

### 第114回

# 合成まくらぎ

## はじめに

合成まくらぎ(図1)は、ガラス長繊維と硬質発泡ウレタンで構成される複合材料をまくらぎ形状に成形したものであり、1980年に旧国鉄の鉄道技術研究所によって開発<sup>1)</sup>され、その後各種試験および追跡調査<sup>2)</sup>を経て、本格的に実用化されています。

合成まくらぎは、重量および取り扱いやすさが木まくらぎと同等でありながら、優れた耐久性や耐候性を有し、推定耐用年数は50年以上とされる長寿命材料です。ここではこの合成まくらぎについて、開発の経緯から現在に至るまでの変遷について紹介します。

## 開発の経緯

線路におけるまくらぎは、古くから木まくらぎが多く用いられてきまし

た。木まくらぎはコンクリート製のPCまくらぎや鉄製の鉄まくらぎに比べ、弾性に富み、レール締結が簡単で、取り扱いや加工が容易、電気絶縁性も高いという特徴をもっており、さらに、価格も低廉であることから線路の重要な構成部材として鉄道開業当初より長く使用されてきました。その一方、機械的損傷を受けやすく、腐朽、割れなどにより耐用年数が短いことやまくらぎに用いる木材資源の枯渇といった課題を抱えていました。そのため、鉄道技術研究所では、木まくらぎの寿命延伸の研究に取り組み、その結果、防腐薬品の注入および割れ止め加工を施す方法が提案されるなど現在の木まくらぎの機能強化につながる大きな成果を収めました。

しかしながら、これらの対策を実施してもなお木まくらぎの腐朽を完全に抑えることは困難であり、木まくらぎの寿命は15年程度で、交換原因の約

70%は腐朽によるものでした。

このような背景を受け、木まくらぎのような取り扱いやすさを有しつつも、より強度があり、腐朽や割れなどに強いまくらぎの開発が望まれるようになりました。そこで、鉄道技術研究所ではこの要望に応えるべく、木、コンクリート、鉄に代わるこれまでにない新しい材料を用いたまくらぎの実用化の研究に着手しました。

開発当初、所期の性能を満足する材料として、木材に樹脂を注入浸透させて重合するWPC(Wood-Polymer Composite)や比重の軽いウレタンなどを用いたまくらぎの開発などが行われました。しかしながら、WPCまくらぎは製造工程における煩雑さに、軽比重の硬質ウレタンは材質の脆弱性<sup>ぜい</sup>による犬くぎの保持力に課題が残されました。

その後、安定したまくらぎ特性を得ることを目的として、優れた材料特性



図1 合成まくらぎ



図2 FFU



図3 FFUを用いた合成まくらぎの中身

表1 合成まくらぎの基礎物性値<sup>2)</sup>

項目	単位	合成まくらぎ	木まくらぎ (フナ)
比重	—	0.67 ~ 0.82	0.65 ~ 0.84
曲げ強さ	N/mm <sup>2</sup>	142	80
曲げヤング率	N/mm <sup>2</sup>	8.1 × 10 <sup>3</sup>	7.1 × 10 <sup>3</sup>
縦圧縮強さ	N/mm <sup>2</sup>	58	40
せん断強さ	N/mm <sup>2</sup>	10	12
吸水性	mg/cm <sup>2</sup>	3.3	137
硬さ	N/mm <sup>2</sup>	28	17
犬くぎ引抜き強さ	kN	27	25
ねじくち引抜き強さ	kN	65	43
交流破壊電圧	kV	25	3
絶縁抵抗	Ω	1.6 × 10 <sup>13</sup>	6.6 × 10 <sup>7</sup>

を期待できる高分子材料に着目し、材料選定を進めた結果、硬化ポリウレタン発泡材と連続長ガラス繊維を結合し、強化成型したガラス繊維強化発泡ウレタン (FFU : Fiber reinforced Foamed Urethane) (図2) が目的に適合する可能性を見つけました。この材料は、木材の代替材すなわち人工木材として開発されたもので、腐朽劣化がないものでした。

このFFUを用いて、各種配合を調整し、合成まくらぎが製作されました(図3)。製作した合成まくらぎを用いて基礎物性試験が実施された結果、基礎物性値は木まくらぎと比べおおむね同等以上の性能を有しており、とくに、曲げ強さや吸水性、絶縁抵抗においては優れていることが確認され、合成まくらぎの有用性が明らかになりました(表1)。

その後、実際の列車荷重下における実用性能を確認するため、1980年に国鉄当時における2つの線区において、試験敷設が行われました。合成まくらぎが国内の営業線にはじめて試験敷設されたのは、1つは羽越本線の三面川橋りょう上の18本の橋まくらぎ(図4(a))であり、もう1つは山陽本線の関門トンネル内の74本の直結用短まくらぎ(図4(b))でした。この試験敷設において、何ら損傷もなく、軌道変位の変化などもないことを確認できたため、実用化に向けた検討が進められるようになりました。



(a) 羽越本線三面川橋りょう



(b) 山陽本線関門トンネル

図4 合成まくらぎの営業線への試験敷設<sup>3)</sup>

### 合成まくらぎの特徴

開発された合成まくらぎの特徴は次のとおりです。

- ①耐腐朽性：自然環境下で腐朽することがない。
- ②耐候性：表面塗装することにより自然環境下で劣化することがない。
- ③耐疲労性：表面塗装することにより疲労寿命が長い。
- ④耐電気絶縁性：電気絶縁抵抗が高く、絶縁に関する配慮が不要である。
- ⑤加工性：締結用下穴加工など木材と同様な方法でまくらぎを加工できる。
- ⑥量産性：工業製品として大量生産および長尺品の生産が可能である。

以上のように、合成まくらぎは、加工や量産が容易で取り扱いやすい部材であるとともに、敷設後もその物性が変化しない長寿命の軌道部材として開発されました。

### 合成まくらぎの普及

合成まくらぎは、前述のような特徴を活かし、さまざまな場所で用いられることが期待されていましたが、開発当初の製造にかかるコストは木まくらぎに対し十数倍程度とかなり高価なものであり、合成まくらぎ普及の課題となっていました。

その後、製造コストの低減を図るため、製造工程の改善や量産化に向けた製造方法の改良に取り組んだ結果、開発から5年後の1985年頃には、大幅なコスト低減が図られ、木まくらぎの3~4倍までコストダウンすることが可能となりました。また、試験敷設から約5年経過した際の追跡調査<sup>2)</sup>も実施されました。その結果、機械的強度、耐吸水性および電気絶縁性に優れ、レールの支承体として十分な性能を有すること、また、紫外線や繰り返し荷重による強度低下がほとんどなく、

## 合成まくらぎの規格開発

耐久性に優れており、50年程度の長期使用に十分耐えることなどが確認されたことから本格的な営業線への導入につながりました。開発から7年後の1987年においては、並まくらぎ換算で約6,000本程度の合成まくらぎが、JR、民鉄の多くの線区に投入されるようになりました。

また、その用途も幅広く、合成まくらぎの開発前まではおもに木まくらぎが使用されていた橋まくらぎで用いられたり(図5)、加工・長尺品の生産が容易であるため分岐器用としても多く用いられるようになりました(図6)。さらに、東海道新幹線でも1992年からの270km/hの速度向上時に、橋りょう区間のカント改良にあわせて橋まくらぎとして合成まくらぎが採用されるなど、その性能が高く評価され、現在に至るまで、在来線、新幹線を問わず、さまざまな場所で活用される軌道部材として合成まくらぎは普及しました。

### 試験敷設から30年後の追跡調査

上述のように合成まくらぎは、1980年の開発から各種性能確認および試験敷設を経て、本格的に実用化されるようになりました。その後、試験敷設から30年経過したのを機に、2010年に追跡調査が実施されました<sup>5)</sup>。

外観観察などの現地調査結果からは、敷設から30年経過した時点においてもその劣化は顕著ではなく、大きな不具合なども起きていないことが確認されました。

また、現場から合成まくらぎの一部を撤去し、そこから試験片を作製して、各種物性試験も実施されました(表2)。また、現場から合成まくらぎの一部を撤去し、そこから試験片を作製して、各種物性試験も実施されました(表2)。得られた試験結果と過去に実施した追跡調査<sup>6)</sup>および後述するJISの規格値を比較した結果、経年により物性値が若干低下する傾向がみられる項目もありましたが、長期耐久性を検証する耐候性試験後の確認項目である曲げ強さ、曲げヤング率、縦圧縮強さおよび接着せん断強さについては、JISの初期規格値を上回っていたことから、合成まくらぎに求められる性能を十分に有していることが確認されました。また、試験敷設された箇所は、無道床橋りょう上およびトンネル内と、それぞれ環境の異なった箇所ではありましたが、物性値の低下傾向が同様であることから、敷設環境に左右されないまくらぎであることが確認されました。

これら追跡調査の結果、経年による劣化は顕著ではないことから、合成まくらぎは開発当初に推定された50年以上の長期耐久性を有しているものと考えられ、合成まくらぎの有用性を示す貴重なデータが取得されました。

合成まくらぎは、良好な物性を有することから、全国の鉄道事業者で広く用いられるようになりました。その一方、合成まくらぎの性能を規定する明確な基準は存在しておらず、鉄道事業者と製造メーカー間の機能仕様書を基に製造・運用されていました。そのような中、新しく合成まくらぎの導入を検討する鉄道事業者が増加したことや合成まくらぎを製造するメーカーが増えたことから、使用者の便宜を図るため、合成まくらぎの性能を示す規格の制定が望まれるようになりました。

そこで、この状況を受け、2007年に合成まくらぎの性能を標準化し、品質の向上を図るため日本工業規格「JIS E1203 合成まくらぎ」が制定されました。合成まくらぎの規格化に際しては、開発時の試験方法などが考慮され、性能確認項目などが決められました。また、2011年には鉄道構造物等設計標準(軌道構造)が制定され、その中で合成まくらぎに関する照査方法が示されるなど、合成まくらぎを用いた軌道の設計方法が明確化されました。

また、近年は木材資源保護や保守省力化の観点から海外の鉄道事業者においても合成まくらぎの需要が増加するようになりました。そのため、各国の

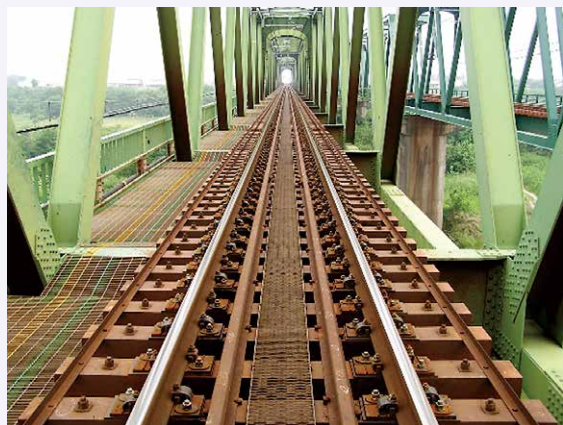


図5 橋まくらぎとしての敷設状況<sup>4)</sup>



図6 分岐まくらぎとしての敷設状況<sup>3)</sup>

表2 追跡調査結果<sup>5)</sup>

項目	単位	橋まくらぎ		短まくらぎ		JIS 規格値	
		10年経過	30年経過	10年経過	30年経過	初期規格値	耐候性試験後※
曲げ強さ	Mpa	125	104	131	117	70以上	50以上
曲げヤング率	Mpa	$8.0 \times 10^3$	$8.2 \times 10^3$	$8.0 \times 10^3$	$8.4 \times 10^3$	$6.0 \times 10^3$ 以上	$4.2 \times 10^3$ 以上
縦圧縮強さ	Mpa	66	54	76	60	40以上	30以上
せん断強さ	Mpa	9.5	6.1	9.8	6.3	7以上	—
接着せん断強さ	Mpa	—	13	—	8	7以上	5以上
硬さ	Mpa	25	11	22	12	—	—
交流破壊電圧	kV	25以上	25以上	25以上	25以上	20以上	—
直流絶縁抵抗	Ω	$1.4 \times 10^{12}$	$5.0 \times 10^{11}$	$7.2 \times 10^{11}$	$8.2 \times 10^{11}$	$1.0 \times 10^{10}$ 以上	—

※耐候性試験後に満たすべき規格値



図7 桁まくらぎ



図8 溝突起形状まくらぎ

鉄道事業者が製品性能や採用の妥当性を個別に判断する煩雑な手続きをなくせるように、合成まくらぎの国際標準化活動も活発に行われています。合成まくらぎに関する国際規格は2008年に日本提案のもと開始され、2014年3月にISO12856-1(材料特性)、2020年11月にはISO12856-2(製品試験)が発行されました。現在も日本と海外の要求性能の違いや試験方法の差異を考慮しつつ、ISO12856-1(材料特性)の定期見直しによる改訂作業およびISO12856-3(一般要求事項)の規格開発が進められています。

### 合成まくらぎの技術開発

合成まくらぎはその特徴を活かし、近年ではさまざまな技術開発が行われています。以下にその一例を紹介すると、たとえば、継目部における軌道沈下の抑制策としての桁まくらぎなどがあります(図7)。加工・成形が容易な合成まくらぎの特徴を活かし、2本のまくらぎ

を桁形状に接合した桁まくらぎを継目部に用いることで、レールの支持面積が増えるとともに、軌きょう剛性も増えるため、衝撃による道床の沈下などを抑制することが可能です。

また、軌道の道床横抵抗力の増強方法の1つとして、底面に溝突起形状を設けた合成まくらぎなども開発されています(図8)。これは底面に溝を設けることによりバラストとの接触面積を増やし抵抗力を増強させ、軌道の座屈防止に寄与することを目的としたものです。

このように合成まくらぎは加工、成形などが容易である特徴を活かし、鉄道事業者のニーズに応じて日々さまざまな技術開発が進められています。

### おわりに

1980年に木、コンクリート、鉄に代わるこれまでにない新しい材料を用いたまくらぎとして開発された合成まくらぎは、高い性能を有するとともに、その

特徴を活かして、さまざまな技術開発が行われています。その結果、省力化に資する軌道材料として、国内外問わず現在の軌道には必要不可欠のものとなっています。今後も鉄道事業者の省力化のニーズにとまない、改良や技術開発が続いていくものと考えられます。

(塩田勝利/軌道技術研究部  
軌道構造研究室)

### 文献

- 1) 村松弘, 清水敬二: 繊維強化発泡高分子による合成まくらぎの開発, 鉄道技術研究所速報, No.81-1012, 1981
- 2) 長藤敬晴, 吉田弘, 坂本健一: 合成まくらぎの実用性能, 鉄道技術研究所速報, No.A-87-71, 1987
- 3) 阿部則次: 合成まくらぎ, RRR, Vol.64, No.8, pp.34-35, 2007
- 4) 若月修, 小佐野浩一, 阿部則次: 位置調整可能な橋まくらぎ用レール締結装置の開発, 鉄道総研報告, Vol.22, No.8, pp.41-44, 2008
- 5) 及川祐也: 合成まくらぎの30年の評価, 日本鉄道施設協会誌, Vol.50, No.8, pp.41-44, 2012
- 6) 長藤敬晴, 阿部則次: 合成まくらぎ15年の経験, 鉄道総研報告, Vol.11, No.2, pp.43-48, 1997