

I R C 2003 ニュルンベルク

10年間使用された橋梁用免震ゴムの性能変化についての研究成果

免震用積層ゴム評価委員会 須藤千秋^{*)}

筆者はドイツ連邦共和国ニュルンベルク市にて開催されたI R C 2003(6/30~7/3)に参加、経済産業省の基準認証研究開発補助事業で得られた研究成果“Evaluation of restoring force properties of seismic isolators used in bridges for 10 years”を発表する機会に恵まれた。ここに、発表の要旨を簡単に紹介したい。

本研究は経済産業省の補助事業として平成13年から3カ年計画(初年度のみNEDOの助成事業)で行われている「橋梁・ビル免震用積層ゴムの研究開発及び標準化」の一環である。昨年来本誌でも度々採り上げられてきたので、目的等は既によく知られていると思うが、ごく簡単に言うと、現在制定を進めている免震ゴムの国際標準規格I S O 22762およびJ I S規格の重要なバックデータの整備を目的としている。

具体的には免震ゴムの経年的な性能変化予測技術の妥当性検証と限界性能の把握である。

今回I R C 2003で発表したのは、その中で最初に成果が得られた、山あげ大橋で10年間使用された橋梁用免震ゴムの性能変化についての研

究成果である。

1. 研究の背景と目的

免震技術は地震災害から人々の暮らしや財産を守る先進の技術であるが、ビルや橋などの構造物の地震時特性は免震ゴムの性能で決定される。構造物の期待寿命が50年から100年であるため、免震ゴムの性能もその間の安定性が期待される。ゴム製品である免震ゴムの長期的な性能変化を定量的に把握する技術として、現状最も確からしいとされている、化学反応速度論に基づく熱劣化促進試験による手法を標準に採り入れようとしている。しかし、この手法の妥当性を実証するデータが十分ではないという問題があったため、今回、国の補助を受けて大規模な検証を行った。

2. 免震支承の交換

山あげ大橋(写真-1)は栃木県烏山町に位置し、1992年竣工、橋長246.3mの6径間連続P

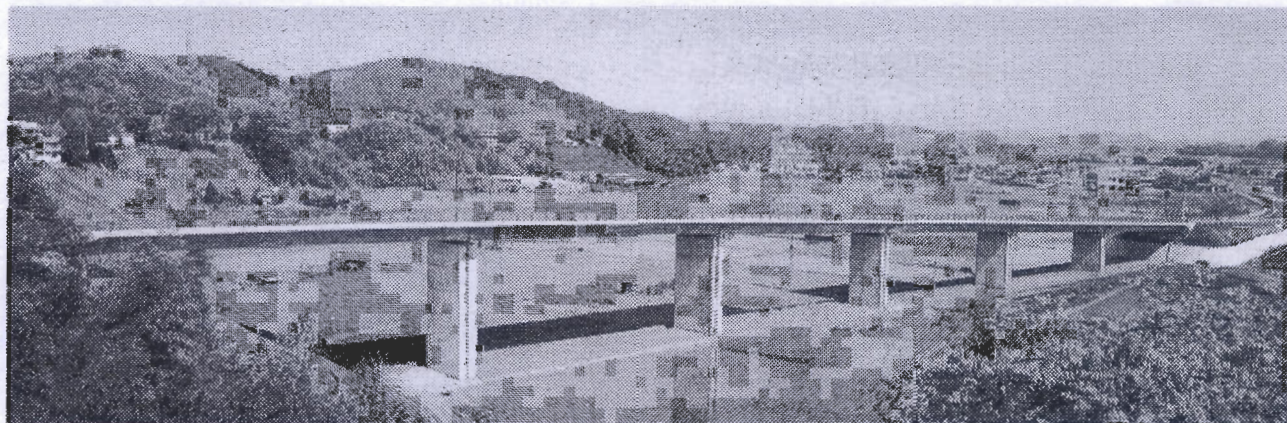


写真-1 山あげ大橋

C箱桁構造の免震橋である。今回は最も高さの低いP5橋脚から970×1,520×高さ277mm(積層構造:高減衰ゴム18.7mm×8層,設計荷重:7,034kN)の支承(重量約1,670kg)2基を同仕様の新品と交換回収した。

今後の免震橋梁の普及を考えると,免震ゴム支承の交換技術は橋梁の維持管理上,必須技術になる。そのため,本事業の目的のひとつに大型PC橋の免震ゴム支承交換技術の開発も加えられた。

技術上の主なポイントは,以下の点であった。

①免震ゴム交換の構造物への影響評価

- 工事による構造物の損傷防止(工事の管理項目および管理水準の明確化)

- 橋梁の耐震性能変化の安全性評価

②上下部構造の相対変位による免震ゴムのせん断変形調整技術の開発

狭い橋脚上で,限られた時間内に大型の免震ゴムを微妙に変形させるために特殊な工夫が必要であったが,事前の現地調査,実物を用いてのシミュレーションを経て写真-2のようなひずみ調整治具を開発した。

様々な検討を経て,道路管理者である栃木県の協力の下,交換工事は2002年3月2日の未明,予定通り一晩で完了した。

3. 回収支承の性能

(1)水平試験

回収された支承2基に対して,建設時と同一条件で水平載荷試験を行い,等価剛性と等価減衰定数を実測した。

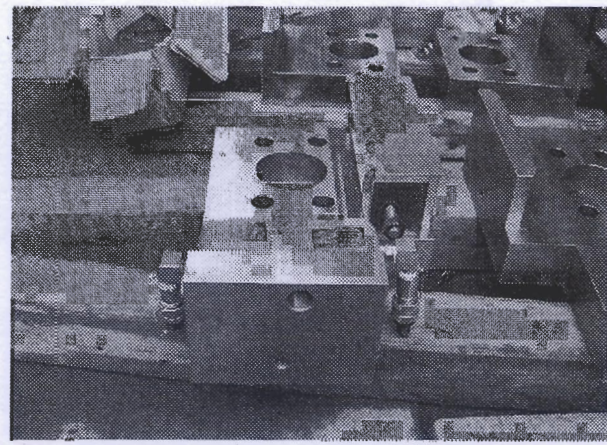


写真-2 ひずみ調整治具

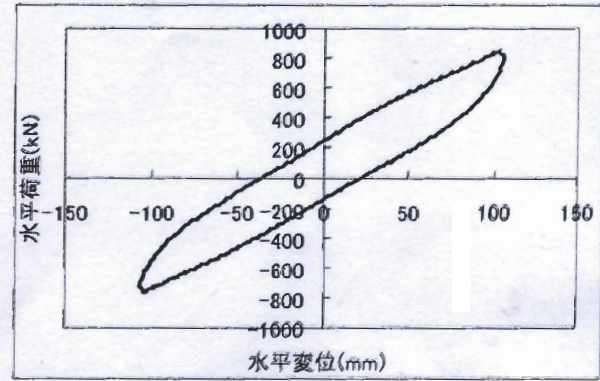


図-1 G1用回収支承±70% (2nd) 3サイクル目 水平荷重-変位特性

建設時との比較結果を表-1にまとめる。また,ヒステリシスループの例を図-1に示す。

表-1の経年変化率に示す通り,等価剛性は3~4%硬い側に変化し,等価減衰定数は変化の傾向が明確でなかった。

(2)鉛直試験

同様に,鉛直載荷試験を行い,鉛直剛性を測定した。

経年変化率はG1用支承が+4.0%,G2用支

表-1 回収支承水平試験結果

評価項目	支承名	建設時測定値	今回測定値	経年変化率
等価剛性 (kN/mm)	G1用	7.61	7.92	+4.1%
	G2用	7.48	7.73	+3.3%
等価減衰定数	G1用	0.186	0.182	-2.2%
	G2用	0.174	0.181	+4.0%

承が-1.7%で、鉛直剛性の変化の傾向は明確でなかった。

(3)せん断変形性能試験

水平と鉛直の試験を行ったG 1用支承に対し、鉛直荷重5,345.6kN（設計死荷重）を載荷した状態で、破断するまでせん断変形させる試験を行い、破断ひずみと破断時荷重を測定した。

結果は、破断ひずみが455.5%（681.5mm）、破断時荷重が8,307kNであった。

建設時に本試験は行われていないため経年変化率の算出はできないが、10年経過しても、非常にレベルの高いせん断変形性能を有していることが検証された。

4. 回収支承の内部物性変化

回収支承と同一仕様にて製造された支承（新規品）と回収されたG 2用支承の内部物性試験を行い、内部の経年変化を検証した。

新規品及びG 2回収支承のそれぞれに対し、図-2に示す部位から2mm厚のダンベル状の引張試験片を採取して引張試験を行い、引張強さ・切断時伸び・100%伸長弾性率を測定した。

100%伸長弾性率の試験結果を図-3、図-4に示す。図-3は表面から中央までの分布、図-4は表面から50mmまでの表面近傍の分布詳細を示す。

回収支承は、表面から20mm程度まで物性が変化して、それより内部は一定していることが判明した。新規品と比べると内部でも差があるが、この差は主に個体差によるもので、内部での経年的な物性変化は僅かであると推定される。

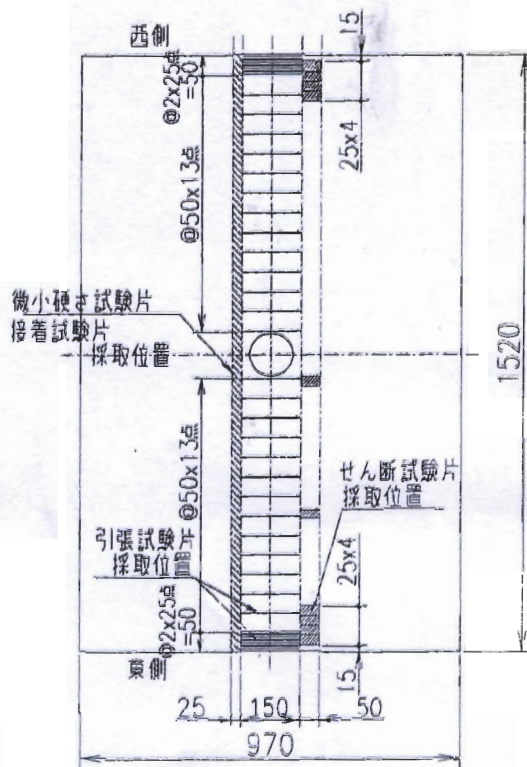


図-2 試験体採取位置

なお、10mm近辺で物性の変化が見られるが、表面から10mm程度までは内部ゴムと別種の被覆ゴムを使用しているのが原因と考えられる。引張強さ・切断時伸びも同様な傾向（分布）が見られた。

他にも、微小硬さ、せん断弾性率、老化防止剤・酸素量測定を行ったが、表面から20mm程度までに変化が見られ、それより内部は一定しているという引張試験結果と同様な傾向（分布）が見

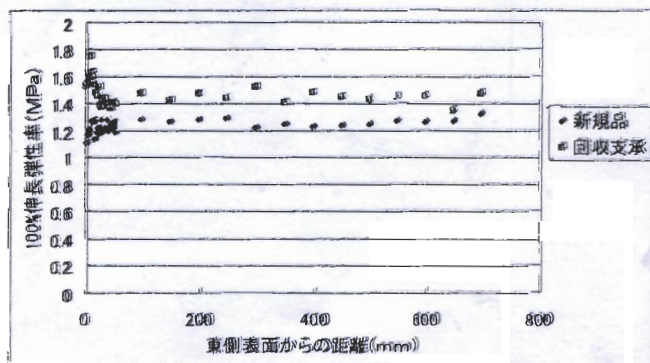


図-3 100%伸長弾性率

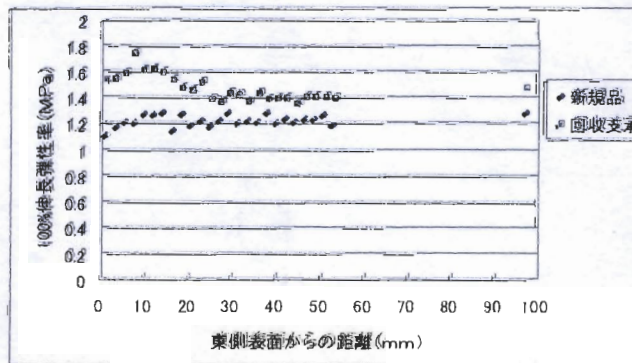


図-4 100%伸長弾性率（表面近傍）

られた。

これらの結果は、既往の研究成果（ペルハムブリッジの回収支承評価など）と傾向的によく一致している。表面近傍の変化は外界から供給される酸素による酸化劣化であると考えられる。

5. 熱劣化促進試験による経年変化予測

化学反応速度論におけるアレニウス式：

$$K = A \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (1)$$

ここで、K：速度定数（時間⁻¹）、A：頻度因子、T：温度（絶対温度）、E_a：活性化エネルギー（J/mol）、R：気体定数（=8.314J/mol/K）

式(1)と熱劣化促進試験結果から、支承の実使用期間による経年変化を予測できる式(2)を導き出せる。

$$\ln\left(\frac{t_0}{t_y}\right) = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_y}\right) \quad (2)$$

ここで、T₀：使用環境温度、t₀：使用期間、T_y：促進温度、t_y：促進時間

つまり、E_aが求めれば、実際に支承が使用される条件下（T₀、t₀）での経年変化を、式(2)を満たす条件下（T_y、t_y）にて熱劣化促進試験で行うことで、予測できることとなる。この手法をISOおよびJISに標準化しようとしている訳である。

山あげ大橋で使用した高減衰ゴム支承の、既往の促進試験による等価剛性（K_{eq}）及び等価減衰定数（h_{eq}）の経年変化予測を図-5に示す。(2)式にて促進試験条件（T_y、t_y）を本支承の使用環境温度T₀=13℃で換算した期間を横軸に、変化率を縦軸にしてプロットし近似式(予測式)を算出した。なお、E_a=78.9kJ/molにて計算した。

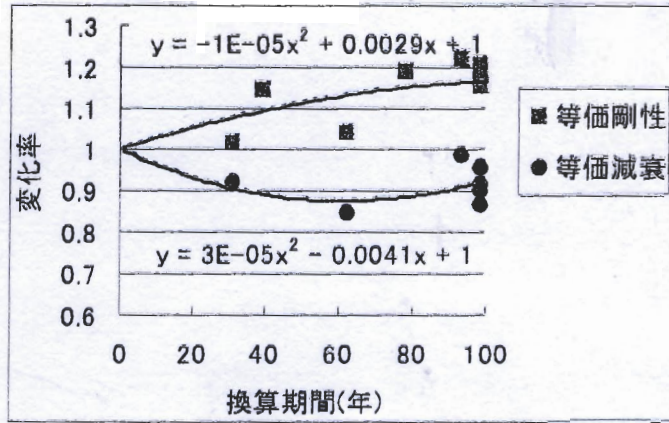


図-5 促進試験による経年変化予測

6. 回収支承の経年変化と予測との対比

図-5の予測式から算出される10年経過後の予測値と、今回実測された回収支承の実使用期間（10年間）の経年変化実測値との比較をまとめたのが表-2である。

等価剛性は、予測値と実測値が非常によく一致し、等価減衰定数は実測値が大きくばらついているが予測値は安全側である。

以上のように、熱劣化促進試験による経年変化予測が概ね妥当であることが確認された。

本予測手法には多くの仮定が含まれていること、活性化エネルギーの同定その他に多くのばらつきが含まれることなど、課題は多い。また、今回の10年という時間が50~100年の性能変化を論じるには十分長いとは言えないという問題もある。

とはいえ、今回、世界で初めての大型免震ゴムの実測結果から、本手法が全く見当違いのものでなく、安全側の予測を与えてくれることがわかった意味は大きい。今後さらに長期間経過

表-2 促進試験結果から予測される変化率と実変化率との比較

	促進試験結果から予測される 10年経過後の経年変化率	回収支承の経年変化率	
		G1用回収支承	G2用回収支承
等価剛性(K _{eq})	+約3%	+4.1%	+3.3%
等価減衰定数(h _{eq})	-約4%	-2.2%	+4.0%

後の実証実験を重ねて、より精度の高い妥当性の検証が期待される。

7. 免震積層ゴムISO規格“ISO22762 Elastomeric Isolator”について

ISO/TC45 (International Standards Organization/Technical Committee 45)では2000年から日本が議長国(Convenor: 西敏夫東京工業大学教授)となり橋梁用ゴム支承並びに建築用免震積層ゴムのISO規格を作成している。

ISO22762は次の3つのパートからなっている。Part1: Test Methods(積層ゴムの材料と製品の試験方法), Part2: Application for bridges-Specification(橋梁用積層ゴムの製品規格と設計基準), Part3: Application for buildings-Specification(ビル免震用積層ゴムの製品規格と設計基準)。現在、最終ドラフトの投票承認を得る段階にあり、これが承認され最短のペースで進めば2004年に規格の正式発行となる。

以上が今回IRC2003で発表した骨子である。今回の発表の地ドイツは、地震に関してはほとんど無いか、あっても小規模のようである(中世の石積みの古城が今も多数健在である)。そのためか大多数の参加者にはあまり切実な関心と呼ばなかった印象であるが、発表後インドやトルコの参加者が寄って来られて、いろいろ前向きなやり取りができたことは大きな収穫であった。

おわりに

橋梁・ビルともに積層ゴムの普及率は日本が世界一である。この日本の技術をベースにISO規格として標準化し、世界に開示することにより、地震の被害に悩まされている世界中の国々で活用してもらうことができるようになる。

日本は議長国として規格を取りまとめるのみならず、本規格をより優れたものにするための研究や広報活動でも数々の貢献をしており、本

研究もその一環である。各国の日本に対する期待は大きく、基準認証開発事業では引き続きビル用積層ゴムの耐久性調査研究、橋梁用、ビル用の積層ゴムの限界性能調査研究を実施し、規格のバックアップデータの補強を行っている。

本研究の実施に際し多大なご支援とご協力を頂いた、経済産業省標準課、同省化学課、(財)日本規格協会にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

なお、「免震用積層ゴム評価委員会」(委員長: 西敏夫東京工業大学教授)の参加団体は次の通りである。東京工業大学、九州大学、長岡技術科学大学、福岡大学、東京理科大学、建築研究所、土木研究所、大成建設(株)、(株)奥村組、(社)日本免震構造協会、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会、(社)日本橋梁建設協会、(社)日本道路協会、栃木県、日本ゴム工業会、電気化学工業(株)、東ソー(株)、浜田技術士事務所、オイレス工業(株)、倉敷化工(株)、昭和電線電纜(株)、東海ゴム工業(株)、東洋ゴム工業(株)、ニッタ(株)、バンドー化学(株)、(株)ブリヂストン、横浜ゴム(株)、日本ゼオン(株)、日本鑄造(株)、川口金属工業(株)、(株)ビービーエム、東京ファブリック工業(株)、(株)免制震デバイス、(社)日本化学工業協会(順不同)。

*) すどう・ちあき 株式会社ブリヂストン 工業用品事業本部 土木・海洋商品開発部部長