
曲率係数 U_c	1.05



図一4 管の設置方向



写真一1 管と管内蔵の計測機器



写真一2 加振前の土槽（液状化前）

の図から、加振開始と同時にそれぞれの層で過剰間隙水圧が発生し始め、約2秒後にピークに達して、加振終了とともに過剰間隙水圧が徐々に消散し始め、その後、間隙水圧はほぼ静水圧に等しくなっていることがわかる。

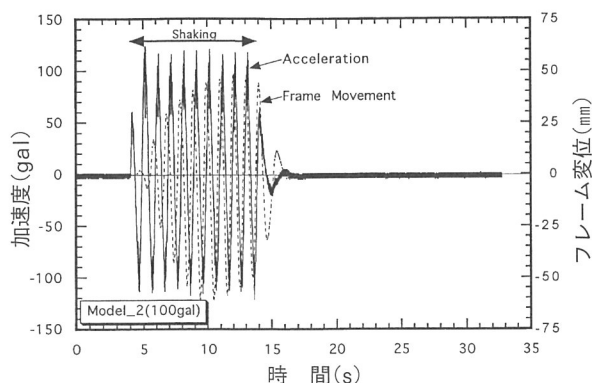
これらのことから、振動台の加振開始2秒後に地盤が液状化し地盤剛性が著しく低下し、せん断フレームが動き出したものと判断される。

モデル(1)～モデル(2)の振動台実験における角度計、ワイヤ式変位計の計測結果を図一7～図一9に示す。

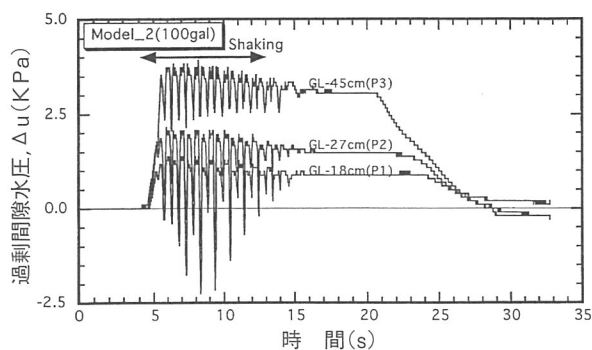
図中、記号EP-H、EP-Vは、伸縮可とう管の固定端側屈曲部における水平および鉛直方向の角度を示す。記号



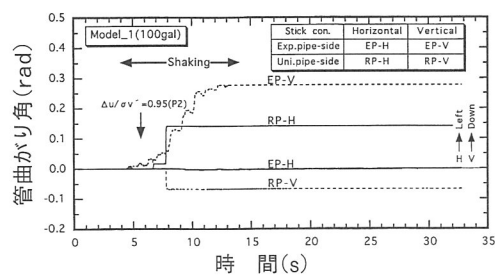
写真一3 加振後の土槽（液状化後）



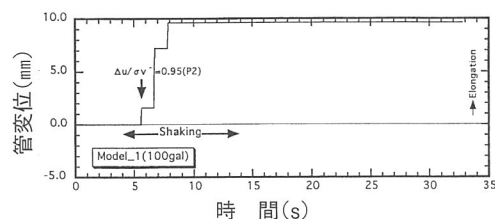
図一5 フレームの加速度および変位の時刻歴



図一6 過剰間隙水圧の時刻歴

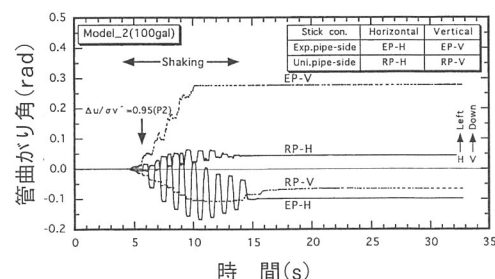


(a)曲がり角の時刻歴

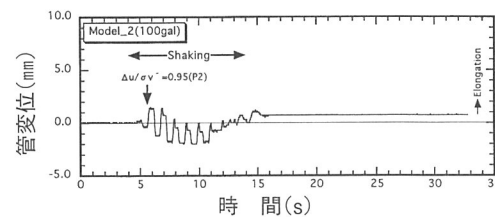


(b)伸縮量の時刻歴

図一7 曲がり角および伸縮量の時刻歴 (モデル1)

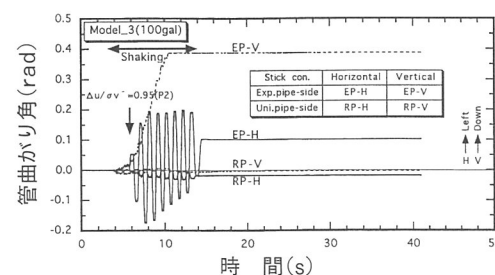


(a)曲がり角の時刻歴

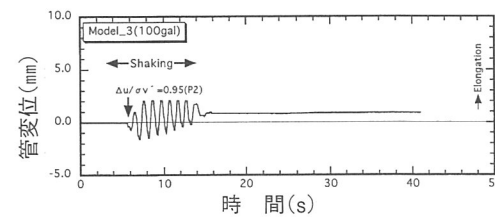


(b)伸縮量の時刻歴

図一8 曲がり角および伸縮量の時刻歴 (モデル2)



(a)曲がり角の時刻歴



(b)伸縮量の時刻歴

図一9 曲がり角および伸縮量の時刻歴 (モデル3)

RPは、管の自由端側屈曲部である。また、初期液状化状態($\Delta u / \sigma_v = 0.95$)となった時刻を矢印で示す。

モデル(1)では、地盤の初期液状化状態から管の固定端部が急激に下方に折れ曲がり、その後しばらくして自由端部が逆方向に折れ曲がり、両端部の動きが止まったことがわかる。管の伸縮は液状化の発生直後から始まり、その後一定値となり、加振終了まで変化がない。図中では、自由端部が水平方向に折れ曲がったように読み取れるが、実験終了後の実測結果では管の水平方向の移動はほとんど見られなかった。この計測誤差は、管にねじれ回転が生じたために角度計が誤作動を起こしたものと考えられる。

モデル(2)、モデル(3)では、モデル(1)と同様に地盤の液状化が発生し始めるとともに地盤強度が低下したことで管の折れ曲がりや伸縮が起り、加振終了まで地盤の動きに合わせて管が動いているが、加振終了後では管に動きがほとんどないことがわかる。また、モデル(1)では管の左右の動きが見られなかったが、他の(2)、(3)ケースでは管は左右に動きながら沈下している。



写真-4 管変位の実測状況

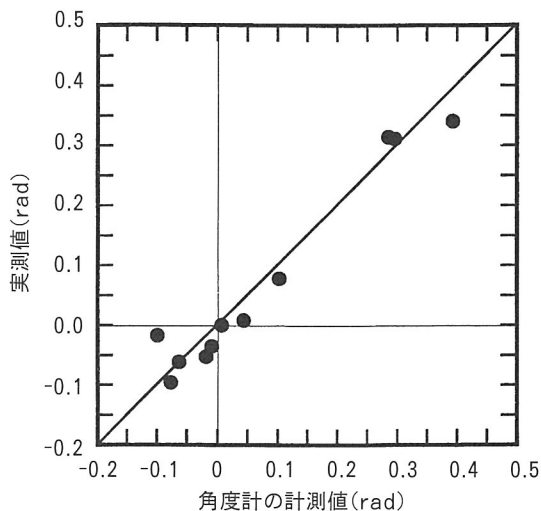


図-10 角度計の計測値と実測値との比較

実験後、写真-4に示すように土槽内の管を掘り出して加振前後の管変位を実測した。

図-10に角度計の計測値と実測値を比較したものを示す。この図から両者はほぼ同じ値であり、今回考案した角度計によって埋設管の挙動が正確に捉えられていることが確認できた。

図-11に、モデル(1)～モデル(3)における管の伸縮量、水平変位量および鉛直変位量を、①液状化前、②液状化後から加振終了の間および③加振終了に分けて表したものを示す。この図から、管変位はその大半が液状化後から加振終了の間に生じていることがわかる。

これらのことから、阪神大震災後の調査結果で報告された埋設管に生じた大きな永久変位は、液状化に伴って地盤の支持力が低下して、管に地震動による慣性力が加わったことによって発生したものと考えられる。また、その変位は、地盤の液状化で発生した過剰間隙水圧の消散時に起る地盤の圧縮沈下に起因するというよりも、地震動中に生じた沈下がその大半であると判断される。

次に、地震動の作用方向の違いによる埋設管の変位について検討する。

図-12に示すX軸（加振直角方向）とY軸（加振方向）

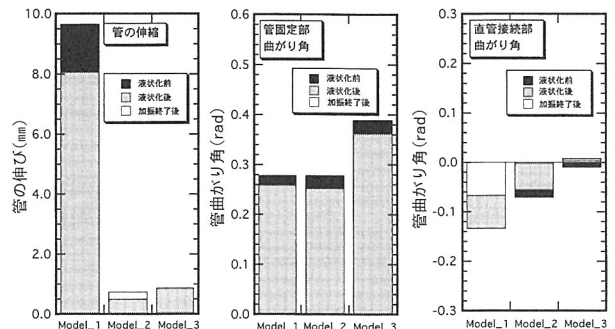


図-11 管変位量の比較

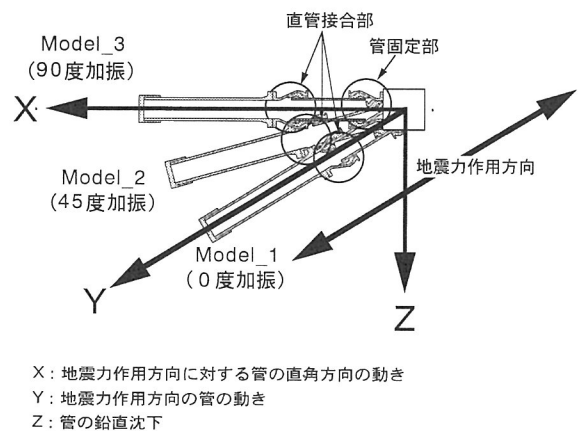


図-12 管の変位方向

について、モデル(1)～モデル(3)における伸縮可とう管と直管との接合部および直管の先端部の変位をプロットして作成した軌跡を図一13に示す。

モデル(1)では管変位はほとんど見られないが、他のケースでは管に大きな変位が見られた。モデル(2)では、管先端での変位量が約±5cm、モデル(3)では約±10cmであり、両ケースの場合とも、埋設管は加振動に連動して固定端を中心に地盤内を振り子運動のように往復運動している。

同様に、図一12のY軸（加振方向）、Z軸（管鉛直方向）方向の管変位を検討するために、図一14～図一16に各モデルでの計測結果をプロットして求めたYZ平面における変位軌跡を示す。

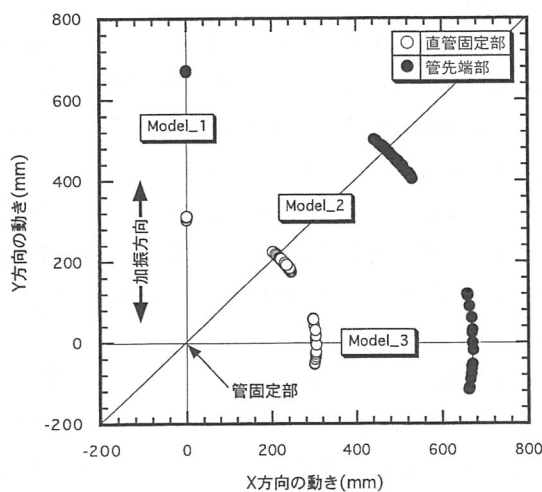
モデル(1)では、管が加振方向にほとんど振れることなく、沈下している。その他のケースでは、XY平面での変位軌跡と同様に、埋設管は加振動に応じて左右に振れながら沈下している。

モデル(2)では、管先端の水平変位は最大約±5cmで、沈下量は約16cmであり、加振中に管体が微少ながら浮き上がったことが観察される。

モデル(3)では、管体は加振中に浮き上がることなく、管先端が固定端を中心に約±10cm左右に振れて、約26cm沈下しており、モデル(2)の場合に比べて、水平変位、沈下量ともかなり大きい値である。

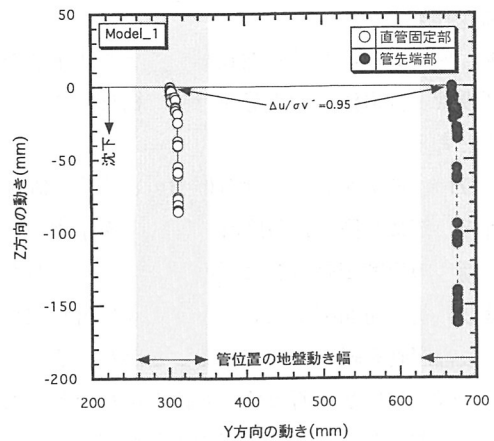
モデル(2)とモデル(3)とで、このような変位量の差が生じた原因として、次のようなことが考えられる。

土槽内に設置した加速度計の計測値を積分して求めた変位と前述したせん断フレーム上端の変位とから、地盤内変位は約±4cmであると推定される。モデル(3)では、

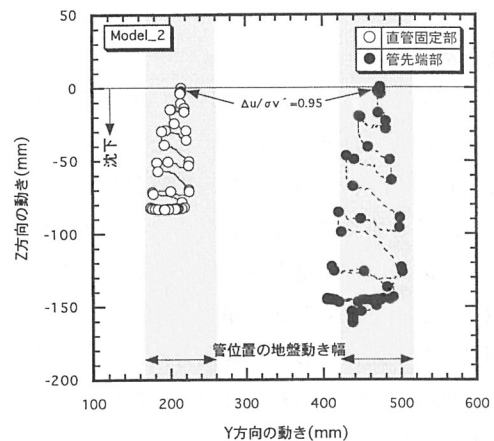


図一13 XY平面での管変位軌跡

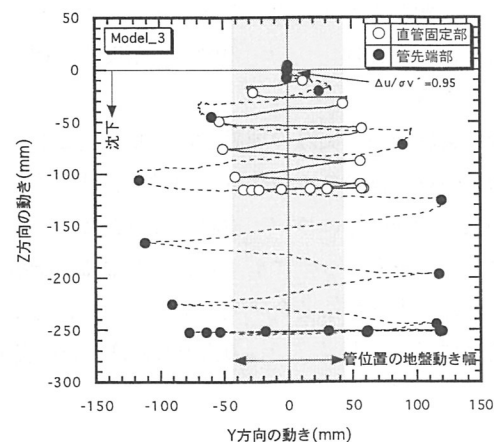
管先端の水平変位が地盤変位の推定値を大きく越えており、管体が液状化に伴い、強度を失った地盤内を地震力による慣性力で左右に大きく振れ、周辺地盤に貫入して地盤を大きく掻き乱し、管体に大きな沈下量が生じたものと判断される。



図一14 管のYZ平面での動き（モデル(1)）



図一15 管のYZ平面での動き（モデル(2)）



図一16 管のYZ平面での動き（モデル(3)）

このように、地震力が埋設管の設置方向に対して直角に作用したときに管変位は最大値となり、管の動きに影響を受ける周辺地盤の範囲も最も大きいものと考ええる。

なお、実際の埋設管の場合、実験に用いた管の直管部より長いので、今回の実験で見られたような管固定部を中心とした管の振り子運動が多少制約されるのではないと思われる。

今後、模型実験における埋設管のモデル化手法を、実際の埋設管変位事例の調査等を行って構築していく必要があると考える。

図一17に、モデル(3)における伸縮可とう管の固定端部と直管接合部に設置した角度計の時刻歴を示す。この図から、両者の角度変動の間に半波長分の位相差があり、管体は2箇所の屈曲部で互いに反対方向に折れ曲がりながら、振幅運動を繰り返していることがわかる。

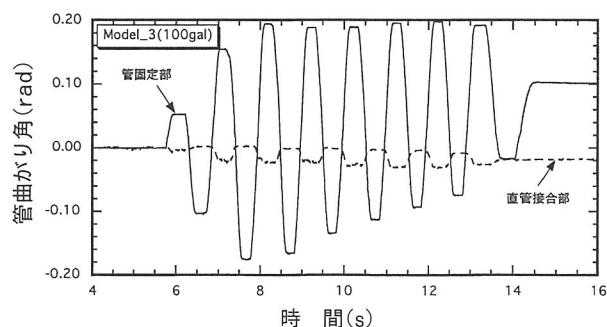
また、図一18に2箇所の角度変位を重ね合わせたものを示す。この図からみると、直管接合部側の変位が小さいため、管が大きく蛇行しながら動いたのではなく、管全体としては線形的な動きをしたことが確認できる。

4. まとめ

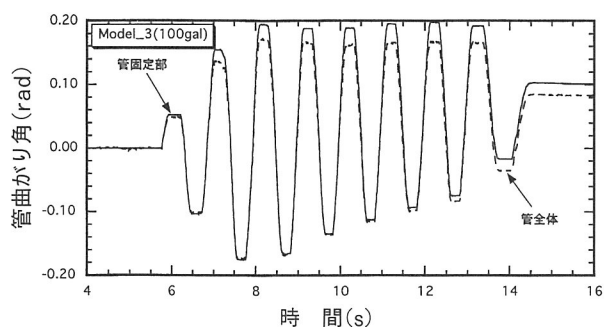
振動台実験を行って、液状化地盤における埋設管の挙動について検討した結果、以下のことがわかった。

- (1) 埋設管の水平、鉛直変位は、地震動によって地盤が液状化するとすぐに発生し、その大半が地震動が継続している間に起り、地震動の終了後、過剰間隙水圧が消散する過程で生ずる沈下量は比較的小さい。
- (2) 埋設管の挙動は地震力の作用方向によって異なり、地震力が管軸に対して直角に作用した場合に、その変位量は最大になる。このことは、地震力によって管体の慣性力が最も大きくなることによるものと考ええる。
- (3) 今回、新たに考案したスティックコントローラーを利用した角度計は、埋設管の動きを精度よく捉えることができる。

今後、実験結果と実際の埋設管の挙動事例とから、模型地盤における管のモデル化等を検討し、埋設管に作用する地盤の流動圧等について検討していきたいと考える。最後に、この研究を行うにあたり、懇切なるご指導をいただ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。



図一17 角度計変位の比較 (モデル(3))



図一18 管全体の角度変化の時歴 (モデル(3))

[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年7月
- 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年7月
- 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、pp.266～267、1999年9月
- 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年7月
- 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年3月
- 6) 日本水道協会編：水道施設耐震工法指針・解説、日本水道協会、1997年