

木質住宅における基礎周囲の防蟻に関する研究

(Studies on Termite Control System around the Foundation of Wooden House)

廣重 亮一

2017

目 次

序 論	1
第1章 ミニチュアハウスを用いた基礎周囲におけるシロアリの活動と侵入について	10
1.1. はじめに	10
1.2. 実験方法	10
1.2.1. 試験地およびミニチュアハウスの建築	10
1.2.2. 試験棟基礎内外のシロアリの活動状況，侵入経路および木部の 被害状況の調査	16
1.2.3. 土間コンクリート下部土中のシロアリの活動状況の調査	18
1.3. 結果と考察	20
1.3.1. 各試験区基礎外側のシロアリ活動および蟻道構築状況	20
1.3.2. 試験棟へのシロアリの侵入状況	23
1.3.3. ポリエチレンシートの蟻土付着状況	28
1.3.4. ポリエチレンシート下部の蟻道の構築状況	32
1.4. まとめ	34
第2章 ゴム基材を利用した基礎配管貫通部の防蟻について	35
2.1. はじめに	35
2.2. 実験方法	35
2.2.1. 供試ゴム材および防蟻剤	35

2.2.2.	非加硫ブチルゴムの変位追従性	38
2.2.3.	非加硫ブチルゴムの防蟻性	40
2.2.3.1.	室内穿孔試験	40
2.2.3.2.	野外試験	43
2.2.4.	エチレン・プロピレン・ジエン系ゴムパッキンの防蟻性	46
2.2.4.1.	室内穿孔試験	46
2.2.4.2.	排水管系モデル エチレン・プロピレン・ジエン系 ゴムパッキンの野外試験	49
2.2.4.3.	給水管系モデル エチレン・プロピレン・ジエン系 ゴムパッキンの野外実験	51
2.2.5.	各ゴム中の八ホウ酸二ナトリウム四水和物の残存率	53
2.2.5.1.	水中暴露した非加硫ブチルゴムの 八ホウ酸二ナトリウム四水和物の残存量	53
2.2.5.2.	接触部材の影響による非加硫ブチルゴムの 八ホウ酸二ナトリウム四水和物の残存量	55
2.2.5.3.	エチレン・プロピレン・ジエン系ゴムパッキン中の 八ホウ酸二ナトリウム四水和物の残存量	57
2.3.	結果と考察	59
2.3.1.	非加硫ブチルゴムの防蟻性	59
2.3.2.	エチレン・プロピレン・ジエン系ゴムパッキンの防蟻性	63

2.3.3. 各ゴム中の八ホウ酸二ナトリウム四水和物の残存率	71
2.3.3.1. 水中暴露した非加硫ブチルゴムの 八ホウ酸二ナトリウム四水和物の残存量	71
2.3.3.2. 接触部材の影響による非加硫ブチルゴムの 八ホウ酸二ナトリウム四水和物の残存量	73
2.3.3.3. エチレン・プロピレン・ジエン系ゴムパッキン中の 八ホウ酸二ナトリウム四水和物の残存量	75
2.4. まとめ	77
第3章 総括	78
引用文献	84
謝辞	

序 論

我が国の住宅政策は、昭和 41 年より 8 次にわたり「量的充足」を目的とする住宅建設五箇年計画が継続・推進された。その結果、住宅戸数は世帯数を大きく上回ることとなったが（総務省統計局，2016）、質を伴わない状況であった。また、人口・世帯の減少、少子・高齢化に伴い、住宅や住環境に求められるものが変化しつつあり、住宅戸数の増加は、一方で未居住の空家の著しい増加を招いた（Fig. 1.）。

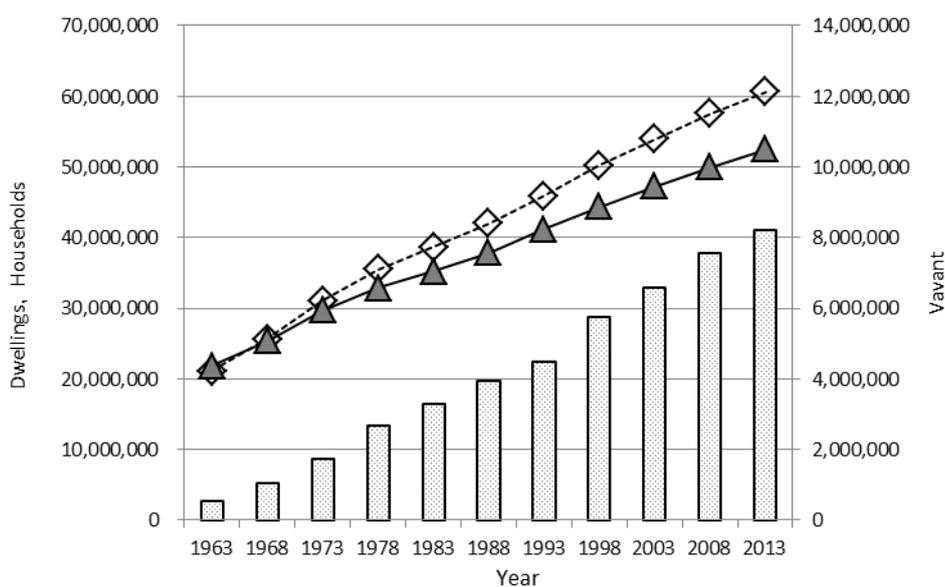


Fig. 1. Change of dwellings, households, and vacant

◆ Dwellings ▲ Households ▨ Vacant

Source: Statistics Bureau, Ministry of Internal Affairs and Communications

そこで、平成 18 年には「住生活基本法」の公布・施行（法律第 61 号，2006）を期に従前の量的充足から安全・安心で良質な住宅ストック形成および将来世代への承継を基本理念とする質的整備へと政策転換した。木造住宅が大部分を占めるわが国では、建設廃材が廃棄物処理の問題に大きく関与してきたが、ストック重視ということは作って壊すのではなく長い期間利用していくことを意味し、長期利用のための耐久性の向上は地球環境問題にも深くかかわって

ることになる。

住生活基本法にもとづき平成 18 年 9 月には「住生活基本計画」が閣議決定され、長期にわたり良好な状態で使用するための措置が講じられた優良な住宅である「長期優良住宅」について、その建築及び維持保全に関する計画を認定する制度の創設を柱とする「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」が平成 21 年 6 月に施行された（法律第 87 号，2008）。認定基準の性能としては、構造躯体等の劣化対策，耐震性，可変性，維持管理・更新の容易性，省エネルギー対策等が求められている。また，長期優良住宅の普及促進のため，各種税制優遇措置，住宅金融支援機構による住宅貸付金利優遇措置，モデル事業への助成金交付等々，各種法整備や施策が実施継続され，平成 23 年 3 月に見直しされた住生活基本計画（全国計画，計画期間 H23 年度～H32 年度）では，成果指標として，新築住宅における認定長期優良住宅の割合を，H26 年度の 11.3%から H37 年度には 20.0%に高めることとしている。

また，温暖化ガス削減を目的とした国際的な取り決めである気候変動枠組条約では，1997 年に京都で開催された国連気候変動枠組条約第 3 回約定期国会議（COP3）での先進国の数値目標設定の義務付けから，2015 年の国連気候変動枠組条約第 21 回約定期国会議（COP21）では，今世紀後半に CO₂の排出量を実質ゼロにする脱炭素社会・経済ビジョンが示され，自国数値目標の作成・提出および達成のための国内措置の実施について，全参加国にて 2020 年以降 2030 年までの 5 年ごとの削減目標の提出・更新，ならびに全体の実施状況を確認する制度構築について合意し採択された（パリ協定）。2016 年 11 月 4 日には必要な参加国数の批准等の条件が整い発効に至っている。我が国が提出した 2030 年目標は 2013 年比 26%削減，2005 年比 25.4%削減であり，これに関連し平成 24 年には「都市の低炭素化の促進に関する法律」（法律第 84 号，2012）が施行され，民生部門の住宅建築においても省エネ・低炭素化に向けて低炭素建築物の認定が制度化されて省エネ性を備えた住宅に対する税制優遇の措置がとられている。同制

度の認定基準での選択的項目においては、長期に使用継続される木材が低炭素化に資するとして、主要構造を木造（木質）とすること又は劣化の軽減に関する措置がとられていることが、HEMS（ホームエネルギーマネジメントシステム）導入、節水機器の採用、各種緑化によるヒートアイランド対策といった省エネ対策項目と同等の評価と位置付けられ、木造（木質）住宅での利用がし易い仕組みとなっている。

国土交通省による統計（国土交通省総合政策局情報政策課建設経済統計調査室，2016）によれば、平成27年度の総住宅着工戸数920,537戸の建築構造別割合は、木造（木質）住宅が511,146戸で全体の55.5%を占めており、次いで鉄筋コンクリート造の238,565戸（25.9%）、鉄骨造164,391戸（17.9%）、鉄骨鉄筋コンクリート造その他が6,435戸（0.7%）であった。特に、1戸建て住宅においては、総住宅着工戸数418,302戸の内、木造（木質）住宅の着工戸数は371,496戸と全体の88.8%を占める。木造（木質）住宅は我が国の戸建住宅建築の主流であり、長期にわたり使用可能な良質な住宅ストック形成を進める上で、木造（木質）住宅の耐久性確保が極めて重要な位置付けにあることがわかる。

木質住宅の劣化には菌類（木材腐朽菌）やシロアリによる生物的劣化、摩耗などの物理的劣化、長期間にわたる日光、紫外線や雨水に起因する風化による劣化、金属のさびなどに見られる化学的劣化等があり、実際にはこれらの原因が単独ではなく複合した形で劣化がおこる場合が多い。このうち最も被害の大きいのが、木材腐朽菌とシロアリによる生物劣化である（屋我・河内・今村，1997）。1995年に発生した阪神・淡路大震災によって全半壊した建築物は約120万戸であったが、これら住宅の倒壊の原因調査の結果、シロアリによる被害と倒壊との間に関連性があることが指摘されている（今村・角田・吉村，2000）。さらに、近年の木質住宅の構造は、柱や梁などの主要構造部の木材が室内外から直接に目視確認出来ない大壁構造が主流であるため、腐朽菌による劣化やシロアリによる劣化は従前以上に早期の発見が困難な状況とな

っており、顕在化した際には大きな被害を伴いやすい。このように木材腐朽菌やシロアリによる劣化は住宅に大きな被害をもたらす、これらを防除することは住宅を長期にわたり安心・安全に利用するために必要な処置である。

日本には 12 属約 22 種のシロアリが分布するが (安部, 1989 : 今村・角田・吉村, 2000 : 安田ら, 2000 : 吉村・板倉・岩田・大村・杉尾・竹松・徳田・松浦・三浦, 2012), 住宅に被害を及ぼすシロアリは地下シロアリと呼ばれるイエシロアリ (*Coptotermes formosanus*), ヤマトシロアリ (*Reticulitermes speratus*) (日本しろあり対策協会, 2000), カンザイシロアリのダイコクシロアリ (*Cryptotermes domesticus*), アメリカカンザイシロアリ (*Incisitermes minor*) (金城, 2000 : 日本しろあり対策協会, 2000) の 4 種である (Fig.2.)。

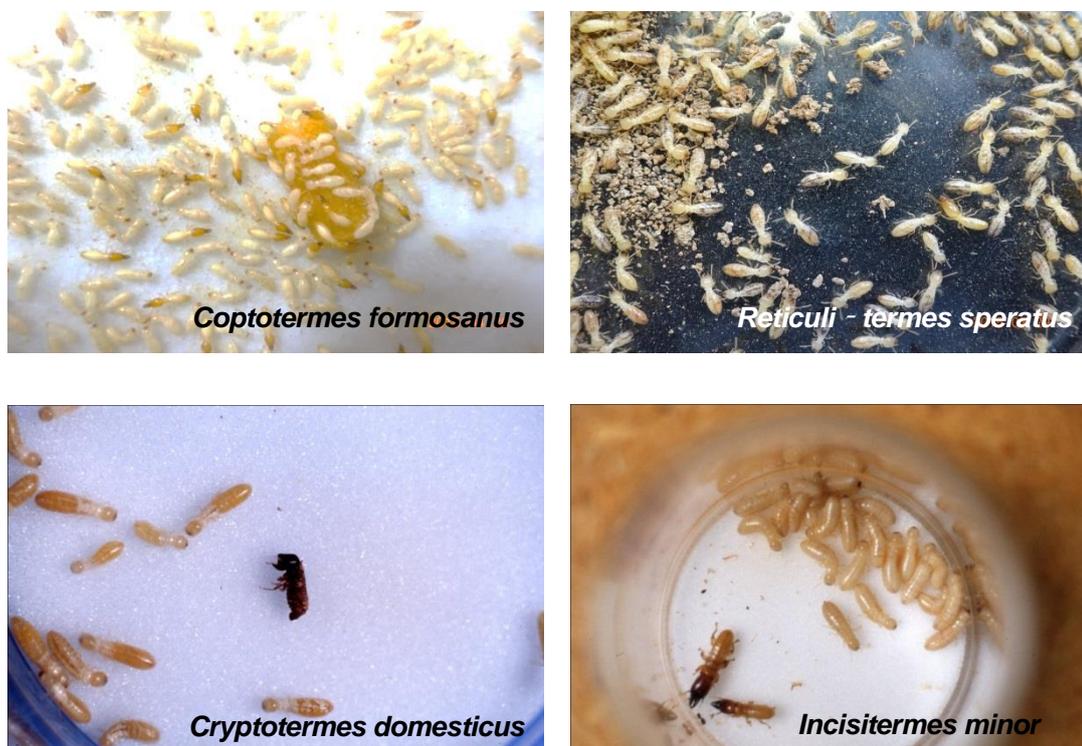


Fig.2. 4 species of termite which damage houses in Japan

その中で我が国の住宅におけるシロアリ被害は、そのほとんどがイエシロアリとヤマトシロ

アリによるものである。地下シロアリは地中から基礎コンクリートや束石等の表面に蟻道を構築して建物に侵入する。ベタ基礎の場合でも基礎コンクリートの打継部や配管貫通部などに初期または経時的に生じたシロアリの侵入可能な隙間が要因で建築物に侵入することが知られる（安芸ら, 2010: 日本しろあり対策協会, 2011), これら隙間の遮蔽を目的とする非可食性の防蟻材料およびこれを用いた工法に関する特許出願も見られる（藤原, 2012)。

現在, 住宅建設時に要求される各種性能については, 「住宅の品質確保の促進等に関する法律」(法律第 18 号, 1999) に基づき, 住宅性能表示制度が運用され, 住宅の性能を評価し表示するための基準や手続きが定められている。同制度による劣化対策等級の住宅の土壌部における防蟻仕様の基準（平成 13 年国土交通省告示第 1347 号）では, (i) 地盤を鉄筋コンクリート造のべた基礎で又は布基礎と鉄筋により一体となって基礎の内周部の地盤上に一様に打設されたコンクリートで覆ったものであること, (ii) 有効な土壌処理が施されたものであること, (iii) (i) 又は (ii) に掲げるものと同等の防蟻性能があると確かめられたもののいずれかの措置が講じられていることとある（監修国土交通省住宅局生産課, 2016)。同様に, 外壁の軸組等の防蟻仕様の基準については, (i) 外壁が通気層を設けた構造であること, (ii) K3 相当以上の防腐・防蟻処理が施されていること, (iii) (i) 又は (ii) に掲げるものと同等の劣化の軽減に有効な措置が講じられていることと定められている。

また一方, 平成 20 年には「住宅の品質確保の促進等に関する法律」の規定により, 消費者保護の観点から特定住宅瑕疵担保責任の履行の確保等に関する法律（法律第 66 号, 2007) が施行され, 新築住宅の売り主等に対し, 新築住宅の構造耐力上主要な部分および雨水の侵入を防止する部分について築後 10 年間の瑕疵担保責任履行のための資力確保が義務付けられた。しかしながら, 同制度において防蟻保証は当該制度に基づき設けられた保険制度による保証の対象外となっており供給者責任とされていることから, 住宅供給者には有効な防蟻方法の選択

と確実な施工が求められる状況にある。

従来より木質住宅における防蟻方法は、おおきく建築現場における薬剤散布による土壌処理、すなわち土壌粒子表面に薬剤を吸着させ土壌構成物との複合体等を形成する土壌のバリアー化による地下シロアリの建物内への侵入防止措置と、土台や柱などの主要構造部に使用する木材への防蟻・防腐成分の加圧注入や塗布処理による木材の加害防止あるいはシロアリへの忌避効果によってきた。外壁の軸組等の木部防蟻処理が必須事項では無い現在、地盤部からのシロアリ侵入防止措置の重要性が増してきている。

土壌への薬剤散布処理に代わる防蟻施工方法としては、防蟻成分を製造時に混入した各種防蟻シート敷設工法やステンレスメッシュを使用する物理的防除方法（日本しろあり対策協会、2102）、防蟻成分を多孔質無機骨材に吸着させた粒剤や粉剤を敷設しバリアー層を形成する方法、薬剤を使用せずにシロアリの貫通出来ない粒度・粒径材の組合せによるバリアー層形成による防蟻方法や、建物周囲に設置した容器に遅効性薬剤（脱皮阻害剤）を含浸させた餌木を入れシロアリに食害させ、食害したシロアリが巣に持ち帰ることで薬剤を巣内に蔓延させシロアリ本巣へのダメージを図るベイト工法（山内ら、1998：Peng-Soon Ngee *et al*, 2004）と呼ばれる方法などが提案・実施されている。

「住宅の品質確保の促進等に関する法律（通称：品確法）」施行により防蟻仕様として加えられたベタ基礎に代表される基礎構造自身による物理的防蟻工法（国土交通省告示第 1347 号、2001）は、薬剤による土壌薬剤処理を行う必要がなく、脱薬剤を志向する一部の消費者ニーズにも対応することなどから、基礎工法および防蟻措置の主流となった。しかしながら、現場でのシロアリ被害調査報告等（杉山ら、1995）に見られるように、基礎を各種配管が貫通する部位については防蟻性能の観点からは必ずしも「一体」では無く、また「一様」でも無い。したがって、防蟻上「一体」または「一様」とみなせるための措置が必要であり、そのための処理

として防蟻性を有するシーリングなどの不定形材料による配管貫通部の防蟻方法が提案されている（高谷ら，2001：三井ホーム(株)ら，2001）。また，土壌処理の無い基礎部においては，施工精度やコンクリートの収縮，沈下などの経時変化によりコンクリート打継部や各種配管貫通部などに生じる隙間に起因する蟻害リスクの増加など，潜在的な防蟻性能の瑕疵が懸念される。

筆者ら（広重ら，2004）は，コンクリート片に種々のサイズの間隙を作りシロアリの侵入可能な隙間サイズの検討を野外および室内実験で行った結果，シロアリが侵入可能な隙間サイズがイエシロアリとヤマトシロアリでは異なり，イエシロアリで1.3mm以上（閾値1.0～1.3mm），ヤマトシロアリで1.0mm以上（同0.6～1.0mm）でシロアリが侵入し，コンクリート上部に設置した木材の食害に至ることを報告した。住宅基礎部における防蟻方法の検討に際し，土壌処理や防蟻材料を用いる場合でも，使用する防蟻材料等自身の性能はもとより基礎周囲におけるシロアリの活動状況や行動の特徴を知ることが非常に重要であるが，実建物の基礎周囲におけるシロアリの活動状況や侵入経路についての報告はほとんどない。

実際の住宅の基礎部においては，Fig.3に示す設計例のように，給水・給湯・排水管の他，風呂追い焚き管，ガス管，各種電設管，空調用冷媒管やドレイン管などのさまざまな配管（以下，これらを総称して「基礎貫通配管」という）が計画される。その結果，床下空間においては「多数の配管」が「異なる職種」によって「それぞれのタイミング」で施工される現状があり，このような状況下において基礎貫通配管部に生じるわずかな隙間からのシロアリの侵入を確実に防止する必要がある。一方，平成25年度の新築一戸建住宅で性能評価を受けた建築物の統計によると，96.2%が維持管理対策等級2以上，すなわち配管をコンクリートに埋め込まない，さや管工法等となっており（住宅性能評価・表示協会，2015），さや管の二重管の間に生じる隙間についても確実な防蟻措置が求められる状況にある。

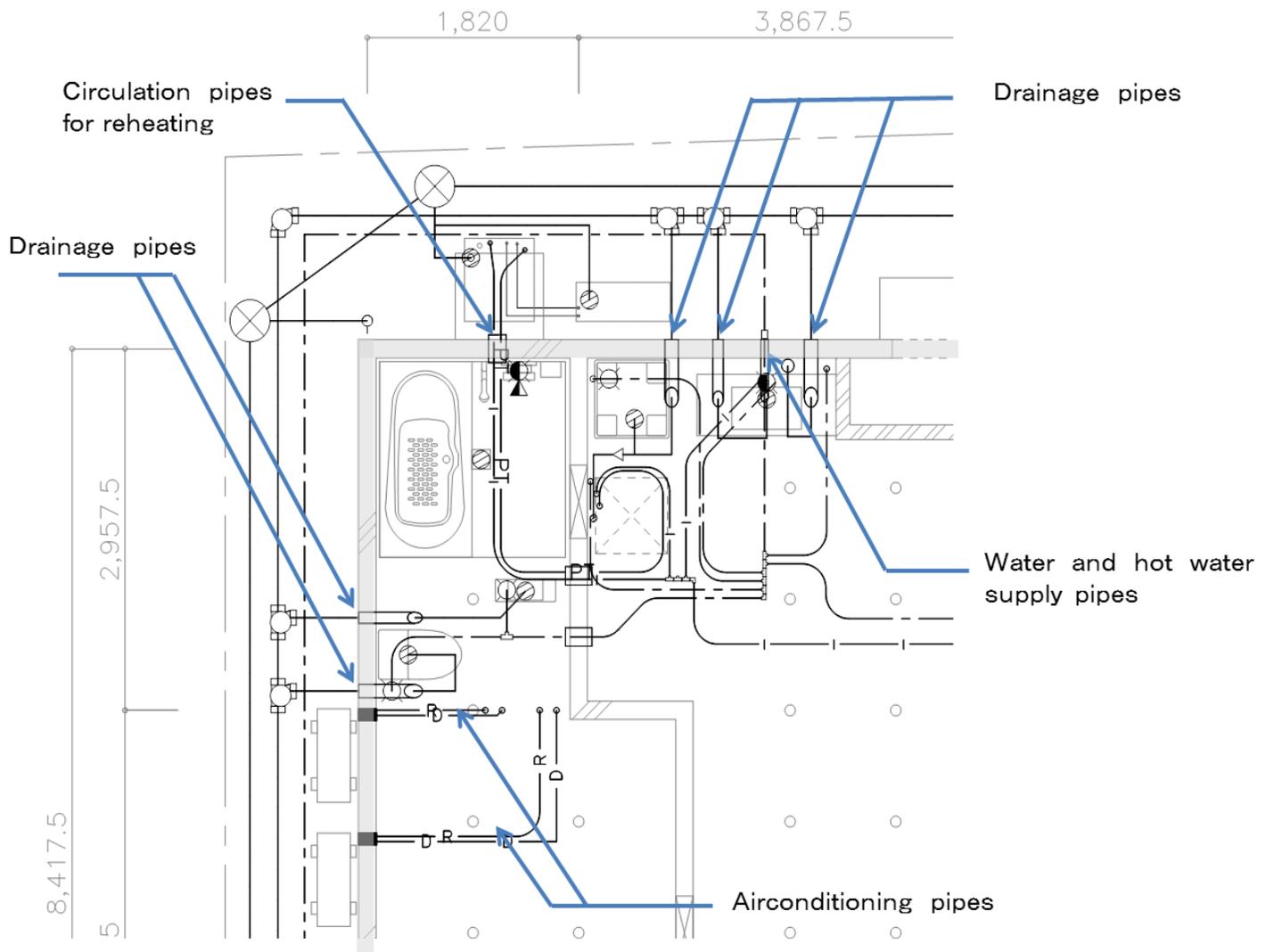


Fig.3. Instance of piping for residential foundation structure

長期優良住宅法にて所定の性能が要求される耐震性や省エネルギー性や、都市の低炭素化の促進に関する法律での省エネルギー性や長期炭素固着の有効性については、建物の初期性能が健全に継続維持されること即ち耐久性が担保されることが前提であり、我が国の戸建住宅建築における木造住宅の位置付けを考えれば、木造（木質）住宅における防蟻性能の確保は腐朽劣化対策とあわせ極めて重要な位置付けにあり、かかる状況下で喫緊に対策を講じなければならない課題である。

本研究はこのような現状を鑑み、経済性を考慮した木質住宅建築のベタ基礎における防蟻技術を確立し、それらの結果から広く利用可能な実用化技術の提言を行うことによって、良質な木質住宅のストック形成の一助となることを目的とした。本論文の構成は以下のとおりである。

第1章では、野外に実構造を模したミニチュアハウスを建築し、7年9か月間の暴露後に基礎周囲の土中、土間コンクリート下部におけるシロアリの活動状況を調査し、建築物の加害に至るシロアリの侵入経路を明らかにするとともに基礎周囲における効果的な防蟻方法の検討を行った。

第2章では、基礎貫通配管部における経済性および作業性を考慮し、土木・建築または配管材料として使用されているゴム系材料（日本ゴム協会編，2004：日本ゴム協会編，2010）に注目し、ゴム系材料の防蟻性能や防蟻成分を混入したゴム系材料の防蟻効果について、公益社団法人日本木材保存協会規格、土壌処理用防蟻材料の性能基準およびその試験方法に従い評価し、配管貫通部におけるゴム系材料の防蟻材料としての利用の可能性について検討した。

第1章 ミニチュアハウスを用いた基礎周囲におけるシロアリの活動と侵入経路について

1.1 はじめに

住宅基礎部における防蟻方法の検討に際し、土壌処理や防蟻材料を用いる場合でも使用する防蟻材料等自身の性能はもとより基礎周囲におけるシロアリの活動状況や行動の特徴を知ることが非常に重要である。本章では、野外に実構造を模したミニチュアハウスを建築し、7年9か月間の暴露後に基礎周囲の土中、土間コンクリート下部におけるシロアリの活動状況を調査し、建物の加害に至るシロアリの侵入経路を明らかにするとともに基礎周囲における効果的な防蟻方法の検討を行った。

1.2 実験方法

1.2.1. 試験地及びミニチュアハウスの建築

試験は鹿児島県種子島西之表で行った (Fig.1-1)。試験地は同島北部の丘陵地中腹にある周囲を雑木林で囲まれた緩やかな西面傾斜地 (30° 45' N - 131° 00' E) で海岸から約 1kmの距離にあり、従来より多くの研究者や筆者らがシロアリに関する野外試験を行っている。試験期間は2004年6月～2012年3月で、試験地の7年9か月間の平均気温、平均湿度、平均降水量 (年) は 19.8°C, 71.2%, 1830mm であり、年間を通してシロアリの活動に適した場所である (Fig.1-2)。

実験に用いたミニチュアハウス (以下、「試験棟」という) の基礎の平面図および断面図を Fig.1-3 に示す。試験棟は約 1.8m (W) ×約 1.8 (D) m×約 1.8m (H) のサイズで、基礎は布基礎とし、基礎内側に防蟻処理区と無処理区を併設した構造で、各試験区の繰り返し数を 3棟 (A棟, B棟, C棟) とし、観察用入口を東面として配置した。基礎立ち上がり部に径 70mm

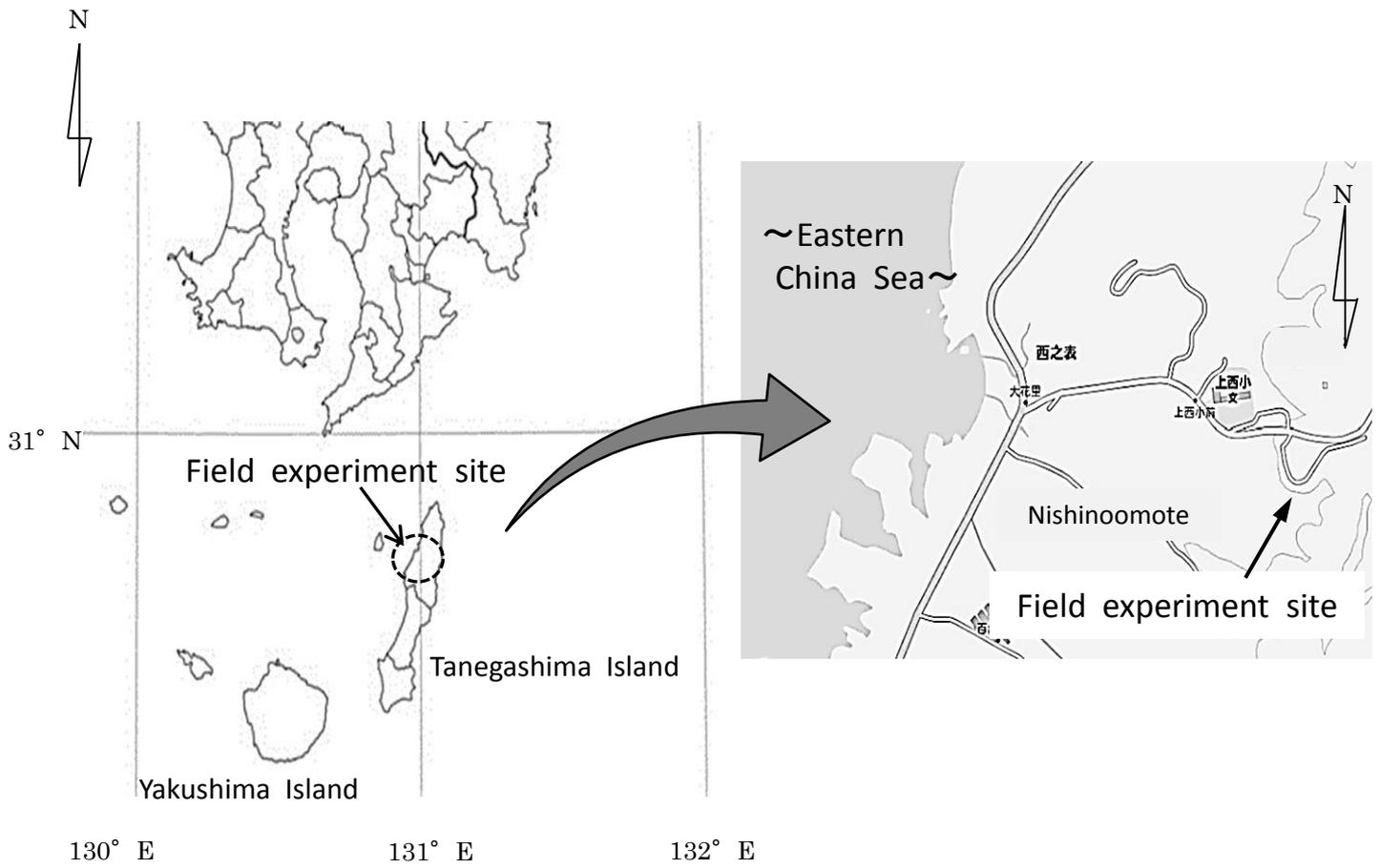


Fig.1-1. Location of field experiment site

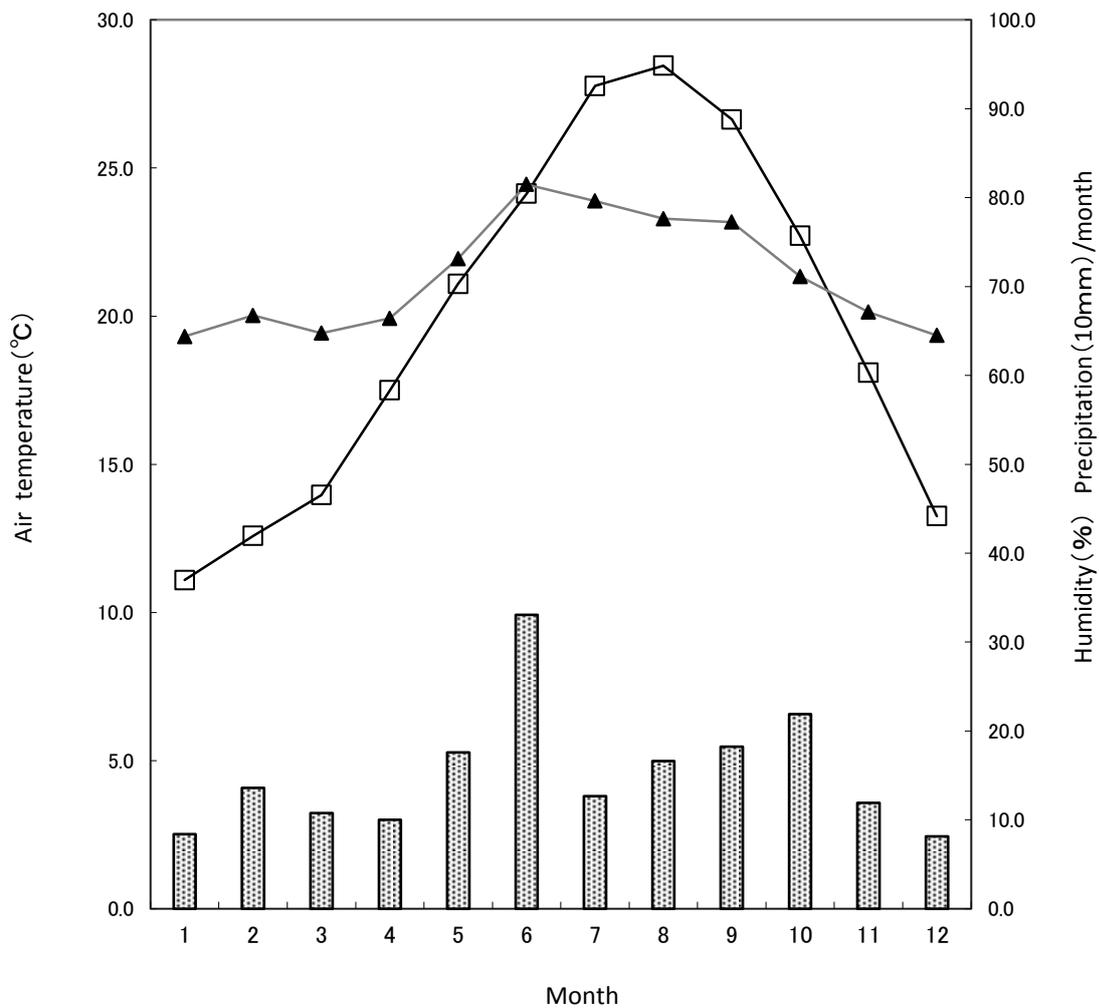


Fig.1-2. Main meteorological data of the experiment site(2004.6-2012.3)

Precipitation(mm)

 Mean daily air temperature(°C)

 Mean daily humidity(%)

Original source: The Tanegashima special meteorological observing station data of Japan Meteorological Agency

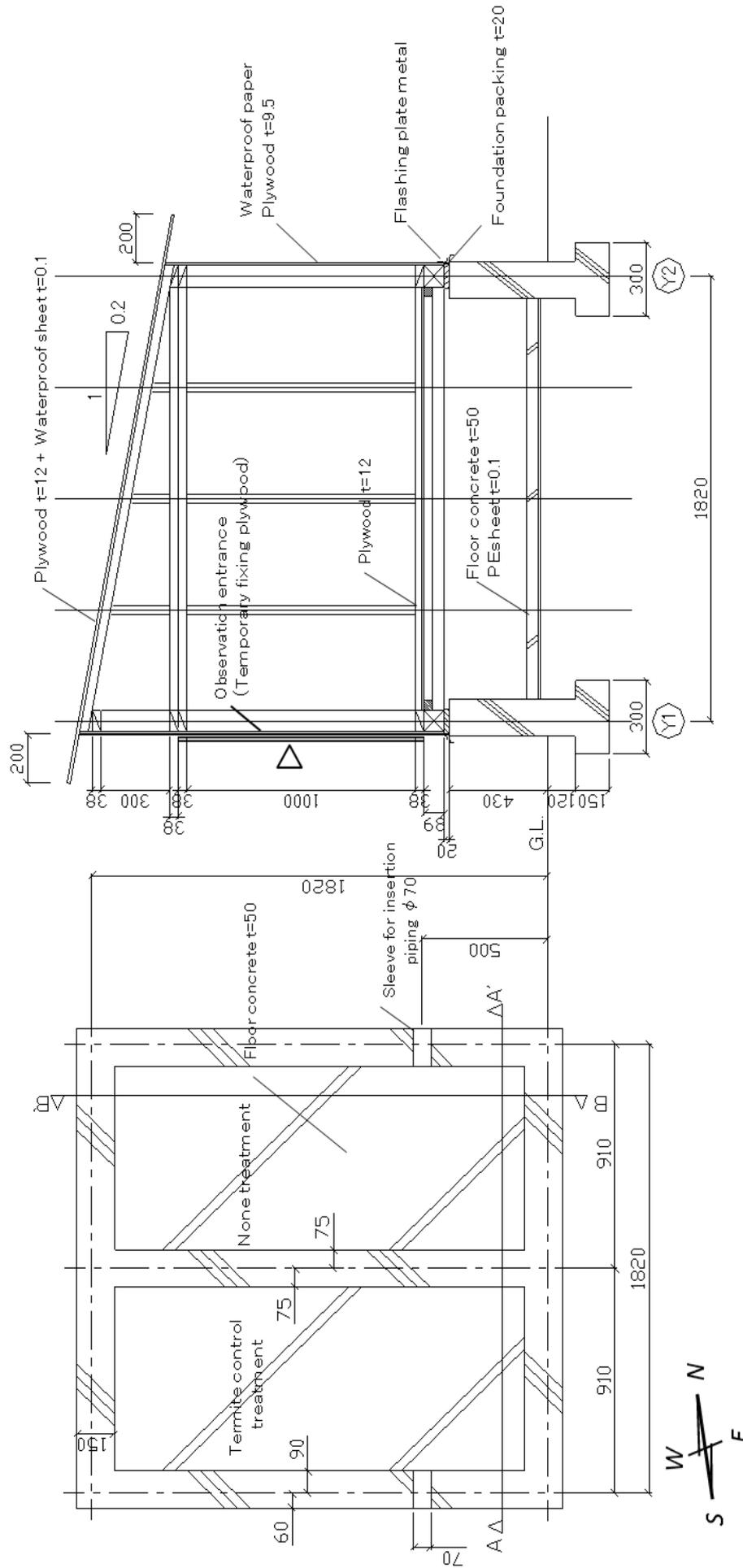


Fig.1-3. Foundation plan and cross section of examination house

(Left: Foundation Plan Right: Cross section A-A')

の配管貫通部を設け、両端を 0.05%シラフルオップエンおよび 0.05%イミダクロプリドを含有した 0.1mm 厚さの PE 防蟻シート（以下、「PE 防蟻シート」という）で覆った径 50mm の L 型の塩ビ管を設置し、覆土した。その上に 0.1mm 厚さの低密度ポリエチレンシート（以下「PE シート」という）を敷き、コンクリートを流し込み土間コンクリートとして厚さ 50mm になるように貫板材を用いて手作業で均し押し施工し無処理区とした。防蟻処理区は、無処理区と同様に配管、覆土した後に内側の基礎立ち上がり面から 100mm 幅に 0.1%ピフェントリンを吸着させた粒剤を m^2 あたり 3.0kg で帯状に散布した。その上に PE 防蟻シートをかぶせ、無処理区と同様に土間コンクリートを打設した。配管の土間コンクリート貫通部は 0.1%ピフェントリンを含有した変性シリコン防蟻シール剤で処理した (Fig.1-4)。

上部構造は枠組み壁構造に準じた木質構造とし、防蟻処理区および無処理区のいずれにおいても土台は 90mm 正角の無処理米松材、その他の部材は 38mm × 89mm の無処理 Spruce-Pine-Fir 材、床、壁、野地は無処理針葉樹合板を使用した。床下換気は厚さ 20mm のポリプロピレン製基礎パッキンを挟み自然換気とし、小屋野地合板下部に設けたスリット部で試験棟内の自然換気を行った。外壁面および野地面は改質アスファルト系シートを張って防水し、貫板で固定補強した。なお、シロアリを誘引するために各処理区の基礎内 2 カ所および試験棟外周部にアカマツ杭 (30 × 30 × 350mm) を打ち込んだ。

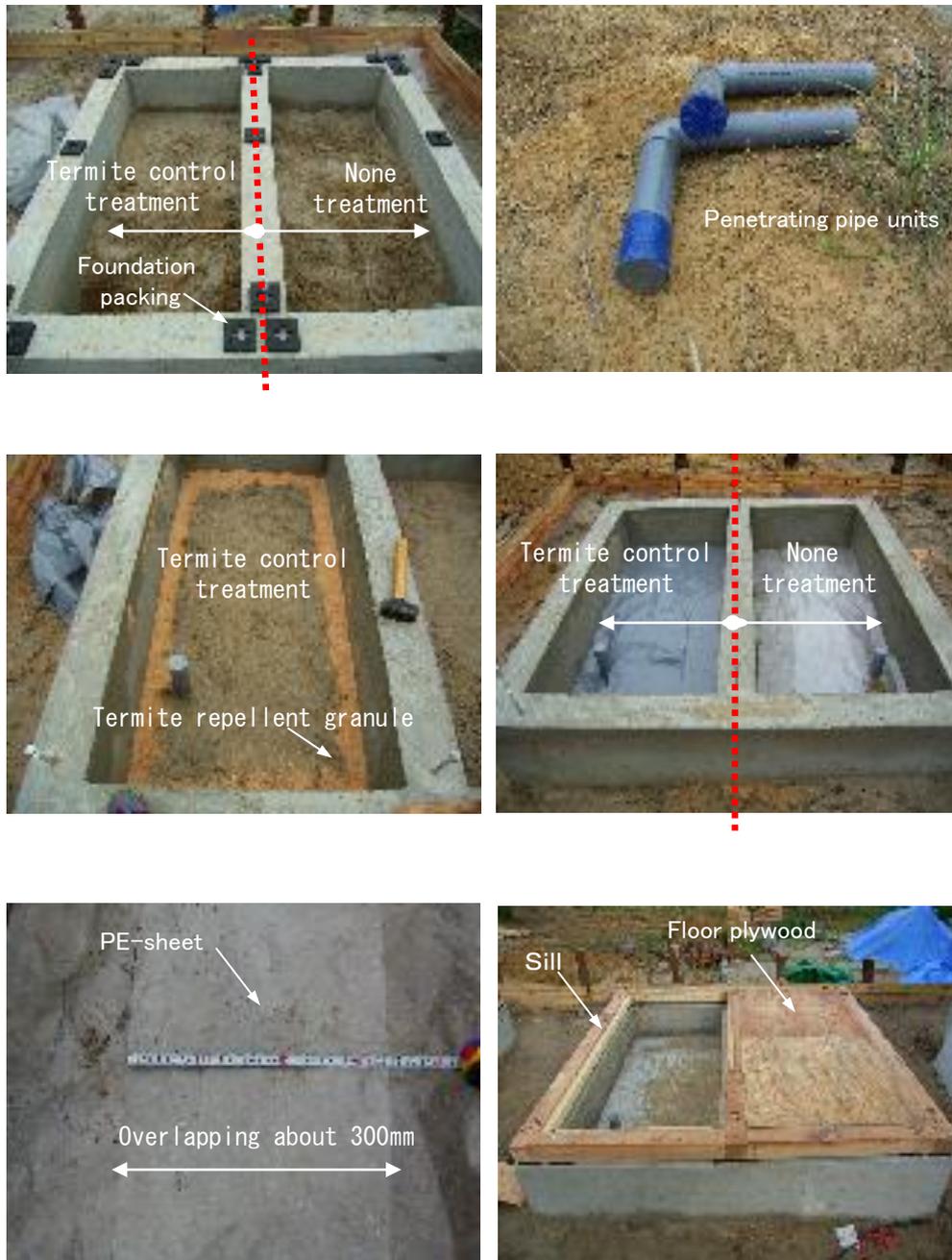


Fig.1-4. Specification of examination house

1.2.2. 試験棟基礎内外のシロアリの活動状況，侵入経路および木部の被害状況の調査

調査時の試験棟の外観を Fig.1-5 に示す。調査は試験開始（2004 年 6 月）から 7 年 9 ヶ月経過時の 2012 年 3 月に実施した。ここでは無処理区（A 棟，B 棟，C 棟の 3 棟）および 1 処理区（A 棟）を対象とし，残り 2 区の処理区については暴露試験を継続するため蟻道構築の有無，上部木部への被害は目視観察のみの調査とした。

Fig.1-5 に示すように試験棟（A 棟，B 棟，C 棟）の外周部の蟻道の構築状況は，各試験棟の基礎外面から 400mm 程度を残し周囲土を基礎底板レベルの深さを目安に重機を用いて掘削し除去し，残した周囲土を基礎フーチングが露出するまで木片・ブラシなどを用いて手作業で少量ずつ土を除去しながら基礎外周の蟻道構築の有無，ルート，構築深さを調査した。試験棟各区の床合板を外し，基礎内へのシロアリの侵入の有無，侵入箇所，上部木部構造の蟻道構築および食害状況について目視で調査した。

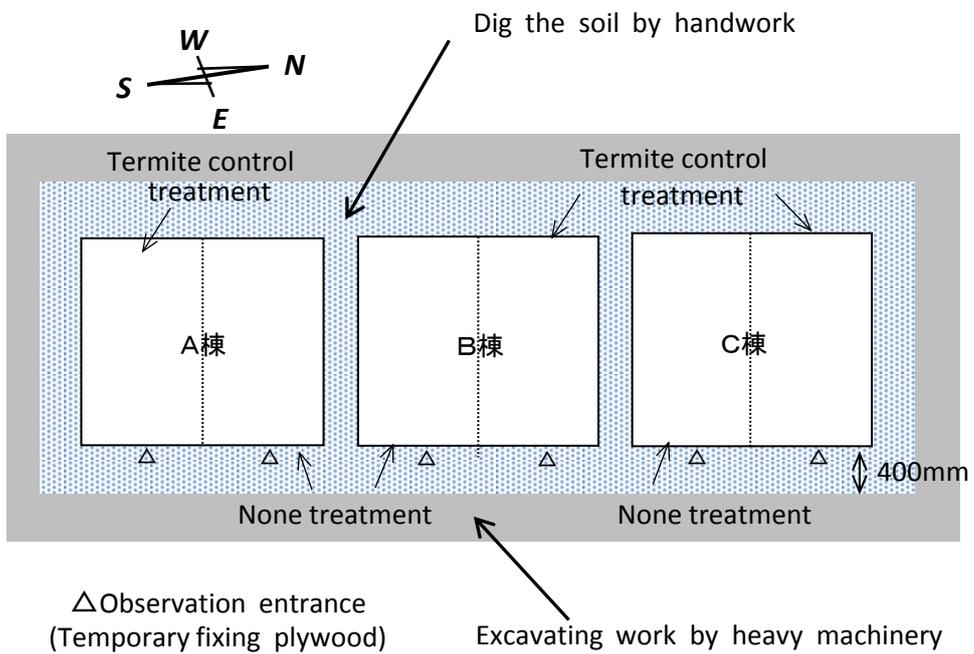


Fig.1-5. The appearance of examination houses and the investigation of termite tunnel around examination houses.
 (Upside: The appearance of examination houses. Lower-side: The investigation of termite tunnel around examination houses)

1.2.3. 土間コンクリート下部土中のシロアリ活動状況の調査

土間コンクリート下部の蟻道の調査は、構築された土中蟻道の確認を容易にするため、あらかじめ各試験棟の土間コンクリート上の基礎立ち上がり部に構築された全ての蟻道の端から三晶株式会社製の GENUGEL,WR-78-J ゲル化剤または丸石石膏株式会社製の硬石膏パイコーセント石膏液を注射器を用いて、それぞれの液が入らなくなるまで注入した。30 分間放置し硬化させた後、土間コンクリート、PE シートを除去・回収した。土間コンクリートの切断には、コンクリートカッター・振動ドリルの電動工具とハンマー・バールなどを用い、土間コンクリート下部の PE シートや土を痛めることの無いようにコンクリートカッターの刃入れ寸法に注意し、6～9 つに切断を行った後にハンマーやバール等で剥離した。回収した土間コンクリート片については、基礎立ち上り面に接する出隅部および出隅部以外の部分での隙間発生の有無を調査した。

土間コンクリート下部に敷いた PE シートを回収し、シロアリ加害の有無を確認した。PE シートの裏面の蟻土の付着面積をシロアリの活動範囲と考え、PE シートの蟻土の付着状態を撮影し、画像処理ソフト (Adobe Photoshop Elements10) を用い、蟻土付着部分を選択・特定した後、目視手動にて着色し、蟻土付着部のピクセル数を求め、PE シート全体のピクセル数で除しシロアリの活動範囲の数値化を行った。

ゲル化剤や石膏液の流痕、硬化着色部を追って手作業で基礎内側の土を少量ずつ除去しながら土中の蟻道調査を行った。Fig.1-6 に示すように特に石膏液の注入は蟻道の確認に加え蟻道の形状維持の効果もあり、その後の調査が容易であった。なお、土中に存在する蟻道で調査時点でシロアリの活動を伴わない蟻道については脆弱であり活動時の形状を維持・残存していないことから、本調査ではシロアリが活動・移動に供している蟻道のみを対象とした。



Fig.1-6. The termite tunnel poured with gypsum liquid

1.3 結果と考察

1.3.1. 各試験区基礎外側のシロアリ活動および蟻道構築状況

Fig.1-7 に基礎外側の蟻道の構築状況を示した。基礎内外に構築された蟻道はすべてイエシロアリによるものであった。3 試験棟の東側基礎付近には餌取り蟻道が A 棟端から C 棟まで 5m ほど伸びていて、蟻道内には多数のイエシロアリの往来が確認され、この蟻道から各試験棟に蟻道を伸ばし侵入したことを観察した。また、試験棟の西側には蟻道は見られなかった。Fig.1-8 に見られるように、水平方向の蟻道（水平蟻道）は半楕円形で、地表面から 150mm~250mm の深さに構築されており、一般に餌取り蟻道が 150~300mm の地中に構築されたとした報告（日本木材保存協会，2011）に符合する結果であった。半楕円形の水平蟻道のサイズは、半楕円形の長軸方向（以下、「蟻道幅」という）が 20~35mm、短軸方向（以下、「蟻道高さ」という）は 6~8mm であり、本調査で確認された地中を水平方向に移動する全ての蟻道で、蟻道幅が蟻道高さより大きく、蟻道の内面は滑らかに加工されていた（今村・角田・吉村，2000）。C 試験棟の北側基礎外面の一部に基礎に接触した草を介した蟻道の立上りが複数見られたが、基礎途中で止まっており建物内へ通じるまでには至っていなかった。蟻道は基礎立上り面に接触している草と土等で汚れた基礎表面間の複数個所で構築されており、このような箇所は蟻道が構築されやすい環境であると考えられる。建物においても基礎に近接して設けられた壁際におかれた木材などに起因するシロアリ被害事例があり、外構や花壇の計画・配置については防蟻上の留意すべき点と考えられる（日本木材保存協会，2012）。



Fig.1-7. The termite tunnel for bait



Fig.1-8. The depth and the width of the termite tunnel in the external ground (Upside: The depth of termite tunnel Middle: The width of termite tunnel Lower-side: Termite in the termite tunnel)

1.3.2. 試験棟へのシロアリの侵入状況

無処理区、防蟻処理区の1年6か月経過後及び7年9か月経過後の試験棟内へのシロアリの侵入状況を Table1-1 に示した。1年6か月経過後の状況を見ると、無処理区で基礎入隅部に蟻道が構築されたが、上部の土台や柱への食害は見られなかった。防蟻処理区では3棟ともシロアリの侵入や蟻道の構築は見られなかった。7年9か月経過後は1年6か月経過後と同様に基礎内への蟻道が構築されているが、Table1-1, Fig.1-9 に示したように無処理区ではA棟で4か所、B棟で2か所、C棟で4か所で12か所中の基礎入隅部のうち10か所で蟻道が構築され、さらに Fig.1-10 に示したように基礎パッキン上に蟻道を延長し上部の土台や柱が食害され、A棟では屋根の野地合板まで食害されていた。

日高ら(1999)は、布基礎と土台との間に基礎パッキンを挟むことで、基礎パッキンを用いた床下は基礎パッキンを用いない床下より湿度が低く、3年経過時点では蟻道が構築されなかったことを報告しているが、本実験では試験開始後1年6か月で蟻道が構築され、基礎パッキンによる防蟻効果は見られなかった。

基礎内へのシロアリの侵入は基礎入隅部に構築された蟻道下端の土間コンクリート出隅部からであった。土間コンクリートには上下に貫通するクラックは無く、土間コンクリートと基礎立上り面との間は密接し前述した1.3mm以上のイエシロアリが侵入可能な隙間は見られなかったが、Fig.1-11に見られるように、シロアリが侵入した10か所全てにおいて、土間コンクリート出隅部に生じた僅かな隙間からシロアリが侵入していた。土間コンクリート打設施工時には貫板材を用いて押え施工しており、基礎入隅部での同作業の精度ならびにコンクリート中の粗骨材(大き目の砂利)の存在と粒度が同部での隙間発生の要因と考えられる(十勝, 2007)。防蟻処理区では7年9か月経過後も基礎内部への蟻道の構築は見られず、防蟻剤混入PEシートの敷設や薬剤による土壌処理が防蟻効果を高めるのに有効であった。

Table 1-1. The intrusion situation of the termite into examination houses

Experimental house	Presence of termite intrusion (1.5 years passage)		Presence of termite intrusion(7.9 years passage)		The infestation situation of the xylem		
	Termite tunnel construction place	Number of intrusion points	Part of an intrusion	Number of intrusion points	Presence of infestat	Range of infection	
None treatment	A	Internal corner parts of foundation	3	Between internal corner parts of foundation and the floor concrete	4	Infested	Sill, Floor plywood, Supporting wood for floor plywood, Lower frame, Stud, Upper frame, Sheathing roof plywood
	B	Same as above	2	Same as above	2	Infested	Sill, Floor plywood, Supporting wood for floor plywood, Lower frame, Lower part of stud
	C	Same as above	3	Same as above	4	Infested	Sill, Floor plywood, Supporting wood for floor plywood, Lower frame, Stud, Upper frame
Termite control treatment	A	None	0	None	0	None	—
	B	None	0	None	0	None	—
	C	None	0	None	0	None	—

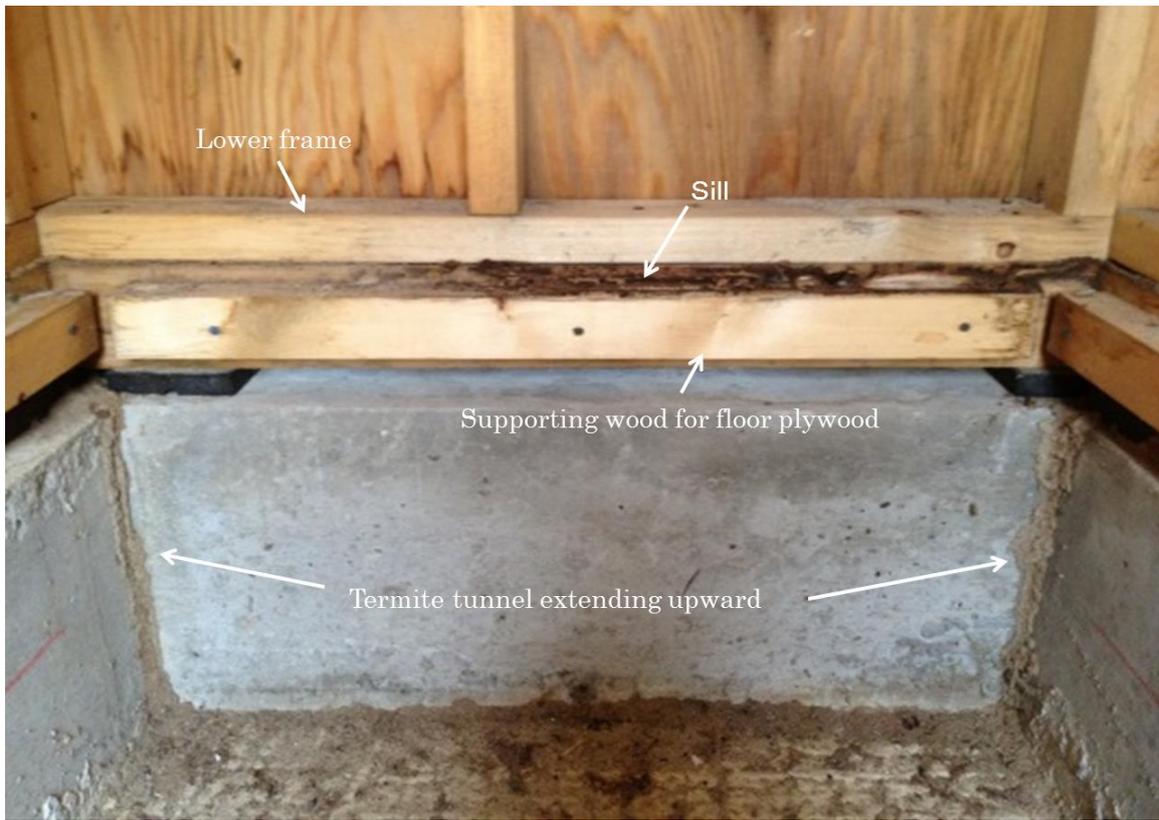


Fig.1-9. The termite tunnel built on a internal angle and the damage of floor framing

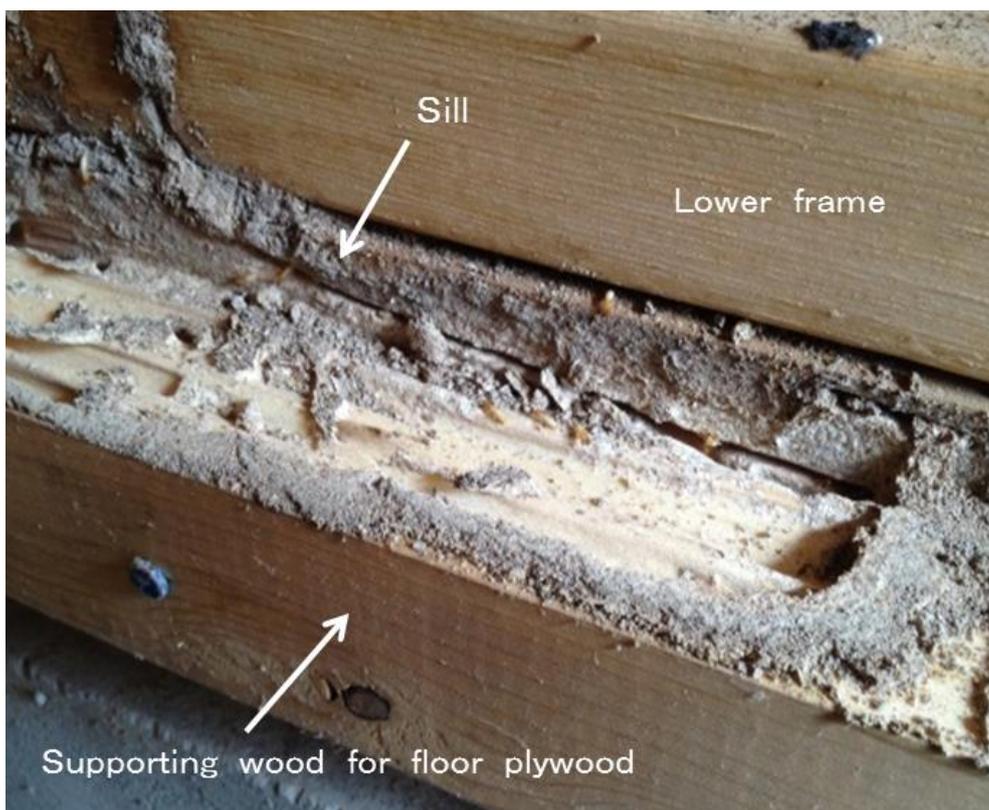


Fig.1-10. The termite tunnel built on foundation packing and the damage of sill



Fig.1-11. Appearance of the external corner of the floor concrete

1.3.3. ポリエチレンシートの蟻土付着状況

無処理区より回収した PE シートについては端部にわずかなシロアリの食痕とみられる欠損が数か所見られたが、防蟻処理区では食痕は見られなかった。防蟻処理区および無処理区共にその他の部分にシロアリによる食害や貫通された個所はなかった。

Fig.1-12 に各 PE シート裏面の蟻土の付着状況を、Table1-2 に付着率を示す。PE シートに付着した蟻土の色に濃淡が見られるが、濃く湿った状態の蟻土は現在のシロアリの活動状況、淡色の乾いた蟻土は過去のシロアリの活動状況を示していると考えた。Table1-2 から無処理区の蟻土付着率は A 棟 83.2% で最も多く、次いで、C 棟 65.5%、B 棟 57.3% で 3 棟の平均は 68.7% であった。防蟻処理区では 35.2% であり最も少ない付着率であり、無処理区との間に有意な差が認められた。無処理区の PE シート裏面における蟻土の付着領域は、いずれの試験区の PE シートにおいてもシートの約 60% 以上にわたっており、PE シート直下、すなわちシート下部土壌表層付近におけるシロアリの活動が基礎内のほぼ全域に及んでいることがわかる。しかし、防蟻処理区では蟻土付着率が少なく、色の薄い部分が大部分を占めていることから過去にシロアリの活動があり、混入された薬剤の防蟻効果のためその後の活動が見られなくなったものと考えられる。また PE シートの端部すなわち土壌処理部分には蟻土の付着は見られなかった。これらのことから本実験における防蟻仕様が基礎内土壌におけるシロアリ活動の抑制効果を有することを明らかにした。また、Fig.1-13 に示すように土間コンクリート裏面の1カ所に PE シートの重ねジョイント部の隙間から進行したと考えられる蟻道の構築が見られた。PE シート下の土表面の凹凸や経時変化による部分沈下または PE シート施工時に生じたシワ・タルミなどによって、PE シート重ねジョイント部にシロアリの侵入可能な隙間が生じた場合には、コンクリート裏面にシロアリが侵入することを示している。



Fig.1-12. The adhesion of termite soil on the underside surface of the PE-sheets
(Upside: None treatment Lower-side: Termite control treatment)

Table 1-2. The adhesion ratio of termite soil in the PE-sheets on each examination house

Experimental spot	Deep color	Medium color	Light color	Total
None treatment – A	53.4%	17.7%	12.1%	83.2%
None treatment – B	14.4%	4.7%	38.2%	57.3%
None treatment – C	18.3%	30.7%	16.6%	65.5%
Termite control treatment – C	0.0%	3.0%	32.2%	35.2%



Fig.1-13. The termite tunnel built on the under surface of the floor concrete

1.3.4. ポリエチレンシート下部の蟻道の構築状況

無処理試験区の土間コンクリート上の蟻道立上り部分の隙間からゲル化剤及び石膏液を注入・硬化させて蟻道の調査を行い、A棟における蟻道構築の状況を Fig.1-14 に示した。基礎内へのシロアリの侵入経路は基礎フーチング下および配管貫通部からであった。基礎内の蟻道はフーチングの端や基礎立上りの角に沿って多くが構築され入隅部の蟻道と繋がっていた。またフーチングの端に構築された蟻道は、基礎の内部の土中やさらに土中深部の誘引餌木まで伸びており、基礎内で構築された蟻道は全て連結していた。防蟻処理区でも無処理区と同様に基礎内へシロアリが侵入し、設置した餌木への加害や PE シートへの蟻土の付着が認められたが、PE シートから上部への蟻道の構築は見られなかった。

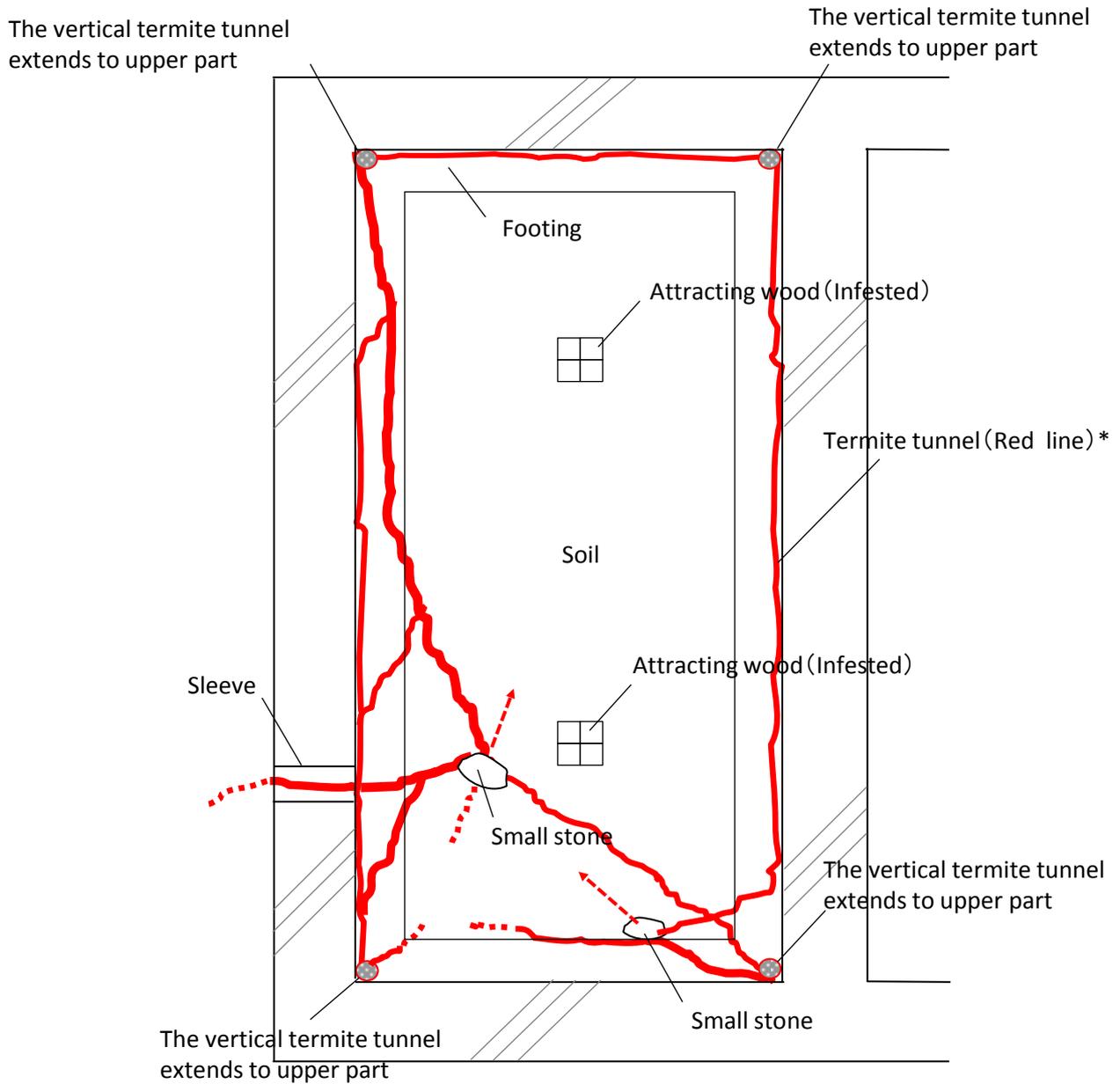


Fig.1-14. The termite tunnel built under the floor concrete
 *The line weight shows the size of termite tunnel

1.4. まとめ

実建物を模したミニチュアハウスを建築し、基礎内に防蟻処理区と無処理区を設置して基礎周囲でのシロアリの活動状況、シロアリの侵入経路および土間コンクリート下のシロアリの活動状況、蟻道の構築状況を検討した。

その結果、1) 1年6か月経過後には、全無処理区において基礎入角部に蟻道の構築が見られたが、防蟻処理区には蟻道の構築は見られなかった。

2) 7年9か月経過後には、試験棟外部東側の土中に餌取り蟻道があり、ここから各試験棟に蟻道が伸び、基礎底板以深の土中およびダミーの基礎配管貫通部からシロアリが侵入した。全無処理区の12か所中10か所で土間コンクリート出隅に生じた僅かな隙間からシロアリの侵入があり、基礎入隅部分に蟻道を延ばし、床下通気用に設置した基礎パッキンを越えて試験棟上部の木部を加害しており、実験的に基礎周囲におけるシロアリの活動状況およびシロアリの侵入経路、並びにこれら侵入部位に何らかの防蟻が必要であることを明らかにした。

3) 7年9か月経過後の基礎土間コンクリート下に敷設したPEシートへの蟻土の付着状況および土中の蟻道調査により、基礎内土中に侵入したシロアリが基礎土間コンクリート下部土中を活発に活動し、基礎フーチング上に連結した蟻道を構築し、その活動範囲が基礎内全域におよんでいることを明らかにした。防蟻処理区では、土中での活動痕は認められたが基礎内への蟻道の構築は無く、防蟻PEシートおよび粒剤による防蟻措置によりシロアリの活動が抑制されたものと考えられ、適宜部分的な薬剤利用による防蟻効果が認められた。

第2章 ゴム基材を利用した基礎配管貫通部の防蟻について

2.1. はじめに

第1章において、木質住宅の耐久性確保のために、実建築を模したミニチュアハウスを用いて基礎内外におけるシロアリの活動状況と侵入経路の検討を行った。その結果、基礎配管部からシロアリが侵入し、基礎入角部に蟻道を構築し、木部に加害を及ぼすことを明らかにし、基礎配管部へのシロアリの侵入を何らかの方法で阻止する必要があることが確認された。

シロアリの侵入を阻止する材料として、成形の自由性、材料の弾性による隙間充填性など様々な配管貫通部の形状・寸法への適用性が期待できるゴム系材料に注目した。現状、ゴム材料は各種パッキン材などで様々な配管施工で一般的に使用されている材料であり、防蟻性能を付与することによって汎用性の高い防蟻方法の提言が可能と考えた。本章では、ゴム種の選定、実現場での利用形態を想定した試料を試作し、室内試験および野外試験により防蟻性を検討した。

2.2. 実験方法

2.2.1. 供試ゴム材および防蟻剤

基礎貫通配管部のさや管と貫通する実管の間に生じる隙間については、設備・管種ごとに多くの形状やパターンが想定されるが、ここでは給水および排水配管2種のさや管工法を対象とし、その一例として Fig.2-1 に排水配管の納まり例を示した。Fig.2-1 においてシロアリが侵入すると考えられるさや管外周部と基礎コンクリート間については、土木工事用途でコンクリート打継部の止水材として使用されている早川ゴム株式会社製の非加硫ブチルゴム（横田，1984：早川ゴム(株)，1996）を用いた。非加硫ブチルゴムはイソプテンとイソプレンの共重合体で加硫やオキシム架橋ができるようにイソプレンが数モル導入されている。特徴として気体

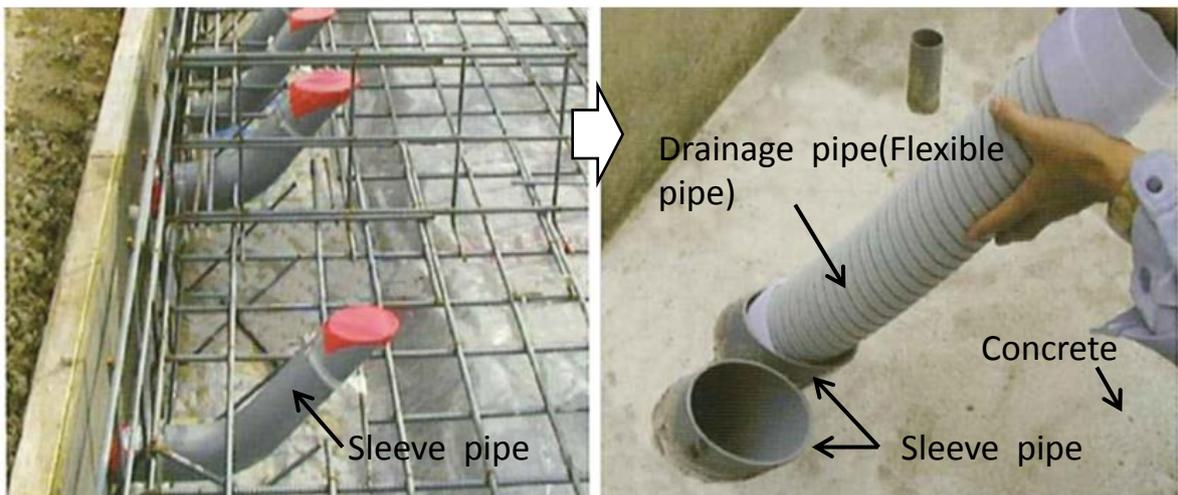
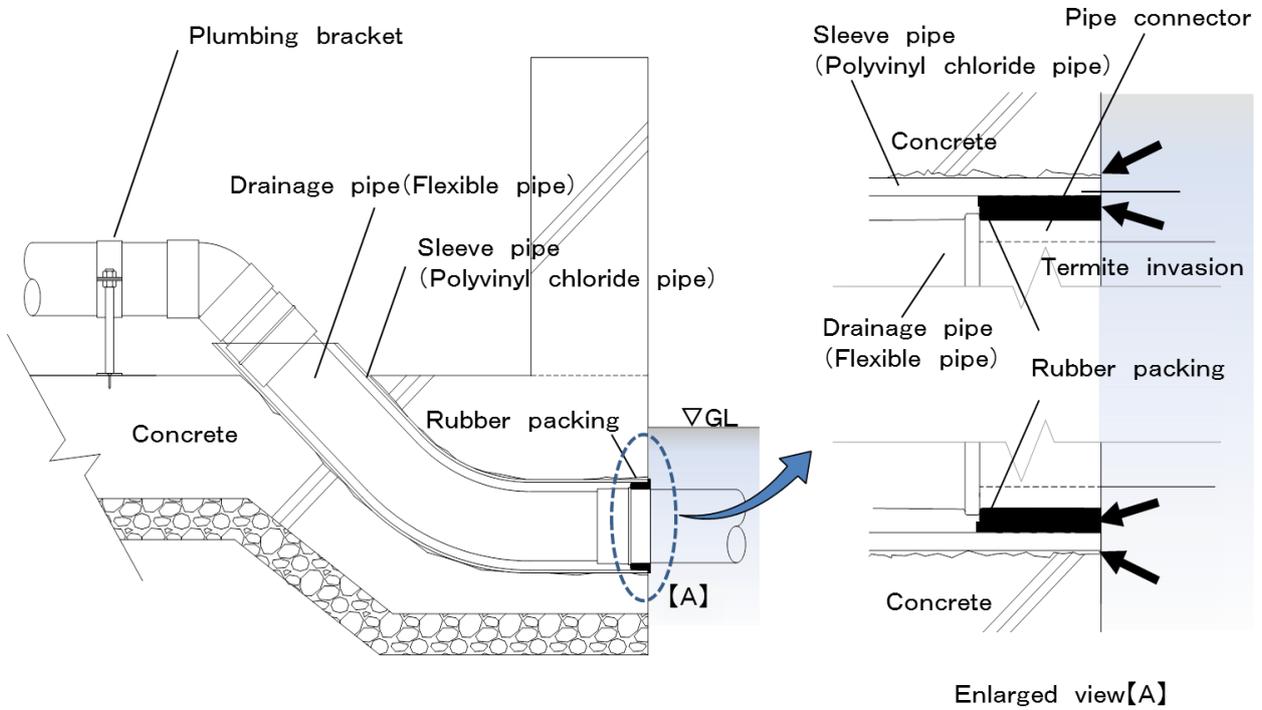


Fig. 2-1. Instance of drainage pipe penetration for foundation structure

をほとんど通さないためタイヤのインナーチューブに使用されており、その他の優れた特性を活用して電線被覆等の電気用途、工業用途等に利用されている。二重結合が少ないために、酸化されにくく、化学的にかなり安定なポリマーである(長野早男, 1983: 日本ゴム協会編, 2016)。

また、さや管と実管との間については、現在、挿入する実管の固定および止水を目的として合成ゴムの EPDM (エチレン・プロピレン・ジエン系ゴム) (木村, 1988) のゴムパッキン (以降、「EPDM パッキン」と称す。) が使用されているので、経済性および実施時の導入容易性の観点から前澤化成工業(株)製の EPDM パッキンを使用した。EPDM は耐熱性や耐候性、耐オゾン性、電気絶縁性に優れ、自動車用ゴム部品、ルーフィングシート等の建築用ゴム製品、電線の被覆材等広い用途に使用されている (沖田, 1972 : 日本ゴム協会編, 2016)。非加硫ブチルゴム、EPDM の抗蟻性を高めるために防蟻剤を添加した。添加防蟻剤は経済性、製造工場における保管取扱い上の観点等から、Rio Tinto Minerals 社製の八ホウ酸二ナトリウム四水和物(以下、「DOT」と略称する。) と、前章において防蟻効果が見られたビフェントリンを用いた (和田ら, 1990)。

2.2.2. 非加硫ブチルゴムの変位追従性

基礎貫通配管部においては、温度、地盤の圧密沈下、振動その他の外力等により配管材と基礎コンクリート間に微少な変位が生じるものと考えられる。同部で使用する非加硫ブチルゴムについては、これらの変位に対して弾性追従することが推定されるため、非加硫ブチルゴムの変位追従性について検討した。試験は、JIS Z 0237 粘着シート・粘着テープ試験方法に準拠し、2枚のステンレス板 50mm (縦) × 100mm (横) × 2mm (厚さ) の間に、10mm (縦) × 100mm (横) のサイズの非加硫ブチルゴムを挟み込み、重量 2kg のローラーで試料上面を 2 往復させて圧着して試験体とし、常温にて 2 時間養生した後に試験に供した。非加硫ブチルゴムの厚さは 0.5mm~5.0mm とした。万能引張試験機テンシロン UTM-III-500 にて 2mm/min の速度で試料の厚さ方向に垂直引張を行い変位させ、非加硫ブチルゴムの破断・亀裂発生が目視にて確認された時点の総変位量を計測し、総変位量から非加硫ブチルゴムの厚さを減じたものを限界変位量として求めた (Fig.2-2)。その結果、限界変位量は非加硫ブチルゴムの厚さに依存して大きくなり、0.5mm 厚で限界変位量は 1.0mm, 1.0mm 厚で 2.0mm, 3.0mm 厚で 9.0mm, 5.0mm 厚で 12.0mm であった (Table2-1)。本研究で対象とするさや管工法においては、基礎外部または基礎内部から実管の更新が可能でなければならない工法上の特性から、Fig.2-1 に示すようにさや管がコンクリート内に屈曲して埋め込まれるのが一般的であり、コンクリートとさや管外面間での変位は小さい構造となっている。このことから同部で生じる変位量を数 mm 程度と想定し、限界変位量の結果および実現場における配管材への張付け作業性から、以降の各種実験にて用いる非加硫ブチルゴムシートの厚さは 3.0mm とした。

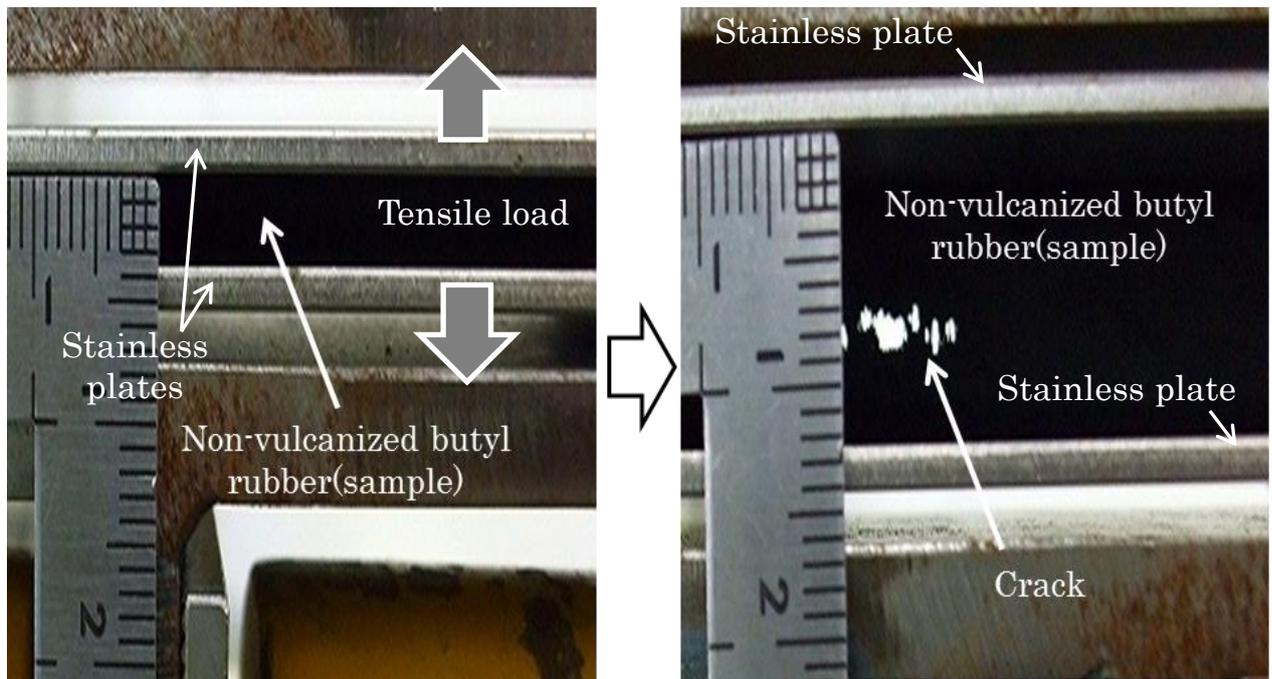


Fig. 2-2. Cracking test ($t=3\text{mm}$)

Left: Method of test and condition of sample before test starts

Right: Condition of sample after test finished

Table 2-1. The result of cracking test on each thickness

Thickness of non-vulcanized butyl rubber sheet (mm)	0.5	1.0	3.0	5.0
Critical displacement (mm)	1.0	2.0	9.0	12.0

2.2.3. 非加硫ブチルゴムの防蟻性

2.2.3.1. 室内穿孔試験

試験は、(社)日本木材保存協会規格、第13号(1992)の土壌処理用防蟻剤の防蟻効力試験方法及び性能基準に準拠した。Fig.2-3に示すような土壌処理用防蟻剤等の防蟻効力試験用のガラス容器(以下、「H管」という。)を用い、H管の円筒の一方に川砂50gを敷詰め蒸留水7mlを滴下し、他方にアカマツ木片3gを入れ、非加硫ブチルゴムを充填した円筒形の透明アクリル管(長さ50mm、内径18mm)をガラス円筒間に連結固定し、試験装置とした。透明アクリル管への非加硫ブチルゴムの充填は、シート状にした非加硫ブチルゴムを、約80~90°Cで加温柔軟化させた状態を維持しながら、内径16mm×長さ50mmの透明アクリル管内に空隙の出来ないように行った。川砂を敷詰めた円筒側にイエシロアリ職蟻300頭、兵蟻30頭を投入し、28°C±2°Cの恒温暗室内に21日間静置した後に、透明アクリル管のイエシロアリの穿孔の有無および穿孔距離を計測した。

非加硫ブチルゴムの抗蟻性を高めるために、防蟻剤として使用されているDOTを添加した。添加濃度は0.00%~5.00%(w/w)とした。DOT添加非加硫ブチルゴムの室内試験結果から、DOTの濃度を高くしても穿孔が見られたため、DOT濃度を3.00%ベースにし、防蟻剤のピフェントリンを0.05%~0.20%(w/w)の濃度で添加し、穿孔の有無、穿孔距離について検討した。

非加硫ブチルゴムへのDOTの添加は、基材中のDOTの均質な分散を図るため、先ず20°C、60%の恒温恒湿環境で保管したDOTを、EPDMポリマーと約3:2の配合比で混練分散してマスターバッチ(DOT濃度約60%)を作成し、次に配合比に基づくブチルゴムポリマーを追加して双腕型混練機(200Lオープンニーダー)で8~10分間混練した後、炭酸カルシウム、カーボンブラックなどの無機充填剤等を加えて、同様に10~15分間混練して混合・分散を行

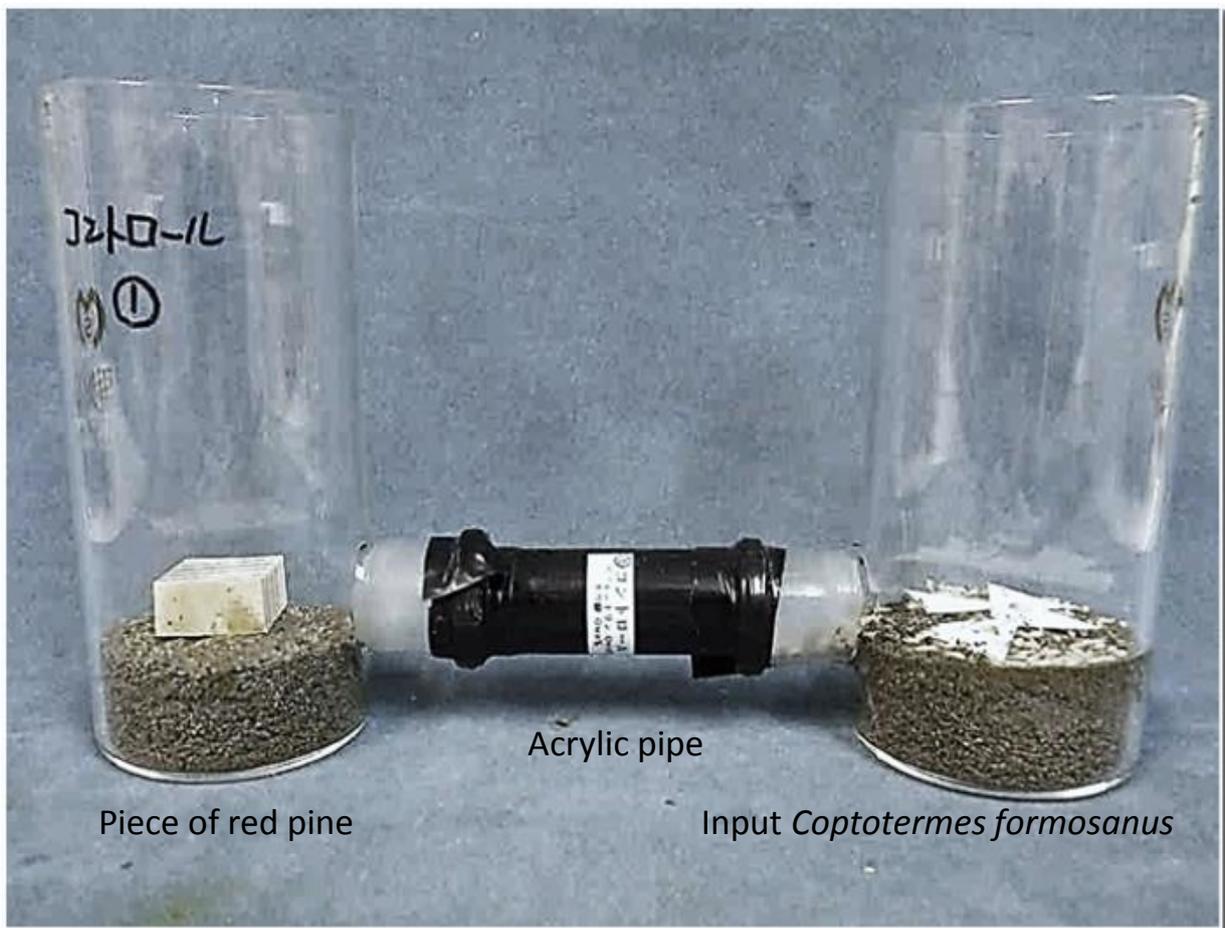


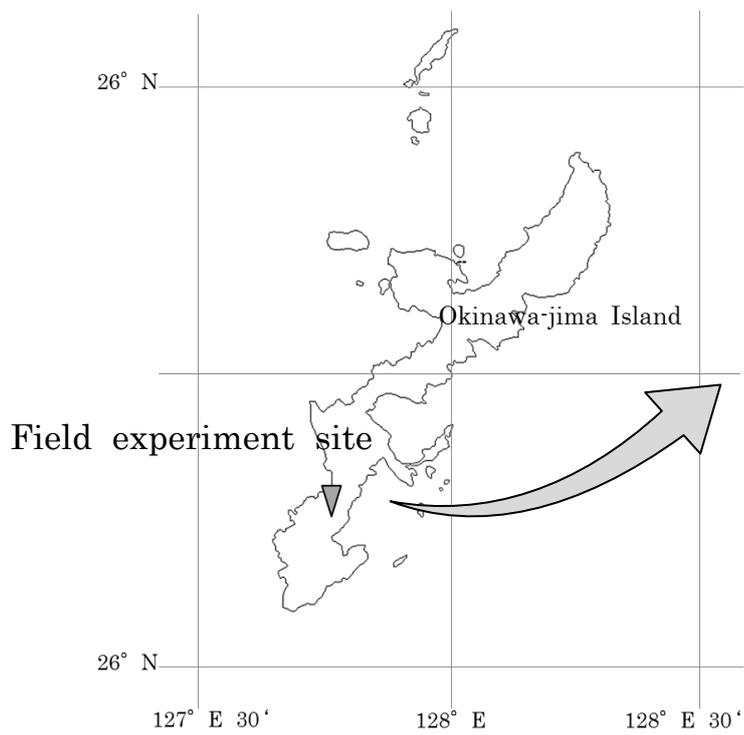
Fig.2-3. Boring test for non-vulcanized butyl rubber

い、予備成型材料のコンパウンドとした（高次，2003）。コンパウンドを押し出し成型機にて幅 50mm×厚さ 3mm サイズとなるよう口金を通して離形紙上に押し出し積層してシート状の非加硫ブチルゴムを作成した。

ビフェントリンの添加は、2%フタル酸ジイソニル（DINP）で溶解し、DOT 添加の場合と同様に製造した。非加硫ブチルゴムを充填した透明アクリル管の穿孔距離は、イエシロアリ穿孔部に細い針金を挿入してその長さを計測した。

2.2.3.2. 野外試験

試験は、国立大学法人琉球大学農学部附属亜熱帯フィールド科学教育研究センター上原研究園内の北面傾斜地（ $26^{\circ} 14' N - 127^{\circ} 46' E$ ）で行った（Fig.2-4）。試験地はイエシロアリの生息地で、年間を通してシロアリの活動が活発な場所であり、以後のすべての野外試験も上原研究園内で行った。試験期間は、2008年3月から2010年3月の2年間とした。Fig.2-5に示したように基礎コンクリートを貫通する配管貫通部を模した試験体を製作した。試験体は内径40mmの塩ビ製パイプの外周面に厚さ3mmの非加硫ブチルゴムシートを張り付け、160mm角の型枠中央に同パイプを配置した上で砂モルタルの厚みが60mmになるように詰め込み、4週間室内で常温養生にて硬化させた。塩ビパイプの下端は解放し、上端を同材質のエンドキャップで封止し、試験体上部からのシロアリの侵入を防止するため試験体モルタル上面側を内径150mmの塩ビ製パイプとステンレス（SUS）製細目網で覆った。試験体は設置する土壌面を均し、その上に厚さ約50mmになるように川砂を敷き込んだ後、シロアリ誘引のためのマツ杭を打ち込み、突出させた塩ビパイプを砂部に埋め込んだ。各試験体は重複の無いように異なる仕様の4体を1組として配置し、箱型塩ビ製樹脂板（W450×D450×H300mm）で覆い、箱型塩ビ製樹脂板の固定およびシロアリ誘引のため周囲にマツ杭を打ち込んだ。試験体の仕様は、非加硫ブチルゴムを巻いていない2mm程度の隙間を設けたブランクと、非加硫ゴムのDOT添加量0.00%から10.0%の6濃度とした。添加量の0.42%については、木材防蟻処理におけるDOT添加量による効果（混入量 4.2kg/m^3 ）に関する報告（トニー・バーンら、2002：角田，1999）を参考とした。



The situation of field experiment

Fig. 2-4. Location of field experiment site

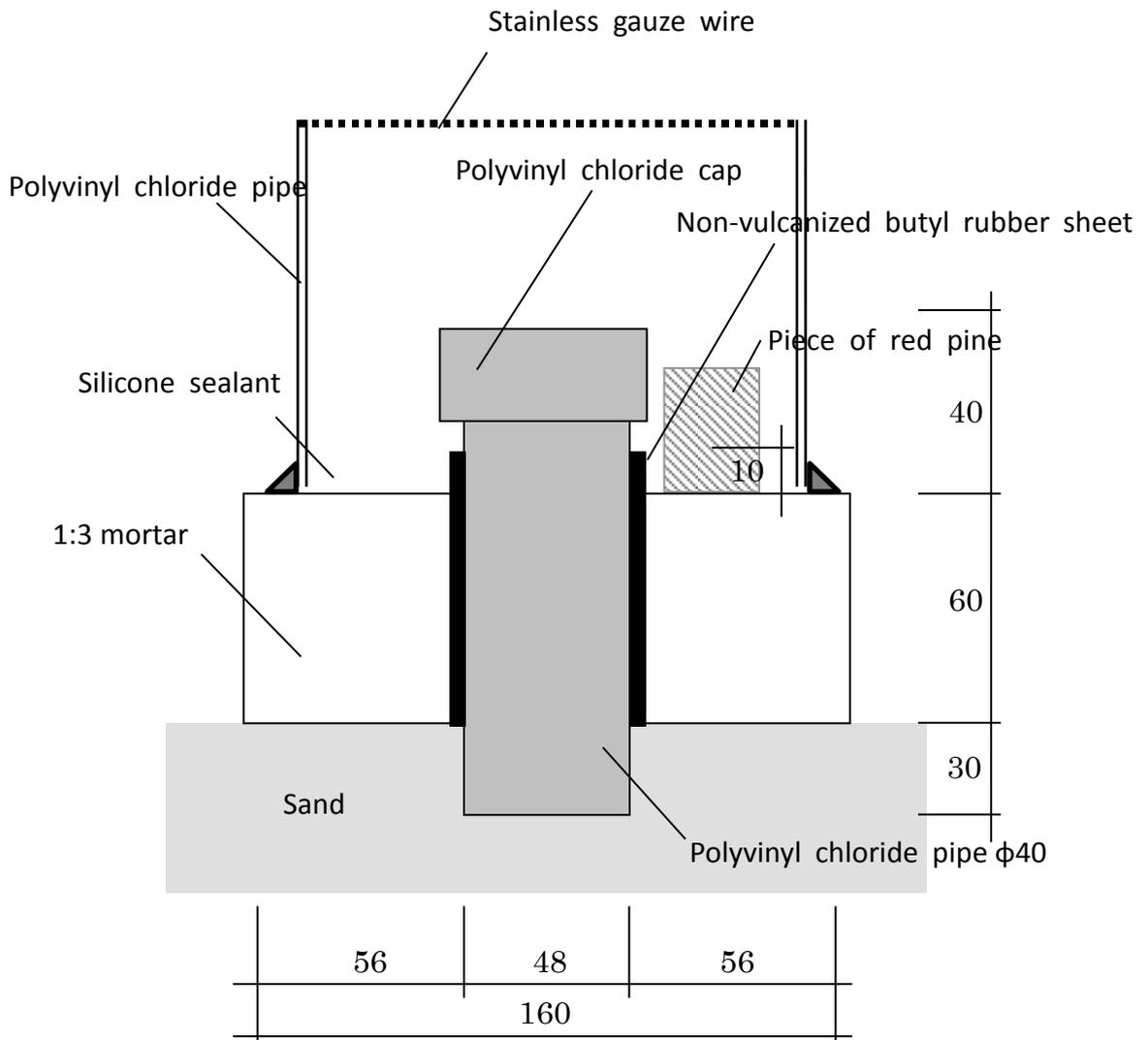


Fig. 2-5. Test sample of non-vulcanized butyl rubber at field experiment

2.2.4. エチレン・プロピレン・ジエン系ゴムパッキンの防蟻性

2.2.4.1. 室内穿孔試験

Fig.2-6 に示すように DOT の添加量を 0.00%~2.00% (w/w) とした EPDM 片 50mm (縦) × 50mm (横) × 5mm (厚さ) を作成して試料とし、H管の間に挟んで全体を透明テープで固定した後、2.2.3.1 と同様に試験を行った。試験終了後、試料の穿孔の有無および食害量を計測した。

食害量の計測方法を Fig.2-7 に示す。食害部の計測はデジタルマイクロスコープ (KH-7700, HIROX 社製) を用い、食害部を特定した上で測定範囲を設定し、測定倍率 50~200 倍で試料の基準面からの食害による測定可能な凹み深さを対象とし計測した。EPDM の食害量 (欠損部の体積) は、食害凹部の最深部位置と食害周辺の非食害部の位置を手動で焦点設定して求めた高低差を自動で 10 分割し、分割した各焦点毎の撮影データを 3 次元合成して求めた。食害量の大きなものは複数の撮影および計測結果を合成し算出した。

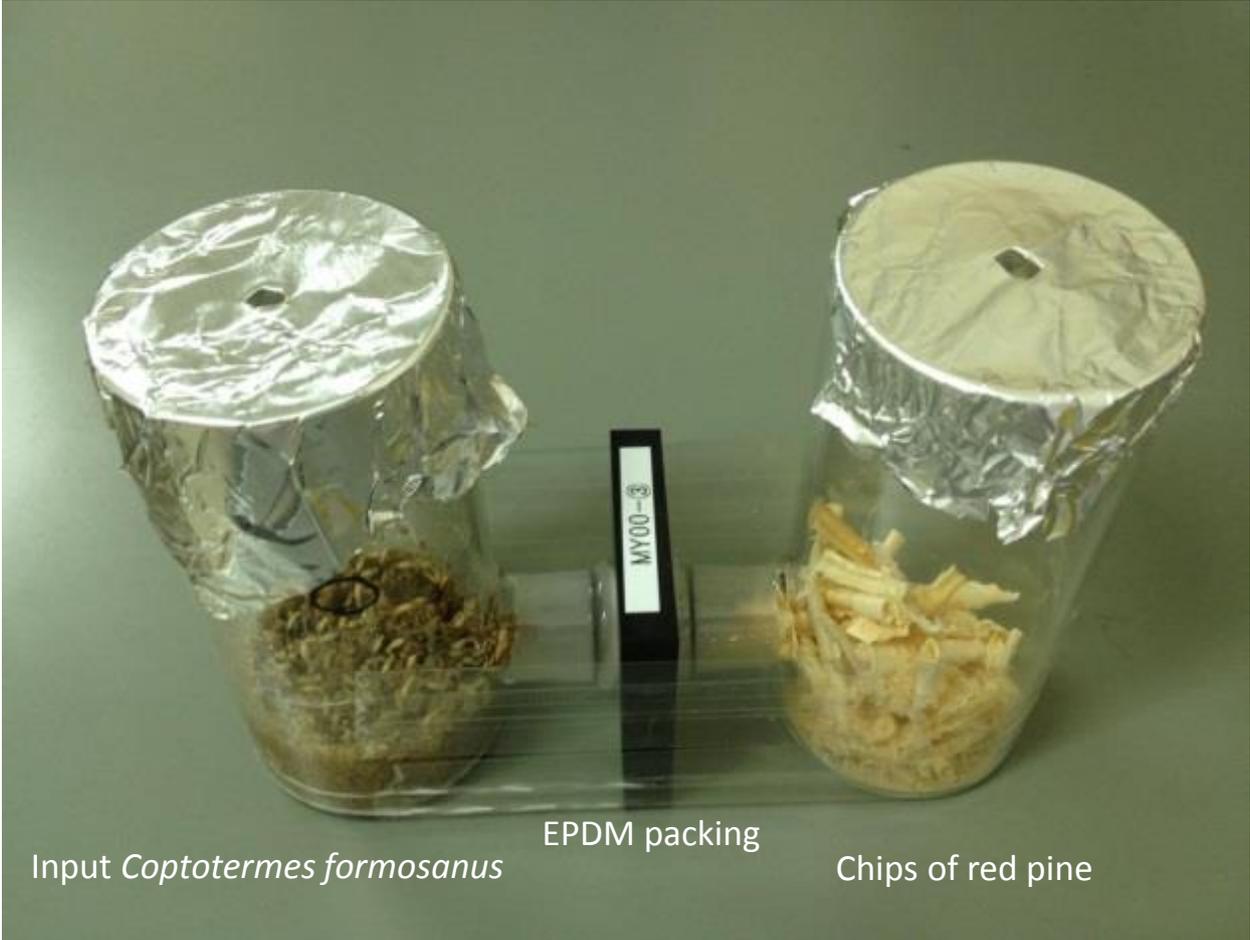


Fig. 2-6. Boring test for EPDM packing

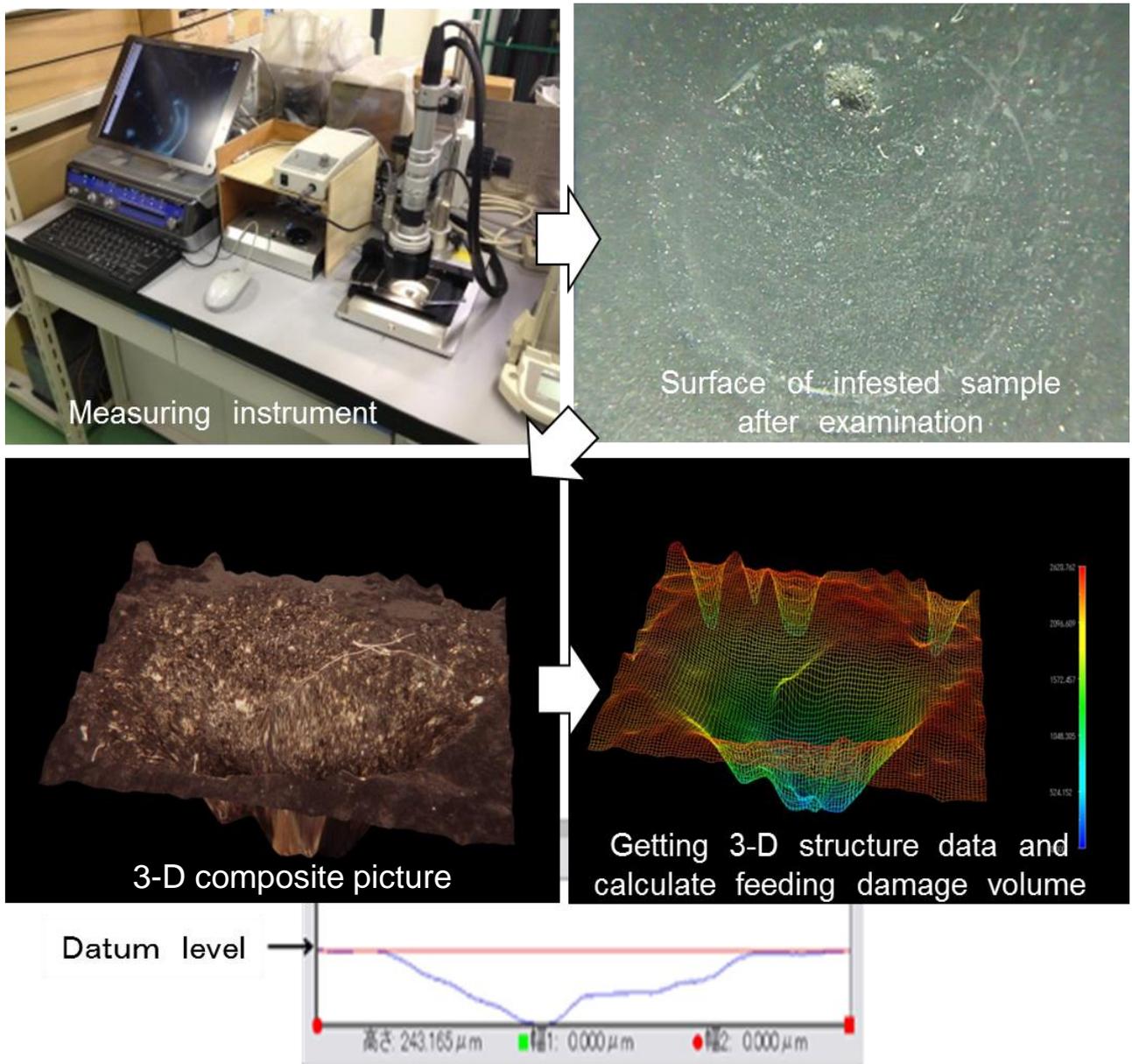


Fig.2-7. Method for measuring feeding-damage volume of EPDM packing sample

2.2.4.2. 排水管系モデル エチレン・プロピレン・ジエン系ゴムパッキンの野外試験

Fig.2-8 に示す基礎コンクリートを貫通するさや管工法による排水管貫通部を模した試験体を製作した。内径 75mm の塩ビパイプ(さや管)と上端を SUS 製細目網にて封止した内径 50mm の塩ビパイプ (実排水管) との間に、防蟻成分を添加した断面高さ 15mm×断面幅 12.5mm×内径 60mm の EPDM パッキンを取付け固定した後、アカマツ材の餌木片を置いた上で外部管上部を SUS 製細目網にて覆った。ブランクは EPDM パッキンを設置せず、50mm の塩ビパイプの周囲に 5mm 程度の間隙を設けた。EPDM パッキン中の DOT 添加濃度は、0.00%、0.42%、2.00%、5.00%とした。試験体の設置を 2.2.3.2 と同様に行い、試験終了後の EPDM パッキン取付部におけるシロアリの穿孔の有無を調査した。試験期間は、2008 年 11 月から 2010 年 11 月の 2 年間とした。

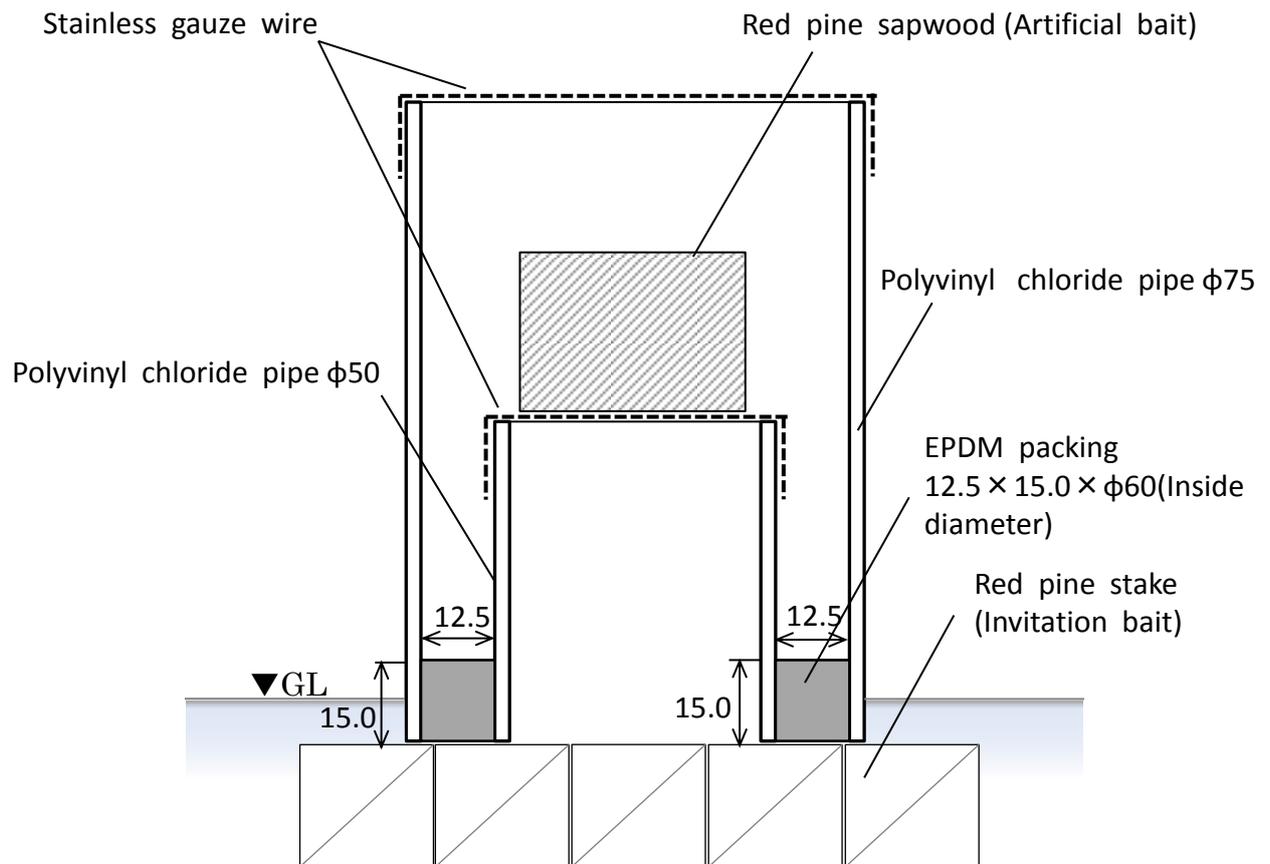


Fig.2-8. Test sample of EPDM packing for drainage piping at field experiment

2.2.4.3. 給水管系モデルエチレン・プロピレン・ジエン系ゴムパッキンの野外実験

Fig.2-9 に示す基礎コンクリートを貫通するさや管工法による給水・湯配管貫通部を模した試験体を製作した。さや管部となる内径 75mm の塩ビ製パイプソケット継手の内部に上端を PE 製 CD 管用キャップで封止した内径 28mm の CD 管を挿入し、2つの管の間に防蟻成分を添加した EPDM パッキンを取付け固定した後、アカマツ材の餌木を置き、上部を SUS 製細目網で覆い外部からのシロアリ等の侵入を防止した。ブランクは EPDM パッキンを設置せず、CD 管の全外周囲に 5mm 程度の間隙を設けた。EPDM パッキンの DOT 添加量は前述の排水系の実験結果を踏まえ、無添加、0.42%とした。また、施工時の作業精度および配管施工時の加力によって角度変化が生じた際に CD 管外面部が凹凸形状であることにより EPDM パッキンと CD 管の接する面において隙間が生じ防蟻性能が不利側となる状況を想定し、CD 管の挿入角を約 15 度傾けた試験区も設けた。

給水系用に試作した EPDM パッキンは、挿入時に角度がついた場合を想定し、弾性追従性のある構造として CD 管外面部との密着性確保を図るため、排水系に比べ硬度を下げ（デュロメーター硬度 56<排水系 62）、CD 管との接触面側に複数の襞を設けた。試験体の設置は 2.2.3 と同様に行い、試験終了後の EPDM パッキン取付部におけるシロアリの穿孔の有無を検討した。試験期間は、2009 年 7 月から 2011 年 7 月の 2 年間とした。

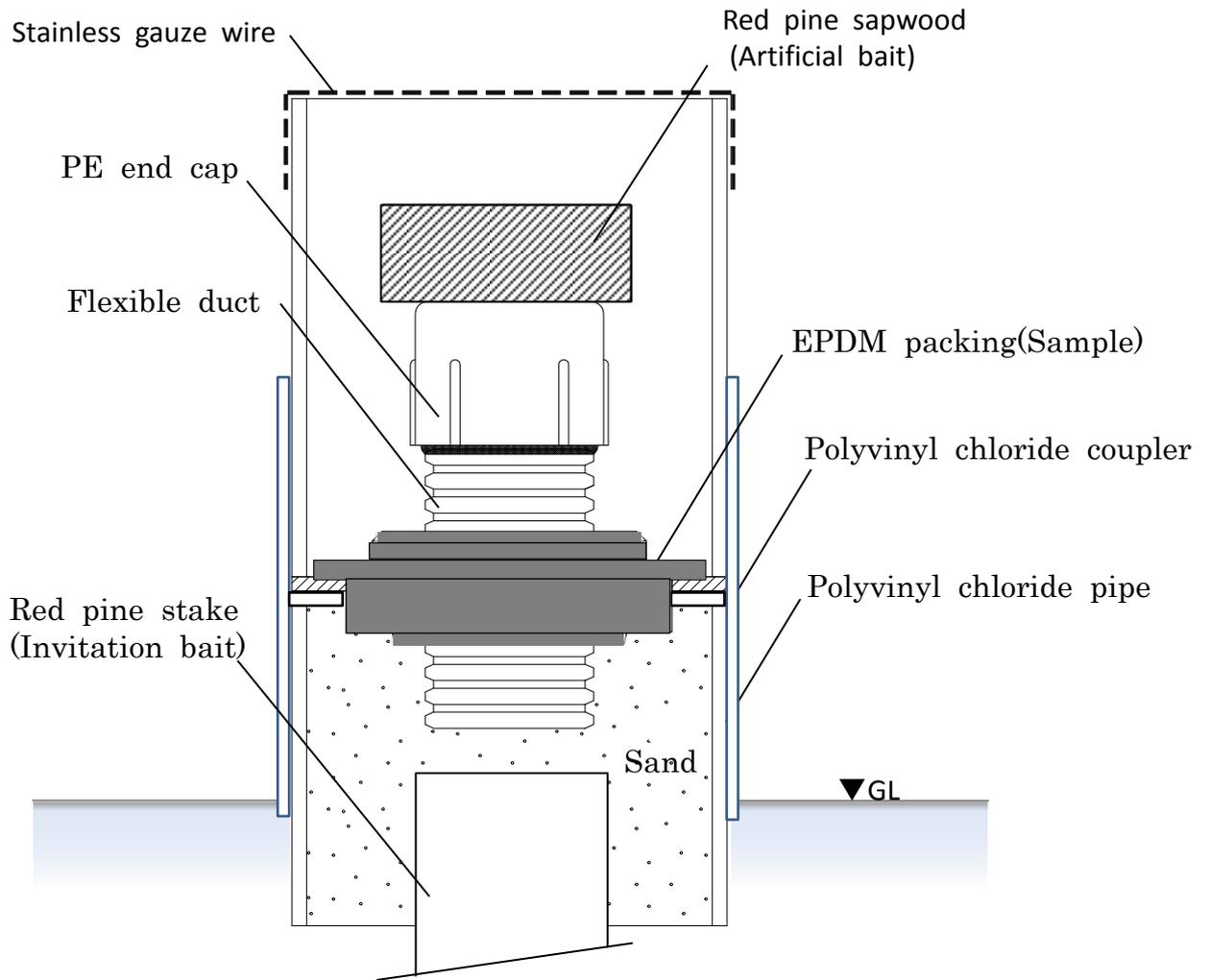


Fig.2-9. Test sample of EPDM packing for supply piping at field experiment

2.2.5. 各ゴム中の八ホウ酸二ナトリウム四水和物の残存率

一般的にホウ素系化合物は木材保存剤として広く使用されているが、水溶性の化合物であることから、処理木材から溶脱することが知られている（日本木材保存協会編，2012）。ここでも非加硫ブチルゴム及びEPDMパッキンに添加した八ホウ酸二ナトリウム四水和物(DOT)の溶脱量について検討を行った。EPDMパッキンについては、前述2.2.4.3の屋外実験終了後に回収した試料を用いたが、非加硫ブチルゴム基材については、屋外実験後の回収が難しいことから、水中での暴露実験でホウ素量の経時変化を計測した。また非加硫ブチルゴムについては接触する塩ビ材料およびコンクリート材料による影響についても検討した。

2.2.5.1. 水中暴露した非加硫ブチルゴムの八ホウ酸二ナトリウム四水和物の残存量

基礎配管貫通部では非加硫ブチルゴムの一端部が基礎外部に露出使用されることを想定し、水浸漬環境下での八ホウ酸二ナトリウム四水和物(DOT)残存量の経時変化について検討を行った。DOT添加量3%の非加硫ブチルゴムシート100mm(縦)×50mm(横)×3mm(厚さ)を同サイズの透明の塩ビプレートではさみ、スタンドで固定した網棚から吊り下げて、50mlの蒸留水を入れたプラスチック容器中に非加硫ブチルゴムシートの下端が5mm浸漬するように設置し、25°Cの室内に静置して、一定期間毎に非加硫ブチルゴムシートと浸漬に使用した水を回収した。回収した非加硫ブチルゴムシートを水浸漬部と水に浸漬していない中央部に分けて細く切断し、0.5gを秤量し、ヘキサン50ml中に浸して30分間超音波処理した。ヘキサンを分液漏斗に移し蒸留水20mlで抽出した。同様の操作を4回繰り返す。抽出液を合わせ、濾過し100mlにメスアップした後に、ホウ素量をセイコー電子工業株式会社製(現セイコーインスツル株式会社)ICP発光分光分析機(型式SPC1700, 分析波長249nm, プラズマ出力

1.2kW, アルゴンガス流量 16L/min) で測定した。浸漬に使用した水も同様に 100ml にメスアップし、ホウ素量を測定し DOT 量に換算した。試験期間は 52 週とした。

2.2.5.2. 接触部材の影響による非加硫ブチルゴムの

八ホウ酸二ナトリウム四水和物の残存量

基礎配管貫通部に用いる非加硫ブチルゴムは、塩ビパイプとコンクリート間に挟まれた状態での設置使用を想定している。これら接触材による影響を確認するため、塩ビ材およびコンクリートとの接触面を持つ試験体を作成し、非加硫ブチルゴム中の八ホウ酸二ナトリウム四水和物(DOT)の残存量を検討した。

Fig.2-10 に示すように、まず 100mm (縦) × 100mm (横) × 3mm (厚さ) の塩ビプレート上に 100mm (縦) × 100mm (横) × 25mm (厚さ) の試験体を作成できるように発泡ポリエチレンで型枠を作成し、DOT を 3.00% 添加した非加硫ブチルゴムシート 100mm (縦) × 50mm (横) × 3mm (厚さ) を塩ビプレートに貼り付け固定した後に、(株) ハウスメンダー社製のインスタントセメントを規定量の水で混練し、型枠内に流し込んで表面を均し成型し、温度 25°C 環境下で 1 週間硬化養生し試験体を作成した。試験体は室内の 25°C 環境下に保管し、一定期間経過時毎に試験体を解体して非加硫ブチルゴムを回収した。まず非加硫ブチルゴムシート表面に付着しているモルタル粉体を可能な限り除去した後、試験体の両端 (A 端, B 端) の試料 0.5 g を秤量し 2.2.5.1 と同様に抽出、測定を行った。試験施設の使用上の都合により、試験期間は 29 週とした。

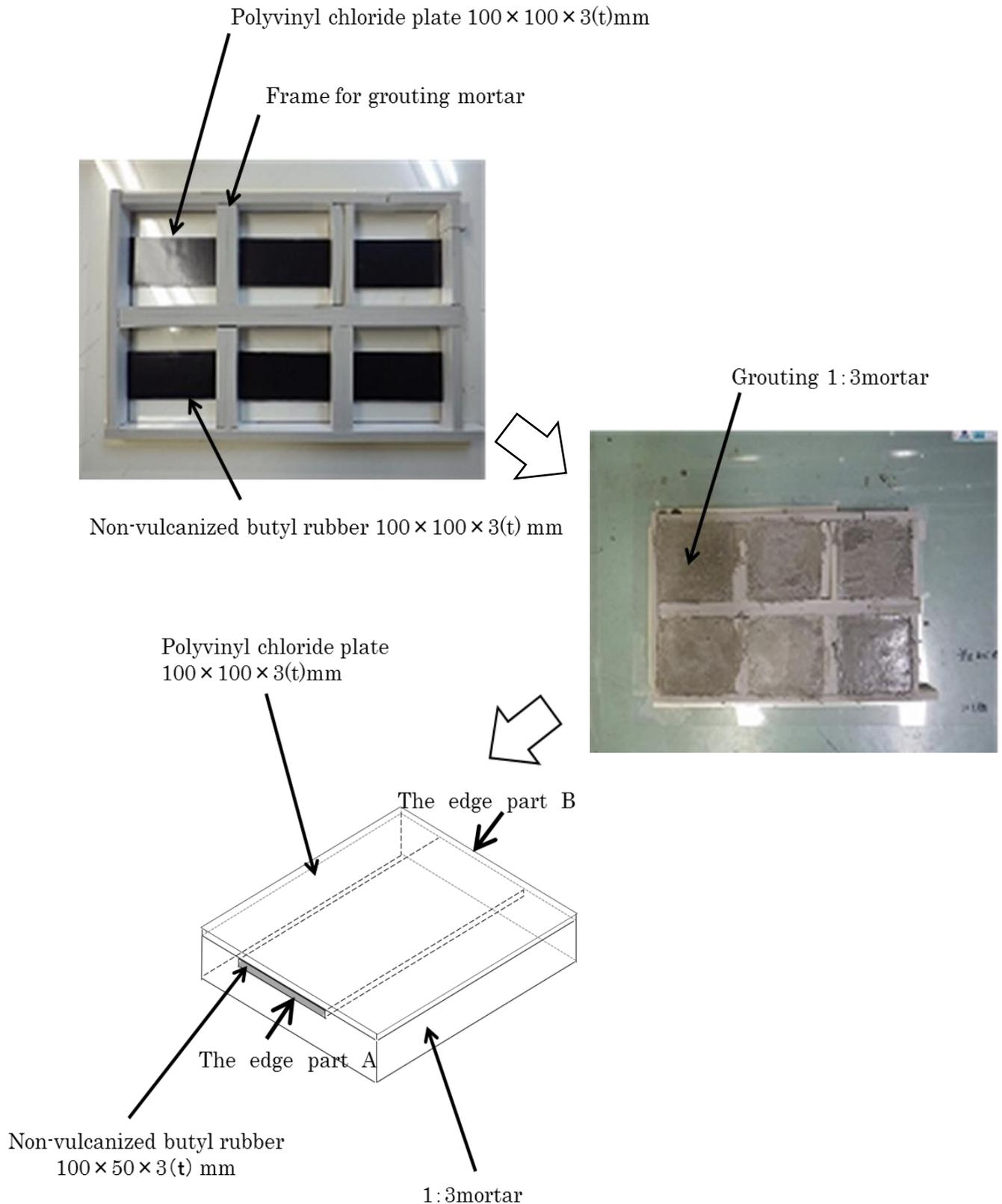


Fig.2-10. Process of making non-vulcanized butyl rubber sandwiched between contact materials

2.2.5.3. エチレン・プロピレン・ジエン系ゴムパッキン中の

八ホウ酸二ナトリウム四水和物の残存量

給水系 EPDM パッキンの野外試験で 2 年間の暴露後に回収した八ホウ酸二ナトリウム四水和物 (DOT) 0.42% 添加の EPDM パッキンについて、試験中に砂に接触していた同材の下面側表層部および外部に晒されていない材内奥部 (以下、「中央部」という。) の DOT の残存量を測定した。また、野外試験で用いた EPDM パッキンと同ロットの室内保管の EPDM パッキン (以下、「同ロット保管材」という。) の DOT 残存量を比較した。

分析には、EPDM パッキンを Fig.2-11 に示すように 6 分割し、野外実験回収分については表層および中央部の隣接しない①, ③, ⑤の 3 分割片を用いた。まず回収した EPDM パッキンを切断分割した後に、表層については 1mm 以内で薄く削ぎ取り試料とし、中央部については 6 面カットした立方体を採取し試料とした。試料約 0.2 g を PTFE 製分解容器にて精秤し、8ml の硝酸 (濃度 69%) を加えマイクロウェーブ分解装置 (ETHOS TC, マイルストーンゼネラル (株) 製) で 35 分間加圧分解を行った後、超純水を加え分解液を 100ml に定容し、バリアン (株) 製 (現アジラント・テクノロジー (株)) ICP 発光分光分析機 (型式 720-ES, 分析波長 249.678nm, プラズマ出力 1.2kW, ガス流量 15L/min) にてホウ素量の測定を行い、DOT 量に換算した。

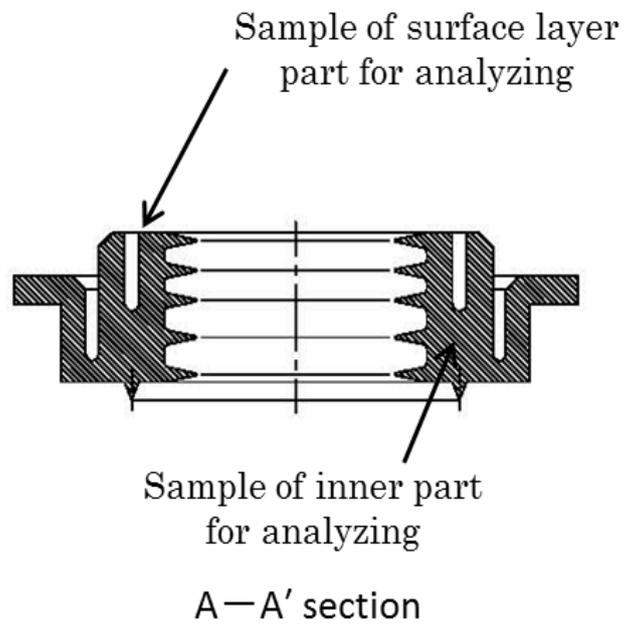
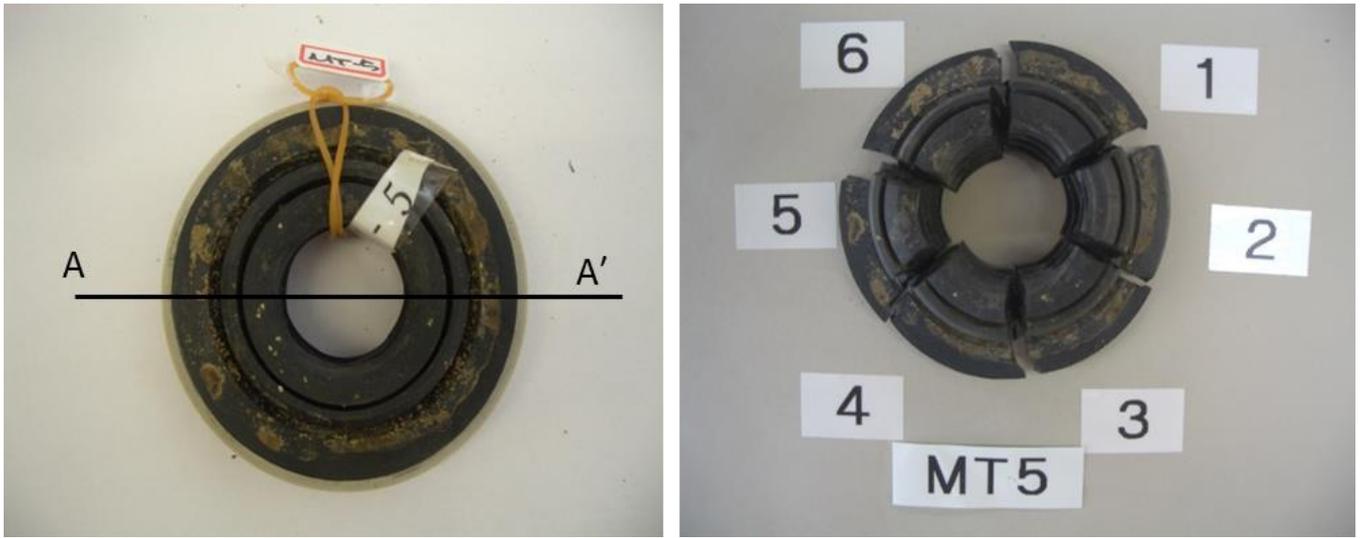


Fig.2-11. EPDM packing after field experiment and each part of samples for analyzing

2.3. 結果と考察

2.3.1. 非加硫ブチルゴムの防蟻性

非加硫ブチルゴムの室内試験穿孔試験と野外試験の結果を Table 2-2, Table 2-3 に示す。非加硫ブチルゴムへの DOT 無添加では穿孔距離が 50mm を超え貫通されるのも見られ、穿孔平均距離は 39.2mm であった。DOT を添加することで穿孔距離は小さくなり、添加量が増加するとともに穿孔距離は小さくなる傾向にあるが、添加量が 3.0% から 5.0% に増加しても、穿孔距離に有意な差は見られなかった。穿孔距離に変化の見られない DOT 3.0% を基準にし、ピェフントリンを添加すると、濃度の上昇とともに穿孔距離は減少し、0.175% 添加以上で穿孔距離はゼロになり、DOT とピェフントリンの相乗効果により防蟻効果が増加した。相乗効果はピェフントリンの忌避性によるものと推察される（日本しろあり対策協会，2015）。

Table 2-3 の野外試験の結果を見ると、非加硫ブチルゴムを張り付けていないコントロール区ではシロアリの貫通が見られたが、非加硫ブチルゴムを張り付けた試験区では、DOT 無添加、DOT の添加区とも食害や貫通は見られなかった。山野ら（1985）は、各種ゴム材料の耐蟻性試験を行い、ブチルゴム周辺部のイエシロアリによる食害が小さいことを報告しているが、本実験での非加硫ブチルゴムでの食害や穿孔は見られなかった。

また、Fig.2-12 に示したように DOT 5.0% 添加の非加硫ブチルゴムシートのラップ部からシロアリの侵入がみられた。ラップ部は約 3mm 程度重ねて貼付けを行ったが、試験体解体時の当該ラップ部の付着状態および他の侵入の見られなかった試験体においてもモルタル部と塩ビパイプ間に同程度の変位が生じていることから、侵入が見られた試験体においては、当該ラップ部の抑え付け不足により、非加硫ブチルゴムシート間に隙間が生じていたものと考えた。実際の現場でのラップ部分の施工においては、隙間が出来ないように十分に押さえ付けをする必要がある。

Table 2-2. Result of boring test for non-vulcanized butyl rubber

Additional termite protect ingredient (%)		Boring distance by termite (mm)
DOT (%)	Bifenthrin (%)	
0.0	0.0	39.2 ± 13.8**
1.0	0.0	15.6 ± 6.9
2.0	0.0	13.0 ± 4.7
3.0	0.0	7.8 ± 1.2
4.0	0.0	5.6 ± 1.4
5.0	0.0	5.4 ± 1.2
	0.050	5.2 ± 2.4
	0.100	3.0 ± 3.3
	0.125	1.6 ± 1.0
3.0	0.150	0.6 ± 0.8
	0.175	0.0 ± 0.0
	0.200	0.0 ± 0.0

**Average value and standard deviation (mm)

Table 2-3. Result of field experiment for non-vulcanized butyl rubber

Experimental No.	Non-vulcanized butyl rubber	The addition amount of DOT (%)	Presence of termite penetration
1	None	—	Penetrated 3/5
2	Attached	0.00	None
3		0.20	None
4		0.42	None
5		1.00	None
6		5.00	Penetrated 1/5
7		10.0	None

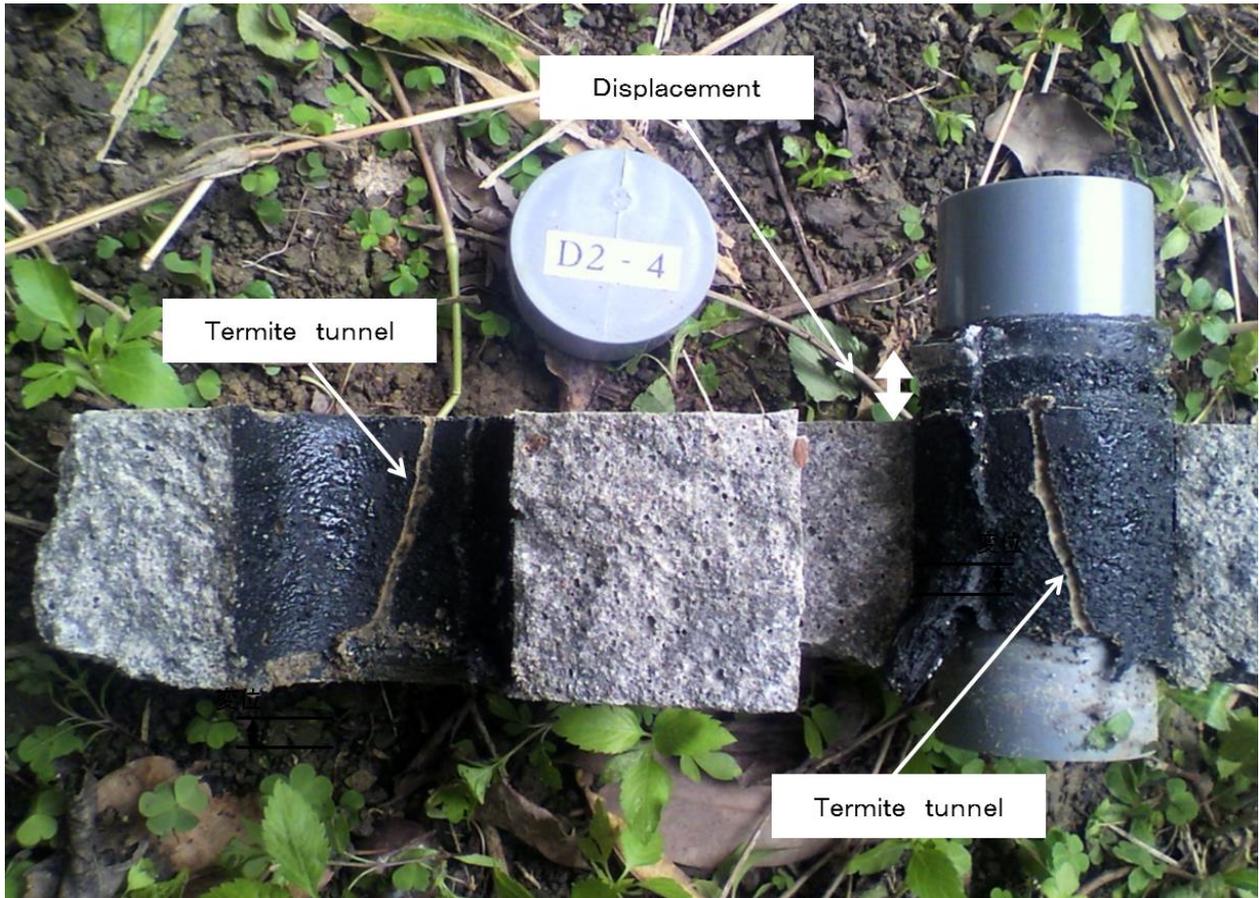


Fig.2-12. Damage of non-vulcanized butyl rubber added DOT 5% by *Coptotermes formosanus*

2.3.2. エチレン・プロピレン・ジエン系ゴムパッキンの防蟻性

EPDM パッキンの穿孔試験による食害量の結果および試験後の試料の状況を Table2-4, Fig.2-13 に示す。DOT 無添加では全試料に食害があり，食害量の平均は $19,998 \times 10^{-3} \text{mm}^3$ であった。DOT 添加では 0.15% および 0.3% の添加で $50 \times 10^{-3} \text{mm}^3$, $37 \times 10^{-3} \text{mm}^3$ となり，シロアリ食害防止効果が認められ，DOT の添加量の増加に伴い食害量も減少した。しかし，DOT 添加量が 0.3% を超えると，食害量は添加量 0.42% で $478 \times 10^{-3} \text{mm}^3$, 0.6% で $48 \times 10^{-3} \text{mm}^3$, 1.0% で $60 \times 10^{-3} \text{mm}^3$, 2.0% 添加では $32 \times 10^{-3} \text{mm}^3$ となり，DOT 添加量と食害量には単純な相関が認められない結果となった。DOT が食毒剤であることその他（日本木材保存協会編，2001），添加量によって EPDM パッキンにシロアリが食害しやすい要因が生じていることを示唆する結果であるが，本実験からは明かにすることは出来なかった。

排水管系モデル及び給水管系モデルの EPDM パッキンによる野外試験の結果を Fig.2-14, Table2-5 に示す。Fig.2-14 に示すように，EPDM パッキンを取り付けた全ての試験区で，パッキン本体およびパッキン取付部からのシロアリの侵入は見られなかった。室内試験では DOT 無添加，および DOT 添加区で食害が見られたが，野外試験では EPDM パッキンへの食害痕も見られず，DOT 無添加および DOT 添加による差も認められなかった。しかし，EPDM パッキン非設置の試験区では，塩ビパイプの外側の隙間からイエシロアリが侵入し，蟻道を構築し SUS 細目網の上部に設置した餌木への食害が見られた。

給水管系モデルの EPDM パッキンの Table2-5 の結果より，EPDM パッキン材無しでは全試験体において CD 管周囲に設けた 5mm の隙間からシロアリの侵入が見られたが，EPDM パッキンを取り付けた試験体においては，DOT 添加の有無によらず全ての試験体において EPDM パッキン自体および CD 管・塩ビ管取り合い部からのシロアリの侵入は見られず，EPDM パッ

Table 2-4. Result of boring test for EPDM packing

Addition of DOT (%)	Insect damage volume (10^{-3}mm^3)
0.00	19,998 ± 7,430**
0.15	50 ± 40
0.30	37 ± 26
0.42	478 ± 314
0.60	46 ± 45
1.00	60 ± 85
2.00	32 ± 7

**Average and standard deviation

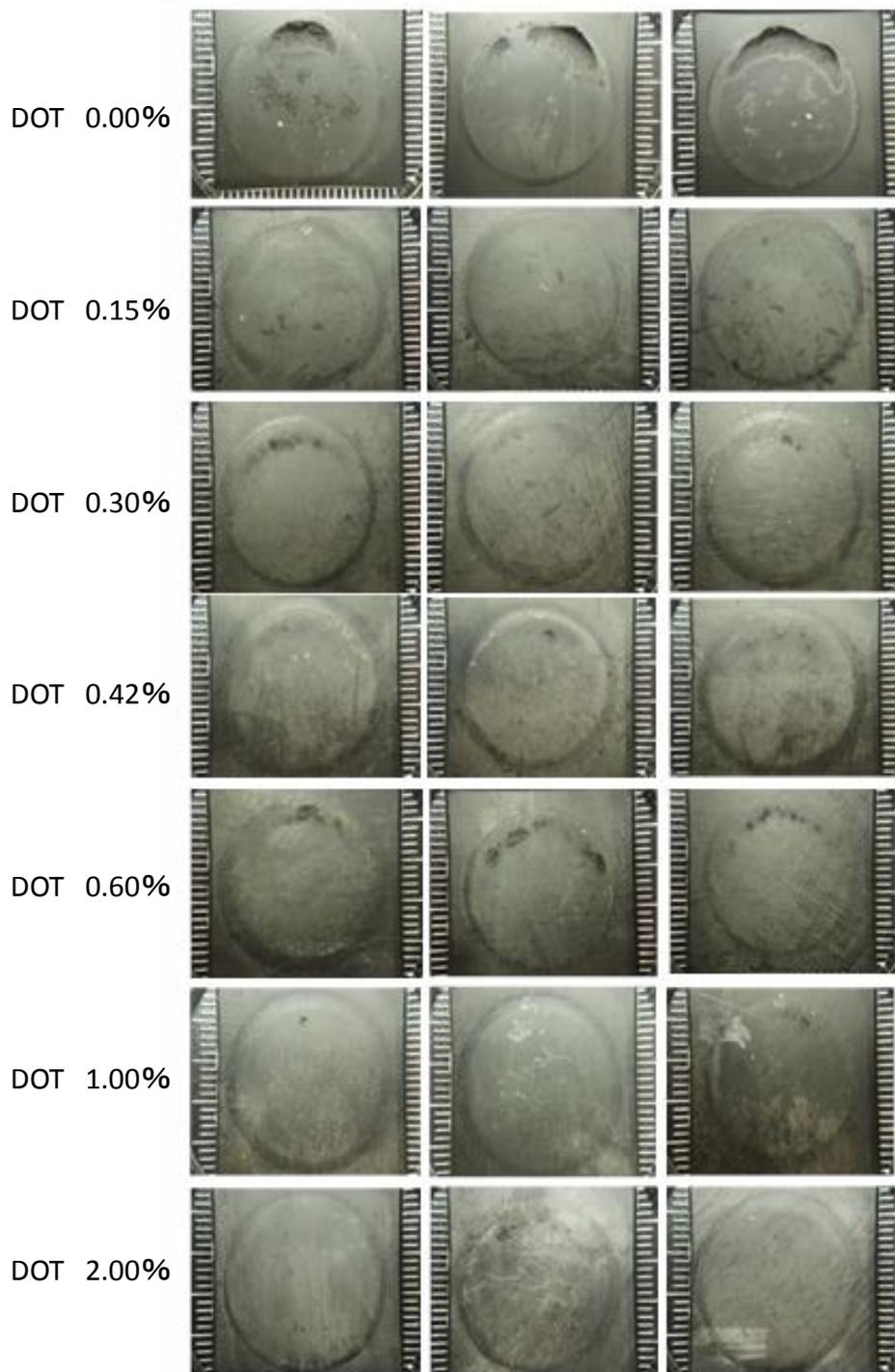


Fig. 2-13. Condition of EPDM packings after boring test

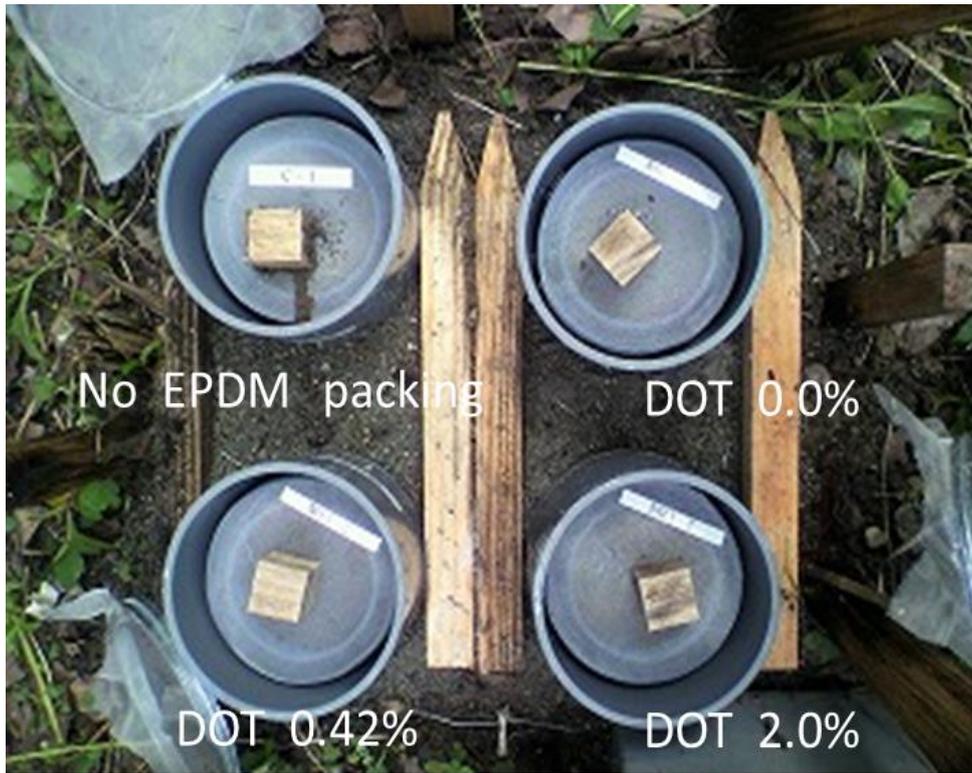


Fig.2-14. Condition of EPDM packing for drainage piping after field experiment

Table 2-5 Result of field experiment for EPDM packing for supply piping

EPDM packing	Addition amount of DOT (%)	Insertion angle of duct	Termite penetration
None		Straight	Penetrated 5/5
Attached	None	Straight	None
	0.42	Straight	None
	0.42	Inclined	None

キンのシロアリ侵入防止効果が確認された。CD 管を傾けて挿入した試験体でもシロアリによる穿孔は見られず、まっすぐ挿入した試験体と同様の防蟻効果を示した。

また、CD 管上部のポリエチレン製キャップ部では、Fig.2-15に見られるように全 20 の試験区中 15 の試験区でシロアリの貫通が見られた。キャップにおける貫通は全てキャップ内側頂部の凸部形状部からであり、シロアリの歯掛かりし易いことが貫通の要因であると考えられる (Fig.2-16)。また、山野ら (1985) は、エチレン・プロピレン・ジエン系ゴムが、まったくイエシロアリの食害を受けないことを報告し、本試験と同様の結果を得ている。以上のことから、EPDM パッキンは排水系及び給水系防蟻資材として十分に使用できると考えた。



Fig.2-15. Condition of EPDM packing for supply piping after field experiment

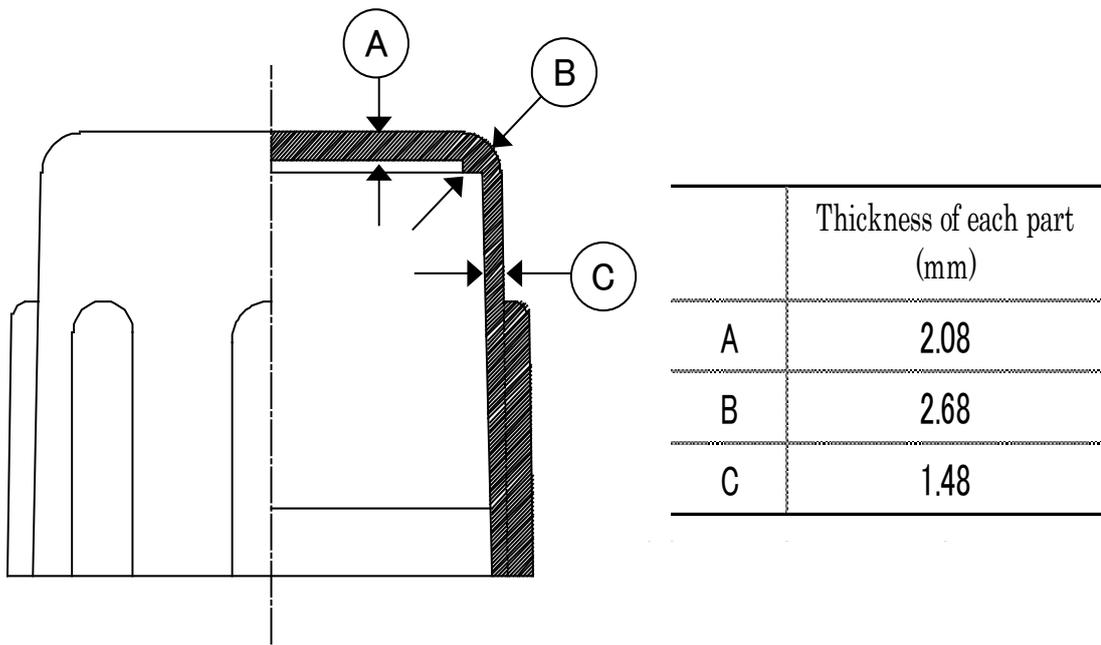


Fig.2-16. Cross section of PE end cap

2.3.3. 各ゴム中の八ホウ酸二ナトリウム四水和物の残存率

2.3.3.1. 水中暴露した非加硫ブチルゴムの八ホウ酸二ナトリウム四水和物の残存量

Table 2-6 に水中暴露した非加硫ブチルゴムの DOT の残存率を示す。非加硫ブチルゴム中の DOT 残存率は、浸漬開始時の残存率を 100%として表した。非加硫ブチルゴムの浸漬部の DOT 残存率は試験開始から減少し、16 週目まではほぼ同様の水準で推移した後、32 週および 52 週経過後では 94.6%および 92.4%となり、経過日数の増加に伴い、DOT 残存率は減少した。また、非浸水部も浸水部と同様の傾向を示すが、52 週後の残存率は 94.2%であり、浸水部より小さい傾向にあった。

浸漬水への DOT 溶脱量は、経時的に減少する傾向を示し、32W経過時の溶脱量は約 12ppm と微量であった。DOT を加圧注入したヘム・ファー土台を月に一度の浸水操作を 6 か月続けると、DOT の 45%が木材から溶脱することが報告されているが（トニー・バーンら、2002）、非加硫ブチルゴムの場合は 52 週で約 8%であった。木材では、DOT が木材中に固着されず溶脱量が多くなっているが、非加硫ブチルゴムでは混練によって DOT が物理的・化学的に固着され、溶脱量が少なくなっていると推定した。非加硫ブチルゴムからの DOT 溶脱は、開放水域など周辺環境への影響は少ないものと判断されるが、常時土中（湿度 100%）等に接するような環境で使用する場合は、貫通方向の非加硫ブチルゴムの長さ設計や初期濃度の設定の他、メンテナンス周期などの考慮が必要であると考えられる。

Table 2-6. Variation over time of DOT volume contained within non-vulcanized butyl rubber due to water eluviation

Passage of week		0W	1W	2W	4W	8W	16W	32W	52W
Survival rate of DOT (%)	Dipping part	100.0±0.7**	98.8±0.8	98.5±1.0	98.5±0.6	98.9±1.4	97.6±3.3	94.6±5.1	92.4±0.9
	Non-dipping part	100.0±0.4	99.8±0.4	99.0±1.8	97.2±1.5	98.0±0.7	97.5±3.5	97.5±2.7	94.2±1.8
DOT density of dipping water ppm		—	7.56±0.77	7.86±0.58	10.00±0.19	10.40±0.33	11.46±0.71	11.80±0.28	—

**Average and standard deviation

2.3.3.2. 接触部材の影響による非加硫ブチルゴムの

八ホウ酸二ナトリウム四水和物の残存量

Table 2-7 に接触部材の影響による非加硫ブチルゴムの DOT 残存率を示す。表中の各分析値は、試験体作成時の試料の残存率を 100%として示した。基礎配管貫通部に用いる非加硫ブチルゴムは、塩ビパイプとコンクリート間に挟まれた状態で設置され、DOT の溶脱は端部からであることから、ここでは非加硫ブチルゴムの両端部からの溶脱量を測定した。各分析時の試験体から露出するブチルゴム両端部の DOT 残存量の平均値は、試験開始後 1 週経過後わずかに減少し、29 週経過後の DOT 減少率は 6~7%で、日数の増加に伴い減少率が大きくなる傾向を示した。また、両端部ともに DOT の残存率はほぼ同様の傾向を示し、塩ビおよびモルタル等の接触材による影響については見られなかった。

Table 2-7. Variation over time of DOT volume contained within non-vulcanized butyl rubber due to contact materials

Passage of week	0	1W	2W	4W	8W	16W	29W
Survival rate of DOT (%)	Producing date of sample						
The edge part A	100.0±1.1**	98.7±0.4	98.6±0.3	97.5±0.5	97.9±3.4	94.4±8.2	93.5±0.2
The edge part B	100.0±0.3	99.1±0.4	97.2±4.3	98.1±0.7	99.6±2.0	99.2±0.4	93.7±2.1

**Average and standard deviation

2.3.3.3. エチレン・プロピレン・ジエン系ゴムパッキン中の

八ホウ酸二ナトリウム四水和物の残存量

Table 2-8 に野外試験による EPDM パッキン中の DOT 量を示す。表中の各分析値は、製造時の EPDM パッキン中央部の DOT 量を基準（添加量理論値 0.420%）として示した。製造時、2 年経過の室内保管および野外試験終了後の EPDM パッキンの中央部の DOT 残存量について見ると 3 種間に差は見られない。すなわち、製造時から 2 年経過後の室内保管試験体および野外試験体とも濃度の変化が無く、中央部においては DOT が溶脱することなく保持されている。また、表層部における DOT 量は製造時と比較すると、2 年経過後の室内保管及び野外暴露試験体で 0.04%減少した。EPDM パッキンの DOT の溶脱は表層部のみからで、中央部での溶脱は見られなかった。これらの結果から EPDM パッキンに添加された DOT は非加硫ブチルゴムとは異なった形でゴム中に保持され、溶脱しにくい構造になっていると考えた。

Table 2-8. Variation of DOT volume contained within EPDM packing

	2 years passage					
	At the time rubber produced		Stored in the room		After field experiment	
	Surface	Inner part	Surface	Inner part	Surface	Inner part
Survival rate of DOT (%)	0.415±0.010**	0.420±0.006	0.378±0.002	0.414±0.007	0.373±0.005	0.420±0.005

**Average and standard deviation

2.4. まとめ

木質住宅の基礎構造部における配管貫通部の防蟻を目的として、非加硫ブチルゴム、エチレン・プロピレン・ジエン系ゴム（EPDM）の2種のゴム基材とそれらに防蟻剤を添加したゴム基材の防蟻性を室内で検討した。また、実現場での給水および排水配管2種のさや管工法における利用を想定した形状の試験体を作成し、それらの防蟻性能を野外試験で検討した。

その結果、非加硫ブチルゴムは室内試験で八ホウ酸二ナトリウム四水和物（DOT）無添加で穿孔が見られたが、DOTを添加することで穿孔は抑えられ、ビフェントリン0.175%添加で穿孔はまったく見られなかった。野外試験ではDOT無添加、添加区とも食害・貫通は見られなかった。

EPDMも室内試験では非加硫ブチルゴムと同様の傾向を示したが、排水系及び給水系EPDMパッキンとも野外試験では食害は全く見られなかった。非加硫ブチルゴム、EPDMパッキン中のDOTの各試験における溶脱は僅かで、長期に有効な防蟻機能を維持可能なことが確認され、これらのゴム基材は、木質住宅の基礎構造部における配管貫通部の防蟻に充分使用できると考えた。

第3章 総括

我が国の住宅政策は「住宅政策 5 箇年計画」により、建設戸数目標が位置づけられていた。しかし、住宅ストック量は程無く充足を迎え、また新しい建築物を作っては壊す、住宅の平均寿命が 30 年という住政策には様々な問題が生じた。そこで平成 18 年の「住生活基本法」の施行により、良質な住宅のストック形成と長期の住宅の利活用のための耐久性の向上がますます重要とされた。「住宅の品質確保の促進等に関する法律」に基づき「住宅の性能表示制度」が運用され、基礎構造のベタ基礎による防蟻工法が、劣化対策等級の住宅の土壌部における防蟻基準に加えられた。しかし、実際の住宅においては施工の精度やコンクリートの収縮、沈下等の経時変化によるコンクリート打設部からのシロアリの侵入、床下空間における多数の配管が異なる業者により施工される現状があり、わずかな隙間を好んで侵入するシロアリにとっては好都合な状況にあると考えられる。このような状況下で、シロアリの生態（活動状況など）を十分に理解し、基礎配管貫通部に生じるわずかな隙間からのシロアリの侵入を防止し、住宅の耐久性を確保することは緊急の課題である。

本研究では、第 1 章でミニチュアハウスを建築し基礎内外におけるシロアリの活動状況や住宅への侵入経路を検討し、第 2 章では侵入経路である基礎配管部の防蟻性をゴム基材を用いて検討した。

第 1 章での実建物を模した実験の結果から、基礎の外にイエシロアリの巣から伸びた餌取り蟻道が構築され、さらにこれから蟻道を伸ばし建物内への侵入がコンクリート打継部に生じた隙間と基礎配管貫通部からであることを明らかにした。蟻道は餌取り蟻道、土間コンクリートの下部の構造物表面、基礎の入隅部に構築された。餌取り蟻道の断面は半楕円形で地表面は滑らかに加工され、地表から約 250mm の深さに構築されていた。基礎内に敷設した PE シート

の裏面に付着した蟻土の状況から基礎内の土間コンクリート下部の土中ではシロアリの活動がほぼ全域にわたっていることが観察され、基礎下部土中のシロアリの活動が実験的に確認されたのは本報告が初めてである。基礎内の蟻道はフーチングの端や基礎立ち上がりの角に沿って構築され入隅部の蟻道と繋がっていた。また、フーチング上の蟻道は基礎の内部の土中やさらに土中深くの誘引餌木まで伸び、すべての蟻道は連結されていた。このように、基礎構造面などに構築される蟻道そのものが構造物として安定すると同時に、基礎構造物土中において、降雨、振動、圧密などの蟻道構築の負荷も一般土中に比べ小さく構築しやすいものと考えた。また、基礎外部の地中に埋設された各種の配管類は、降雨その他の外部影響によらず周囲の土に比べ極めて安定した構築物で建物内へ通じていることから、配管の基礎貫通部がシロアリの侵入可能な状況であった場合は、結果としてシロアリを屋内へ誘導することになるものと推察された。また、無処理区においては、土間コンクリート出隅部と基礎入隅部の取り合い部に生じた隙間からシロアリの侵入がみられた。同部での隙間の発生を低減するには、土間コンクリートの単位水量（加水量）を増加し、ワーカビリティ（作業性）やコンシステンシー（流動性）を高めて同部への充填性を上げる方法もあるが、一方で単位水量の増加はコンクリートの収縮率を上げ土間コンクリートにおけるクラック発生リスクが高まる方向に作用することとなり（池永ら、1972：酒井ら、2008）、蟻害リスクの増加が懸念され、またコンクリート自体の強度や耐久性に対する影響が生じることなどから実際の運用には課題が多い（日本建築学会編、2015）。本実験では、各試験区の土間コンクリート面の大きさが 1700mm×790mm であり、土間コンクリートと基礎立ち上がり一般部間での隙間発生および土間コンクリート面でのクラック発生が無い状況、すなわちコンクリートの収縮影響が小さい条件下であっても、入隅部においてはシロアリの侵入可能な隙間が生じること（より注意を必要とする部位であること）が示唆された。実建物においては、区画された連続する土間コンクリート面積が大きくなり、コ

ンクリートの収縮影響による基礎立ち上がり面との隙間発生およびクラック発生リスクが増加することが考えられる。防蟻処理区では7.9年経過時でシロアリの建物基礎内への侵入は無く、防湿フィルムを兼ねた防蟻剤混入の0.1mm厚のPEシートとコンクリート打継部際への防蟻成分である0.1%ピフェントリンを吸着させた粒剤敷設（敷設量3Kg/m²、敷設幅100mm）の適所部分的な薬剤利用によって、土間コンクリート下部土中のシロアリの活動が抑制され、建物内へのシロアリの侵入防止に有用であることが認められた。

これまでに住宅のシロアリ被害に関する調査・報告はあるものの、実建物における調査が現実的には困難であることなどから、被害に至る基礎周囲のシロアリの活動状況に関する報告はほとんど無い。また、シロアリによる被害件数や被害状況については、住宅建築会社などの住宅供給者にとって営業上不利益な情報であることや、住宅建築会社傘下のシロアリ防除施工会社は発注者である住宅会社に対する守秘義務により被害に関する情報を発信し得ないこと、シロアリによる被害を対象とした損害保険（通称、「しろあり保険」という）を提供する損害保険会社においても同様に発注者である住宅建築会社や防除施工会社との契約により情報を開示出来ず、保険料率算定の根拠として秘密情報とされていることなど、シロアリ被害の全体像を把握するに必要な情報や統計、データが明らかになり難い構造がある。このような状況において、物理的防蟻工法であるベタ基礎構造が主流となりつつある中、住宅建築物の第一義的防蟻措置となる基礎周辺、特に基礎土間（あるいはスラブ）コンクリート下におけるシロアリの活動状況や行動の特徴、ならびに建物内への侵入経路を明らかにできたことの意義は大きい。

第2章での基礎配管貫通部のゴム基材を用いた実験の結果、非加硫ブチルゴムの室内穿孔試験でDOT（八ホウ酸二ナトリウム四水和物）無添加ではイエシロアリにより平均39.2mmの穿孔が見られ、DOTの添加で穿孔は抑制されるが、添加量が増加してもわずかな穿孔が見られた。このゴム材にピフェントリンを0.175%以上添加することで穿孔が全く見られず、DOTと

ビフェントリンの相乗効果で防蟻性が著しく向上した。野外試験では非加硫ブチルゴムを張り付けていないコントロール区ではイエシロアリの貫通が見られたが、DOT 無添加区、DOT 添加区とも障害や貫通は見られなかった。また、DOT5%添加区で、非加硫ブチルゴムシートのラップ部からイエシロアリの侵入が見られたことから、重ねて貼り付けを行う場合には施工時にはラップ部の十分な抑え付けが必要であることが分かった。

EPDM (エチレン・プロピレン・ジエン系ゴム) パッキンの室内穿孔試験で、DOT 無添加では全試料に食害が見られ、食害量の平均は $19,998 \times 10^{-3} \text{mm}^3$ であり、添加量が増加するに伴い食害量も減少したが両者には相関関係は見られなかった。排水管系モデルの EPDM パッキンの野外試験で EPDM パッキンを取り付けたすべての試験区でパッキン本体およびパッキン取り付け部からのイエシロアリの侵入は見られなかった。給水管系モデルの EPDM パッキンの野外試験で EPDM パッキン材無しでは全試験体に CD 管周囲の隙間からイエシロアリの侵入が見られたが、EPDM パッキンを取り付けた試験体では DOT 添加の有無にかかわらずすべての試験体でパッキン自体および CD 管・塩ビ管取り合い部からのイエシロアリの侵入は見られず、侵入防止効果が確認された。

水中暴露した非加硫ブチルゴムの DOT 溶脱量は継時的に減少するが、溶脱量は 52 週経過後も僅かであった。接触部材による非加硫ブチルゴムの DOT 溶脱量も同様に僅かであり、接触部材の影響はほとんど受けないと考えた。野外試験終了後の EPDM パッキンの DOT 溶脱量は室内で 2 年保存していた EPDM パッキンと同様であった。溶脱量は 0.04% で EPDM パッキンの表面からの溶脱であり、中心部での溶脱はほとんど見られなかった。

近年、住宅建物に対する耐震性に対する要求性能は高まっており、耐震性を高めるために基礎構造中の必要鉄筋量が増加した際には、配管貫通による基礎強度の低下を避けるため、貫通配管が従前に比べ下部に配置されることがある。また、さや管を用いない配管方法も依然とし

て多く実施されている。これらの場合においても、ゴム基材を利用した防蟻方法にて配管貫通部におけるシロアリの基礎内への侵入を防止でき、基礎構造・形状や配管方法によらず汎用性が高い防蟻方法と考える。

Fig.3-1 に実現場における配管工事終了時前後の状況事例を示した。基礎配管貫通部の防蟻処理作業については、貫通部の処理数はもとより、このような環境における対象個所の全数について確実な処理が求められる現状がある。また、近年では品質管理の観点から施工管理・検査（インスペクション）の重要性が高まっており、住宅建物の耐久性を担保する防蟻処理についても、当然ながら検査者による確認が可能であること、すなわち何らかの事由により未処理部が生じた際の発見（確認）と手当てができることが求められる状況になるものと考え。本研究で検討した配管貫通部の防蟻処理方法では、配管工事の一環として基礎貫通部の防蟻処理が同時に行われるため、配管工事種ごとに其々防蟻工事が完結し、また Fig.3-2 に示したように施工後の視認・確認も可能でインスペクションの観点からも有用性がある。さらに、部品化の効果として、これらゴム製の防蟻部品・材料をスリーブ等の配管部品とセット化することで作業現場での必要資材の不足の回避やトレーサビリティの確保が容易となることも期待され、これらのことから、本研究で目的とした実効性のある有用な防蟻方法の提言が行えたものと考え



Fig.3-1 . The instance of construction site

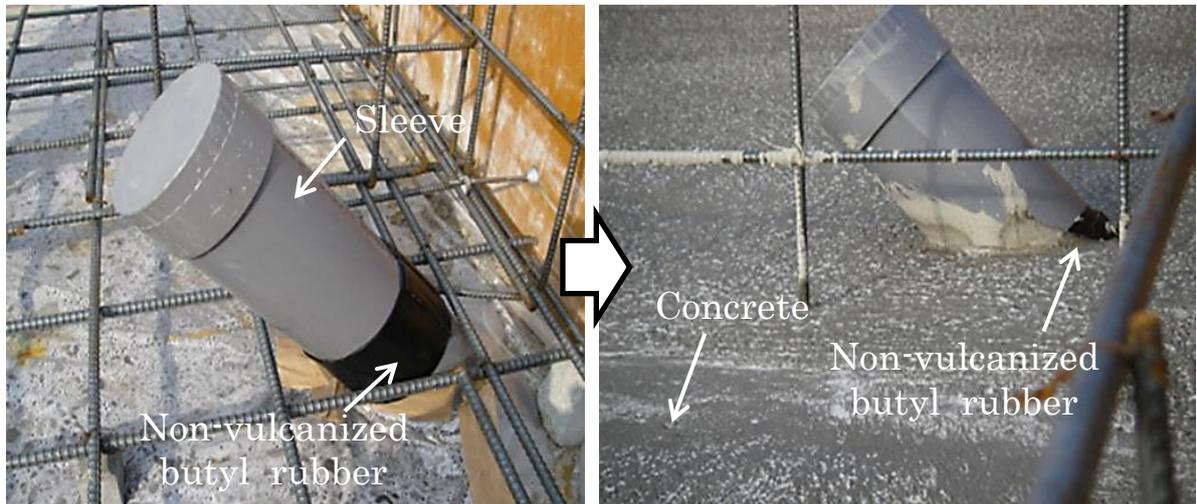


Fig.3-2. The sleeve pipe for drainage non-vulcanized butyl rubber attached

引用文献

安部拓哉著：“しろありの生態”，東京大学出版会，1989，pp.53-54.

安芸誠悦，畑朝子，筒井益生：木造軸組み工法のシロアリ対策，木材保存 32(2)，65-72 (2010).

早川ゴム株式会社：特開平 08-092987 (1996).

日高富男，森田慎一：基礎パッキンによる床下改善効果，鹿児島県工業技術センター研究報告，
NO.13，pp.79-82 (1999).

藤原智則：防蟻部材，建物基礎の製造方法，及び防蟻工法，特願 2010-43464 (2012).

池永博威，大島久次：コンクリートの乾燥収縮に伴うひびわれ発生限界に対する水セメント比，使用
単位セメント量に関する研究，社団法人日本建築学会論文報告集，11-20 (1974).

今村祐嗣，角田邦夫，吉村剛編：“住まいとシロアリ”，海青社，2000，pp.15 19 - 28 57 - 66.

木村都威：“新版 考え方・合成ゴム基礎講座”，大成社，1988，pp.32-35.

金城一彦：乾材シロアリについて，しろあり 136 号，pp.3-12 (2000).

国土交通省：住生活基本法(平成 18 年法律第 16 号) 概要，国土交通省 HP <http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jyuseikatsuho/hogaiyo.pdf> (参照 2015.12.1).

国土交通省：長期優良住宅の普及促進に関する法律関連情報，国土交通省 HP http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_tk4_000006.html (2015.12.1.参照).

国土交通省：都市の低炭素化の促進に関する法律 (平成 24 年法律第 84 号)，国土交通省 HP <http://www.mlit.go.jp/common/001046629.pdf> (2016.10.18. 参照).

国土交通省:住宅の品質確保の促進等に関する法律(平成11年法律第18号), 国土交通省 HP

<http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/torikumi/hinkaku/hinkaku.htm> (2016.7.25. 参照).

国土交通省住宅局生産課, 国土交通省国土技術政策総合研究所, 国立研究開発法人建築研究所

監修:“日本住宅性能表示基準・評価方法基準技術解説(新築住宅)”, 工学図書 東京, 2016, pp.206.

国土交通省:平成13年国土交通省告示第1347号 評価方法基準 (3)-イ-d 地盤, 国土交通省 HP

<http://www.mlit.go.jp/common/001124705.pdf> pp.66(2015.12.1.参照).

国土交通省総合政策局情報政策課建設経済統計調査室:建築・住宅着工調査 着工調査(年計),

国土交通省 HP http://www.mlit.go.jp/statistics/details/jutaku_list.html (2016.10.18. 参照).

国土交通省:特定住宅瑕疵担保責任の履行の確保等に関する法律(平成19年法律第66号), 国

土交通省 HP http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/jutaku-kentiku.files/kashitan_pocorn-er/01-rikouhou-files/1-aboutlow.files/law.pdf (2016.10.18.参照).

(公社)日本しろあり対策協会:“防除薬剤の現状”, 2015, pp.18.

三井ホーム株式会社, 株式会社ガイエンス, 株式会社コシイプレザービング, コニシ株式会社:特開

2001-247850 (2001).

長野早男:“合成ゴム加工技術全書8”, 大成社, 1983, pp.5 - 15 44 - 57.

沖田泰介:“合成ゴム加工技術全書7”, 大成社, 1972, pp.7 - 20.

Peng-Soon Ngee, Tsuyoshi Yoshimura and Chow-Yang Lee : Foraging Population and

Control Strategies of Subterranean Termites in the Urban Environment, with Special

Referenced to Baiting Jpn.J. Environ Entomol. Zool. 15(3) 197-215 (2004).

- 酒井恵美, 中井義久, 大塚秀三, 坂本亮: 調合および粗骨材の種類がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響に関する文献的研究, 社団法人日本建築学会関東支部建築梗概集, 81-84 (2008).
- (社) 住宅性能評価・表示協会: 平成 25 年度建設住宅性能評価書(新築)データ (一戸建ての住宅) <http://www.hyoukakyokai.or.jp/> (2015.7.25.参照).
- (社) 日本ゴム協会編: “ゴム技術入門”, 丸善出版, 2004, pp.36.
- (社) 日本ゴム協会編: “新版ゴム技術の基礎 (改定第 3 版)”, 大成社, 2010, pp.102 - 105.
- (社) 日本ゴム協会編: “新版ゴム技術の基礎 改訂版”, 大成社, 2016, pp. 114 - 116 122 - 124.
- (社) 日本建築学会: “建築工事標準仕様書・同解説 5 鉄筋コンクリート工事 (第 14 版)”, 丸善出版, 2015, 242 - 243 472-475.
- (社) 日本木材保存協会編 “木材保存学入門(改訂版)”, 2001, pp.152.
- (社) 日本木材保存協会 日本木材防腐工業会: 木造長期優良住宅の総合的検証事業分科会 平成 23 年度成果報告集, 平成 23 年 3 月.
- (社) 日本木材保存協会 木造長期優良住宅の総合的検証委員会耐久性分科会: 平成 21 年度国土交通省補助事業 長期優良住宅実現のための技術基盤強化を行う事業 木造長期優良住宅の総合的検証委員会耐久性分科会報告書, 平成 24 年 3 月.
- (社) 日本木材保存協会編 “木材保存学入門 (改定 3 版)”, 2012, pp.117-118.
- (社) 日本しろあり対策協会編: “シロアリと防除対策”, 2000, pp.19 49-51.
- (社) 日本しろあり対策協会編: “シロアリ及び腐朽防除施工の基礎知識”, 2011, pp.143-144.
- (社) 日本しろあり対策協会: “防除施工標準仕様書”, 2012, pp19 - 20.

総務省統計局統計調査部国勢統計課：第 5 表 住宅数及び世帯数-全国 3 大都市圏 都道府県

大都市（昭和 38 年～平成 25 年），*e-Stat*

http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_&tclassID=000001

068458&cycleCode=0&requestSender=search（参照 2016.10.18.）

須貝与志明、渡辺大輔、外丸和之、廣重亮一：シロアリが侵入できるコンクリートのスキ間，しろあり第

128 号，11-16（2004）.

杉山信吾，川越和也：現場処理，木材保存 **21**(4)，45-51（1995）.

高次博：ゴム混練におけるフィラーの取り込み・分散メカニズム，社団法人日本ゴム協会 日本ゴム協

会誌 **76**(6)，18-23（2003）.

高谷有希子，小森勇，田中愛益，小林智紀：特開 2001-247850（2001）.

十勝茂幸：コンクリートのはなし，JCM マンスリーレポート，**16**(4)（2007）.

トニー・バーン，デヴィッド・アール・ミンチン，ポール・アイ・モリス，角田邦夫：湿潤コンクリート、結露あ

るいは浸水条件に曝露した場合の処理土台からのホウ酸塩の溶脱，木材学会誌 **48**(2)，115-

121（2002）.

トニー・バーン，デイヴィッド・アール・ミンチン，ポール・アイ・モリス，角田邦夫：地下シロアリおよび腐

朽に対する八ホウ酸ナトリウム四水和物(ティンボア(R))処理家屋土台の劣化防止効果，木材

学会誌 **48**(2)，107-114（2002）.

角田邦夫，ホウ素化合物の木材保存剤としての利用(2)野外で効力評価と木質ボード処理の応用，

木材保存 **25**(6)，2-13（1999）.

屋我嗣良，河内進策，今村祐嗣編：“木材科学講座 12 保存・耐久性”，海青社，1997，

pp.37 - 41.

山野勝次, 布施芳哉: ゴム材料の耐蟻性ならびに耐菌性に関する研究, 家屋害虫 **25-26**, 29-39

(1985).

山内一馬, 大嶽謙治, 石倉祐士: 新しい時代のシロアリ防除法 ―セントリコンシステムの効

果試験 家屋害虫 **20** (1) 17 - 24 (1998).

安田いち子, 中曽根幸男, 金城一彦, 屋我嗣良: 琉球諸島および南・北大東島におけるシロアリの形

態と分布, *Japanese Journal of Entomology (N.S)*, **3**(4), 139-156 (2000).

吉村剛, 板倉修司, 岩田隆太郎, 大村和香子, 杉尾幸司, 竹松葉子, 徳田岳, 松浦健二, 三浦徹編

集: “しろあり辞典”, 海青社, 2012, pp.405-407.

横田碩二: 非加硫ブチルゴム材料と建築・土木分野への応用, *材料技術* **2**(4), 102-104 (1984).

和田恭弘, 安井通宏, 布施五郎: ビフェントリンのイエシロアリに対する防蟻効果, *木材保存* **16**(4),

15-23 (1990).

謝 辞

本論文は、筆者が鹿児島大学大学院連合農学研究科応用生命科学専攻博士課程の学生として、琉球大学農学部亜熱帯農林環境科学科の井上章二教授の下でまとめたものです。終始懇切なるご指導とご助言をいただきましたこと、心より深く御礼申し上げます。

本論文をご精読頂き有用・的確なご助言を頂いた琉球大学農学部亜熱帯農林環境科学科の高野良教授、鹿児島大学農学部生物環境学科の西野吉彦教授、審査会にて貴重なご助言を頂いた琉球大学農学部亜熱帯農林環境科学科の立田晴記教授、鹿児島大学農学部生物環境学科の寺本行芳准教授に深く感謝申し上げます。また、本研究を進めるにあたり、琉球大学の金城一彦名誉教授(元同大農学部亜熱帯生物資源科学科教授)には、在職時から退官後の長期にわたり論文構成から仔細内容に至るまで多大なるご指導を賜りました。心より深く感謝申し上げます。

元三井ホーム(株)の河合誠氏(現 CLT 協会)には、ミニチュアハウスの建設と調査に関するご理解とご尽力を、同社技術研究所の村上知徳氏には試験棟の調査にご協力を頂きました。各種防蟻試験の実施に際しては、(株)コシイプレザービングの曾我部昭好氏および川田達郎氏に多大なご協力を頂き、また早川ゴム(株)の山崎一利氏にはミニチュアハウス調査時の機器・工具の手配、非加硫ブチルゴム試料の準備・提供、ゴム製造方法に関する有用な資料のご提供を頂きました。前澤化成工業(株)の高橋信夫氏と茂木剛氏には、EPDM パッキンに関する試料の提供と分析にてご協力頂き、食害量計測では田島応用化工(株)開発部に機器使用を、計測作業では足達可奈子氏にご協力を頂きました。本研究はこれら多くの皆様のご理解とご協力、ご支援により進めることができました。ここに深く感謝申し上げます。最後に、終始明るく有形無形の応援をくれた母幸子、妻真由美、長男健太郎、長女かほりに、心から感謝し謝辞といたします。