

パイプ・イン・トンネルの限界状態予測  
馬蹄形パイプの座屈試験  
Prediction for critical state of Pipe in Tunnel  
-Buckling Test of Horseshoe-shaped Pipe-

碓 昌也\* 毛利 栄征\*\* 田中 忠次\*\*\* 宮崎 徹\* 吉原 正博\*\*\*\* 岡氏 敏樹\*  
Masaya Hazama , Yoshiyuki Mohri , Tadatsugu Tanaka , Toru Miyazaki , Masahiro Yoshihara , Toshiki Okauji

**1. はじめに**

水路トンネルの補修・改修法として、馬蹄形FRPM管を用いた既製管挿入工法を開発した。

管に作用する荷重としては、土圧及び外水圧を考慮する必要があるが、内圧が作用する場合は主に円管を用いることから、内圧に関しては検討から除外した。

ここでは、トンネル模型土槽装置を用いて、外水圧作用を想定した負圧載荷時における馬蹄形模型管の座屈挙動を確認したので報告する。

**2. 実験方法**

塩ビ製馬蹄形管を土槽中央に設置後、周囲に均一な密地盤の作成を行う。更に管の上方から載荷重を作用させた後、真空ポンプを作動させ管内を負圧状態とし、その時に管に発生するたわみ量及び歪み量を計測した。

**管の種類**

管は内径が150mmの硬質塩ビ製馬蹄形管である。肉厚は1.5mm及び2.0mmの二種類を使用した。

**気密性**

気密性を高めるため、管の両端はフランジで固定後、シーリング材でコーティングを施した。このため、管体にはフランジ等による拘束力の影響が発生することが懸念されたので、管軸方向に5分割した管同士を切断面で一致させ、管体外側にはメンブレンを被覆させることで気密性を保持した。

**たわみ量の測定**

拘束していない3ピースの管体内面にLDT(Local Deformation Transducer)を4方向装着し、管のたわみ量を測定した。

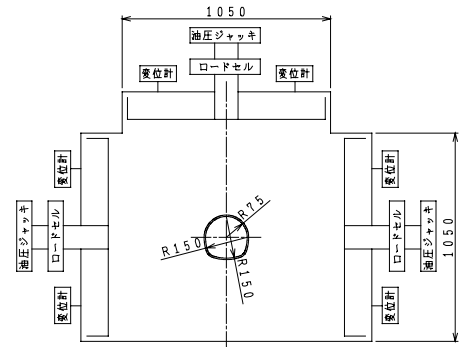


Fig.1 トンネル模型土槽装置

Soil equipment of model tunnel

Table.1 実験ケース

Experimental case

ケース番号	管の厚み (mm)	載荷重 (kPa)
1	1.5	0
2	1.5	200
3	1.5	400
4	2.0	0
5	2.0	200
6	2.0	400

\* 栗本化成工業(株) Kurimoto Plastics Co.,LTD 馬蹄形FRPM管, トンネル,  
\*\* 農業工学研究所造構部 National Institute for Rural Engineering 座屈  
\*\*\*東京大学大学院農学生命科学研究科 Graduate School of Agricultural and Life Sciences,The Univ. of Tokyo  
\*\*\*\*住友大阪セメント(株) Sumitomo Osaka Cement Co.,LTD

### 3. 実験結果及び考察

Fig.2 及び Fig.3 はケース番号 4 における負圧値と管のたわみ量の関係及び負圧载荷時の管内面の歪み分布を示したものである。Fig.2 から負圧値の上昇とともに、鉛直方向変位のみが急激に増加していることがわかる。また、Fig.3 から管のインバート部中央が引張力、その両端が圧縮力を受けていることがわかる。これらの結果から、馬蹄形の場合は負圧载荷を受けると、インバート中央部が急激に管内面方向へ変形し、座屈していることがわかる。これは馬蹄形の場合、断面の上半分が半円であるのに対し、インバート部はその2倍～4倍の半径を有しており、幾何学的な形状から半径が大きい箇所ほど座屈しやすいと考えられる。

一方、Fig.4 は地盤埋設下の円管座屈理論式（藤田博愛が導いた式）と実験値の対比を行ったもの

$$q_{cr} = \frac{E}{12(1-\nu^2)} \left( \frac{t}{r} \right)^3 (n^2 - 1) + \frac{\cdot r}{2(n^2 - 1)}$$

である。計算は式において、座屈波形の数（ $n$ ）を2とし、地盤拘束係数（ $\nu$ ）を基準値の範囲で与えることによって行った。

実験結果は载荷重を与えない場合が最も座屈しやすく、载荷重が上昇するとともに座屈し難くなる傾向である。これは载荷重が大きくなると、地盤拘束力が増加し、管の座屈に影響を与えていると考える式を裏付けする結果であると言える。また、式により得られた値と実験値との差異は円形と馬蹄形という形状の違いや、値の誤差によるものと考えられるが、埋設地盤下においては円形及び馬蹄形とも類似の座屈値であることが証明された。

### 4. おわりに

馬蹄形管における座屈現象の解明と地盤埋設下における大凡の座屈値を把握することができた。実際の施工環境下において、管体は中込材や既設トンネル覆工に拘束された状態となり、今回評価した条件よりもかなり安全側となる。これらの事項についても、実験及び解析を行って評価していく所存である。

【参考文献】 藤田博愛 大口径鋼管の設計上の問題点とその合理的管厚算定法について、日本水道協会雑誌、p318, 1961.

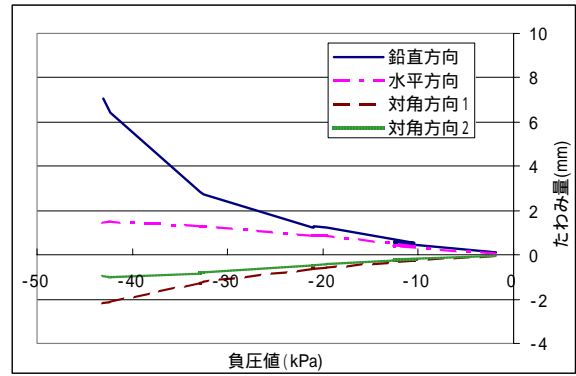


Fig.2 管のたわみ量  
Deflection of pipe

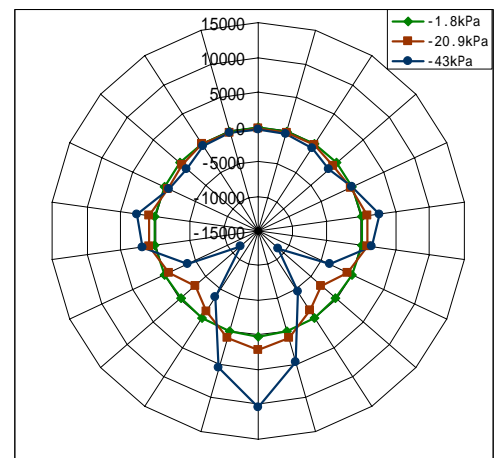


Fig.3 管の歪み分布  
Distribution of pipe strain

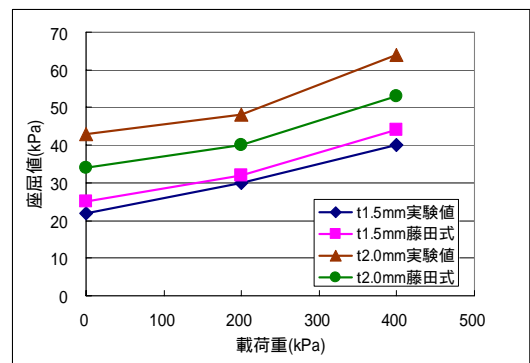


Fig.4 円形理論値と実験値の対比  
Contrast of theoretical value and experiment value