

## 地盤せん断変形遠心実験と連続体モデルによる埋設管の地震時挙動の検討 (管剛性、土被り高、せん断変形繰返し回数の影響)

大阪市立大学 東田 淳・丸吉克典 阿南工業高等専門学校 吉村 洋  
大阪市建設局 大杉朗隆・中西啓輔 中央復建コンサルタント 井上裕司

**まえがき** 別報<sup>1)</sup>では、土圧測定用模型管を用いた遠心実験で測定された埋設管の地震時土圧と変形が連続体モデルの解とよく近似することを示した。本報告では、遠心実験で変化させた管剛性、土被り高  $H$ 、せん断変形の繰返し回数  $N$  による管挙動の変化を、連続体モデルによって説明する。なお、土圧測定用模型管(R 管と F 管)の測定結果と解析結果の比較は別報<sup>1)</sup>を参照されたい。

**解析  $\sigma$  の管剛性による変化** 図-1 は、管の剛性  $S_p$  を表-1 に示した 5 本の模型管に合わせて変化させた時に、連続体モデルによって得られた垂直土圧  $\sigma$  (=土要素の法線方向の  $\sigma_r$ ) を、圧縮を正として表わしている。これは、土被り高が  $H/D=1$  ( $D$  は模型管の外径) で、地盤に左方向のせん断ひずみ  $\gamma$  を 3.2 % 与えた場合の例である。解析  $\sigma$  の大きさは  $H/D$  の大きさに比例して変化するが、分布形には変化が無い。せん断土圧  $\tau$  は管面境界に完全滑動条件を与えたので、ゼロである。図から、地震時の地盤せん断変形によって、どの管も  $\sigma$  の対称軸が鉛直・水平から時計回りに  $\theta=30^\circ$  程度回転することが分かる。また、 $\sigma$  は管剛性によらず、管頂・管底、および管側から  $\theta$  だけ離れた位置でそれぞれ最大、最小となる。剛性の大きな R 管では、最大  $\sigma$  は特に大きく、また管側から  $\theta$  だけ離れた位置では引張りになって、そこで管と土が開口することを示す。R 管以外は、 $S_p$  の違いによる  $\sigma$  の変化は顕著でないが、 $S_p$  の減少につれて均等に近づく。なお、 $H/D$  を変化させると、別報<sup>1)</sup>に示したように  $K_h$  が変化するので、対称軸の回転角  $\theta$  はわずかに変わる。

**測定  $M$  と解析  $M$  の比較** 図-2 は、遠心実験で  $H/D$  を 0.5、1、2 に変化させた時に、曲げひずみ測定用の 3 本の薄肉模型管(F07 管、F05 管、F03 管)の測定曲げひずみから求めた原型の曲げモーメント(以下、測定  $M$  と呼ぶ)と解析で得られた曲げモーメント(以下、解析  $M$  と呼ぶ)を比べている。各図のプロットとそれらを結ぶ細ラインがせん断繰返し回数  $N=1, 2, 5, 10$  における測定  $M$ 、太実線が解析  $M$  を表わす。いずれも地盤を左方向に  $\gamma=3.2\%$  だけせん断変形させた時のデータである。なお、図-2(c) は他とスケールが異なるので注意されたい。

図-2 から、 $N=1$  の解析  $M$  と測定  $M$  は、管剛性と  $H/D$  の違いによらず良く対応しているが、 $N$  が増大するにつれて、 $H/D$  が大きいケースで差が広がる傾向を示す。この傾向は別報<sup>1)</sup>で示した F 管・ $H/D=2$  の場合も同じであった。管剛性の小さい F05 管と F03 管で  $H/D \geq 1$  の場合、 $N$  の増大につれて波数 4 のバックリングモードが次第に顕著になる。

図-3 は、 $H/D=1$  で管剛性を変化させた時の解析で得られた管面境界における土要素の周方向応力  $\sigma_\theta$  の分布(圧縮が正)である。管剛性が小さいほど  $\sigma_\theta$  は大きい。さらに  $\sigma_\theta$  は  $\sigma_r$  (=図-1 の  $\sigma$ ) と同様に  $H/D$  の大きさに比例して変化する。よって、遠心実験においては角度  $\theta$

表-1 模型管の諸元

|       | $D$<br>(mm) | $t$<br>(mm) | $E_p$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\nu_p$ | $S_p$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|-------|-------------|-------------|---------------------------------|---------|---------------------------------|
| R 管   | 90          | 3.5         | 740,000                         | 0.33    | 36.7                            |
| F 管   | 90          | 0.95        | 740,000                         | 0.33    | 0.67                            |
| F07 管 | 90          | 0.74        | 730,000                         | 0.33    | 0.3                             |
| F05 管 | 90          | 0.51        | 730,000                         | 0.33    | 0.1                             |
| F03 管 | 90          | 0.34        | 730,000                         | 0.33    | 0.03                            |

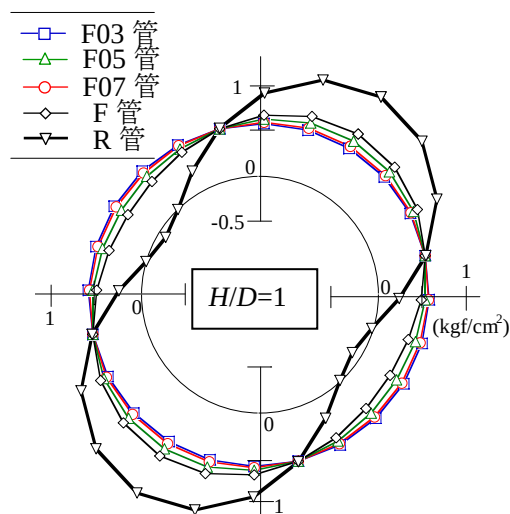


図-1 管剛性の違いによる解析  $\sigma$  の変化

キーワード: 埋設管、地震時挙動、連続体モデル、弾性理論解析、遠心実験

連絡先: 大阪市住吉区杉本 3-3-138、大阪市立大学工学部、TEL & FAX: 06-6605-2725

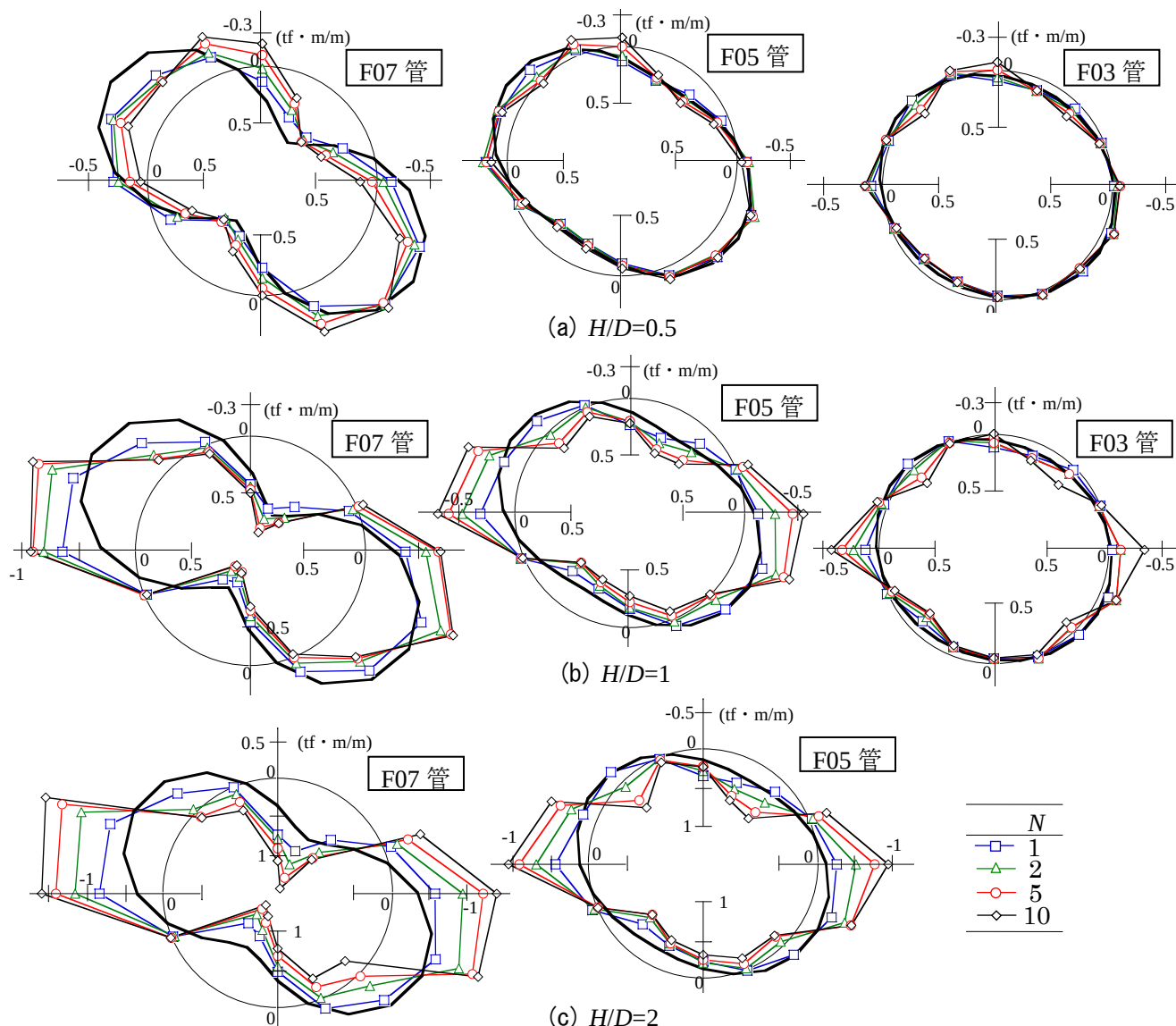


図-2 管剛性、 $H/D$ 、 $N$ を変化させた時の測定  $M$  と解析  $M$  の比較

だけ回転した対称軸の位置における模型管近傍の地盤には、1サイクルのせん断変形の間に図-1と図-3に示す $\sigma_r$ と $\sigma_\theta$ が働いて圧縮変形と伸張変形が交互に生じ、 $N$ の増大に伴ってそこでゆる詰め砂地盤の密度が増大していく。そして、 $H/D$ が大きい場合、 $\sigma_r$ と $\sigma_\theta$ が大きいので、地盤密度の不均一性の度合いが強まって解析 $M$ と測定 $M$ の差が広がる。さらに、この地盤に生じた不均一性が、別報<sup>1)</sup>に示したF管・ $H/D \geq 1$ の測定 $\sigma$ の特異な集中現象、および剛性が小さい管に見られる4次のバックリングモードの変形を引き起こしたと説明できる。

以上から、本報告で示した連続体モデルによって埋設管の地震時挙動がかなり正確に表わせることが確かめられた。なお別報<sup>1)</sup>に示した弾性解によって求まる地震時の平均主応力は $(\sigma_1 + \sigma_3)/2 = (1 + K_0)\sigma_0$ となり、水平震度 $K_h$ が付加されても地震前の $K_0$ 状態と変化が無いので、地盤の弾性定数に変化が無い限り、地震前にバックリングしていない薄肉管は、理論的には地震時にもバックリングを生じないと結論してよからう。

**参考文献** 1) 丸吉他 (2011): 地盤せん断変形遠心実験と連続体モデルによる地中埋設管の地震時挙動の検討(土圧・曲げモーメントの測定結果と弾性解の比較), 66回土木学会年講(投稿中)。

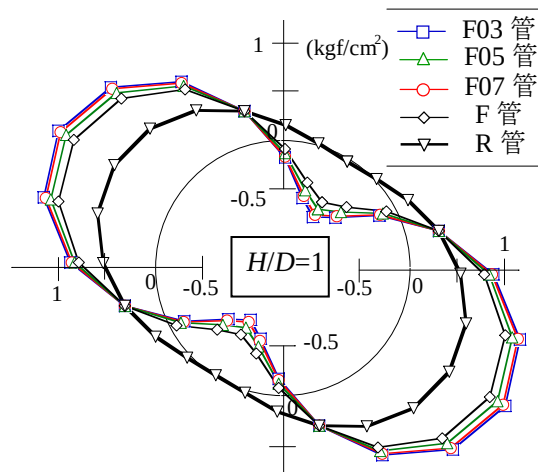


図-3 管剛性の違いによる解析 $\sigma_r$ の変化