

寒冷地域の気象条件を配慮した 鋼製免震支承の開発

(株)日本製鋼所 室蘭製作所	正員	別所 俊彦
北海道道路管理技術センター	正員	小山田 欣裕
北海道開発局 開発土木研究所	正員	佐藤 昌志
北海道開発局 開発土木研究所	正員	谷本 俊充

1. はじめに

我が国は、環太平洋地震帯に位置し世界でも有数の地震国であり、歴史的にも多大の被害を受けてきている。北海道においても例外ではなく、最近では平成5年1月の釧路沖、同年7月の南西沖、そして平成6年10月の東方沖と連続的に大地震が発生している。

従来の耐震設計では、構造物を地震力に対して直接的に抵抗させるものとしてきたが、最近ではその考え方を改めて、構造物の固有周期を長周期化することと、エネルギー吸収性能を向上させることによって地震力そのものを低減させ、構造物の相対的な抵抗力向上を図る免震設計が用いられるようになってきている。道路橋にこの免震設計を適用する場合には、橋脚や橋台上の支承部分という常に外的気象条件にさらされ且つ、極めて限定された設置空間で機能を発揮し得る装置が必要となる。特に北海道のように地震が多い地域で、冬期に -30°C にもなる地区では、その設置環境でも安定してその性能が発揮される免震装置の開発が求められている。本論文では、これらの条件を満足する温度依存性の少ない機械式の免震装置を取り上げ、縮小要素による性能試験を実施し、その結果を報告する。

2. 免震装置の原理

本研究で取扱う免震装置の作動原理を図-1に示す。装置の構成は、上沓、下沓そしてこの部品に挟まれる回転板からなり、各構成部品は曲率半径 R の曲面で接触している。回転板は曲率半径 R の C 倍の厚みを有している。b)に示すように上沓と下沓とに相対変位 U が生じると、免震装置が支えている上部構造の死荷重分担力(鉛直反力 V)により復元力 H が発生する。この相対変位 U は、回転板が α だけ回転することにより可能となるが、回転板は上沓及び下沓との接触面で滑り運動を起こし、エネルギーを吸収するので接触面間の摩擦機構が重要な要素となる。c)に装置の性能を表す荷重-変位履歴の模式図を示す。

復元力 H は滑り面に作用する摩擦力を考慮し、摩擦角 ρ を用いて次の推定式により表現する。

$$H = V \cdot \tan(\alpha \pm \rho) \quad \text{————— (1)}$$

± : α の回転方向により反時計回り(+) ⑤→⑥→①→②
時計回り(-) ③→④

また、相対移動量 U については次の関係がある。

$$U = R \cdot (2 - C) \cdot \sin(\alpha) \quad \text{————— (2)}$$

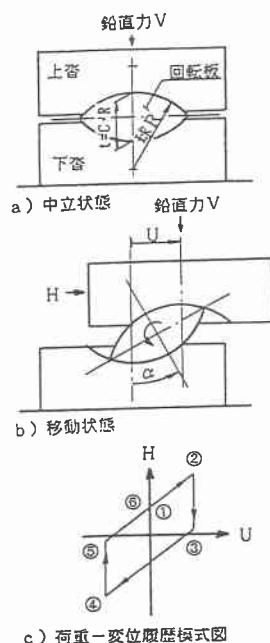


図-1 原理図

Development of the steel type seismic-isolation device for a cold climate
by Toshihiko BESSHO, Yoshihiro OYAMADA, Masashi SATOH, Toshimitsu TANIMOTO

滑り面で発生する摩擦角 ρ が通常考えている二平面間の摩擦係数 μ とどのような関係にあるかを調べるために、接触面における面圧の分布状態を図-2のようにa)余弦分布と、b)等分布との2種類を仮定し、载荷範囲を接触角で $\pi/2$ と $\pi/3$ とした回転モーメントに関する鉛直反力と摩擦力との約合式を導いた。

$$(2-C) \cdot \sin(\rho) = 4\mu A_1 / \{ \pi^2 + (4\mu A_2)^2 \}^{1/2} \quad (3)$$

式中の係数 A_1 、 A_2 は分布状態により求まる値で表-1に示す。それぞれの値が分布状態にほとんど影響を受けないことから、摩擦角 ρ は面圧の分布状態によらずに回転板の形状に関係することを示している。

係数 A_1 、 A_2 の値を考慮し、簡略化して表すと、式(4)を得る。簡略化による右辺の値の誤差は $\mu=0.1 \sim 0.2$ を仮定すれば表-2のようになり、精度としては十分と考える。

$$(2-C) \cdot \sin(\rho) = 2\mu / (1 + \mu^2)^{1/2} \quad (4)$$

表-1 係数表

分布区分	余弦分布		等分布		
接触角 Φ	$\pi/2$	$\pi/3$	$\pi/2$	$\pi/3$	
記号	A_1	1.654544	1.606451	1.709295	1.627846
	A_2	0.824032	0.802624	0.847212	0.812596

表-2 誤差(%)

分布区分	余弦分布		等分布	
接触角 Φ	$\pi/2$	$\pi/3$	$\pi/2$	$\pi/3$
$\mu = 0.1$	-5.0	-2.2	-8.0	-4.5
$\mu = 0.2$	-4.9	-2.1	-7.8	-3.4

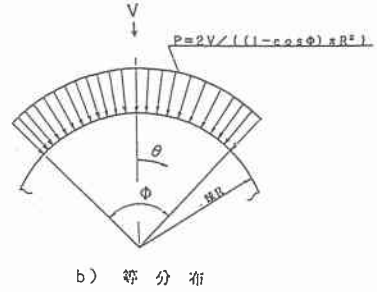
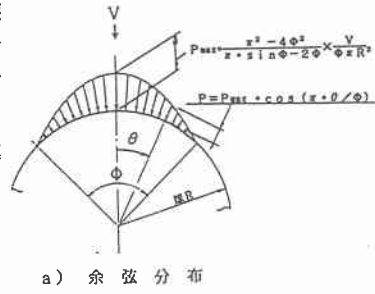


図-2 面圧分布

3. 実験の概要

3.1 実験方法

上述の原理を実証するために図-3に示すような摺動部品と2種類の回転板の縮小要素を製作し、性能試験を行った。接触面を構成する材料の組合せは、上沓と下沓に組込む摺動部品には所定の接触面形状に加工した純PTFE材、回転板の材料にはステンレス鋼(SUS304)を選定した。2分割型の回転板の中にはネオプレンゴムを挿入している。お互いが接触する面は仕上げ程度を上げて(6.3S)、表面の粗度によって発生する摩擦を極力小さくしている。表-3に純PTFEの物性値を示す。

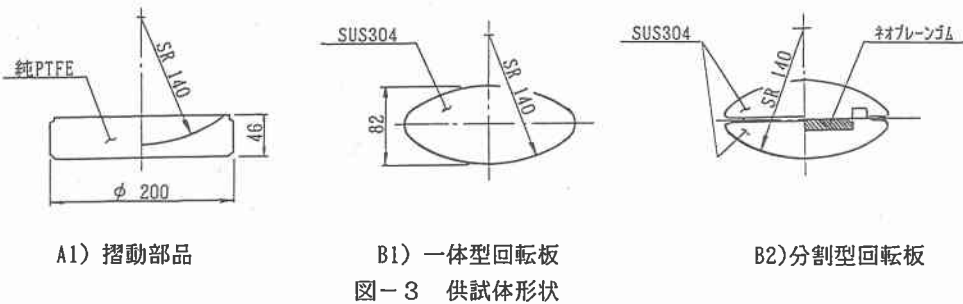


表-3 純PTFE物性値

比重 g/cm ³	熱伝導率 kcal/m ² ·h·°C	線膨張係数 ×10 ⁻⁵ /°C	引張強さ kgf/cm ²	伸び %	静摩擦係数	摩耗係数(65hr) mm/km / kgf/cm ²
2.17	0.20	11	330	350	0.045	2×10 ⁻²

図-4に実験装置の構造を示す。実験装置の可動部には、摩擦力の発生を押さえるためにボールベアリングを使用している。また上沓に関しては、下沓の移動に伴う回転を拘束し、かつ上下方向に可動となる機構をもたせてある。鉛直荷重は鉛製の重錘を上沓の上面に取付け負荷している。

実験では油圧サーボシリンダーを用いて正弦波で下沓を強制的に水平移動させ、このシリンダーの移動量と軸反力を1/200secの時間間隔で記録した。1試験当りに採取したデータ数は10マイク分である。

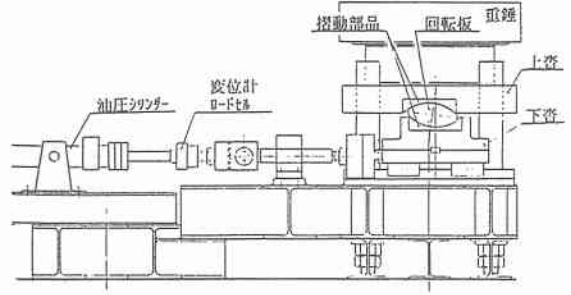


図-4 実験装置

3.2 実験条件

実験の条件を表-4に示す。低温時の実験は、回転板だけを一旦目標温度まで液体窒素で冷却し、実験中に上昇する温度を接触温度計により計測しながら、低温から徐々に温度上昇する環境下での実験として行った。

表-4 実験条件

温度 °C	振幅 mm	周波数 Hz	鉛直荷重 tf	供試体
約 -50	50	0.5	重錘 3.5 + 金物 3.0 0.5	一体型
~10	27	1.0		分割型

4. 実験結果および考察

4.1 装置の基本性能

図-5に実験により得られた本免震装置の履歴曲線 (-35.5°C、27 mm、1.0 Hz、3.5 tf、分割型)を示す。図は作動開始から10マイク間のデータを記録したオシロスコープ画面で、縦軸は荷重、横軸は移動量である。

得られた履歴曲線は理論とほぼ一致するバイリニアの形状を描き、以下に示す免震装置に要求される性能についての特性が確認された。この条件での最大軸反力は1.1tfである。このケースは回転板が分割型で中にゴムがあるにもかかわらず、履歴曲線には大きな歪みは見られず密閉による効果が出ています。

1) 復元性能

履歴曲線で囲まれた図形の傾きが免震装置の復元力剛性を表し、作動開始から定常運転状態までの振幅が増大する間でも同一線上を通るため、剛性はほとんど変化しない。

2) 減衰性能

本免震装置の減衰は摩擦によって得られ、履歴曲線で囲まれた面積によりその大小が決まる。前述と同様に安定した履歴を示すことにより性能の変化はほとんど見られない。

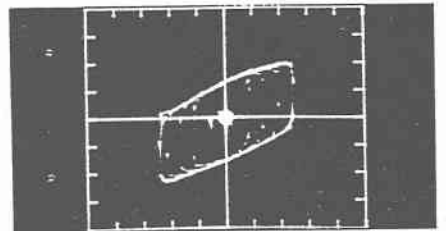


図-5 履歴曲線

4.2 温度依存性

図-6、7に一体型および分割型の回転板についての低温状態における履歴曲線をそれぞれ示す。実験の条件は周波数 0.5Hz、振幅 50mm、鉛直荷重 3.5tf である。温度の変化における曲線への影響はほとんど見られない。最大軸反力は 1.8tf。

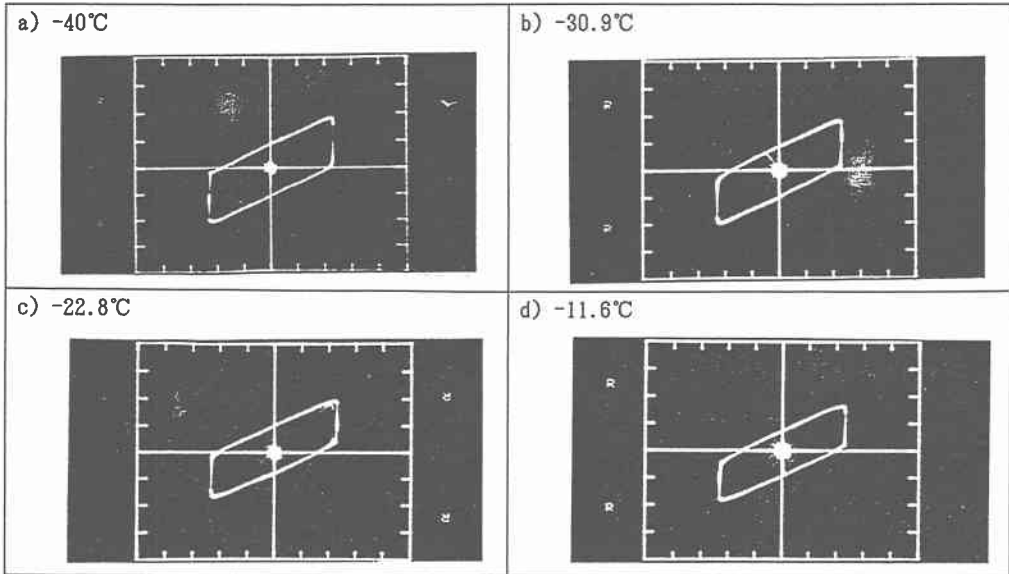


図-6 一体型回転板履歴曲線

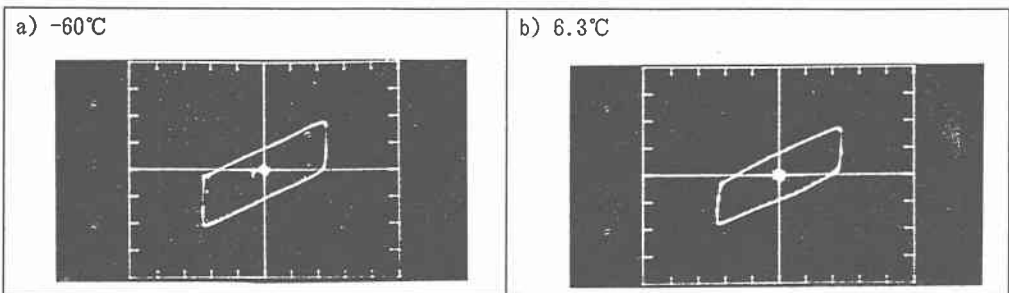


図-7 分割型回転板履歴曲線

5. あとがき

今回の実験では、復元力を幾何形状により発生させ、且つ環境温度の範囲では性質がほとんど変化しない材料で作られた免震装置について、その基本性能を把握し、また性能の非温度依存性についても確認することができた。また、回転板を分割して中にゴムを挿入した場合にもゴムの密閉性により一体型と変わりのない結果が得られた。今後実用性を見い出してゆくために、さらに回転板の形状等に変化を加えデータの蓄積を図る必要があり、今後の課題とする。

参考文献

- 1) 官民連帯共同研究；道路橋の免震構造システムの開発報告書，建設省、平成4年10月
- 2) 中野 修，谷口秀之，小野祐二，山内敏夫；免震橋梁の動的挙動に関する温度の影響，土木学会北海道支部論文報告集 第48号、平成4年2月