資 料

工学的材料としての天然ゴムの用途の拡大

L. Mullins. Ph. D.*1

(訳) 松 木 勇**

1. はじめに

工学的用途にゴムを使用するのは新しいことではないが、エンジニアがゴム部品の設計に利用することのできるような形で表されたゴムの機械的性質についての情報の欠如のために、近年に至るまでその使用の拡大はひどく制約されていた。その使用は現業のエンジニアとゴム技術者のくふうと忍耐にかかっている、彼らは最終的設計を実現するのに骨のおれる試行錯誤の方法に必然的に頼らざるを得なかった。

今やこの用途分野でゴムを充分に利用することを妨げていた問題を克服するについて大きな進歩が遂げられ、マレイシアゴム生産者研究所 (MRPRA) は長年この目的に向かって多大の努力を注いできた。現在工学的材料としてのゴムは有望な成長領域であって、ゴム消費量においてタイヤに次ぐ一両者に隔たりはあるが一地位を占めている。

2. 成長を制約する要因

大きな問題は前述のように、エンジニアが実用製品を設計するのに利用できるようなタイプ情報を提供することであった。そこで次の基本的設問がなされた。

- 1) 使用中に受けるタイプと大きさの荷重によって所要量だけ変形するためには、その製品はどんな形状と寸法でなければならないか？
- 2) それはどれだけの期間有効に作動するか？

この両方の分野で進展がみられた結果、今や設計問題を合理的に処理し、様々の実用用途にゴムをうまく使用

することを可能にするだけの情報量を持つに至った。

大きな進歩はゴム部品、特に金属と接合されたばねのこわさを計算する方法が開発されたことであって、今では荷重/変形の関係は、形が非常に複雑なものを除いて静的又は動的使用条件のいずれの場合であれ、直ちに算出することができる。ゴム部品の疲労寿命を信頼性をもって予見することが可能であり、また設計段階でなされた計算を利用して、材料の経済を適当に考慮しつつそれを改良又は適正化することができるかどうかを示すことができる。この点では現在製造されている多くの部品は破損に対する保険としてひどく“過剰設計”になっており、この開発を充分に利用するならばかなり節約することができる。実用上重要なクリープと応力緩和の性質は基本的な点で研究が結実し始めており、数十年間における部品の性能を充分に予見することができる。

これに加えて、ゴム加硫物の細部における組成と構造がその使用性能を決定する機械的性質とどういう関係にあるかを理解するための正しい尺度を獲得するという面でも進歩がなされた。これによってこわさ、強さ、レジリエンス及び耐久性などの性質が最適に組み合わせられた配合物を選ぶことができることになる。

この問題と関連してこれらの情報を現業エンジニアに投影する必要がある。これは永続的な要求である。エンジニアは伝統的に鋼とコンクリートを主とする食物で育てられているので、ゴムの挙動はなじみがなく、より複雑で、見掛けの上では消化し難い。

この要求は教育とコミュニケーションにかかわるものであって、この努力において MRPRA は長年にわたって(1)エンジニアのためにコンサルトサービスを提供し、(2)エンジニア向けの刊行物を作成、配布し、(3)関連題目について会議と講演を開催してきた。

マレイシアゴム研究所 (RRIM) も最近に至ってこの

*1 Director, Malaysian Rubber Producer's Research Association, Brickendonbury, Hertford SG 13 8 NP, England.

*2 マレイシアゴムビューロー (〒105 東京都港区浜松町2-4-1, 世界貿易センタービル1213号)

分野のサービスを強化するための方策を講じている。

3. 工学的材料としてのゴムの要件

ゴムが使われる多くの工学的用途のすべてにおいて、それが選ばれる真実の理由はゴムが高度の弾性的変形能力を有することである。それは鋼の約10万倍も引き伸ばしやすい(ヤングモジュラスは軟鋼の200,000 MN/m²に対してゴムは2MN/m²)が、その体積モジュラスはなお非常に高い(体積モジュラスは軟鋼の170,000 MN/m²に対してゴムは1,000 MN/m²)。それにもかかわらずゴムはほとんど鋼に劣らず強いのである(破断断面における引張り強さは軟鋼の580 MN/m²に対してゴムは220 MN/m²)。

これらの用途の大多数において、ゴムは無用の運動を受け止め、衝撃を緩和するばねの機能を遂行する。ダンロップ社の先駆的ゴムエンジニア故 A. A. Hirst を引用すれば“ゴムが鋼及び流体のばねより好んで選ばれるのは、ゴムが結果を達成するためのより便利で経済的で信頼できる手段だからである。”

高い弾性に加えて要求される性質は、引裂き抵抗や切傷成長抵抗のようないろいろの面に現れる高度の強さ、可逆的な再現性のある応力一ひずみ挙動を与える高いレジリエンス、反復屈曲の場合にクリープ、圧縮残留ひずみ及び好ましくない内部発熱のないこと、良好な疲労寿命と耐久性、そして更にしばしば鋼と接合される正確な部品を容易に製作できることである。

天然ゴムはこの望ましい性質の組み合わせを備えており、いろいろの合成ゴムが開発されたが、天然ゴムのように必要な性質の全体としてのバランスがよくとれているものはない。その結果として天然ゴムはこの用途分野に特に好適であり、確立された強い立場をよく維持している。これらの要件は下級グレード品よりむしろ最高品質のゴムを要求するもので、マレーシアのゴムは特に有利であるとみるべきである。

この成長を維持し推進するためには、設計上の考慮事項に関係のある各種要因についてのより多くの基本的情報が必要とされ、Lindley, Derham らの報文はこの目的に向けられている。これに加えて可能な最高の性能を与える天然ゴム配合を開発して、エンジニアが鋼の望ましい代用として天然ゴムを採用するように助成し、彼らが信頼して設計できるようにすることが肝要である。

4. 成功した用途

ゴムの工学的利用は土木及び機械工学の広い範囲の用途にわたっており、この会議の報告はそれらの一部をく

わしく説明している。わたしの報告ではこの用途分野における天然ゴムの融通性と開発可能性を解明するために、成功した用途例のいくつかを指摘するにとどめる。

5. 土 木 工 学

5.1 橋りょう(梁)ベアリング

土木工学における最近の開発の典型的な事例は橋りょう用ゴムベアリングにみられ、これは金属形ローラーベアリングの代わりに積層ゴムパッドを使用するものである。ゴム製橋りょうベアリングの長所は、在来の鋼製ベアリング(図1)と比べて補修を要せず摩耗しないことである。図2、図3に示す現代的橋りょうベアリングは1955年に始まり、この年にあるコンサルティング・エン

図1 橋りょう用鋼製ローラーベアリング

図2 橋りょう用天然ゴムベアリング

図3 高架自動車道路に使われる天然ゴムベアリング

ジニア会社が MRPRA と協力して最初のすえ付け品を製作した。そのとき以来橋りょう用ゴムベアリングは土木技術者に完全に受け入れられるようになり、イギリスではゴムベアリングの使用に適する橋の内80%以上に現在天然ゴムベアリングが使われている。もちろん他の多くの諸国でも並行的な発展がみられた。しかしながらアメリカでは橋りょう用ゴムベアリングの規格が、この用途には天然ゴムが理想的な材料であるのに、ネオプレンのほうがオゾン抵抗がよいという理由で天然ゴムの使用を排除していた。橋りょうベアリングは圧縮で作動するもので、引き伸ばされた薄いゴム片の挙動とは対照的に、オゾンひび割れは圧縮では成長しない。アメリカ規格委員会に意見具申を行った結果、この誤りは既に訂正されたので、この用途における天然ゴムの使用が将来伸びることは確かであろう。

この市場そのものは大きくはない—ゴムにして年間2～3千トン—が、その重要性は天然ゴムがじょうぶで長持ちし設計しやすいということ、実験室テストではできないやり方で実証していることにある。このような実証の価値を証明しているのは、建築物マウンティングに天然ゴムが使われるようになったことである。

5.2 建築物マウント

騒音と振動を絶縁する天然ゴムの建築物マウントの使用は1956年に MRPRA の第1回ゴム工学会議 (Rubber in Engineering Conference) で提唱されたもので、橋りょうベアリングからの直接の副産物である。1960年代中頃までに数棟の建物が大型の天然ゴムばねの上にうまくすえ付けられた。現在ではロンドン、パリ、シドニー、ワシントンで大きな建物が天然ゴムの上にすえ付けられている。これらの場合は建築物を列車のごう音と振動から絶縁することが特別に重要であった。この技法はまた実験室に一装置を大型機械の振動から保護するために、スタジオやホテルに一建物のある部分を交通騒音からしゃ断するために、適用されている。工事費総額の1～2%の追加費用ですばらしい効果をあげている(図4, 図5)。

目新しい開発としては地震による建築物の損害を軽減するための天然ゴムマウントの利用がある。これはMRPRA で積極的に研究を進めているところで、もし地震を処理することができれば大きな市場が開かれよう(年間数万トン)。

この両方の用途ではゴムのクリープ—長期にわたって荷重をかけた場合の寸法の変化—を絶対的の最小限度に抑えることが必要であって、天然ゴムはこの点ではほとんどすべての合成ゴムより優れているが、これを更に改善

図4 天然ゴム建築物マウントの成績をモニターする

図5 アパート建物に天然ゴムマウントを使用した初期の一例

する手段があれば、その地位が強化され使用見込みが拡大されるだろう。

5.3 ふ頭、防げん(舷)材

ゴムの防げん材は船舶と港湾設備を保護するために半世紀近く使われてきた。初期に使われた坊主になった古タイヤ(図6)はひだ付きの巨大な押出し製品(図7)にまで発達してきたが、しばしば斜の角度で加わる衝撃力を減殺するようにゴムをより完全に利用するためには、Raykin せん断フェンダ(図8)に示されるように非常に複雑巧妙なデザインが要求される。岸壁に横付け係船されるマンモスタンカーは300 t/m²に及ぶエネルギー吸収を伴うことがあるが、船体に加わることの許

される力の最大限度（岩壁は全く別として）はまず 40 t/m^2 を超えてはならない。これでは巨大なフェンダを要することになる。現在の製品設計はまだ天然ゴムの潜在力を完全に利用するものではなく、より有効で低コストの新しいゴムフェンダが緊急に要求されている。

5.4 貯水池とダム

天然ゴムはまた他の2種の大形構築物である貯水池とダムにとって肝要の材料である。両者に共通する二つの要請は、水もれがあってはならないこと、そしていつまでも水密性を保つことである。この要求に対する答えは

図6 防げん材としてのゴムの伝統的な利用

図7 管状ゴム防げん材（シドニー港）

図8 Raykin 岸壁用フェンダばね

ゴムの漏水止めである。それは運動に順応する能力を有するほかに、貯水池又はダムの予想寿命と同じだけの耐用寿命を持たねばならない。おそらくこのタイプの世界最大の工事は、ライン河とマース河が海に注ぐオランダの Haringvliet の“デルタ”計画である（図9）。17のひ門はそれぞれ二つの水門を持ち、これは長さが60m近くあり、水門を開めるとその両側と底部でゴムのジョイントがコンクリートに接するようになる。

この壮大な新計画は、もちろん世界中にある無数のずっと小形の水門に使われている天然ゴムの漏水止めに応用された周知の原理の論理的拡張である（図10）。

6. 機 械 工 学

天然ゴムが機械工学的装置に使われたのは長い間典型的にばねとしてであったが、ここではより新しい用途に注意を向けよう。

図9 Haningvliet ダム（オランダ）の水門

図10 水門シール部のゴムの漏水止め

6.1 鉄道用サスペンション

天然ゴムばねが鉄道車両用のコイルばね又は板ばねに急速に取り代わりつつある主な理由は、充分に大きい負荷に耐えるので、てこ作用をする余分の機械装置を用いなくて直接にゴムだけですべての運動を処理し得ることである。軸箱をアンダーフレームに連結するのに、シェブロンばねを使うだけで、垂直荷重を支えるだけでなく更に横方向の変位にも対処し得るので、サスペンションの問題への典型的な満足すべき解決となっている（図11）。この装置はロンドン交通局の地下鉄とアフリカの狭軌鉄道で長年良い成績を挙げている。ここ2、3年の間にそれはアメリカで貨車に取り付けられた。多くの国々で高速列車の設計作業が進められているが、これにはスムーズな乗り心地が極めて重要なので、非常に厳しい要求を満たす実用的で便利なシステムとして天然ゴムばねを使用する機会が出てくる。

6.2 自動車用サスペンション

自動車用としてゴムばね又はゴムと液圧ばねを組み合わせたものは、耐用期間が長く乗り心地が優れている点で鋼製板ばねと比べて重要な利点を有する。あらゆる種類の気候と条件のもとで何百万マイルもの走行試験に耐えた最も進歩した設計は、British Leyland Motor Co. のすべての乗用車に使われている Moulton Hydrolastic ユニットである（図12）。この製品に適する唯一のゴムである天然ゴムにとってこれは大きな用途になっている—この用途における合成ゴム、例えば SBR の耐用期間は疲労抵抗が劣っているために天然ゴムの約1/10にすぎないだろう。ゴムばねはまたバスや大形バスに使われて特に成功を収めている。現在まではこれらゴム製サスペンションの相対的高コストがその普遍的採用を妨げていた。しかしながら自動車メーカーとゴム製サスペンションのメーカーの間の持続的協力によって、標準的サスペンションとしての板ばねに代わる経済的なゴムばねの開発に

図11 ロンドン交通局ビクトリア線列車のボギーに使われる軸箱とボルスタの天然ゴムばね

図12 Moulton Hydrolastic サスペンション

成功する見込みで出てきている。

6.3 自動車のバンパーと緩衝装置

歩行者と自動車利用者の双方の安全に対する関心の高まりは、ゴムの新しい潜在的な大口用途を生み出している。既にアメリカの法律では自動車が時速5マイルで静止した剛体に衝突した時に、“安全性関係”部分が損傷してはならないことが要求されている。類似ないし関連法令が他の国々でも検討中である。MRPRA は1970年に当時提案されていたアメリカの立法を目当てに、天然ゴムせん断ユニットを使った予備的設計を発表した。デトロイトのフォード社がこれに大きい関心を示し、全面的試験で満足な成績を得た後に、1973年及び1974年形の最小形車を除く同社の全車種に天然ゴムエネルギー吸収ユニットを取り付けることになった（図13）。これにより装着車はアメリカの主要保険会社から保険率の10%割引を受けることができる。この用途に天然ゴムが選ばれたのは、まず第一にこの場合の高いせん断応力のもとで高い疲労抵抗を有し、広い温度範囲にわたりこわさが一定だからである。

フォードのエネルギー吸収装置は自動車向けの多くの有望な新用途の一例にすぎない。自動車メーカーと協力

して、衝撃による損害を軽減するための全く違ったアプローチが検討されている。その一つは完全に“巻き付いた”可とう（撓）性バンパーである。これらやその他の自動車関係新用途の市場は潜在的に大きく、たぶん1台ごとに“6番目の車輪”を備えるのに相当しようが、他の種類のゴムや液圧式システムからの競争は厳しい（図14）。

6.4 マウンティング、カップリング、ベアリング

マウンティング、カップリング及びベアリング用としてのゴムの多くの用途の内おそらく最もめざましい最近の用途は、ヘリコプターのロータブレード用の天然ゴムベアリングの開発であった。オーバーホール間の時間からみたローターヘッドの寿命はゴムベアリングの使用により5倍にも伸ばすことができ、この用途において天然ゴムは良好な疲労寿命のゆえに最良の材料である。これに使われる積層ベアリングを図15、図16に示す。このベアリングが始めて生産的に使われたのは1972年であった。それにより複雑な金属製ローラーベアリングと付属する油圧潤滑装置に必要な多数の部品がいらなくなるので設計が非常に簡易化された。

図13 フォードのエネルギー吸収装置

図14 車体に合わせて塗装したゴム製バンパー

図15 3枚羽根ヘリコプターローターヘッドベアリングの位置を示す

図16 ヘリコプター用新形ベアリング

7. 製造と配合に関する開発

工学的用途に用いられるゴム部品の性能要求は特に厳しい。それは生ゴムについては高度の斉一性と技術的品質を必要とし、また優れた強さと弾性の特定の要件に適合する配合と、通常工学的設計に要求される精度をもつ

て完成部品を製作する方法とを開発せねばならない。

これら3つの領域のそれぞれにおいて満足すべき進歩が見られた。

ゴムの技術的規格への適合を保証する SMR 製の1965年以降における発展は大きな進歩であって、高度に自動化された工場をゴムがスムーズに通って行くために必要な技術的品質の管理をやりよくするものである。

最近に至って弾性及び強さの性質の斉一性が望み通りに改善される特殊配合システムが開発された。また生ゴム調製方法の改良も、工学的用途のための性質を更に向上させる新しい形態である脱たんぱく天然ゴムを生み出した。

最後にインジェクション・モールドイングの利用が増えるにつれて、寸法がよりよくそろい、物理的性質がよ

り均一で、内部まで一様に加硫された製品を容易につくることができることになった。

工学的用途における天然ゴムの成功した新しい用途の開発と、克服せねばならなかった若干の問題についてのこの簡単な記述は、問題が少なくとも部分的に解決されたとか別の用途もうまく行くとかいふ事実をはるかに超える意義を持つ。すなわちそれは天然ゴムがその使用分野の現状をはるかに超えて伸ばす個有の実力を有するという確信を持たせ、またもっと興味ある可能性を開きそして天然ゴムがその解決を援助すべき工学的問題に立ち向かうための今後の針路を指し示すものである。

〔付記〕本稿は1974年3月14日ゴム工学シンポジウムの報告資料であり、著者の了承を得て掲載することになった。

新 刊 紹 介

企業内及び技術者教材用

特 許 法

鈴 江 武 彦 著

テスコ株式会社出版部、東京、昭和48年11月、262ページ、A 5 判、定価 2,000 円

本書は著者が大学の特許法講座の講師として、10年間にわたり学生を対象として講義をされた草案を骨子に、今回特に読者対象として企業経営者及び技術者を主点において、特許法の本質を簡明には握できることを主眼目として書かれたものである。また著者は弁理士として、実務家の立場から、特許法の大綱について、その見解を述べている。

内容は第1章・序章 特許法の意義と特質／我が国における特許制度 第2章 創作の開発と特許管理 創作／創作能力／情報／企業内における発明の考え方／企業における特許管理の考え方／明細書用語 第3章 本論 目的／特許を受ける権利の帰属／発明／特許要件／出願

に関する諸原則／審査、審判、訴訟／発明の異同と技術的範囲／特許権／実施権／担保物権／権利の移転、消滅／特許侵害対策 から成っている。

技術者が特許関係で当面する最も重要な問題である権利の抵触については具体的な実例としての特許公報などを随時引用しつつ詳述し、また、特許用語の統一的解釈をめぐって初の試みがなされ、「明細書用語」を收集整理されている点、大いに参考となることを信じて推奨いたします。

発行所 テスコ出版部 東京都港区芝愛宕町1-7
三興森ビル内 電話 (03) 431-7921 (代)