

PTFEと鋼の摩擦を利用する免震装置の限界変位

Limit displacement of seismic isolation device which uses friction of PTFE and steel

北海道開発局 開発土木研究所 構造研究室
 北海道開発局 開発土木研究所 構造研究室
 パシフィックコンサルタンツ(株)
 パシフィックコンサルタンツ(株)
 (株)日本製鋼所 室蘭製鋼所

正員 三田村 浩
 正員 池田 憲二
 ○正員 日榮 民雄
 フェロー 林 亜紀夫
 正員 別所 俊彦

1. まえがき

著者らは PTFE(polytetrafluoroethylene)と鋼の摩擦を利用する免震支承の特性を調べ、免震装置としての有効性を検証して来た¹⁾。この装置の特性を、図-1 および式(1)に示す形状係数 C を介してまとめているが、これまでに $C=6.0$ の供試体を用いた振動実験を行って、終局限界変位を確かめている。

$$C = \frac{t}{R} \quad (1)$$

R は、回転子および上下沓曲面の曲率半径、 t は回転子の厚さである。

しかし、設計上の必要があって上下沓と回転子の曲率半径 R をこれまでより大きくする必要がある場合が想定され、その場合であっても終局限界変位を予測できる方法を求めておく必要がある。

そこで本論文では、これまでの供試体よりも大きい曲率半径 R を有する供試体、形状係数 $C=0.1$ (回転子の曲率半径 $R=57.0\text{cm}$ 、回転子の厚さ $t=5.7\text{cm}$)の場合について実験を行い、免震装置が所用の機構を維持できる限界を調べた結果を報告する。

2. 実験方法

実験に用いた供試体を図-2に、加振状況を図-3に示す。鋼製免震支承に大変形を与えるために、アクチュエーターによって上部構造を直接駆動している。

加振は、振巾を徐々に増加させながら正弦波を変位制御で与えた。

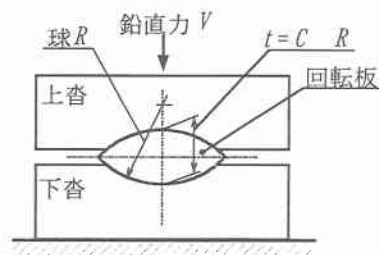


図-1 免震装置の形状概念図

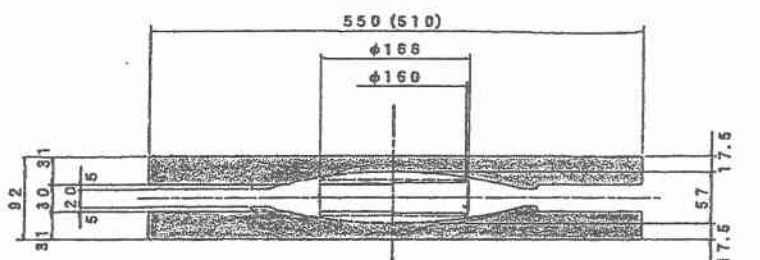


図-2 実験に用いた免震支承

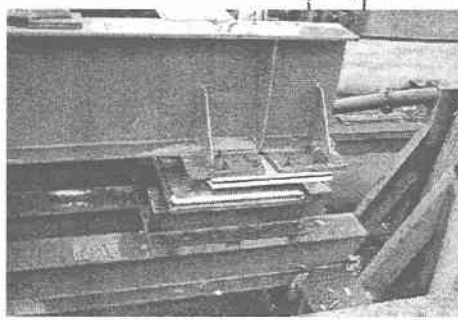
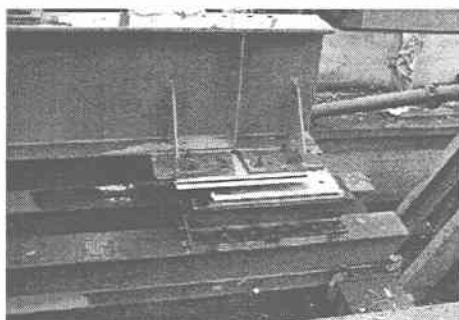
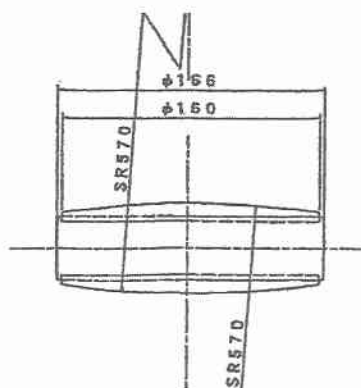


写真-1 免震支承の動作状況

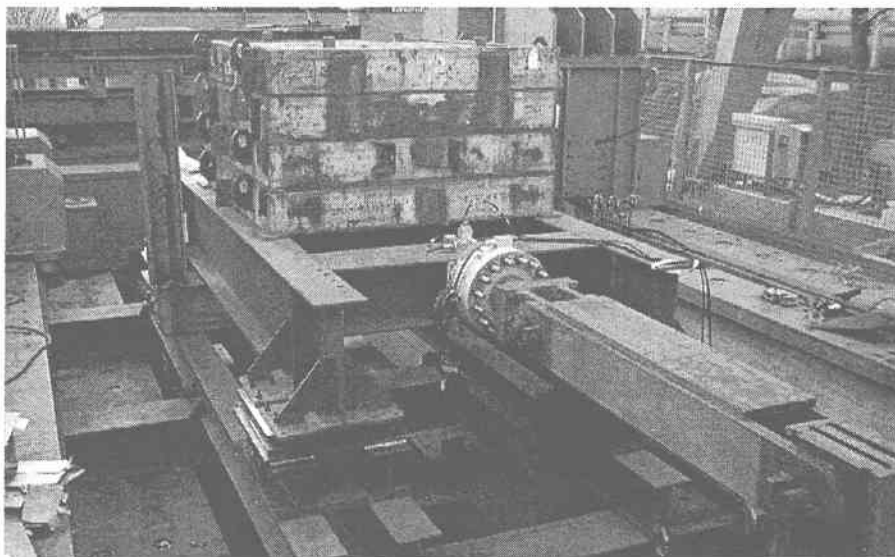


写真-2 実験装置全体

3. 実験結果と解析

変位振巾を序々に増加させながら加振した結果の内から、免震装置の一部に異常が発生したケースを図-8 に示す。図-8a) は加振方向変位の時刻歴、図-8b) は免震装置位置の鉛直方向変位の時刻歴である。図-8a) では変位振巾が 25.4cm に達していること、図-8b) では 236sec か

ら鉛直変位波形が乱れていることがわかる。この時点までの 22 回の交番载荷ではほぼ異常がなく、23 サイクル目で回転子表面に貼り付けた PTFE が破損した。

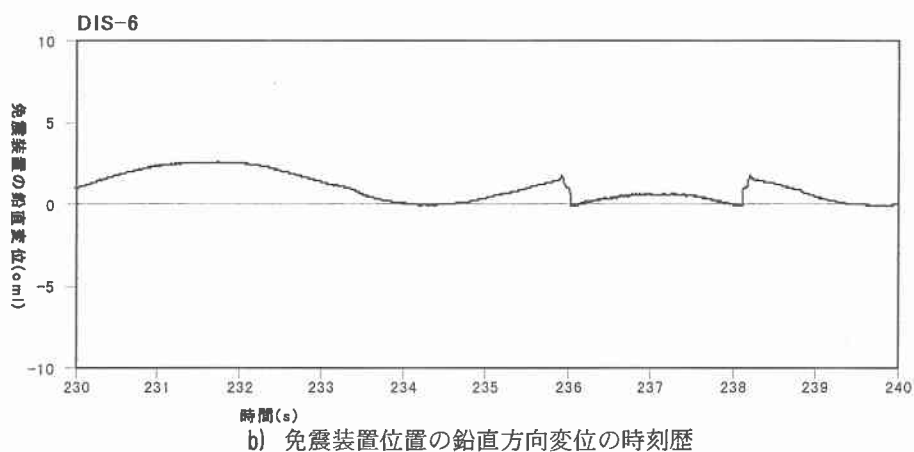
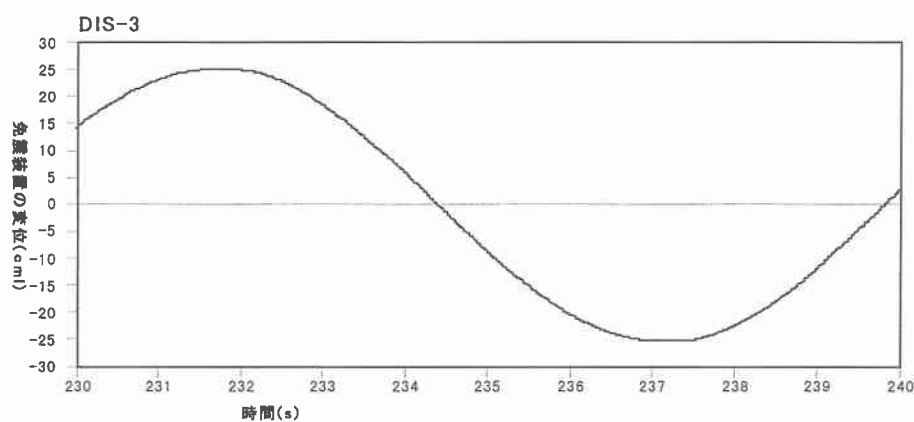


図-8 免震装置の一部に異常が発生したケース

$U_e = 25.4\text{cm}$ の際の上下沓と回転子の側面図を描くと図-9 のようになり、免震装置の機構を説明するリンク機構¹⁾の軸線は、上下沓曲面の縁端に殆ど達している。

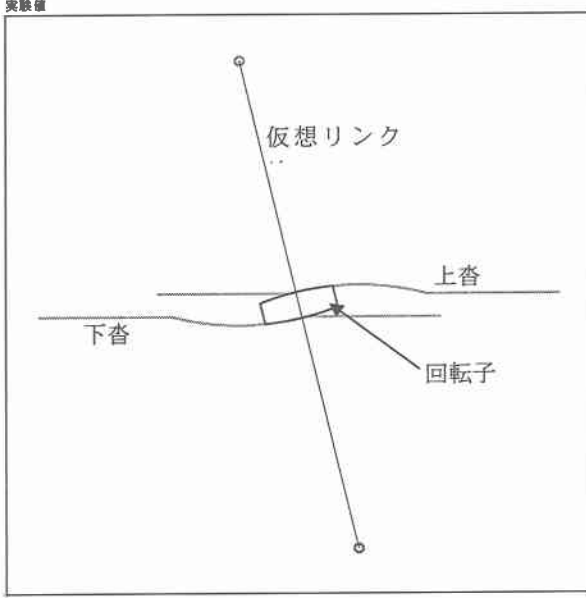


図-9 $U_e = 25.4\text{cm}$ の際の上下沓と回転子の側面とリンク機構の軸線

最大変位時には、上下沓と回転子の接触している面積が小さくなり、PTFE 面の面圧が相当に上昇していることが考えられる。

そこで、図-10 に示すような考え方で PTFE 面圧求めて見た。ここでは、上下沓と回転子の投影面がすべて重なる部分の面積のみが有効であるとしている。

図-10 a) の状態は、上下沓の重なり部分の中に回転板投影面が全て収まるため支承面積の欠損は起こらず、有効面積は式 (13) となる。また、図-10 b) の状態は、上下沓の重なり部分と回転板投影面との共有部分の面積が有効面積となり、式 (14) となる。図-10 c) の状態は、上沓、回転子、下沓の投影面がすべて重なる部分のみが有効面積とし、式 (17) となる。

$$\sigma = \frac{V}{A_e} \quad (12)$$

$D - d \geq U_e$ の場合

$$A_e = \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (13)$$

$D - d < U_e < \sqrt{D^2 - d^2}$ の場合

$$A_e = \frac{1}{4} \pi D^2 + \frac{1}{2} (\alpha D^2 - \beta d^2) \left(U_e - \frac{d}{2} \right) \sin \alpha \quad (14)$$

$$\cos \alpha = \frac{(D^2 + U_e^2 - d^2)}{2D \cdot U_e} \quad (15)$$

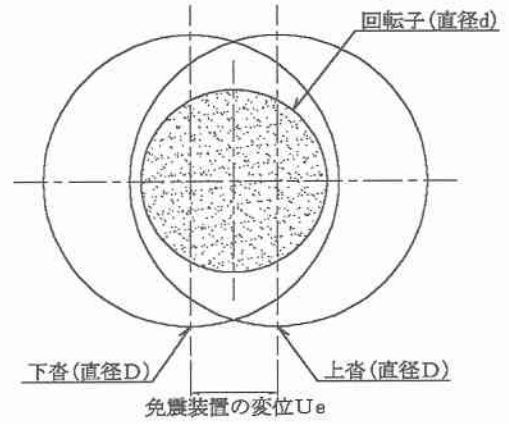
$$\cos \beta = \frac{(D^2 - U_e^2 - d^2)}{2d \cdot U_e} \quad (16)$$

$$\sqrt{D^2 - d^2} \leq U_e \text{ の場合}$$

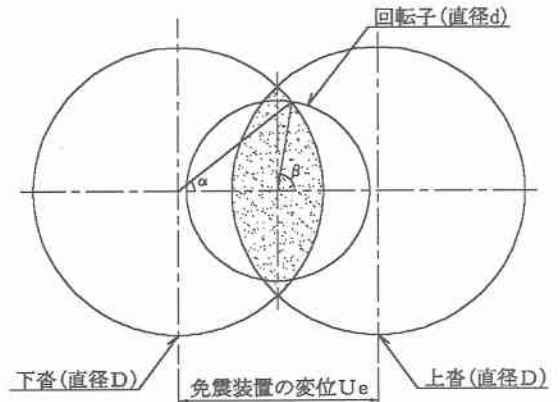
$$A_e = \frac{1}{2} D^2 (\alpha - \sin \alpha \cdot \cos \alpha) \quad (17)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{U_e}{D} \quad (18)$$

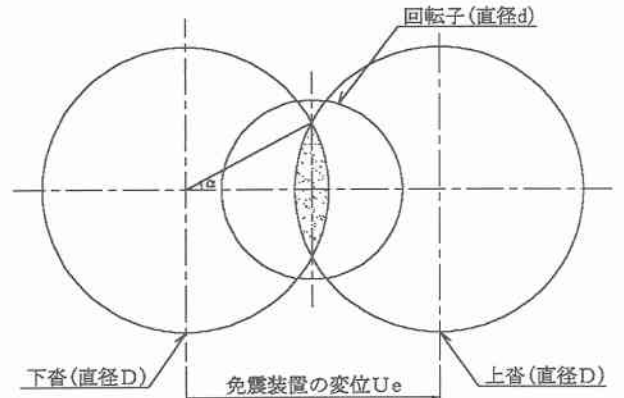
ここに、 σ は面圧、 V は鉛直力、 A_e は上沓、回転子、下沓の投影面がすべて重なる部分の面積、 D は上沓下沓の投影面直径、 d は回転子の投影面直径、 α 、 β は図-9 に示す角度である。



a) $D - d \geq U_e$ の場合



b) $D - d < U_e < \sqrt{D^2 - d^2}$ の場合



c) $\sqrt{D^2 - d^2} \leq U_e$ の場合

図-9 面圧計算の概念図

免震装置の変位 U_e と面圧 σ の関係を求めると図-11 のようになり、 $\sqrt{D^2 - d^2} = U_e$ となる 26.8cm から面圧 σ が急上昇することがわかる。

回転子に異常が発生した $U_e = 25.4\text{cm}$ の際の面圧を求めると、約 18.0 MPa に達している。

また、この時点までの 22 回の交番载荷ではほぼ異常がなく、23 サイクル目で異常が発生したことを考えると、疲労破壊に近いと考えられ、交番回数が少なければ、これ以上の変位に達することが考えられる。

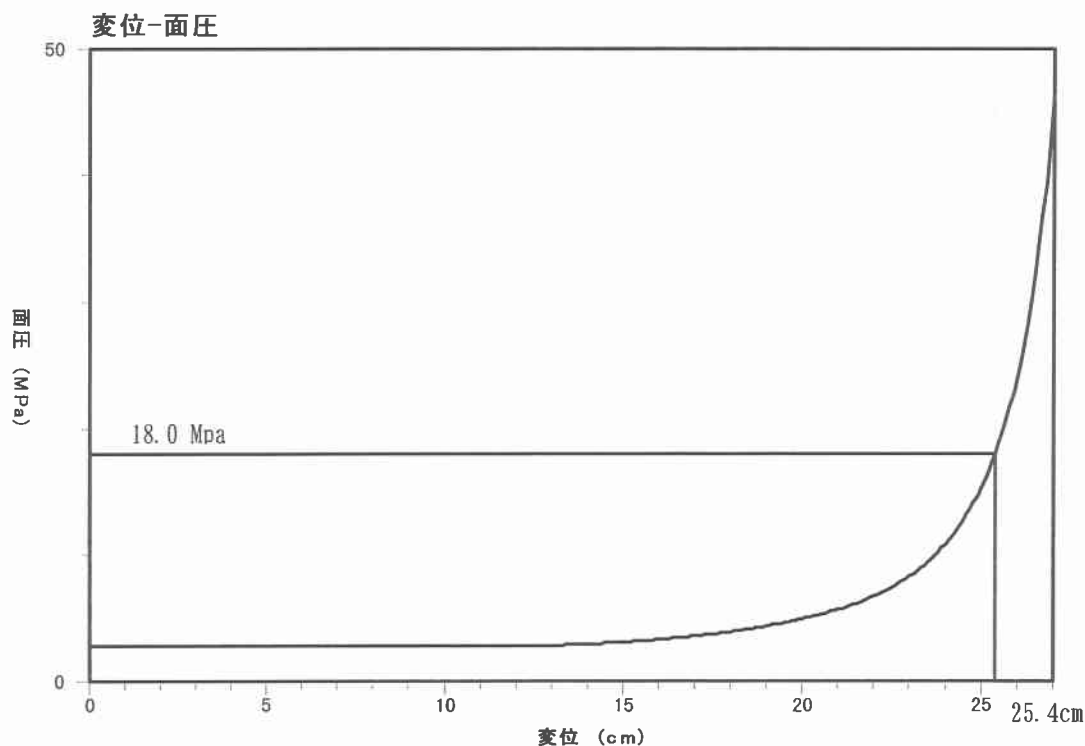


図-10 免震装置の変位 U_e と面圧 σ の関係

4. まとめ

PTFE と鋼の摩擦を利用する免震装置を開発し、その特性を調べてきたが、本論文では回転子の厚さ t と回転子の曲率半径 R の比として定義した形状係数 C が $C = 0.1$ である場合について実験を行った。その結果わかったことは次の通りである。

- ① 今回用いた免震装置供試体の終局限界状態は PTFE の破損として現れた。
- ② 上記は、免震装置の変位が 25.4cm に達する交番载荷ケースの 23 サイクル目で発生しており、交番回数が少なければ、これ以上の変位に達することが考えられる。

参考文献

- 1) 三田村 浩，池田 憲二，林 亜紀夫，別所 俊彦：PTFE と鋼の摩擦を利用する免震装置の開発，土木学会第 2 回免震・制震コロキウム講演論文集，pp.165～172，2000.11.