

# 弾性すべり支承耐火被覆工法の耐火性能

馬場 重彰<sup>\*1</sup>・道越 真太郎<sup>\*1</sup>・藤野 宏道<sup>\*2</sup>

Keywords : elastic slide bearing, laminated rubber, fire proof, finite element method, fire performance

弾性すべり支承、積層ゴム、耐火被覆、有限要素解析、耐火性能

## 1. はじめに

免震装置を建物の中間階に設置する場合には、中間階に可燃物が存在するため、耐火構造の柱として耐火性能を担保する必要がある。積層ゴム支承、LRB 支承、高減衰ゴム支承等の免震装置では、耐火構造の大蔵認定を取得した耐火被覆工法が商品化されている。しかし、弾性すべり支承に関しては大臣認定品が存在しない。

そこで、弾性すべり支承免震装置を対象とした耐火被覆工法に対し、2 時間の加熱実験を実施した。本論では、本耐火被覆工法の概要と加熱実験結果を記述するとともに、有限要素法による温度解析を実施し、実験結果との比較検討をおこなった。

## 2. 耐火性能試験

### 2.1 試験体および実験方法

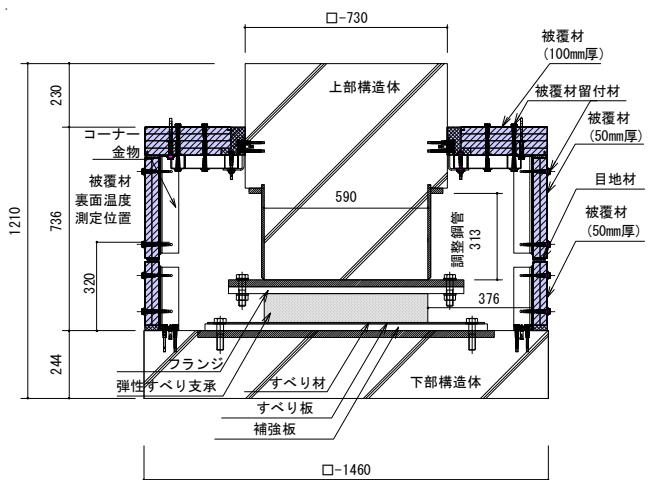
試験体一覧を表-1、試験体の形状寸法および温度測定位置を図-1、耐火被覆工法の外観写真を写真-1 に示す。試験変数は調整鋼管高さ(側壁被覆高さ)とし、側壁被覆の高い試験体を No.1 試験体、低い試験体を No.2 試験体として、計 2 体の加熱実験を実施した。積層ゴムの外径は 600mm(被覆ゴム 10mm 厚を除く)とし、

表-1 試験体一覧  
Table 1 List of specimens

試験体名	側面被覆材厚 mm	水平被覆材厚 mm	調整鋼管高 mm
No. 1	100	200	313
No. 2			193

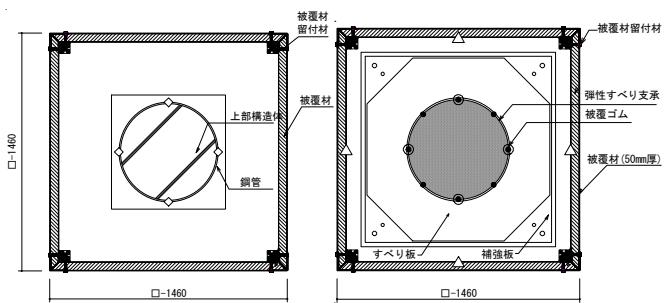
\* 1 技術センター 建築技術研究所 防災研究室  
\* 2 設計本部 構造設計第一部

弾性すべり支承の上下には RC 構造を模擬した RC ブロック(調整鋼管を含む)を設置した。本試験体は下部構造体の上側四隅に取り付けた金物に、厚さ 50mm



\*1:193mm(No.2), \*2:616mm(No.2), \*3:1090mm(No.2)

鉛直断面図



◎：積層ゴム(対辺方向)およびすべり材温度測定位置,  
・：積層ゴム(対角方向)温度測定位置,  
△：被覆材非加熱面温度測定位置, ◇：鋼管表面温度測定位置

図-1 試験体形状寸法および温度測定位置(No.1 試験体)

Fig.1 Section of specimen and locations of temperature measurement (No.1 specimen)

の表面鋼板付きのガラス纖維混入けい酸カルシウム板を側面に配置し、上部 RC 柱にはアンカーを用いて固定した金物に厚さ 100mm の表面鋼板付きのガラス纖維混入けい酸カルシウム板を上面に取り付けた耐火被覆システムである。また、側壁被覆はスリット部を設け、その目地材には熱膨張性の耐火ゴムシートを用いた。

温度測定は、炉内温度に 10 点、積層ゴム表面温度に 12 点(高さ方向に 3ヶ所)、すべり材に 4 点、被覆材の非加熱面に 4 点、調整鋼管表面に 4 点およびすべり板に 4 点熱電対を設置した。

ISO834 に規定された標準加熱曲線にしたがって 2 時間の加熱後にバーナーを停止し、試験開始 24 時間後まで 1 分間隔で温度を計測した。



写真-1 耐火被覆工法の外観

Photo.1 Overview of fire proof method on elastic slide bearing

## 2.2 実験結果

セットアップを写真-2、平均炉内温度結果を図-2(解析で使用した炉内温度も併記)、積層ゴム表面の温度を図-3、钢管表面・被覆材非加熱面・すべり材の温度を図-4 に示す。図-3 および図-4 の積層ゴム、钢管表面、被覆材非加熱面、すべり材温度結果は、各計測点の中で最も高い結果(最高温度)を示している。また、炉内温度を測定した 10 点は、ほぼ同一の測定結果であった。

積層ゴム表面温度は対辺方向および対角方向で有意な差はなく、最高温度は約 120°C であった。加熱終了後もあまり温度低下は認められず、加熱開始後 600 分時点でも約 100°C であった。

被覆材非加熱面および钢管表面温度の最高温度はそれぞれ約 300°C および約 150°C であり、炉内温度の低下とともに温度が減少した。すべり材温度は加熱終了後も上昇し、最高温度は約 100°C であった。

最高温度結果を表-2 に示す。No.1 試験体および No.2 試験体を比較すると、試験体高さが大きい方が各部位の最高温度は高くなっていた。



写真-2 セットアップ状況

Photo.2 Test set-up

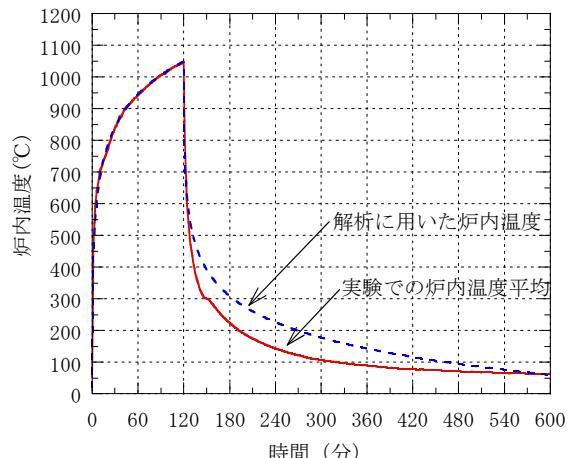


図-2 炉内温度結果

Fig.2 Heating furnace temperature vs heating time

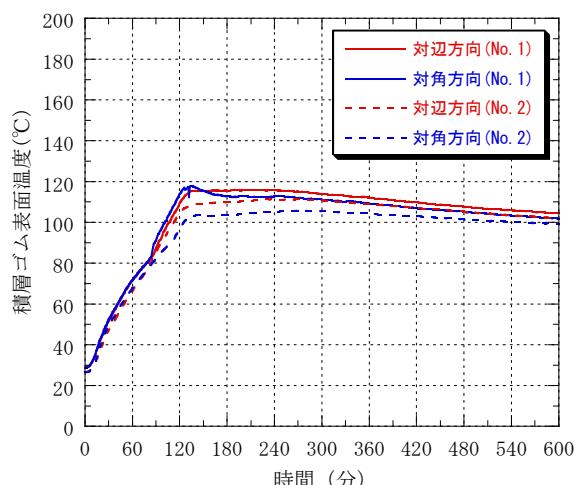


図-3 積層ゴム表面温度結果

Fig.3 Surface temperature of laminated rubber vs heating time

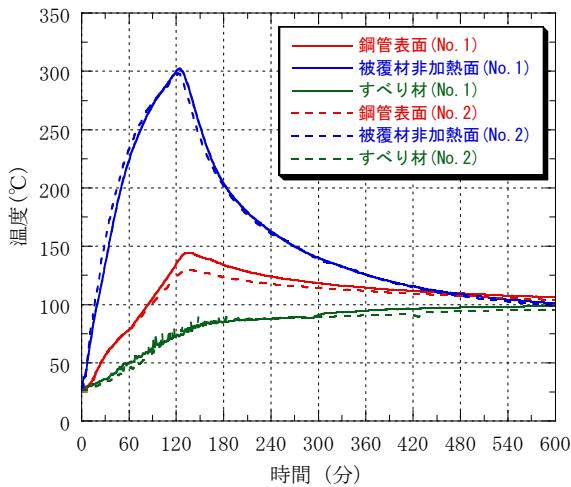


図-4 被覆材・鋼管・すべり材の温度結果

Fig.4 Temperature of fire proof, steel tube and sliding board vs heating time

表-2 最高温度結果  
Table 2 Results of maximum temperatures in each element

温度測定箇所	No. 1試験体 °C	No. 2試験体 °C
鋼管表面	144	130
被覆材非加熱面	302	298
積層ゴム	対辺	116
	対角	118
すべり材	98	99

### 3. 有限要素法による温度解析

#### 3.1 有限要素モデル

前章で加熱実験を実施した No.1 試験体に対し、有限要素モデルによる温度解析を実施した。解析では、汎用有限要素解析プログラムの ABAQUS を使用し、各構成材料の熱伝導および中空層内の輻射を考慮した。

本解析で使用したコンクリートおよびけい酸カルシウム板の熱伝導率および比熱を図-5～図-6 に示す<sup>1)</sup>および<sup>2)</sup>。また、鋼材、ステンレス、天然ゴムおよびすべり材の熱特性を表-3 に示す。計算は加熱開始後、600 分までおこなった。

#### 3.2 温度解析結果

加熱開始後 120 分での温度解析結果を図-7、最高温度結果の実験と解析の比較を表-4、積層ゴム温度の実験と解析結果を図-8、被覆材非加熱面、鋼管表面およびすべり材温度の実験と解析結果を図-9 に示す。

積層ゴムの解析結果は、加熱初期では実験結果に比べて温度が低く加熱終了後においても温度が約 25°C 上昇し、最高温度は実験と解析で良く一致していた。被覆材非加熱面温度は加熱終了とともに、実験同様解析で

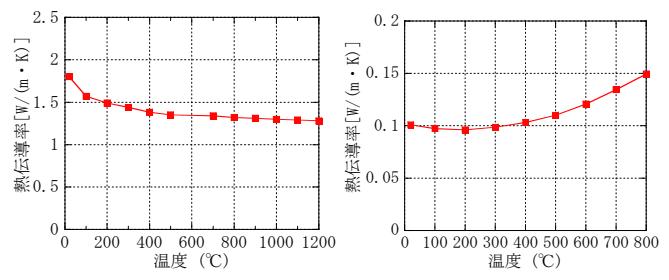


図-5 コンクリートおよびけい酸カルシウム板の熱伝導率  
Fig.5 Conductivity of concrete and calcium silicate

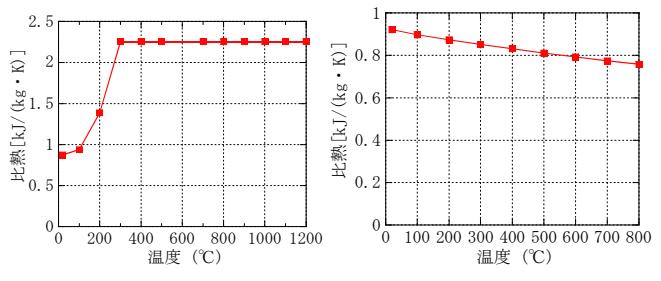


図-6 コンクリートおよびけい酸カルシウム板の比熱  
Fig.6 Specific heat of concrete and calcium silicate

表-3 解析で使用した熱特性  
Table 3 Assumed heat characteristics in analysis

材料	密度 kg/m <sup>3</sup>	比熱 J/kgK	熱伝導率 W/mK
鋼材 <sup>3)</sup>	7850	465	43
SUS304 <sup>3)</sup>	7920	499	16
天然ゴム <sup>3)</sup>	1140	1400	0.13
すべり材	1600	795	0.16

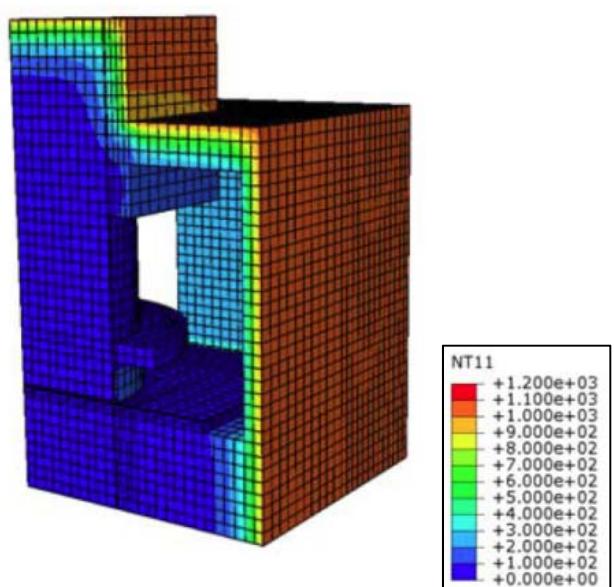


図-7 温度解析結果例  
Fig.7 An example of heat analysis

表-4 実験と解析での最高温度の比較

Table 4 Comparison of experimental and analytical maximum temperatures

材料	密度 kg/m <sup>3</sup>	比熱 J/kgK	熱伝導率 W/mK
鋼材 <sup>3)</sup>	7850	465	43
SUS304 <sup>3)</sup>	7920	499	16
天然ゴム <sup>3)</sup>	1140	1400	0.13
すべり材	1600	795	0.16

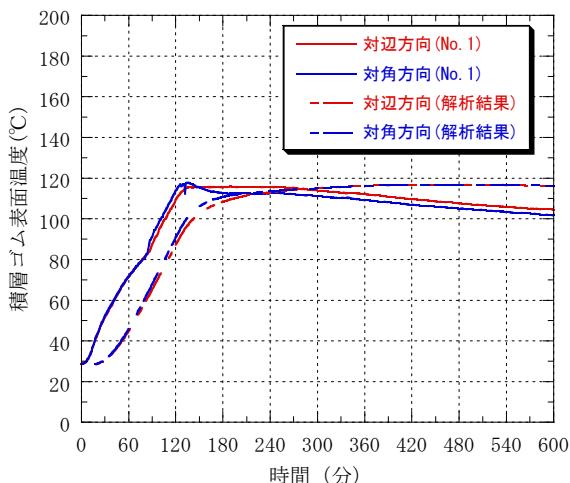


図-8 積層ゴム温度の実験と解析結果の比較

Fig.8 Comparison of experimental and analytical temperature at laminated rubber

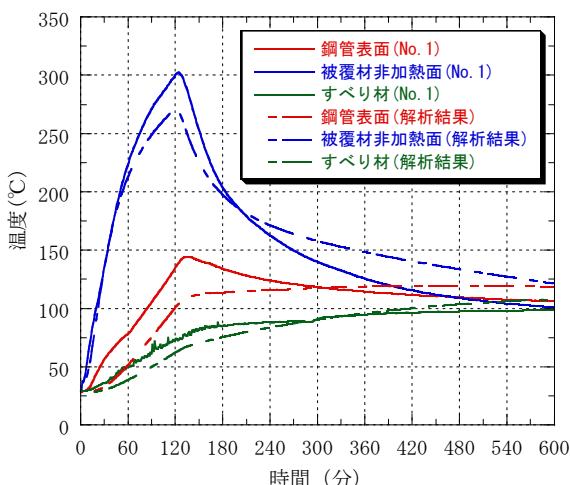


図-9 被覆材・鋼管・すべり材温度の実験と解析結果の比較

Fig.9 Comparison of experimental and analytical temperature at fire proof, steel tube and sliding board

も温度が低下し始め、最高温度は解析の方が約30°C低かった。钢管表面は解析では加熱終了後も温度が上昇し、最高温度は解析の方が25°C低い。また、すべり材温度は実験での傾向を良く表現できており、解析の方が約10°C高い結果となった。本解析結果より、各構成材料の熱特性および空気層内の輻射を考慮することで、実験結果を概ね表現できた。

#### 4. まとめ

弾性すべり支承耐火被覆工法の2時間加熱実験を実施した結果、以下の結論を得た。

- ① 積層ゴム表面およびすべり材表面の最高温度は約120°Cおよび約100°Cであり、性能担保温度<sup>4)</sup>である150°Cを下回ったため、積層ゴムの荷重支持能力に与える影響は小さいと考えられる。
- ② 有限要素法による温度解析を実施した結果、各構成材料の熱特性を考慮した熱伝導解析および空気層内の輻射を考慮することで、実験結果を良く表現できることが得られた。
- ③ 本工法において、2時間耐火の国土交通大臣の認定を取得した。

#### 謝辞

加熱実験の実施に際し、日本インシュレーション（株）、昭和電線デバイステクノロジー（株）および（一財）建材試験センターに多大のご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 道越真太郎ほか：高強度コンクリートの高温時における力学的性質、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-2, pp.79-80, 2004.8
- 2) 日本建築センター：建築物の総合防火設計法 第4巻 耐火設計法, 1989.4
- 3) 日本機械学会：伝熱工学資料 第4版, 1986
- 4) 建材試験センター：防耐火性能試験・評価業務方法書, 2012年