実験住宅の床下における種々の粒子物理バリアの ヤマトシロアリ貫通阻止性能評価

築瀬 佳之^{*1}, 藤原 裕子^{*1}, 藤井 義久^{*1},
森 拓郎^{*2}, 吉村 剛^{*3}, 土居 修一^{*4}

Evaluation of particulate materials as a physical barrier against penetration of *Reticulitermes speratus* under floor of experiment house

Yoshiyuki YANASE^{*1}, Yuko FUJIWARA^{*1}, Yoshihisa FUJII^{*1},
Takuro MORI^{*2}, Tsuyoshi YOSHIMURA^{*3}, Shuichi DOI^{*4}

In Japan, the damages by the subterranean termites (*Coptotermes formosanus* Shiraki and *Reticulitermes speratus* (Kolbe)) are the most important economically. Recently the more attention is paid to the less- or non-chemical methods for termite control. As a non-chemical treatment, physical barriers using particles such as gravels were investigated in terms of environmental safety, cost effectiveness, and duration of performance, and the physical barriers using some particles have been practically used in a few countries. In this study, penetration of *R. speratus* into physical barriers of seven different particulate materials such as pelletized stone powder, pelletized zeolite, crushed zeolite, calcite, crushed silica gel, silica gel beads, and glass beads were investigated under the floor of experiment house for seven years. Layers with particles of pelletized zeolite (1.00 to 4.00mm in diameter), crushed zeolite (1.40 to 2.80mm), calcite (1.40 to 2.80mm), and crushed silica gel (1.40 to 2.80mm) prevented termites from passing through. On the other hand, for all of the layers with particles passed through by *R. speratus*, only the penetrations at the corner part of the particle laying area were observed, because of the gaps at the corner part where termites could pass through. It was considered that there were gaps at the corner part, since the wood stakes under the corner parts of the layer with particle was

* 1 京都大学大学院農学研究科

Graduate School of Agriculture, Kyoto University

* 2 広島大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Hiroshima University

* 3 京大大学生存圏研究所

Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

* 4 元筑波大学大学院生命環境科学研究科

Former Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

Corresponding author : Y. Yanase (yanase@h3news1.kais.kyoto-u.ac.jp)

completely consumed by termites and the particles flowed into cavities.

Keywords : physical barrier, particulate material, termite attack, penetration behavior, *Reticulitermes speratus* (Kolbe)

日本では地下シロアリのイエシロアリ *Coptotermes formosanus* Shiraki とヤマトシロアリ *Reticulitermes speratus* (Kolbe) の被害が経済的に最も重要である。近年、シロアリ防除に対しては、レスケミカルまたはケミカルフリーな防除方法が注目されてきている。ケミカルフリーな防除方法として、砂利のような粒子を用いた物理バリアが環境への安全性、費用効果、効果の持続性の点から検討され、種々の粒子材料を用いた物理バリアがいくつかの国では実用化されてきた。本研究では、実験住宅床下において、石粉造粒材料、ゼオライト造粒材料、ゼオライト破碎材料、カルサイト、シリカゲル破碎材料、シリカゲルビーズ、ガラスビーズの7種類の粒子材料を物理バリアとして用い、ヤマトシロアリに対して7年間にわたり貫通阻止性能を評価した。その結果、ゼオライト造粒材料(粒子径1.00~4.00mm)、ゼオライト破碎材料(1.40~2.80mm)、カルサイト(1.40~2.80mm)、シリカゲル破碎材料(1.40~2.80mm)を用いた粒子層はヤマトシロアリの貫通を阻止した。一方、シロアリに貫通された粒子層の全ては、粒子敷設領域の角部に生じた隙間からの貫通のみが観察された。粒子層の角部直下に設置した餌杭がシロアリによって完全に消費され、それによってできた空洞へ粒子が流出したために、角部の粒子層に隙間が生じシロアリが侵入できたと考えられる。

キーワード：物理バリア、粒子材料、シロアリ食害、貫通行動、ヤマトシロアリ (*Reticulitermes speratus* (Kolbe))

1. 緒言

近年、木造住宅における化学物質汚染と、それによって引き起こされるアレルギー疾患などの増加が問題となり、化学物質に対する危険意識が消費者の間で高まっている。シロアリ防除業界もそのような動きに無関係でいることはできず、最近ではレスケミカル(省薬施工)やケミカルフリー工法という新しい防除技術の開発が期待されている。すでにアメリカなどでは、次世代の防除法の実験や実用化が進んでいる中、わが国でも日本の風土、建築様式にあった防除技術の確立が必要になってくる。薬剤を使わずにシロアリの侵入を阻止する方法には、アメリカのBTB[®](玄武岩の破碎物)¹⁾、オーストラリアのGranitgard[®](花崗岩の破碎物)²⁾に代表される岩石破碎物や小石などの粒子を用いた物理バリア工法がある。これらは、一定の粒子径範囲をもった粒子を層状に土壌表面に敷設することで、地下からのシロアリの侵入を

防ぐ工法である。これまで、様々な粒子を用いて、地下シロアリの侵入に対する侵入阻止効果が検討されてきたが、砂や火山灰を用いた物理バリア層では、1.2~1.7mmの粒子からなるバリア層が貫通を阻止したという結果が最初に報告され³⁾、粒子を用いた物理バリアが化学防除の代替となりうる可能性が示された。また、石英と化石サンゴからなる砂粒を用いてガラス管内に物理バリア層を作り、イエシロアリ *Coptotermes formosanus* Shiraki と欧州の地下シロアリである *Reticulitermes flavipes* (Kollar) について試験した結果、イエシロアリでは1.70~2.80mm、*R. flavipes* では1.00~2.36mmの粒子層で貫通が阻止されること、貫通が阻止された粒子径範囲よりも小さい粒子では、粒子がシロアリの口器で運搬され、大きい粒子ではシロアリによって粒子どうしの隙間を通り抜けられ、バリア層が貫通されることがわかった⁴⁾。そのほか、様々な粒子材料と地下シロアリ種との組み合わせで、物理バリア層の貫通阻止性能が検

討されている⁵⁻⁹⁾。また、物理バリアに最適な粒子を選択するため、粒子の形状や表面性状と貫通阻止性能の関係についても検討した結果、粒子形状が球形に近いほど粒子どうしが密に詰まって隙間が小さくなり、また粒子の表面が滑らかなほど、小さい粒子をシロアリが口器で挟んで運び出すのが困難になることと、大きい粒子どうしの隙間を通り抜ける際に粒子表面で滑って貫通が困難になることがわかり、表面のより滑らかな粒子材料が物理バリアとして有効であることが報告された¹⁰⁾。さらに粉末ゼオライトから粒子材料を製造し、床下環境改善に寄与する吸放湿性と、物理バリアとしてのシロアリ貫通阻止性能を同時に有する粒子材料の開発例¹¹⁾も報告されている。

本研究では、実験住宅の床下にヤマトシロアリ *Reticulitermes speratus* (Kolbe) を営巣させ、その床下土壌表面に実験室実験でシロアリ貫通阻止性能が認められた粒子材料を敷設し、7年間の物理バリアとしての貫通阻止性能を評価した。

2. 実験方法

2.1 実験室における粒子材料選別試験

シロアリ貫通阻止性能試験には、石粉造粒材料(粒子径2.00~3.35mm)、ゼオライト造粒材料(1.40~2.36mm)、ゼオライト破砕材料(1.40~2.80mm)、カルサイト(1.40~2.80mm)、シリカゲル破砕材料(1.40~2.80mm)、シリカゲルビーズ(1.40~2.80mm)、ガラスビーズ(1.70~2.36mm)の7種類の粒子材料を用い、またコントロールとして砂壤土を用いた。なお、筆者らの既往の研究¹⁰⁾より、粒子の形状と表面性状を考慮して、各粒子材料の粒子径を決定した。

本実験は、日本木材保存協会規格集(2011年版)¹²⁾に定められる「JWPAS-TS-(2)(2011)粒子による物理的防蟻層(粒子物理バリア)の性能基準及び貫通阻止効力試験方法」の4. 室内試験に準拠して行ったが、砂壤土の含水率調整と死虫率の記録は行っておらず、試験体数は3本とした。試験には、図1のような内径50mm、長さ120mmの透明な円筒型ガラス製容器2本を、その底部付近において内径20mm、長さ30mmの透明ガラス管で連結したU字型ガラス製試験容器を用いた。容器の片方の円筒に砂壤土を底辺から40mmの高

図1 粒子層物理バリアのシロアリ貫通阻止性能試験方法

Fig. 1 Termite penetration test of physical barrier using particulate material

さまで敷き詰め、もう一方の円筒には底辺から20mmの高さまで敷き詰め、それぞれの砂壤土に水分を与えた。その際、連結部のガラス管にも砂壤土を詰めた。40mmの高さまで砂壤土を敷き詰めた円筒に、さらに粒子材料または砂壤土（コントロール）を任意の層厚さ（本実験では30または40mm）で敷き詰め、その上に餌としてアカマツ (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) 試片を設置した。粒子材料敷設側円筒と反対の円筒に、人工飼育室(28±2℃、相対湿度80%以上の暗室)で飼育されたイエシロアリの職蟻300頭と兵蟻30頭を投入し、餌として水分を与えたる紙も投入した。両円筒の上端開口部をアルミ箔で密封しない程度に軽く閉じたあと、恒温恒湿器(28℃、相対湿度75%、KCH-1000、東京理科器械(株))内に設置し、試験期間は3週間とした。

2.2 実験住宅の床下におけるヤマトシロアリ貫通阻止性能試験

シロアリ貫通阻止性能試験は京都大学生存圏研究所(京都府宇治市)のエコ住宅実験棟の床下で行った。粒子材料を用いた物理バリアのシロアリ貫通阻止性能試験では、従来の化学薬剤の試験とは異なり、試験期間中にできるだけシロアリが死滅することなく、常にシロアリによる粒子材料への貫通の可能性が認められる必要がある。したが

図2 実験住宅の床下でのコンクリート製会所枡を用いた貫通阻止性能試験
Fig. 2 Penetration test using concrete enclosure under the floor of experiment house

って、シロアリの活性が高い環境下で、長期的な貫通阻止性能試験をする必要がある。本試験では、エコ住宅実験棟床下の土壌あらわし部分（1.5×1.5m）に、あらかじめヤマトシロアリ営巣木を埋設させ、定期的に試験区とその周囲での餌杭の食害状況やコンクリート基礎の蟻道の構築等を観察することで、シロアリの活性をモニタリングした。本実験では、実験住宅の床下では各粒子材料を敷設するために、実際の住宅の基礎コンクリートを想定して、角部をもったコンクリート製会所枡（外寸200mm 角, 内寸120mm 角, 高さ200mm）を使用した（図2(a)）。会所枡内側の土壌に長さ100mm, 断面35mm 角のエゾマツ（*Picea jezoensis* Carr.）餌杭を2本打ち込み土壌あらわし部分に、シロアリの会所枡内への侵入を誘導した（図

2(b)）。なお、土壌あらわし部分に餌杭を打ち込んだコンクリート製会所枡を49基設置し、餌杭の食害状況や蟻道の構築状況を定期的に観察した（図2(c)）。エゾマツ餌杭へのシロアリ食害あるいは餌杭表面への蟻道の構築が確認された会所枡は試験可能であると判断し（図3(a)）、餌杭の上面が隠れる高さまで砂壤土を追加して敷き詰め、上述の実験室実験で選別した粒子材料および砂壤土（コントロール）を任意の厚さ（30mm または40mm）まで敷設し、さらに粒子層の上に餌としてアカマツ片を設置した（図3(b)）。粒子材料敷設後は、定期的に会所枡を観察し、シロアリの貫通の有無を評価した（図3(c)）。なお、各粒子材料によって試験体数（繰り返し数）は異なり（表2）、粒子材料を敷設してない会所枡について、

図3 コンクリート製会所枡内への粒子材料の敷設方法
Fig. 3 Setup of particulate material into concrete enclosure

表1 7種類の粒子層への侵入距離
Table 1 Penetration length for layers of seven particulate materials

粒子材料 Particulate material	粒子径 (mm) Particle size (mm)	粒子層厚さ (mm) Layer thickness (mm)	侵入距離 (mm) Penetration length (mm)			貫通試験体数 Numbers of sample passed through
			1	2	3	
石粉造粒材料 Pelletized stone powder	2.00~3.35	30	10	2	5	0
ゼオライト造粒材料 Pelletized zeolite	1.40~2.36	40	7	9	10	0
ゼオライト破碎材料 Crushed zeolite	1.40~2.80	40	12	5	15	0
カルサイト Calcite	1.40~2.80	40	4	4	5	0
シリカゲル破碎材料 Crushed silica gel	1.40~2.80	30	2	0	5	0
シリカゲルビーズ Silica gel beads	1.40~2.80	30	5	5	0	0
ガラスビーズ Glass beads	1.70~2.36	30	0	0	3	0
砂壤土 (コントロール) Sandy loam (control)	< 1.00	40	40	40	40	3

食害の激しいエゾマツ餌杭は、新しいエゾマツ餌杭に交換し、シロアリ活性の維持を図った。

3. 結果と考察

3.1 実験室における粒子材料選別試験

表1は、各粒子材料（繰り返し3回）に対して、試験開始から3週間後におけるイエシロアリの粒子層への侵入距離を示す。コントロールとして用いた層厚さ40mmの砂壤土は、全て1日以内に貫通された（侵入距離40mm）。また、7種類の粒子層については、最大15mmの侵入距離ではあったものの、全ての粒子層がシロアリに対して貫通を阻止した。このことは、筆者らの粒子の形状と表面性状に関する研究¹⁰⁾により、シロアリの貫通阻止に有効な粒子径を決定することが可能であることを支持する結果となった。したがって、実験住宅の床下でのシロアリ貫通阻止性能試験には、これら7種類の粒子材料を、それぞれ実験室実験で使用した粒子径と粒子層厚さの条件で使用する事とした。

3.2 実験住宅の床下におけるヤマトシロアリ貫通阻止性能試験

表2は、粒子材料を会所枡内へ敷設してから7年経過後の貫通阻止性能試験の結果を示す。コントロールとして砂壤土を敷設した会所枡3基は全

て1年以内にシロアリによって貫通されたこと、また粒子材料を敷設していない会所枡も全てで餌杭への食害が定期的に観察されたことから、会所枡を設置した床下土壤中でのシロアリの活性は、試験期間を通して高かったと考えられる。7年間を通して、シロアリの貫通が確認された粒子材料は、石粉造粒材料が3試験体中1試験体（4年目に貫通を確認）、シリカゲルビーズが5試験体中1試験体（7年目に貫通を確認）、およびガラスビーズが3試験体中2試験体（5年目と7年目に貫通を確認）であった。このことから1年のうちシロアリの活性の高い期間は、常時シロアリが粒子層に対して貫通行動をしていたと推察されるが、貫通された4試験体を除く19試験体についてはヤマトシロアリの貫通を阻止した。すなわち、ゼオライト造粒材料、ゼオライト破碎材料、カルサイト、シリカゲル破碎材料の4種類の粒子材料にはシロアリに対して貫通阻止性能を有することがわかった。

貫通された4試験体（3種類の粒子材料）の貫通部分を観察した結果、いずれの試験体も粒子敷設領域の角部への蟻道構築が確認され、そこから蟻道をのばし中央部へ設置したアカマツ片への食害が観察された（図4（上））。そこで、会所枡23基の全ての粒子材料を取り除き、シロアリの貫通

表2 7年間にける各粒子材料の貫通阻止性能試験結果

Table 2 Result of penetration test of particulate materials for seven years

粒子材料 Particulate material	粒子径 (mm) Particle size (mm)	粒子層厚さ (mm) Layer thickness (mm)	試験体総数 Total numbers of sample	貫通試験体数 Numbers of sample passed through	
石粉造粒材料 Pelletized stone powder	2.00～3.35	30	3	1	(A)
ゼオライト造粒材料 Pelletized zeolite	1.40～2.36	40	5	0	
ゼオライト破碎材料 Crushed zeolite	1.40～2.80	40	2	0	
カルサイト Calcite	1.40～2.80	40	3	0	
シリカゲル破碎材料 Crushed silica gel	1.40～2.80	30	2	0	
シリカゲルビーズ Silica gel beads	1.40～2.80	30	5	1	(B)
ガラスビーズ Glass beads	1.70～2.36	30	3	2	(C)
砂壤土 (コントロール) Sandy loam (control)	< 1.00	40	3	3	

(A)～(C)：図4を参照

See Fig. 4

図4 粒子層コーナー部の貫通 (上) とその直下の餌杭の食害状況 (下)

Fig. 4 Corners of particle layer passed through by termite (upper) and the damage of wooden stakes underneath (bottom)

注：図中の矢印は、シロアリに貫通された部分を示す。(A)～(C)は表2を参照。

Note: The arrows show the positions passed through by termites. (A) – (C) refer to table 2.

経路の観察を行った結果、シロアリに貫通された4つの会所枅のみ角部の餌杭が食害を受け空洞化し、それ以外の会所枅では空洞化は確認されなかった。砂壤土（コントロール）を除いて貫通が確認された4つの試験体は、蟻道構築と貫通が確認された角部と粒子敷設前の誘導用のエゾマツ餌杭の打ち込み位置が一致した（図4（下））。シロアリに貫通された会所枅は全て角部の餌杭が食害を受け空洞化し、粒子がその空洞へ流れ込むことによって、粒子敷設領域の角部の粒子層が陥没し、シロアリが貫通可能な隙間が発生したと考えられる（図5）。貫通が確認された3種類の粒子材料はいずれも粒子どうしが密に詰まって隙間が小さくなる球形に近い形状であったことから、容易に空洞へ流れ込んだと推測される。したがって、本研究でシロアリに貫通された粒子材料は、実験室実験により粒子そのものは貫通阻止性能を有すると評価されたが、会所枅を用いた長期間の試験では、誘導用の餌杭の消費による空洞化が原因で貫通阻止性能が発揮されなかったと考えられる。貫通阻止性能を有する粒子材料を新築あるいは既築住宅へ施工するためには、効果的な使用に際しては粒子材料の流出が生じない仕様に合わせた施工方法の検討が必要である。また、今回の会所枅を用いた床下における貫通阻止性能試験では、粒子を敷設する前に、そのまま砂壤土を餌杭の上面が隠れる高さまで敷き詰めるのではなく、餌杭を横に寝かせて設置することや餌杭をチップ状の木片に交換する、またはJWPAS-TS-(2) (2011) の5. 野外試験¹²⁾ に倣い餌木を取り払うことによって、長期間の試験においても角部に隙間ができないよう試験方法を改良する必要がある。

4. まとめ

本研究では、実験住宅床下に営巣させたヤマトシロアリに対して、床下土壌面へ7種類の粒子材料を敷設し、7年間の物理バリアとしての貫通阻止性能を評価した。実験室実験で貫通阻止性能が認められた粒子材料のうち、ゼオライト造粒材料、ゼオライト破碎材料、カルサイト、シリカゲル破碎材料は会所枅を用いた貫通阻止性能でもヤマトシロアリの貫通を阻止したが、石粉造粒材料、シリカゲルビーズ、ガラスビーズでは貫通された試

(a) 餌杭へのシロアリ食害
Termite infestation to wooden stake

(b) 餌杭消費後の空洞への粒子材料の流出
Flow of particulate material into to cavity after severe consumption of wooden stake

図5 ヤマトシロアリによる粒子層の貫通機構
Fig. 5 Mechanism of passing through the particle layer by *R. speratus*

験体があった。貫通された試験体は全て、粒子敷設領域の角部で粒子層直下のエゾマツ餌杭が消費され、空洞化したことによって、粒子が空洞へ流れ込み、結果として粒子層が陥没し、貫通されたことが観察された。したがって、本研究で使用した粒子材料は、実験室実験の結果より物理バリアとしてのシロアリ貫通阻止性能を有すると考えられるが、住宅の床下への施工においては長期性能を十分に発揮する方法を検討する必要がある。また、床下で会所枅を用いた性能試験方法について

は、粒子層が陥没しない方法へ改良することが必要である。

謝辞

本研究の一部は、「京都大学生存圏研究所木質材料実験棟平成20～28年度共同利用研究（研究代表者：築瀬佳之）」により実施した。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- 1) Tamashiro, M., Yates, J. R., Yamamoto, R. T. and Ebesu, R. H. : Tunneling behavior of the formosan subterranean termites and basalt barriers, *Sociobiology*, **19** (1), 163-170 (1991).
- 2) French, J. R. J. and Ahmed, B. : Termite physical barriers : Is retrofitting with Granitgard™ an option?, IRG Document IRG/WP93-40011 (1993).
- 3) Ebeling, W. and Pence, R. J. : Relation of particle size to the penetration of subterranean termites through barriers of sand or cinders, *Journal of Economic Entomology*, **50** (5), 690-692 (1957).
- 4) Su, N.-Y., Scheffrahn, R. H. and Ban P. M. : Uniform size particle barriers : a physical exclusion device against subterranean termites (Isoptera : Rhinotermitidae), *Journal of Economic Entomology*, **84** (3), 912-916 (1991).
- 5) French, J. R. J. : The case for non-chemical termite barriers in termite control, IRG Document IRG/WP1381 (1989).
- 6) Pallaske, M. and Igarashi, A. : Glass splinters as physical termite barriers : Optimized material properties in use with and

without insecticidal pretreatment minimizes environmental contaminations, IRG Document IRG/WP1476 (1991).

- 7) Su, N.-Y., Scheffrahn, R. H. and Ban P. M. : Penetration of sized-particle barriers by field populations of subterranean termites (Isoptera : Rhinotermitidae), *Journal of Economic Entomology*, **85** (6), 2275-2278 (1992).
- 8) Sornnuwat, Y., Vongkaluang, C., Yoshimura, Tsunoda, T., K. and Takahashi, M. : Tunneling of subterranean termites, *Coptotermes gestroi* Wasmann and *Coptotermes formosanus* Shiraki, into gravel physical barriers, *Japanese Journal of Environmental Entomology and Zoology*, **7** (3), 3-19 (1995).
- 9) Yanase, Y., Shibata, M., Fujii, Y., Okumura, S., Iwamoto, K., Nogiwa, T., Yoshimura, T. and Imamura, Y. : Feasibility of termite control using crushed cement-stabilized sludge (Polynite) as a physical barrier and acoustic emission (AE) monitoring, IRG Document IRG/WP 00-10381 (2000).
- 10) 築瀬佳之, 藤井義久, 奥村正悟, 吉村剛, 今村祐嗣, 石田充克, 川口浩寿, 奥村敏信 : 種々の粒子材料のシロアリ物理バリアへの適用－粒子径, 粒子形状および表面性状がシロアリの貫通行動に与える影響－, *材料*, **54** (4), 387-391 (2005).
- 11) 築瀬佳之, 上谷幸治郎, 藤井義久, 奥村正悟 : ゼオライト造粒材料の吸放湿性とシロアリ貫通阻止性能, *材料*, **58** (4), 304-309 (2009).
- 12) (社)日本木材保存協会編 : “社団法人日本木材保存協会規格集 (2011版)”, 2011, pp47-54.
(2018.3.5 受付)
(2019.4.11 受理)