

第5章 木造建築物の予防保全的維持管理のための床下劣化診断装置の開発

第5章 木造建築物の予防保全的維持管理のための床下劣化診断装置の開発

5.1	検討の背景と目的	5-1
5.1.1	本研究の位置づけ	5-1
5.1.2	背景と目的	5-1
5.1.3	研究の流れ	5-1
5.1.4	研究体制	5-1
5.2	既往の診断機器等の技術調査及び床下劣化診断装置への適用可能性の検討	5-3
5.3	各地の木造建築物の床下寸法等の分布調査	5-4
5.3.1	住宅金融公庫融資住宅の基礎高さの実態	5-4
5.3.2	各地の木造公営住宅の床下寸法等の分布調査	5-7
5.4	木造建築物の床下生物劣化診断装置が具備すべき要件の検討	5-7
5.4.1	目的と検討概要	5-7
5.4.2	装置が具備する点検・診断性能に関する要件	5-8
5.4.3	床下劣化診断装置のハード面の要件整理	5-9
5.4.4	生物劣化の触診検査方法の検討に必要な要件の調査・整理	5-10
5.4.5	触診検査方法の整理	5-11
5.5	木造建築物の予防保全的維持管理のための劣化診断装置の設計・試作	5-11
5.6	床下劣化診断装置の試作	5-13
5.7	劣化診断装置の機能性検証実験	5-14
5.8	木造建築物の床下劣化診断装置の改良	5-14
5.9	木造建築物の床下劣化診断装置試作機の実用性検証実験	5-21
5.9.1	実験概要	5-21
5.9.2	実験実施環境	5-21
5.9.3	走行機能の検証	5-21
5.9.4	含水率測定精度の検証	5-21
5.9.5	生物劣化検出機能の検証	5-24
5.10	床下劣化診断装置を活用した劣化診断の手順	5-27
5.10.1	劣化診断装置活用目的	5-27
5.10.2	床下劣化診断装置を活用することの利点	5-28
5.10.3	床下劣化診断装置を用いた劣化診断のフロー	5-29
5.11	まとめ	5-31

第5章 木造建築物の予防保全的維持管理のための床下劣化診断装置の開発

5.1 検討の背景と目的

5.1.1 本研究の位置づけ

本研究は、国土交通省総合技術開発プロジェクト（以下、「総プロ」）「社会資本の予防保全的維持管理のための点検・監視技術の開発」（平成 22～24 年度）のうち、中課題「(1) 構造物の目視困難な部位の点検・診断技術の開発」のなかの小課題「②画像・データによる目視困難な部位の点検・診断技術の開発」の一部として行われたものである。木造建築物の可視困難部位の劣化検査技術の開発として、木造建築物の予防保全的維持管理のための床下劣化診断装置の開発を行ったものである。

5.1.2 背景と目的

既存の木造建築物の耐久性を維持するためには、床下空間を予防保全的に維持管理する必要性が高いが、床下空間は暗所かつ狭隘であるため、人の進入が困難な場合や、作業性が低いためにできるだけ効率良く診断を行いたい場合が多いものと考えられる。こうした場合に、人が行う目視や探針等の代替として、それらと極力同等の点検・診断を床下劣化診断装置（以下、「診断装置」という。）を活用することにより、人の作業負担を軽減し診断の効率を高めることが望まれる。これにより床下劣化診断の頻度を高め、予防保全的な維持管理を促進させることができると考えられる。

そこで、狭隘かつ暗所である木造建築物の床下を、予防保全的維持管理のための診断ができる装置を開発することを目的とした。

5.1.3 研究の流れ

予防保全的維持管理のための木造床下劣化診断装置の開発に際して、平成 22 年度に同装置が具備すべき要件の整理を行った。木造建築物の床下寸法等の分布調査並びに腐朽材の診断法の検証実験を通じて、生物劣化の触診検査方法の検討を行った。また、既存診断装置の走行性能等の検証を行っている。平成 23 年度には、こうした調査検討の成果を踏まえて、診断装置の設計及び試作を行い、機能上の有効性について実験検証を行った。

以上に対して、平成 24 年度には、床下空間における劣化診断の実用性向上のために、前年度に試作した床下劣化診断装置の試作機改良を実施し、それをを用いた実用性等の検証実験を行うとともに、診断装置を活用した木造建築物の劣化診断手順の検討を行った。

5.1.4 研究体制

本研究の与条件、方向性、達成度、若しくは成果の検証のために「木造建築物の予防保全的維持管理のための床下劣化診断装置の開発委員会」を組織して、検討を進めた。表 5.1.1 に同委員会の構成メンバーを示す。

表 5.1.1 木造建築物の予防保全的維持管理のための床下劣化診断装置の開発委員会
構成メンバー

委員長	中島 正夫	関東学院大学工学部建築学科 教授
委員	土居 修一	筑波大学生命環境科学研究科 教授（平成 22, 23 年度） 筑波大学生命環境科学研究科 元教授（平成 24 年度）
〃	佐藤 雅俊	東京大学大学院農学生命科学研究科 教授
〃	矢田 茂樹	横浜国立大学 名誉教授
〃	藤井 義久	京都大学大学院農学研究科 准教授（平成 22, 23 年度） 京都大学大学院農学研究科 教授（平成 24 年度）
〃	加藤 英雄	（独）森林総合研究所構造利用研究領域 主任研究員
〃	竹内 孝常	（社）日本木材保存協会 常務理事
〃	高橋 仁	（財）建材試験センター中央試験所構造グループ 総括リーダー
〃	岡部 実	（財）ベターリビングつくば建築試験研究センター 構造性能試験研究部 主席試験研究役
〃	青木 宏之	（社）全国中小建築工事業団体連合会 会長（平成 22 年度） （一社）一般社団法人 JBN サポートセンター理事長（同 23, 24 年度）
〃	飯山 道久	（社）日本木造住宅産業協会 技術開発部長
〃	村上 知徳	（社）日本ツーバイフォー建築協会
〃	長岡 康之	（社）日本非破壊検査工業会 理事
〃	津田 千尋	一般社団法人 建築性能基準推進協議会 研究員
協力委員	豊嶋 太朗	国土交通省住宅局住宅生産課 課長補佐（平成 22 年度）
	村上 慶裕	国土交通省住宅局住宅生産課 課長補佐（平成 23, 24 年度）
〃	森 正志	国土技術政策総合研究所 住宅計画研究室長
〃	宮村 雅史	国土技術政策総合研究所建築研究部構造基準研究室主任研究官
〃	角倉 英明	国土技術政策総合研究所住宅研究部住宅生産研究室 研究官
〃	河合 直人	（独）建築研究所構造研究グループ 上席研究員（平成 22 年度） 工学院大学建築学部建築学科 教授（平成 23, 24 年度）
〃	中島 史郎	（独）建築研究所建築生産研究グループ 上席研究員
〃	山口 修由	（独）建築研究所材料研究グループ 主任研究員
〃	中川 貴文	（独）建築研究所材料研究グループ 主任研究員
〃	荒木 康弘	（独）建築研究所構造研究グループ 研究員
事務局	槌本 敬大	国土技術政策総合研究所総合技術政策研究センター 評価システム研究室長
〃	喜々津仁密	国土技術政策総合研究所総合技術政策研究センター 評価システム研究室 主任研究官（平成 22, 23 年度）
〃	脇山 善夫	国土技術政策総合研究所総合技術政策研究センター 評価システム研究室 主任研究官（平成 24 年度）
〃	大倉 靖彦	（株）アルセッド建築研究所（業務受注後のみ）
〃	山口 克己	（株）アルセッド建築研究所（〃）
〃	埴 加寿雄	（株）アルセッド建築研究所（〃）
〃	北瀬 幹哉	（株）アルセッド建築研究所（〃）

5.2 既往の診断機器等の技術調査及び床下劣化診断装置への適用可能性の検討

木造建築物や暗所、狭隘部分に対する既往の診断機器、可視化装置、非破壊検査（微小破壊検査を含む）機器に関する情報を収集し、本研究で開発する木造建築物の床下劣化診断装置に適用の可能性を整理した。

その結果、劣化診断の手法・項目については、表 5.2.1 に示す項目とすることが望ましいと考えられ、自走式点検機器は 3 社の製品を比較した結果、経費等の観点から、表 5.2.2 に示す国内某社製の床下・設備点検走行ロボットをベースとすることが最も適切であると判断された。

表 5.2.1 劣化診断の手法・内容および関連診断機器

手 法		内 容	関連診断機器	
一 次 診 断	視診	健全状態との差異の有無（部材表面の色・性状、部材の変形・破壊、付着物等）	（ルーペ、懐中電灯、カメラ） 内視鏡	1
	触診	湿り気の有無、硬さ・弾力（反発）	ドライバー	2
	打診	打音の変化	テストハンマー	3
	臭い	カビ臭の有無	—	
	温湿度	床下内の空気の温湿度の計測	温湿度計	4
二 次 診 断	含水率計測	木材に含まれる水分量（含水率）の計測	含水率計（直流電気抵抗式、高周波容量式）	5
	衝撃打込	木材への金属ピンの打ち込みによる挿入深さの計測	ピロディン	6
	穿孔抵抗	木材の穿孔による抵抗値の計測	レジストグラフ	7
	超音波	超音波の伝播速度の計測	超音波測定器	8
	電磁波	電磁波の反射波の受信	レーダ探査機	9
			ターマトラック	10
	表面温度	電磁波の検出による表面熱画像の表示	表面温度計	11
			赤外線サーモグラフィ	12
	X線	部材の内部の透視	X線撮影機	13
A E	食害に伴う振動（A E：アコースティック・エミッション）の検出	A E 検出装置	14	
ガス検出	蟻害部位、腐朽菌から発生する揮発性ガスの検出	ガスセンサー、小型ガス検出器	15	
三 次	サンプル採取（分析）	木片や菌糸などの試料を採取	採取用具（電動ドリル、ドリル用錐、ピンセット）	16

注) で囲んだ手法は、とくに重要であると想定されるもの。

表 5.2.2 自走式床下点検機器のうちで最も適切と評価された機器

機器名称 床下・設備点検走行ロボット	
①機器の使用目的	遠隔操作による、住宅床下などの狭隘・暗所部の状況の点検・撮影
②測定方法・範囲	操作方法：無線遠隔操作（手動）、パソコン画像の同時確認 乗り越え可能段差：8.5cm 運用地域：国内
③仕様等	寸法・重量：幅約 220 mm×長さ約 380 mm×高さ約 220 mm・約 7kg メーカー：国内某社（製造・販売） 装備： 照明器具 高輝度 LED 撮影カメラ 光学ズーム 26 倍。デジタルズーム 12 倍。画角最大 42 度。 無線 LAN アクセスポイント その他：搭載バッテリー（連続使用時間 60 分以上（走行条件による）） 価格：（リース方式）
	

5.3 各地の木造建築物の床下寸法等の分布調査

床下劣化診断装置の最大寸法を考慮する上で必要な、各地の木造住宅の床下高さの分布や床下の地盤面や基礎底盤上部の凹凸状況の実態及びその分布を把握することを目的とし、以下の調査を実施した。

- ① 既存住宅の床下寸法に関する技術的基準の調査（略）
- ② 住宅金融公庫融資住宅の基礎高さの実態（5.3.1）
- ③ 各地の木造公営住宅の床下寸法等の分布調査（5.3.2）
- ④ 木造公営住宅における床下寸法等の実態調査（鹿児島県の例）（略）

5.3.1 住宅金融公庫融資住宅の基礎高さの実態

1) 調査方法

住宅金融公庫（現住宅金融支援機構）の融資住宅の技術データ（『住宅・建築主要データ 調査報告』住宅金融公庫編）を基に、当該融資住宅における基礎高さの特性の把握を行った。

対象としたサンプルの概要は以下の通り。

- ・建設年次 ……昭和 63 年（1988 年）～平成 11 年（1999 年）のうちの 7 箇年分
- ・サンプル数 ……総数で 62458 件（表 5.3.1）

- ・対象住宅 ……戸建住宅、個人住宅建設資金貸付の申込に係る住宅で、公庫の設計審査に合格したもののうちの一部で、無作為に抽出されたもの。
- ・対象地域 ……全国

表 5.3.1 調査データのサンプル数

建設年次	サンプル数 (件)
昭和63年	8,886
平成元年	9,364
平成2年	9,118
平成4年	6,368
平成5年	8,545
平成7年	7,012
平成11年	13,165
合計	62,458

当該建設時期は、建築基準法においては、新耐震設計法（昭和 56 年）以降で、仕様規定の明確化（平成 12 年）以前の時期にあたる。また、当該時期における住宅金融公庫仕様書における基礎の構造・寸法に関する仕様は、以下の内容である。

布基礎の立ち上り高さ 24 cm 以上 30 cm 標準で、一体の鉄筋コンクリート造とする。
割増融資のための仕様として、立ち上り高さ 40 cm 以上とする。

2) 調査結果の概要

①基礎高さの範囲

当該住宅における基礎高さは 24 cm 以上であった。

②基礎高さの年次的傾向

基礎高さの年次的傾向を、全国について集計した結果を示す（表 5.3.2、図 5.3.1）。
結果の概要は次の通り。

- ・建設年次が新しくなるにしたがい、基礎高さは大きくなる傾向がある。とくに基礎高さ 40 cm 以上の割合は、昭和 63 年以降概ね連続的に増加している傾向である。
- ・一方で、基礎高さが小さい住宅の割合は、各年次とも一定数見られている。基礎高さ 30 cm 未満は平成 2 年（1990 年）以前で 1 割程度、基礎高さ 36 cm 未満は平成 7 年（1995 年）で 17% 程度、平成 2 年で 35% 程度である。
- ・平成 7 年以前においては、建設年次に関わらず、地域により基礎高さの高低に一定の傾向がある。紙面の制約から図は割愛したが、東海、首都圏および関東（首都圏を除く）では、他の地域に比べて基礎高さは低い。一方、北陸、北海道および九州では、他の地域に比べて高い。降雪の多い地域、多雨地域では基礎を高くする傾向が見られる。
- ・平成 11 年においては、基礎高さ 40 cm 以上が各地域とも飛躍的に増え、地域差は見られなくなってきた。

表 5.3.2 年次別の基礎の高さ（全国、昭和63年～平成11年建設）

	有効 件数	上段：件数			下段：%			0~25%			25~50%	
		2 2 6 4 cm cm 未以 満上	2 2 8 6 cm cm 未以 満上	3 2 0 8 cm cm 未以 満上	3 3 2 0 cm cm 未以 満上	3 3 4 2 cm cm 未以 満上	3 3 6 4 cm cm 未以 満上	3 3 8 6 cm cm 未以 満上	4 3 0 8 cm cm 未以 満上	4 0 cm 以 上	50~75%	75~100%
全年次（7箇年計）	62458	1043 1.7	463 0.7	2058 3.3	7447 11.9	1448 2.3	3768 6.0	1126 1.8	3344 5.4	41761 66.9		
昭和63年	8886	180 2.0	79 0.9	474 5.3	1568 17.6	352 4.0	710 8.0	248 2.8	769 8.7	4506 50.7		
平成元年	9364	199 2.1	127 1.4	672 7.2	1502 16.0	305 3.3	698 7.5	228 2.4	895 9.6	4738 50.6		
平成2年	9118	195 2.1	143 1.6	564 6.2	1336 14.7	279 3.1	620 6.8	218 2.4	692 7.6	5071 55.6		
平成4年	6368	48 0.8	16 0.3	6 0.1	1189 18.7	110 1.7	554 8.7	135 2.1	120 1.9	4190 65.8		
平成5年	8545	263 3.1	79 0.9	332 3.9	881 10.3	252 2.9	521 6.1	188 2.2	724 8.5	5305 62.1		
平成7年	7012	18 0.3	13 0.2	3 0.0	664 9.5	110 1.6	388 5.5	73 1.0	57 0.8	5686 81.1		
平成11年	13165	140 1.1	6 0.0	7 0.1	307 2.3	40 0.3	277 2.1	36 0.3	87 0.7	12265 93.2		

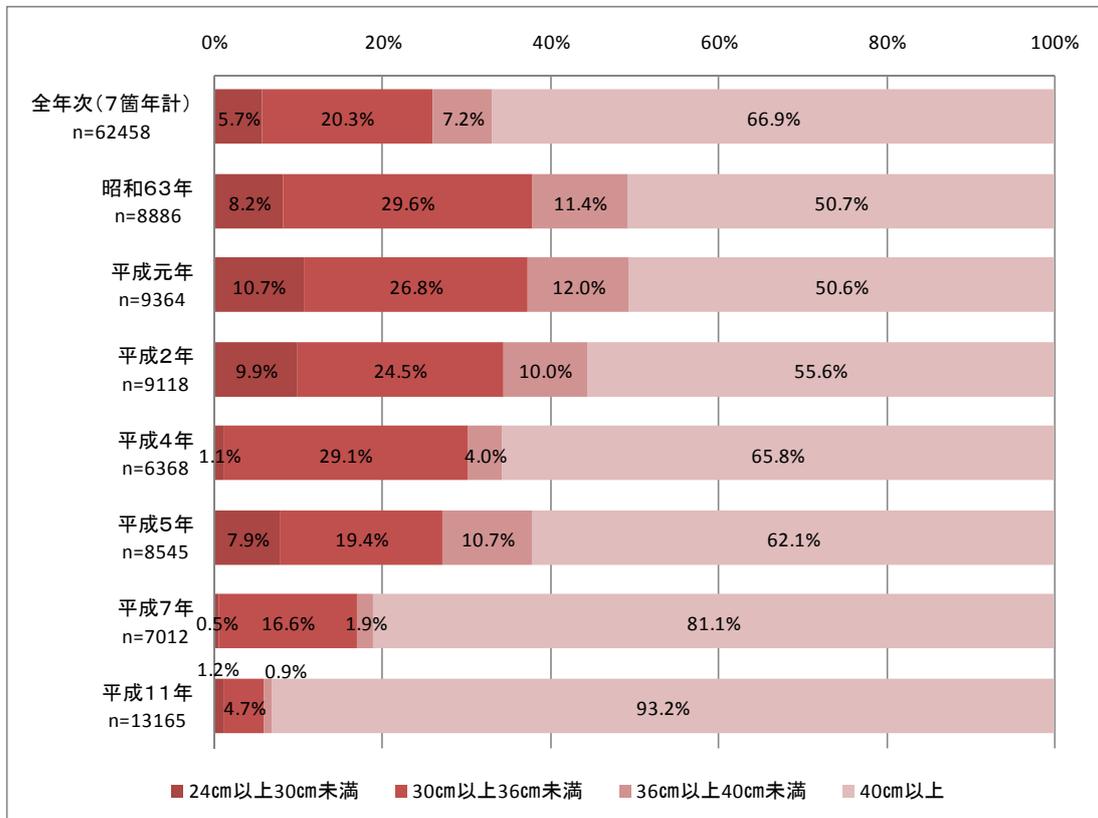


図 5.3.1 年次別の基礎の高さ（全国、昭和63年～平成11年建設）

5.3.2 各地の木造公営住宅の床下寸法等の分布調査

1) 調査方法

全国の既存の木造公営住宅のうち都道府県により管理されている住宅を対象に、所管行政庁へのアンケート調査により、基礎高さ及び床下の構造方法等の特性の把握を行った。

調査対象の住宅は、1960年度（昭和35年度）以降に建設されたもので、一団地あたりの木造住宅の管理戸数が5戸以上のもの全てとした。

なお、本調査は、国土交通省住宅総合整備課から各地方整備局を通じて、各都道県に依頼をして実施した。

2) 調査結果

サンプル数の合計は住棟数で1,651棟（戸数4,345戸）であった。基礎の高さに関する回答の有効回答数は住棟数で1,483棟であった。1980年度以前の建設戸数は僅少であった。

全年次の調査結果を合計して、図5.3.2に示す。サンプル数の偏りにより結果の信頼性が必ずしも高くはないと思われるが、全年次の集計では、北海道、関東甲信、東海・近畿、中国・四国の基礎高さが他の地域に比べて低い。降雪の多い東北、北陸が他の地域に比べてやや高く、雨の多い地域である九州が他の地域に比べて高い傾向が見られた。

全体の傾向としては、建設年次が新しくなるに従い、基礎高さは高くなる傾向が見られた。全年次の集計の全国の比率において、基礎高さが30cm未満のものが約10%、30cm以上のものが約90%であった。以上から、30cm程度の高さを想定し、床下劣化診断装置を開発することが妥当と思われる。

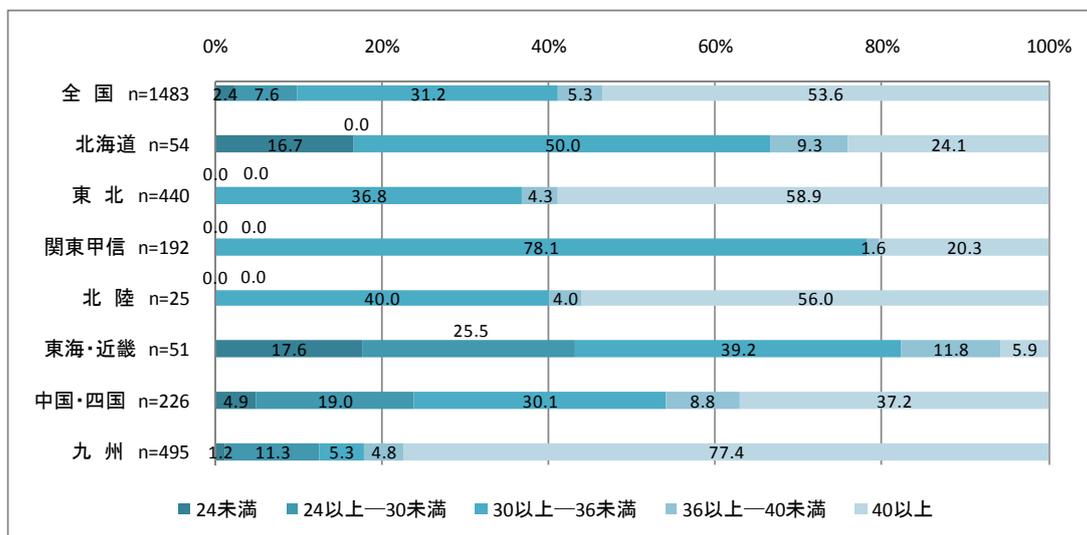


図 5.3.2 木造公営住宅の基礎の高さの分布（全年次）

5.4 木造建築物の床下生物劣化診断装置が具備すべき要件の検討

5.4.1 目的と検討概要

5.2及び5.3で得られた結果に基づき、床下劣化診断装置として、具備すべき点検・診

断性能、最大許容寸法、走行条件（障害物回避機能）その他の必要な条件について、具体的に把握することを目的とした。第1章で収集された既往の診断機器の情報からその採用の可能性を検討し、第2章の床下寸法の分布から、装置自体の外径寸法や走行性能等について検討を行った。

5.4.2 装置が具備する点検・診断性能に関する要件

①点検・診断対象項目の優先度の検討

点検・診断の機能別に、点検・診断項目を想定し、その優先度について検討を行った。

表5.4.1 点検・診断機能の優先度（案）（1：高い、2：中程度、3：低い）

	点検・診断対象項目	優先度 (案)		関連診断機器
イ.目視的 機能	・木材表面の変退色・付着物の有無・性状	1		カメラ 内視鏡
	・木材の変形・破壊の有無	1		
	・木材見え隠れ部(隙間)の性状		2	
	・水しみ跡・結露跡		2	
	・蟻道・蟻土、食痕	1		
	・コンクリートのひび割れ・欠損		3	
	・構造用金物のさび		3	
	・木材の内部の透視		3	X線
ロ.触診的 機能	・木材の湿り具合・含水率	1		含水率計(木材水分計)
	・木材の表面温度		2	表面温度計 赤外線サーモグラフィ
	・木材表面の触感	1		—
	・付着物の有無・性状	1		—
ハ.打診・探 針的機能	・木材内部の異常(空洞・腐朽等)	1		テストハンマー・ドライバー・ ピロディン・レジストグラフ
ニ.その他	・床下の環境的条件(温度、湿度、気流)	1		温湿度計 風速計
	・食害に伴う振動		3	AE検出装置
	・蟻害部位、腐朽菌から発生するガス		3	ガスセンサー
	・木材表面の臭い		3	—
	・木材の電磁波の反射状況		3	レーダー探査機 ターマトラック
	・木材の超音波の伝播速度		3	超音波測定器
	・サンプル採取(運搬)		3	採取用具

②点検・診断関連機器の装置への採用可能性の評価

点検・診断機能において優先度が高い（1）とした点検・診断項目に関連する機器について評価を行った。

表5.4.2 優先度が高いとされた点検・診断項目の評価

機器		評価① 機器の使用性・信頼度の評価			評価② 装置への組み込み可能性の評価			総合評価
		操作性	判断の容易性	結果の信頼度	搭載の容易性(サイズ・重量)	作動性	コスト	
イ 目視	カメラ	◎	△	○	◎	◎	○	◎
	内視鏡	○	△	△	○	△	△	△
ロ 触診	木材水分計	△	○	○	○	△	○	○
ハ 打診・探針	テストハンマー	○	△	△	○	△	◎	○
	ドライバー	○	○	△	○	△	◎	○
	ピロディン	△	△	△	△	△	△	△
	レジストグラフ	×	△	△	×	×	△	×
ニ その他	温湿度計	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎

5.4.3 床下劣化診断装置のハード面の要件整理

第2章で得られた結果を基に床下劣化診断装置の基本仕及び機能性能・作動性能等について設定条件（案）の検討を行った。

①基本仕様

		設定条件(案)	主な関連検討項目
外形寸法	最大幅寸法	250mm程度	進入口のサイズ、束のピッチ、束と基礎立ち上がりのクリアランス 床下高さ
	最大長さ寸法	350mm程度	
	最大高さ寸法	200mm程度 段差乗り越え時の最高高さが [※] 300mm以内程度	
重量	基準重量	—	持ち運び・据え置きの容易性、機器使用時の必要反力
	機器搭載時の重量	—	
電源		—	供給方法(内臓バッテリー)、持続性

②機動性能要件

		設定条件(案)	主な関連検討項目
走行性	走行速度	—	
	床仕様への対応性	砂面での空転の抑制を検討する	
	乗り越え可能段差	100mm程度	人通孔立ち上り高さ、配管等の寸法
	転回半径	—	狭隘部、隅部のスペース
	障害物回避性	—	

5.4.4 生物劣化の触診検査方法の検討に必要な要件の調査・整理

床下劣化診断装置のうち、触診検査部として具備すべき要件を検討するにあたって必要な技術的な情報を以下の技術資料から情報収集した。

- ・「木造住宅の耐久設計と維持管理・劣化診断」：(財)日本住宅・木材技術センター，2002.8.
- ・「実務者のための住宅の腐朽・虫害の診断マニュアル」改訂版：(社)日本木材保存協会，2007.3.
- ・「木造建築物の耐久性向上技術」：(財)国土開発技術研究センター建築物耐久性向上技術普及委員会，1986.9.

触診とは、一般的には人の手で木材を触ることにより、湿り気の有無や硬さ・弾力等を検出し、蟻害や腐朽の状態を診断するものであるが、本検討では木材を先端の尖ったドライバー等で突き刺すことにより木材内部の空洞や腐朽等の異常を検出する探針も含めて触診と位置付ける。

床下の木部に係る点検箇所、点検項目及び診断方法について整理を行った(表 5.4.3)。また、触診による点検・診断対象項目及び関連診断機器について整理を行った(表 5.4.4)。

表 5.4.3 床下の点検箇所と項目・方法

点検箇所		点検項目	診断方法
床下	土台、床束、大引、根太、床板	蟻道	目視
		蟻害 腐朽	触診

表 5.4.4 触診による点検・診断対象項目及び関連診断機器

診断方法	点検・診断対象項目	関連診断機器
触診	1)木材の湿り具合・含水率	含水率計(木材水分計)等
	2)木材表面の触感	
	3)木材内部の異常(空洞・腐朽等)	ドライバー、ピロディン、レジストグラフ等

5.4.5 触診検査方法の整理

触診による点検・診断の一般的な方法について以下に記す。ただし、本検討では人が床下に侵入することにより行う点検・診断を床下劣化診断装置により代替することを検討しており、人に替わって測定するための診断機器や診断方法および診断結果の評価方法の検討が必要である。

それらについては、別途実施した「土台・大引きの触診圧力のしきい値探査(案)」、「腐朽した木材のめり込み試験及び含水率測定精度検証実験(案)」、及び「生物劣化材料による接合部のせん断性能把握(案)」(参考資料に添付)において検討した。

1) 木材の湿り具合・含水率

木材表面に結露等によって水滴状の水分が付着している、内部の含水率が約30%以上で繊維飽和点以上であると、木材腐朽菌が繁殖を始めるため、手で触って湿った感じがする場合や、指で押してみても軟らかい感じがしたり水分が滲んだりする場合には、具体的な腐朽の徴候が見えなくても腐朽を促進する環境にあると判定できる。

2) 木材表面の触感

木材を指で押した時の硬さ、弾力により内部に空洞(蟻道等)や脆弱部(腐朽)があるかを判定する。硬く弾性に富んでいれば健全と判断し、軟らかく表面を押しても戻りが悪いような場合には劣化があるのではないかと判断する。

3) 木材内部の異常(空洞・腐朽等)

2) 木材表面の触感の診断においては、指で押して反応のある領域(深さ)には限りがあり、触診ではあくまで表面近くのみ情報が得られるのみであるため、健全部、変色域、割れや穴等にマイナスドライバーや千枚通しを突き刺し、その入り方や、採取された木片、突き刺した部位の状態から劣化の状態を判定することが可能である(探針または突き刺し診)。

また、探針は木材内部の蟻害の探知の他、表面が腐朽している木材の腐朽の広がりや腐朽深さが点検も可能である。

5.5 木造建築物の予防保全的維持管理のための劣化診断装置の設計・試作

前節までの検討状況を踏まえて、以降に示す劣化診断装置を試作した。設計の仕様は表 5.5.1 に示すとおりである。

表 5.5.1 劣化診断装置の設計仕様

■ : 必須要件 □ : 実現可能性の検討 □ : 検討対象外(必要に応じて次年度以降検討)

項目		仕様			
		開発要件	仕様		
概要		床下劣化診断用(目視、探針、測距・採寸、含水率、温湿度)	床下劣化診断装置試作機 (T社E2をベースとした改良)		
装置姿					
基本仕様	外形寸法	長さ	403mm	475mm α (ケーブル分)	
		幅	230mm	260mm	
		高さ	220mm	通常時:287mm 延伸時:525mm	
	重量	本体重量(含む電池)	9.9kg	9.9kg(9.0 \pm 0.6)	
		最大積載重量	-	18.1kg(9.0 \pm 0.6 \pm 8.5)	
	電源	使用電池	Ni-MH ※7Hオキシジナル	Ni-MH ※7Hオキシジナル(既存のまま)	
	防水・防塵性	防水	機器の所定動作及び安全性を指する量の塵埃は入らないこと。 水の飛沫(あらゆる方向からの噴霧)に対して保護すること。	IP54相当(既存のまま) ※7H実測値(診断機部分防水・防塵性未対応)	
		耐砂性	砂面走行の際に駆動部への砂の混入による破壊のないこと。	既存のまま	
	機動性能・ 作動性能	走行性	最大走行速度(平地走行時)	0.1~1.2km/h(3段階に変速可能)	0.1~1.2km/h(3段階に変速可能)
			連続走行可能時間(平地走行時)	1h	1h ※往測定条件での値
作動性能		登坂可能角度(スリップのないこと)	45°	診断機器搭載前:約30°(滑りにくい面)搭載後:12°	
		床仕様への対応	コンクリート、土、砂等多様な床仕様や床面状況に対応ができること。特に砂面での走行時にクローラーの空転を抑制できるようにすること。	クローラーによりコンクリート、土、砂等多様な床仕様や床面状況に対応が可能。ただし、砂地走行時はゴム製カバーを使用(既存のまま)	
		障害物乗り越え性能	角型断面の障害物への対応	乗り越え可能段差 D120 \times H50ないしは100の人通孔立上り部の乗り越え可能性を検討	H38mmは可、H43mmは不可
			機器到達高さ	地盤面+370mmを目標	地盤面+385(H38mm乗り越え時)
丸型断面の障害物への対応		乗り越え可能段差	89 ϕ の排水管の乗り越え可能性を検討	H38mmは可、H49mmは不可	
		機器到達高さ	地盤面+430mmを目標	地盤面+340mm(H38mm乗り越え時)	
走行位置明示性		現在走行している位置や向きを特定できる措置を施すこと。 位置認識の方法は極力単純かつコストのかからない方法の採用を検討する。	一定頻度毎(1秒~30分間隔に設定可能)にカメラ画像を自動保存可能し、走行位置明示性の検証を行う。 *本体の位置をブザーにより特定 *電圧・パルス値により走行方向認識(8方向表示)の可能性を検討中。		
診断性能		目視	照明	高輝度白色LED(輝度可変可能) 光の量の段階的な調整が可能となること。 照射角の調整(ワイド:60°程度~スポット:20°程度)が可能となること。 照明器具は、カメラ撮影時に影にならない位置に設置すること。	*高輝度白色LED(輝度可変可能)(既存のまま) *補助カメラ撮影用LED設置検討中
	カメラ		ズーム機能	光学ズーム	光学ズーム:21倍(既存のまま) デジタルズーム:2倍
		画角		最大51°	画角:最大51°(既存のまま)
		水平可動		350°(±175°)	350°(±175°)(既存のまま)
		垂直可動		-10~90°	-10~90°(既存のまま)
	補助カメラ	土台の上側、フーム・ドーム等を対象とした床下上部の劣化状況や診断機器の作動状況・測定値等の確認のために動画及び静止面の撮影を可能とすること。	*カメラを上下可動させ、床裏、土台、大引、根太の劣化状況を目視診断可能とする。 *診断機器の作動状況の確認のために動画(avi方式)及び静止面の撮影を行う。		
	探針	診断操作	検出	*木部の劣化状況を把握するために、ドライバー等で突き刺すことにより抵抗値を計測でき、走行装置の操作者が即時にその値を数値で確認できること。	目視可能範囲:H260mm~500mm(対象からの離れ800mm時) 画角:水平120°、垂直90°(若干ひずみあり) ドライバー等の触診圧力を圧力センサーにて測定 *探針部を上下可動させ、床裏、土台、大引、根太の劣化状況を診断可能とする。 *ドライバー押し付け時のクローラーの滑り、浮きの確認可 診断可能範囲:H260mm~500mm 最大触診圧力値500N以上(すべりやすい面でも200Nまで可)
			発見状況確認	測定する状況を補助カメラ等で確認を行うこと。	*探針部の貫入状況をメインカメラ及び補助カメラにて確認する。また貫入深さは探針部に目盛を記す等により確認できるようにする。
		測定結果確認	無線送信	PCへ測定データを無線送信	PCへ測定データを無線送信
			含水率	診断操作	*診断時には針状の電極等を用いて劣化診断対象部位に確実に突き刺した測定を可能とする。また、測定条件の設定(樹種等)は極力簡易で汎用性がある診断機器を採用すること。
含水率	発見状況確認	電流抵抗式含水率計の針状電極部を診断対象部に突き刺して測定する状況を補助カメラ等で確認を行うこと。	電流抵抗式含水率計の針状電極部を診断対象部に突き刺して測定する状況をメインカメラ及び補助カメラで確認。		
		測定結果確認	補助カメラを用い、測定表示を撮影	PCへ測定データを無線送信(3月末までに実現予定)	
	温湿度	診断操作	既存温湿度計を搭載し随時測定できること。 測定の節目や頻度の間隔を設定できるようにすること。	*既存温湿度計を搭載し随時測定	
			発見状況確認	試作機本体の走行上支障にならない位置に設置し、随時測定を行うこと。	*試作機本体の走行上支障にならない位置かつモーター等の発熱による影響がない位置に設置し、随時測定
測距・採寸	診断操作	劣化部位等の位置特定等のために床下劣化診断装置から対象部位までの距離の測定や診断対象部位における劣化範囲等の採寸を可能とすること。	*測定対象にレーザー光線を照射させ、その反射状況により対象までの距離を測定(200mm~10mまで可) *縮尺距離を把握している2点のレーザー光線を照射し、その点を定規として寸法を測定		
		発見状況確認	測定対象にレーザー光線を照射させ、その照射状況を主カメラで画像確認を行うこと。	*測定対象にレーザー光線を照射させ、その照射状況を主カメラで画像確認を行う。(PC画面上でスケール表示確認)	
	測定結果確認	無線送信	PCへ測定データを無線送信	PCへ測定データを無線送信	
		診断機器搭載方法	走行上の課題への対応	診断機器はトランス&ク配置し、極力走行安定性を確保すること。 診断機器は極力前方に取り付けることにより、重心を前方に配置し、乗り越え性能の確保を目指すこと。等	診断機器はトランス&ク配置し、極力走行安定性を確保する。 診断機器は極力前方に取り付けることにより、重心を前方に配置し、乗り越え性能の確保を目指す。
通信性能	通信方式	無線LAN方式	無線LAN方式		
		障害物対応	*床板が厚板合板(厚30mm程度)、ALC板(厚100mm程度)、積層床板(厚38~150mm程度)、耐火、重量衝撃等の軽減化を企図して石膏ボードを付与した床構造の際も通信が可能となること。	*戸建住宅範囲はカバー可能 *床面に遮蔽物がある場合の通信性能の確保 *床裏面パネルに使用されているアルミ箔による影響を確認する。	
		その他	使用可能温度範囲	-10~40℃程度	0~40℃(-10℃のコードスタート確認)

5.6 床下劣化診断装置の試作

前節までに示した設計仕様に基づいて試作機を製作した。以下に試作機の写真及び諸元（表 5.6.1）を示す。

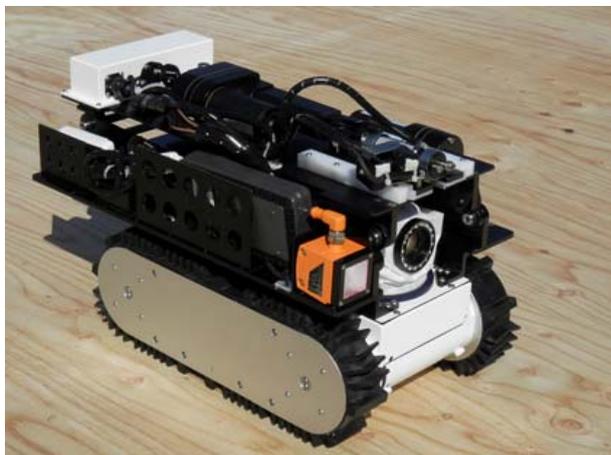


写真 5.6.1 全景

表 5.6.1 試作機の諸元

■ 諸元

外形寸法	幅	264 mm
	長さ	500 mm
	高さ	最低(通常時)
最高(延伸時)		530 mm
主な保有機能		走行機能 含水率測定機能 生物劣化検出機能 遠隔操作機能



写真 5.6.2 正面



写真 5.6.3 背面



写真 5.6.4 左側面



写真 5.6.5 右側面

5.7 劣化診断装置の機能性検証実験

検証実験用のフィールドを用いて以下の項目について検証実験を行った。

- ・ 走行性能の検証
- ・ 走行位置明示性の検証
- ・ 目視診断性能の検証
- ・ 探針診断性能の検証
- ・ 含水率診断性能の検証
- ・ 温湿度診断性能の検証
- ・ 測距・採寸性能の検証
- ・ 通信性能の検証

いずれについても概ね良好な結果を得た。実験結果については紙面の関係から割愛する。

5.8 木造建築物の床下劣化診断装置の改良

改良を行った主な内容は以下の通りである。これら以外に、平成 23 年度試作装置で搭載した各種機能の向上のための改良も講じているが、それらを含む改良内容の全体像については、表 5.8.2 にまとめて整理している。

1) 土台等の部材への水平方向に連続的な生物劣化診断機能の向上

— 診断部の回転機構の付加（手動型、電動型の 2 種類の機構の設定）

平成 23 年度試作装置では、劣化診断機器を装置の走行方向と同一軸上に固定して設置していたため、土台等の部材を劣化診断する際に、部材に対して装置本体を直交する適正な位置に配置する手間を要し、その位置調整のための操作時間が十分に必要となった。この操作時間を短縮して、劣化診断の効率性を高めるために、土台等の部材を水平方向に連続的に診断できる機構とすることとした。すなわち、本年度の試作装置では、診断機器をベースプレートと称する板状の台に搭載し、そのベースプレートに装置が走行する方向に対して 90° 回転する機構を付加し、装置本体を転回させることなく走行している向きのまま、ベースプレートのみを回転して診断部を診断対象に対して適正な位置に配置できるようにした。これにより土台等に診断装置は土台等に平行している状態で、ベースプレート（診断機器）を 90° 回転させて、部材を水平方向に連続的に診断することが可能となった。

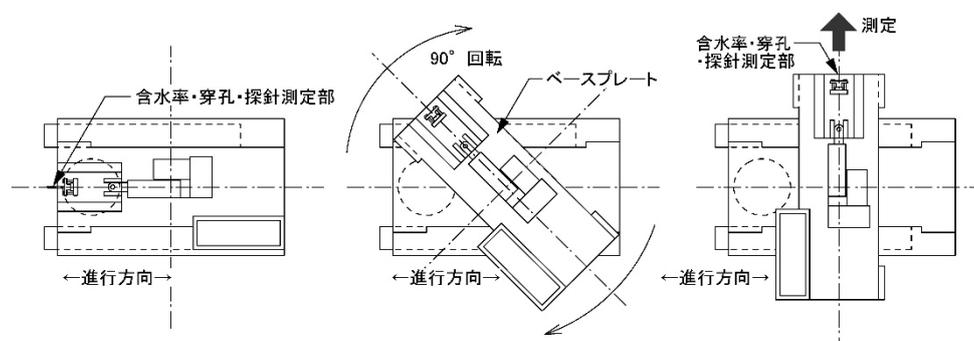


図 5.8.1 診断部の回転機構の付加イメージ

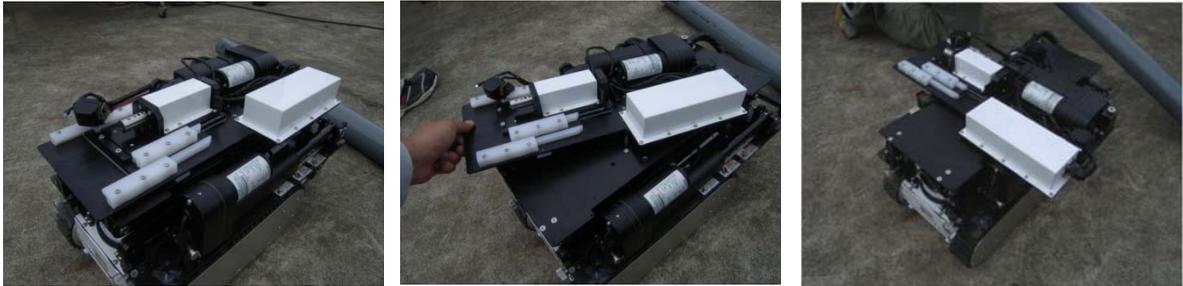


写真 5.8.1 診断部の回転機構の付加（手動型）

この診断部の回転機構は、診断装置では手動型及び電動型の2種類とした。それぞれ下表のような特性（長所・短所）がある。

表 5.8.1 診断装置の特性

手動型	<ul style="list-style-type: none"> ・ベルトなどの回転に必要な機構が不要であることから、装置の小サイズ化に適している（当該装置は床下空間にゆとりのない場合の使用に適する）。 ・装置の投入時に人の手により、ベースプレートを横向きに回転させておくことが必要となる。
電動型	<ul style="list-style-type: none"> ・ベルトなどの回転機構が付属するので、装置のサイズがやや大きくなる（当該装置は床下空間にゆとりのある場合の使用に適する）。 ・床下内の任意の場所においてベースプレートを回転させることが可能である（診断対象箇所までは、ベースプレートを通常位置の状態、装置を走行させることができる）。

また、診断対象物に対して診断部を適正な位置に調整するために、装置から対象物までの距離を計測できる赤外線測距センサを装置の前部・後部の2箇所に設置し、操作時に操作画面に計測した距離を表示して詳細な位置の確認・調整を行いやすいようにした。また、操作画面上に診断装置と診断対象との正対関係を把握するためのラインをガイド線として表示した。

2) 後方確認機能の向上

平成 23 年度試作装置では、走行時等に装置後方の障害物を検知することが困難であったために、平面的に狭隘な部分などで装置が床束や基礎立ち上がり部に接触するケースや、装置の転回が円滑に行えないなどの面があった。この点を改善するために、本年度の試作装置では、後方確認用の広角の小型カメラを装置本体の後方に設置し、操作時に操作画面上で後方の状況を確認できるようにした。

3) 障害物乗り越え性能の向上

平成 23 年度試作装置では、目視診断が主機能である既存の床下点検用走行装置に診断機器を搭載したために、装置全体の重量が増加するとともに、重心位置が変動したことにより、元々の装置が有していた障害物乗り越え性能が低下した。本年度の試作装置では、装置本体の後方にフリッパーと称する支持用の補助部材を設置し、床面の段差や配管などの障害物の乗り越え時などに装置を後方から支え持ち上げる機能を付加した。

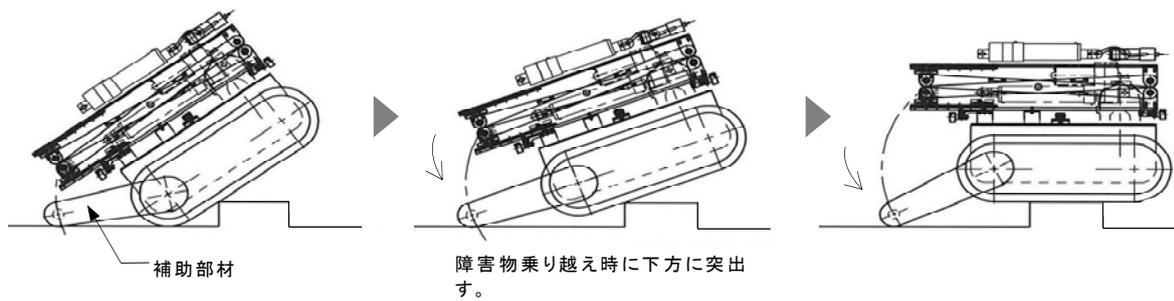


図 5.8.2 フリッパーを利用した障害物の乗り越えのイメージ



写真 5.8.2 フリッパーを利用した障害物の乗り越えの状況

4) 簡易な穿孔機能の追加

平成 23 年度試作装置では、生物劣化検出機能に関しては、部材にドライバーを押し当て、その圧入反力とドライバーの部材への貫入量を計測する探針機能を搭載した。本年度の試作装置では、これに加え、部材内部の劣化状況を診断するために簡易な穿孔機能を追加した。具体的には、回転式ドリルの先端に穿孔用の針(既存のレジストグラフ〔迅速(準)非破壊式抵抗測定装置：IML 社製〕の針と同等のものを使用)を装着し、ドリル(針)を回転させながら診断対象部に押し込み、押し込み時の荷重および回転軸に生じる力(トルク)の値を計測して劣化状況を診断する機構とした。



写真 5.8.3 診断部に追加した穿孔機能

5) サンプル採取機能の追加

本年度の試作装置では、生物劣化検出機能をさらに強化するために、サンプル採取機能を新たに追加した。これは床下部の木材表面に菌糸や腐朽菌が存在しているかどうかを、実際の木材から試料(サンプル)を採取して分析することで診断しようとするものである。

具体的には、回転式のドリルの先端に、先端をやや凸状にした面に紙やすりを貼付した筒状の部材を装着し、ドリルを回転させながら診断対象部に押し当て、回転時に紙やすりによって削り取られた木材表面の試料を筒状部材表面の穴から当該部材の中に格納して保管し、後に人の手により収納できる機構とした。



写真 5.8.4 診断部に追加したサンプル採取機能

6) 診断データの保存機能の向上

診断装置を用いて記録・保存する対象のデータを再整理し、その取り扱いをできるだけ容易に行えるように改良した。データの種類は、次の表にまとめるとおりである。とくに生物劣化検出機能を強化するために、探針機能、穿孔機能を用いて収集した計測データについては、事後の解析を行えるよう時刻歴で CSV ファイル形式で取り出せるようにした。

以上に加えて、平成 23 年度試作装置で搭載した各種機能の向上のための改良も講じているが、それらを含む改良内容の全体像を表 5.8.2 に整理した。

表 5.8.2 床下劣化診断装置の改良内容（全体一覧）-1

：平成23年度試作装置に対して改良を行った内容を示す。

項目		平成24年度		平成23年度	床下劣化診断装置(既製品)		
		床下劣化診断装置改良機①(手動型)	床下劣化診断装置改良機②(電動型)	床下劣化診断装置試作機	(T社E2)		
装置姿							
基本仕様	外径寸法	長さ	通常時:設計値500mm(計測値510mm) フリッパー使用時:設計値550mm(計測値542mm)	640mm(計測値640mm)	466mm	403mm	
		幅	BP正面向き時:設計値261mm(計測値260mm) BP横向き時:設計値404mm(計測値406mm)	BP正面向き時:設計値261mm(計測値260mm) BP横向き時:設計値454mm(計測値475mm)	260mm	230mm	
		高さ	通常時:設計値291mm(計測値291mm) 延伸時:BP正面向き時 設計値531mm(計測値528mm) :BP横向き時 設計値531mm(計測値525mm)	通常時:設計値296mm(計測値292mm) 延伸時:設計値536mm(計測値528mm)	通常時:290mm 延伸時:530mm	220mm	
		診断機能搭載プレート	設計値W261mm×L404mm(計測値W260mm×L406mm)	W261mm×L454mm(計測値W260mm×L475mm)			
	重量	本体重量(含む電池)	11.80kg	同左	9.6kg(9.0+0.6)	9.6kg(9.0+0.6)	
		総重量	21.70kg	22.75kg	18.1kg(9.0+0.6+8.5)	—	
	電源	使用電池	Ni-MH		Ni-MH	Ni-MH	
	防水・防塵性		IP54相当※T社実測値		IP54相当※T社実測値	IP54相当※T社実測値	
	走行機能	操作性	診断対象と装置との平行状態確認	操作PC画面上に描画されたガイド線を用いて診断対象との平行状態の確認が可能(メインカメラ画像・水平ガイド線、サブカメラ:カメラの焦点に追従した複数のドット)			
		走行性	最大走行速度(平地走行時)	計測値1.0km/h(最高速)		0.1~1.3km/h(3段階に変速可能)	0.1~1.3km/h(3段階に変速可能)
連続走行可能時間(平地走行時)			約50分程度		1h ※T社測定条件での値	1h ※T社測定条件での値	
登坂可能斜度(スリップのないこと)			約12°		約12°	約30°(滑りにくい面)	
床仕様への対応性			クローラーによりコンクリート、土、砂等多様な床仕様や床面状況に対応が可能。		クローラーによりコンクリート、土、砂等多様な床仕様や床面状況に対応が可能。ただし、砂地走行時はゴム製カバーを使用(既存のまま)	クローラーによりコンクリート、土、砂等多様な床仕様や床面状況に対応が可能。ただし、砂地走行時はゴム製カバーを使用(既存のまま)	
障害物乗り越え性能		角型断面の障害物への対応	乗り越え可能段差	BP正面向き時:85mm BP横向き時:85mm (診断機器等搭載前と同じ高さ[85mm]の角型障害物の乗り越えが可能。)	BP正面向き時:85mm (診断機器等搭載前と同じ高さ[85mm]の角型障害物の乗り越えが可能。)	H38mmは可、H43mmは不可	85mm
			機器到達高さ	BP正面向き時:前方部・地盤面+375mm(H85mm乗り越え時) 後方部・地盤面+414mm(H85mm乗り越え時) BP横向き時:前方部・地盤面+375mm(H85mm乗り越え時) 後方部・地盤面+390mm(H85mm乗り越え時)	BP正面向き時:前方部・地盤面+420mm(H85mm乗り越え時) 後方部・地盤面+495mm(H85mm乗り越え時)	地盤面+385mm(H38mm乗り越え時)	地盤面+350mm(H85mm乗り越え時)
		丸型断面の障害物への対応	乗り越え可能段差	BP正面向き時:VU管外径75mmφ BP横向き時:VU管外径60mmφ	BP正面向き時:VU管外径75mmφ	H38mmφは可、H49mmφは不可	H89mm
			機器到達高さ	BP正面向き時:前方部・地盤面+365mm(VU管外径75mmφ乗り越え時) 後方部・地盤面+365mm(VU管外径75mmφ乗り越え時) BP横向き時:前方部・地盤面+350mm(VU管外径60mmφ乗り越え時) 後方部・地盤面+355mm(VU管外径60mmφ乗り越え時)	BP正面向き時:前方部・地盤面+415mm(VU管外径75mmφ乗り越え時) 後方部・地盤面+373mm(VU管外径75mmφ乗り越え時)	地盤面+340mm(H38mmφ乗り越え時)	地盤面+320mm(H89mm乗り越え時)
		障害物乗り越え時の障害物と装置底部の接触抵抗軽減	フリッパーに樹脂製カバーを設置することにより、障害物から降りる際のフリッパーの引っ掛かりの軽減を実現 フリッパー駆動部収納ボックスに樹脂製カバーを設置することにより、障害物から降りる際のフリッパー駆動部収納ボックスの引っ掛かりの軽減を実現				
走行位置明示性		一定頻度毎(1秒~30分間隔に設定可)にカメラ画像を自動保存可能し、走行位置明示性の検証を行う。		一定頻度毎(1秒~30分間隔に設定可)にカメラ画像を自動保存可能し、走行位置明示性の検証を行う。	一定頻度毎(1秒~30分間隔に設定可)にカメラ画像を自動保存可能し、走行位置明示性の検証を行う。		
		本体の位置をブザーにより特定		本体の位置をブザーにより特定	本体の位置をブザーにより特定		
		参考情報として電子コンパスにより、進行方向の方位を表示		参考情報として電子コンパスにより、進行方向の方位を表示			

表 5.8.2 床下劣化診断装置の改良内容（全体一覧）-2

：平成23年度試作装置に対して改良を行った内容を示す。

項目	平成24年度		平成23年度	床下劣化診断装置(既製品) (T社E2)		
	床下劣化診断装置改良機① (手動回転タイプ)	床下劣化診断装置改良機② (電動回転タイプ)	床下劣化診断装置試作機 (T社E2をベースとした改良)			
診断性能	基本機能	診断部昇降性	バンタグラフを用いて診断部を搭載したプレートの円滑な上下動が可能。 診断部芯位置 BP正面向き時：通常時275mm～延伸時510mm[可動高さ235mm] BP横向き時：通常時275mm～延伸時508mm[可動高さ233mm]	バンタグラフを用いて診断部を搭載したプレートの円滑な上下動が可能。 診断部芯位置 BP正面向き時：通常時270mm～延伸時511mm[可動高さ241mm] BP横向き時：通常時275mm～延伸時512mm[可動高さ237mm]	バンタグラフを用いて診断部を搭載したプレートの円滑な上下動が可能 (最高高さ：通常時290mm～延伸時530mm[可動高さ240mm])	
		診断部回転性	手動にて90°右回転可能。	電動にて90°右回転可能。		
		診断部脱着性	画像診断に限定した診断を実施するために、診断部を前方2ヶ所、後方2ヶ所に設置したローレットビスにて容易に脱着可能 前方2ヶ所、後方2ヶ所に設置したローレットビスにて堅固に固定可能			
画像診断機能	照明	高輝度白色LED(照度可変可能) 補助カメラ撮影用LED		高輝度白色LED(照度可変可能) 補助カメラ撮影用LED	高輝度白色LED(照度可変可能)	
		カメラ	撮影方式	動画撮影 静止画撮影及び記録		動画撮影 静止画撮影及び記録
	ズーム機能		光学ズーム：21倍 デジタルズーム：2倍		光学ズーム：21倍 デジタルズーム：2倍	光学ズーム：21倍 デジタルズーム：2倍
	焦点		オートフォーカス及びマニュアルフォーカス可		オートフォーカス及びマニュアルフォーカス可	オートフォーカス及びマニュアルフォーカス可
	絞り		オートアイリス(自動絞り)可		オートアイリス(自動絞り)可	オートアイリス(自動絞り)可
	画角		画角：最大51°		画角：最大51°	画角：最大51°
	水平可動		350°(±175°)		350°(±175°)	350°(±175°)
	垂直可動		-10～90°		-10～90°	-10～90°
	補助カメラ	前方補助カメラ	カメラを上下可動させ、床東、土台、大引、根太の劣化状況の画像診断が可能 目視可能範囲 BP正面向き時：設計値H273mm～513mm (計測値H275mm～510mm) BP横向き時：設計値H273mm～513mm (計測値H275mm～508mm) 画角：水平120°、垂直90°(若干ひずみ有)		カメラを上下可動させ、床東、土台、大引、根太の劣化状況の画像診断が可能 目視可能範囲 BP正面向き時：設計値H278mm～518mm (計測値H270mm～511mm) BP横向き時：設計値H278mm～518mm (計測値H275mm～512mm)	カメラを上下可動させ、床東、土台、大引、根太の劣化状況の画像診断が可能 目視可能範囲：H260mm～500mm(対象からの離れ90mm時) 画角：水平120°、垂直90°(若干ひずみ有)
		後方補助カメラ	床下劣化診断装置後方の障害物の状況の確認が可能 目視可能範囲 BP正面向き時：設計値H273mm～513mm (計測値H275mm～510mm) BP横向き時：設計値H273mm～513mm (計測値H275mm～508mm) 画角：水平120°、垂直90°(若干ひずみ有)		床下劣化診断装置後方の障害物の状況の確認が可能 目視可能範囲 BP正面向き時：設計値H278mm～518mm (計測値H270mm～511mm) BP横向き時：設計値H278mm～518mm (計測値H275mm～512mm)	
静止画撮影機能	・1秒～30分間隔の自動撮影及び任意の瞬間の撮影が可能 ・カメラ撮影画面及びセンサ値を含む操作画面全体をbmp形式で保存が可能		・1秒～30分間隔の自動撮影及び任意の瞬間の撮影が可能 ・カメラ撮影画面及びセンサ値を含む操作画面全体をbmp形式で保存が可能	・1秒～30分間隔の自動撮影及び任意の瞬間の撮影が可能 ・カメラ撮影画面及びセンサ値を含む操作画面全体をbmp形式で保存が可能		
	・1～16fpsでの撮影が可能 ・カメラ撮影画面及びセンサ値を含む操作画面全体をavi形式で保存が可能		・1～16fpsでの撮影が可能 ・カメラ撮影画面及びセンサ値を含む操作画面全体をavi形式で保存が可能	・1～16fpsでの撮影が可能 ・カメラ撮影画面及びセンサ値を含む操作画面全体をavi形式で保存が可能		
含水率測定機能	診断操作	既存電気抵抗式含水率計の電極を対象物に突き刺し、含水率及び圧力値の測定及び測定データ(csv形式)の保存が可能。		・既存電気抵抗式含水率計の電極を対象物に突き刺し、含水率を測定(測定データの保存機能なし)		
		同左		・床東、土台、大引の位置に診断部の高さを合わせて突き刺し、当該部位の含水率の測定が可能		
		診断部を右方向に90°回転させることにより、水平部材の連続的な含水率の測定が可能。				
		同左		含水率計押し付け時の装置本体の傾斜角度(前方及び後方)の確認が可能		
	診断可能範囲 BP正面向き時：設計値H273mm～513mm (計測値H275mm～510mm) BP横向き時：設計値H273mm～513mm (計測値H275mm～508mm)		診断可能範囲 BP正面向き時：設計値H278mm～518mm (計測値H270mm～511mm) BP横向き時：設計値H278mm～518mm (計測値H275mm～512mm)	診断可能範囲：H264mm～504mm		
	発現状況確認	同左		含水率計の針状電極部を診断対象部に突き刺して測定する状況をメインカメラ及び補助カメラで確認。		
測定結果確認	操作PCへ測定データを無線送信し、計測データ(csv形式)の保存が可能。		操作PCへ測定データを無線送信			

表 5.8.2 床下劣化診断装置の改良内容(全体一覧)-3

： 平成 23 年度試作装置に対して改良を行った内容を示す。

項目	平成24年度		平成23年度	床下劣化診断装置(既製品) (T社E2)		
	床下劣化診断装置改良機① (手動回転タイプ)	床下劣化診断装置改良機② (電動回転タイプ)	床下劣化診断装置試作機 (T社E2をベースとした改良)			
穿孔抵抗(生物劣化検出機能・1)	診断操作	レジストグラフ針(1.5mmφ)による木部への時刻歴による圧力値、トルク値及びストローク値の測定とデータ(csv形式)の保存が可能。 穿孔時の装置本体の傾斜角度(前方及び後方)の確認が可能 診断可能範囲 BP正面向き時:設計値H273mm~513mm (計測値H275mm~510mm) BP横向き時:設計値H273mm~513mm (計測値H275mm~508mm)		診断可能範囲 BP正面向き時:設計値H278mm~518mm (計測値H270mm~511mm) BP横向き時:設計値H278mm~518mm (計測値H275mm~512mm)		
	発現状況確認	レジストグラフ針を診断対象部に突き刺して測定する状況を補助カメラで確認が可能。				
	測定結果確認	操作PCへ測定データを無線送信し、計測データ(csv形式)の保存が可能。				
探針(生物劣化検出機能・2)	診断操作	ブラスドライバーによる木部への時刻歴による押し込み荷重及びストローク量の測定及び測定データ(csv形式)の保存が可能。 床東、土台、大引の位置に診断部の高さを合わせて突き刺し、当該部位の劣化状況の確認が可能 診断部を右方向に90°回転させることにより、水平部材の連続的な劣化状況の確認が可能。 ドライバー押し付け時の装置本体の傾斜角度(前方及び後方)の確認が可能 診断可能範囲 BP正面向き時:設計値H273mm~513mm (計測値H275mm~510mm) BP横向き時:設計値H273mm~513mm (計測値H275mm~508mm)		診断可能範囲 BP正面向き時:設計値H278mm~518mm (計測値H270mm~511mm) BP横向き時:設計値H278mm~518mm (計測値H275mm~512mm)	ブラスドライバーによるの木部への触診圧力値をロードセルにより測定(測定データの保存機能なし) 床東、土台、大引の位置に診断部の高さを合わせて突き刺し、当該部位の劣化状況の確認が可能 ドライバー押し付け時の装置本体の傾斜角度(前方及び後方)の確認が可能 診断可能範囲:H264mm~504mm 最大触診圧力値500N以下	
	発現状況確認	探針部の診断対象部への貫入状況を補助カメラにて確認可能。		探針部の診断対象部への貫入状況をメインカメラ及び補助カメラにて確認可能。 貫入深さは探針部に目盛を記す等によりメインカメラにて確認可能。		
	測定結果確認	操作PCへ測定データを無線送信し、計測データ(csv形式)の保存が可能。		操作PCへ測定データを無線送信		
サンプル採取(生物劣化検出機能・3)	採取操作	サンプル採取用ヘッドを診断対象部に押し当てサンプルを採取 採取可能範囲 BP正面向き時:設計値H273mm~513mm (計測値H275mm~510mm) BP横向き時:設計値H273mm~513mm (計測値H275mm~508mm)		採取可能範囲 BP正面向き時:設計値H278mm~518mm (計測値H270mm~511mm) BP横向き時:設計値H278mm~518mm (計測値H275mm~512mm)		
	採取状況確認	サンプルを採取する状況を補助カメラで確認が可能。				
	採取サンプル確認	床下点検口等の投入口まで装置を戻し、ヘッドのキャップを外して採取状況を確認することが可能。 簡易検査キットを用いて検査するために必要な量(90mm ³ 程度)のサンプル採取が可能				
温湿度	診断操作	約0.1秒ごとの温湿度データの記録・保存が可能。		既存温湿度計を搭載し随時測定(測定データの保存機能なし)		
	発現状況確認	試作機本体の走行上支障にならない位置かつモーター等の発熱による影響がない位置に設置し、随時測定		試作機本体の走行上支障にならない位置かつモーター等の発熱による影響がない位置に設置し、随時測定		
	測定結果確認	操作PCへ測定データを無線送信し、計測データ(csv形式)の保存が可能。		操作PCへ測定データを無線送信		
測距・採寸	測距	診断操作	装置本体の前後右側に装置進行方向に直交する向きに赤外線距離センサーを搭載し、装置本体と本体右側に存する基礎立上り等との離隔距離を測定		・測定対象にレーザー光線を照射させ、その反射状況により対象までの距離を測定(200mm~10mまで可)	・測定対象にレーザー光線を照射させ、その反射状況により対象までの距離を測定(200mm~10mまで可)
		発現状況確認	操作PC上で測定数値にて確認		・測定対象にレーザー光等を照射させ、その照射状況を主カメラで画像確認を行う	・測定対象にレーザー光等を照射させ、その照射状況を主カメラで画像確認を行う。
		測定結果確認	操作PCへ測定データを無線送信し、計測データ(csv形式)の保存が可能。		・操作PCへ測定データを無線送信	・操作PCへ測定データを無線送信
	採寸	診断操作	・離隔距離を把握している2点のレーザー光線を照射し、その点を定規として寸法を測定		・離隔距離を把握している2点のレーザー光線を照射し、その点を定規として寸法を測定	・離隔距離を把握している2点のレーザー光線を照射し、その点を定規として寸法を測定
		発現状況確認	・測定対象にレーザー光等を照射させ、その照射状況を主カメラで画像確認を行う。(PC画面上でスケール表示確認)		・測定対象にレーザー光等を照射させ、その照射状況を主カメラで画像確認を行う。(PC画面上でスケール表示確認)	・測定対象にレーザー光等を照射させ、その照射状況を主カメラで画像確認を行う。(PC画面上でスケール表示確認)
		測定結果確認	・操作PCへ測定データを無線送信		・操作PCへ測定データを無線送信	・操作PCへ測定データを無線送信
通信性能	通信方式	無線LAN方式		無線LAN方式	無線LAN方式	
	障害物対応	・戸建て住宅範囲はカバー可能 ・床暖房パネルに使用されているアルミ箔による影響なし。 ・床面に遮蔽物がある場合は通信不可		・戸建て住宅範囲はカバー可能 ・床暖房パネルに使用されているアルミ箔による影響なし。 ・床面に遮蔽物がある場合は通信不可	・戸建て住宅範囲はカバー可能 ・床暖房パネルに使用されているアルミ箔による影響なし。 ・床面に遮蔽物がある場合は通信不可	
その他	使用可能温度範囲	-10℃~40℃		-10℃~40℃	-10℃~40℃	
	床下空間への投入・引揚げの容易性	劣化診断装置を運搬用シートに載せた後、運搬用ベルトにて固定し、床下点検口等から投入及び引揚げが容易に可能		劣化診断装置を運搬用シートに載せた後、運搬用ベルトにて固定し、床下点検口等から投入及び引揚げが容易に可能		

5.9 木造建築物の床下劣化診断装置試作機の実用性検証実験

5.9.1 実験概要

改良した床下劣化診断装置試作機を用いて、既存住宅を予防保全的に維持管理することを見据えた実用性の検証を行うことを目的とし、走行機能・画像診断機能、含水率測定機能、生物劣化検出機能について、木造建築物の床下で実際に使用することを想定して、実際の建築物及びそれと同等以上に評価できるものを対象としてその実用性を実験的に検証した。

5.9.2 実験実施環境

実用性検証実験は、実際の木造建築物及びそれと同等以上に評価できるものとして、その仕様が建築年代の異なる3種類の仕様の床下空間を（独）建築研究所・屋外火災実験場に製作・設置するとともに、築約4年（2009年建築）の実際の木造軸組工法の住宅の床下空間とした。

5.9.3 走行機能の検証

〔診断部搭載状況の違いによる機能の検証〕

診断部を取り外すと、メインカメラの左右両側に折り畳んだ状態で、左右及び後方の視界を遮っていたパンタグラフのアームが取り払われることにより、メインカメラの有する可動能力（水平可動 $\pm 175^\circ$ 、垂直可動 $-10\sim 90^\circ$ ）が十分に発揮され、診断装置の前後左右及び上下方向の撮影可能範囲が格段に広がった。

それにより、走行に支障をきたす障害物の把握の容易性の向上や、木部の劣化状況を把握しやすくなり画像診断機能の向上が確認できた。

また、外形の高さ及び長さがコンパクトになることにより、狭隘な部分での転回は診断部を搭載した状態と比較して容易になることが確認できた。

〔フィールドの床面の仕様の違いによる機能の検証〕

本診断装置はクローラーを用いて定点旋回が可能であるが、床面が摩擦抵抗の低い砂の場合に定点旋回を行うと、クローラーの回転で砂の表面が削られていき、徐々に診断装置本体が砂中に潜り込んでしまうことが確認された。砂の表面を極力削らないようにするためには、走行しながら緩い角度で徐々に転回を行うことが必要であることが確認できた。

画像診断機能は、フィールドの床面の仕様に関わらず、木部の劣化状況を良好に把握することが可能であることが確認できた。

〔ベースプレートの向きの違いによる走行機能の検証〕

手動回転タイプの診断装置は、ベースプレートを横向きの状態で走行し、診断対象部へ到達することが必要であるため、この状態における走行機能の検証を行った。床束のピッチが910mmの部分では良好に走行することが可能であった。

また、幅が450mmの人通孔を通過するには工夫を要することを確認した。

5.9.4 含水率測定精度の検証

1) 診断装置の設定

診断装置のドリルユニットの先端に電気抵抗式含水率計（サンコウ電子研究所社製）の2針電極プローブを装着し、診断対象部の木材の繊維方向と2つの針を結ぶ線分が直交す

るように突き刺して、人が木材の含水率を測定するのと近似した診断を行うことにより、木材の含水率測定の可否を検証した。

針の押し付け速度は、探針、穿孔測定時と同じ本診断装置の有する最大速度（300 mm/min）の25%の速度（75 mm/min）に設定した。

診断機器を搭載しているベースプレートは、水平方向に連続的に含水率を診断できるように、横向きの状態で測定を行った。



写真 5.9.1(診断状況 1: 診断装置の設置状況)



写真 5.9.2(診断状況 2: 含水率測定状況)

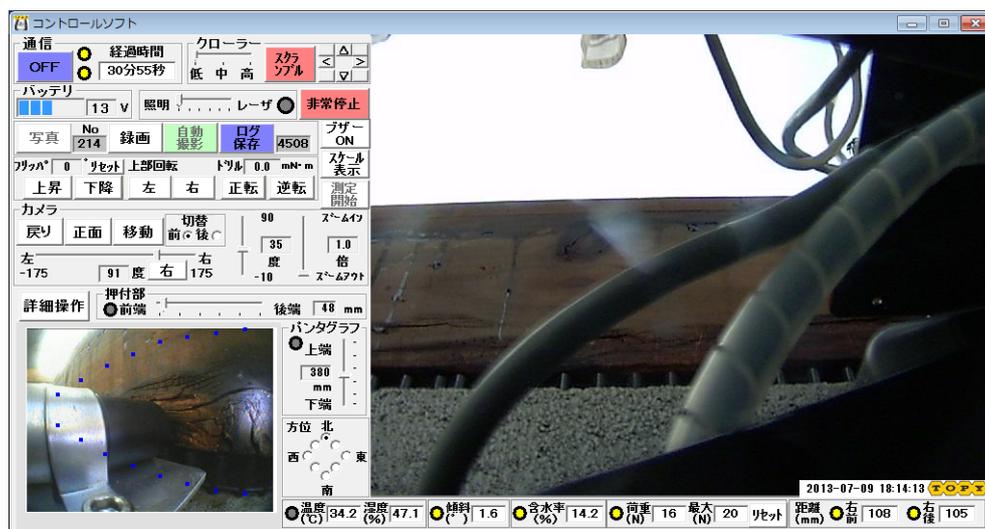


写真 5.9.3(診断状況 3: 操作 PC 画像) (試験番号 W-E-c8)

2) 診断対象部の設定

診断対象部は各フィールドに設置した土台及び床束とし、部材の状態は、健全部と劣化部（腐朽）に加え健全湿潤部（水を含めたスポンジで材の表面を湿潤させたもの）を対象とした。診断対象物の一覧を表 5.9.1 に示す。

表 5.9.1 含水率測定機能の診断対象物一覧

装置タイプ	フィールド	診断対象物			
		部位	部材の状態		
			健全	健全湿潤	劣化
電動回転 タイプ(E)	土	土台	○	○	—
	砂	土台	—	○	○
		床束	○	—	○
	コンクリート	土台	○	○	○
	実住宅 (コンクリート)	土台 (模擬板)	○	○	—
手動回転 タイプ(M)	土	土台	○	○	—
	砂	土台	—	○	○
	コンクリート	土台	○	○	○

○：診断を実施した対象物



写真 5.9.4(診断対象の例1:土台劣化部)



写真 5.9.5(診断対象の例2:健全湿潤部)



写真 5.9.6(診断対象の例1:床束劣化部)



写真 5.9.7(実住宅土台模擬板)

3) 実験結果

・診断対象部の含水率、最大荷重値の測定結果等を表 5.9.2 に示す。含水率については、人の手で複数回測定しても 5 %未満の再現性は低いにもかかわらず、診断器による測定結果と人による測定結果の差は最大でも 6%未満におさまった。

表 5.9.2 診断対象の含水率測定の結果一覧

: 劣化部
 : 健全部
 : 健全湿潤部

装置タイプ	フィールド	試験番号	対象物	ベースプレートの向き	計測位置 土台下端(東は大引き下端)からの距離(mm)	計測結果			備考
						含水率(%)	参考含水率(%) 人が計測	診断装置計測値/人による計測値(%)	
電動回転タイプ(E)	土	W-E-e1	土台/健全	横	60	7.5	9.0	83.3%	
		W-E-e2	土台/健全	横	15	9.5	10.8	88.0%	
		W-E-e3	土台/健全湿潤	横	65	27.3	21.6	126.4%	
		W-E-e4	土台/健全湿潤	横	25	19.2	14.7	130.6%	
	砂	W-E-s1	土台/劣化	横	55	6.1	6.6	92.4%	
		W-E-s2	土台/劣化	横	20	9.3	9.5	97.9%	
		W-E-s3	土台/劣化	横	65	7.6	7.7	98.7%	
		W-E-s4	土台/劣化	横	27	9.1	7.5	121.3%	
		W-E-s5	土台/健全湿潤	横	65	20.4	22.2	91.9%	
		W-E-s6	土台/健全湿潤	横	25	17.0	17.0	100.0%	
		W-E-s7	床束/劣化	横	(75)	7.9	8.7	90.8%	
		W-E-s8	床束/健全	横	(100)	9.2	9.9	92.9%	
	コンクリート	W-E-c1	土台/劣化	横	15	9.3	10.6	87.7%	
		W-E-c2	土台/健全	横	65	8.2	10.1	81.2%	
		W-E-c3	土台/健全	横	15	10.7	10.3	103.9%	
		W-E-c4	土台/健全	横	65	8.8	10.3	85.4%	
		W-E-c5	土台/劣化	横	15	10.7	10.6	100.9%	
		W-E-c6	土台/劣化	横	65	7.7	9.0	85.6%	
		W-E-c7	土台/劣化	横	15	14.4	12.6	114.3%	
		W-E-c8	土台/劣化	横	65	10.6	10.7	99.1%	
W-E-c9		土台/健全湿潤	横	15	計測不能	計測不能			
W-E-c10		土台/健全湿潤	横	65	20.4	18.4	110.9%		
実住宅(コンクリート)	W-E-h1	土台(模擬板)/健全	横	75	7.1	7.3	97.3%	(6.5%/4N)0セット時	
	W-E-h2	土台(模擬板)/健全湿潤	横	35	22.2	20.8	106.7%	(22.1%/3N)0セット時	
手動回転タイプ(M)	土	W-M-e1	土台/健全	横	55	7.2	8.7	82.8%	
		W-M-e2	土台/健全	横	25	9.2	12.0	76.7%	
		W-M-e3	土台/健全湿潤	横	50	29.4	26.1	112.6%	
		W-M-e4	土台/健全湿潤	横	20	27.9	30.9	90.3%	
	砂	W-M-s1	土台/劣化	横	65	9.0	8.7	103.4%	
		W-M-s2	土台/劣化	横	35	8.2	9.0	91.1%	
		W-M-s3	土台/健全湿潤	横	55	18.0	17.2	104.7%	
		W-M-s4	土台/健全湿潤	横	15	30.0	28.7	104.5%	
	コンクリート	W-M-c1	土台/健全	横	45	8.4	9.0	93.3%	(7.4%/4N)0セット時
		W-M-c2	土台/劣化	横	20	10.0	10.4	96.2%	(7.8%/3N)0セット時
		W-M-c3	土台/健全湿潤	横	50	18.2	23.8	76.5%	(23.5%/3N)0セット時

特記事項

・模擬板(実住宅): W410×h85×D15(上端を床断熱材から15mm下がった位置に取り付け)

平均値

97.6%

5.9.5 生物劣化検出機能の検証

1) 実験の目的

前節で改良された木造住宅の床下劣化診断装置に付与された材料の穿孔抵抗測定機能について、生物劣化の検出に対する有効性を検証することを目的とした。

2) 試験体

試験体は8種類15体の強制的に生物劣化させた木材である。強制劣化方法は、チョークアナタケ菌によって腐朽させたもの及びイエシロアリによって蟻害を生じさせたものの2つの方法によってより前者8体、後者7体を準備した。材種は、それぞれの強制劣化方法について、アカマツ、スギ、ベイマツ及びベイツガの4種類とした。

3) 実験方法

試験は、本穿孔抵抗測定機能を有するドリルユニットと称する部材を取付けた試験機を使用してドリル刃を回転させながら試験体を穿孔し、その間、ドリルユニットに生じる押し込み荷重及びドリルトルクを測定した。

測定は、試験機荷重、ストローク変位、ドリルユニット内蔵荷重及びドリルトルクについて行った。試験機の荷重レンジは 1000 N、ストローク速度は床下劣化診断装置の実用性検証においてドリル刃がたわむことなく円滑に穿孔が可能であることを確認している 75 mm/min とし、ストローク変位が 50 mm に達するまで加力した。

試験はひとつの試験体に対して、1側面（A面）及びこれに直行する側面（B面もしくはD面）を選び、健全側と劣化側各1試験ずつ、合計4試験を実施した。①穿孔抵抗試験の実施位置は、木口から30mm程度はなれた材軸中心とした。②レジストグラフ試験は、穿孔抵抗試験近傍の材軸中心について実施した。

4) 実験結果

既往研究成果及び可視化されたデータによる劣化部分の判別方法について考察を行うと共に劣化性状の分類を行った。本試験では試験体によって年輪の形状が様々であったが、概ね以下の傾向が見受けられた。

①丸太の直径方向に穿孔した場合

丸太の直径方向に穿孔した場合、すなわち木材の芯に向かって穿孔した場合は、以下の方法により劣化部分の判別が可能であると考えられる。

〔健全部分〕

荷重値の波形の上下動が顕著かつ継続的に測定された場合は、測定した範囲内においては健全であると考えられる。（図 5.9.1）

〔劣化部分〕

健全と考えられる波形の中に極めて低い荷重値の波形が、測定対象木材の想定される年輪幅以上に継続的に測定された場合は、測定した範囲内においては劣化状態であると考えられる。（図 5.9.1）



写真 5.9.8 床下劣化診断装置へのドリルユニット(赤枠内)搭載状況

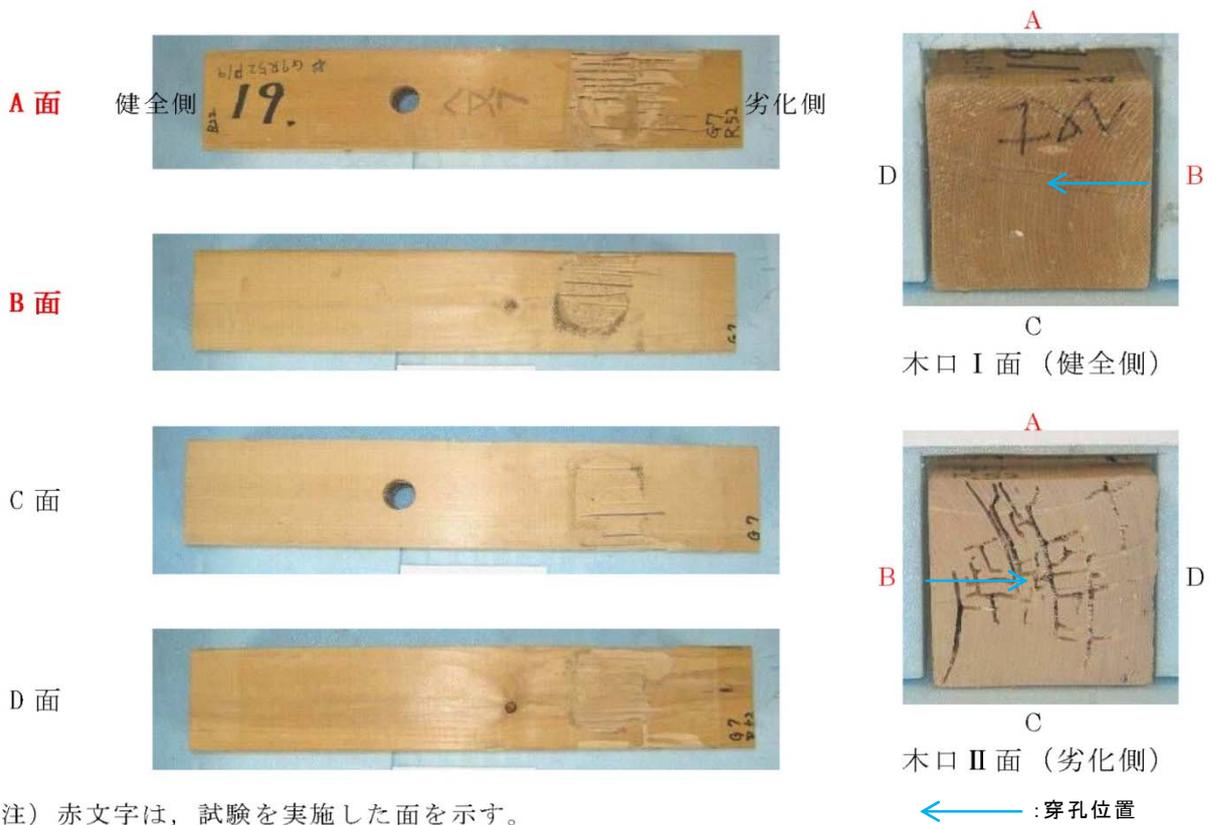


写真 5.9.9 試験体記号 G7-R52-P19

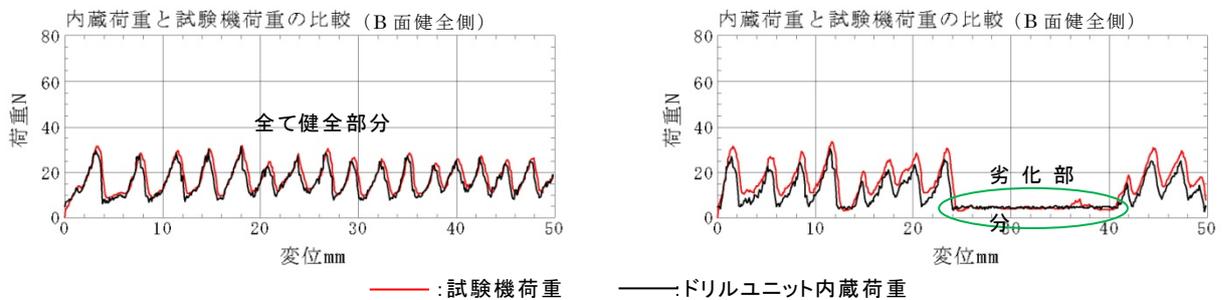


図 5.9.1 試験体記号 G7-R52-P19 B面測定結果

②丸太の直径方向からずれた位置で穿孔した場合

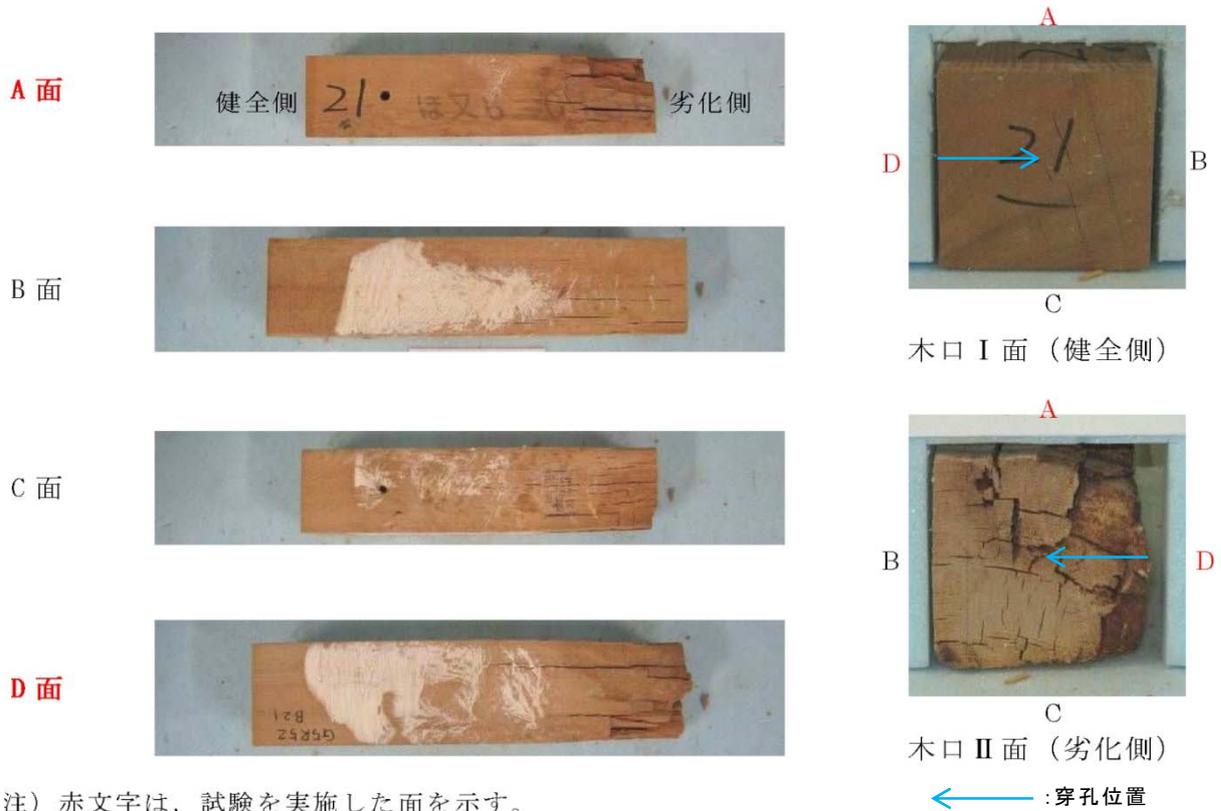
〔健全部分〕

丸太の直径方向からずれた位置で穿孔した場合、すなわち木材の芯からずれた方向に向かって穿孔した場合は、先端の両けづめが同時に早材あるいは晩材を穿孔する確率は低くなり、上下動の顕著な波形が得られにくい傾向がある。極めて低い荷重値が（最大で 10N 未満程度）継続的に測定されない場合は、測定した範囲内においては健全であると考えられる。(図 5.9.2)

〔劣化部分〕

丸太の直径方向からずれた位置で穿孔した場合、上下動の顕著な波形が得られにくい

傾向があるが、極めて低い荷重値が（最大で 10N 未満程度）継続的に測定された場合は、劣化部であると判断することができると考えられる。（図 5.9.2）



注) 赤文字は、試験を実施した面を示す。

写真 5.9.10 試験体記号 G5-R52-P21

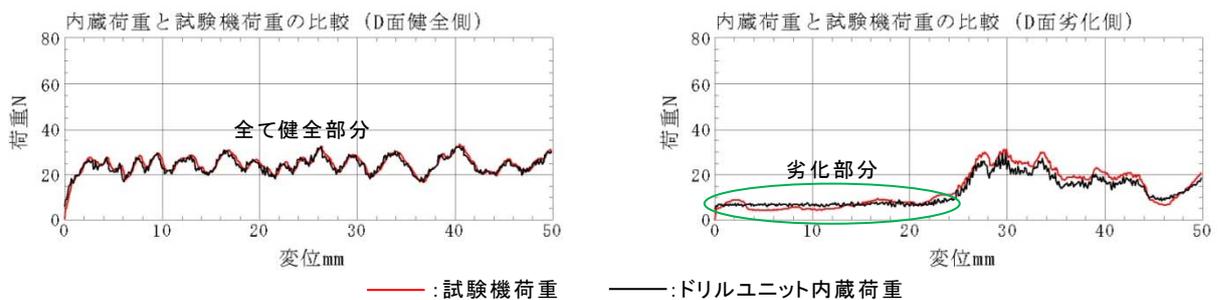


図 5.9.2 試験体記号 G5-R52-P21 D面測定結果

以上から、木材の年輪の形状が測定結果に大きく影響することがわかった。床下劣化診断装置を用いて穿孔抵抗測定を行う際は、目視診断により測定対象部材の年輪の方向を想定し、その上で判断を行うことが必要と考えられる。

5.10 床下劣化診断装置を活用した劣化診断の手順

5.10.1 劣化診断装置活用の目的

床下劣化診断装置を利用することの主な目的は、以下のように捉えられる。

1) 既存の木造住宅・建築物の予防的保全のための劣化診断の促進

既存の木造住宅・建築物を長期にわたり利用するためには、例えば新築後 6 ヶ月、1 年、2 年、3 年、5 年、7 年、10 年経過時など、一定期間毎に点検を実施し、不良な箇所を早期に発見し、早期にできるだけ簡便な措置を講じられるようにする、予防的保全のための診断が大切である。

床下劣化診断装置の利用は、一般に診断に手間を要することの多い床下内の点検を、簡便に効率よく実施できることにつながり、実施頻度の向上が期待できる。また、床下劣化診断装置には予防的保全のための劣化診断に資する機能（含水率測定、穿孔抵抗測定機能等）を付与することで、その効果が高まることが期待される。

2) さまざまな状況の下での劣化診断の促進

下記に掲げるような、特定の目的に応じた床下の劣化診断の促進

- ・住宅リフォーム検討時におけるリフォーム事前の劣化診断
- ・住宅の購入検討や売却準備時における床下の劣化診断
- ・住宅瑕疵担保責任保険の延長要件としての床下の点検（劣化診断）への活用
- ・既存長期優良住宅における認定要件(未定)としての床下の点検(劣化診断)への活用

5.10.2 床下劣化診断装置を活用することの利点

既存木造住宅等の床下の劣化診断などに床下劣化診断装置を活用することは、以下のよう利点があると考えられる。

1) 劣化診断の簡便性、効率性の向上

- ・人が進入する手間をかけることなく、収集した画像により、簡便に床下の状態を把握することができ、変状の発生や劣化のおそれがあると想定される箇所を特定（スクリーニング）することができる。
- ・その結果、特定した箇所に限定して、含水率測定や探診、穿孔抵抗測定等の代替機能を用いて、効率よく対象部分の劣化状況等を把握する診断を実施することができる。（劣化のおそれが極めて疑われる場合など、必要時のみ、人が進入するための対処を講じればよい。）

2) 狭隘な床下に対する診断の実施容易性等の向上

- ・人の進入が一般に困難とされる、有効高さが 330 mm に満たない狭隘な床下空間に対して、装置が走行可能な範囲について、一定の診断を容易に行うことができる。
- ・人の進入ができない場合に行われる、床下点検口などからの覗き込みによる局所的な診断に比べて診断範囲を拡げることができる。また、床下地材などの撤去・修復の手間や費用をかけることなく診断を行えるので、経済性も向上する。

3) 住宅所有者等との情報の共有化の促進

- ・装置による診断は、装置の操作者が床下の画像情報をモニタリングしながら実施する。画像情報は装置の操作に必要な情報を得るとともに、床下や各部の状況を確認するために得るものであるが、住宅所有者等も当該装置を用いた診断の実施過程に立ち会うことで、操作者と共通の画像情報を見ることができ、住宅所有者等との情報の共有化が容易に行える。

4) 画像情報の記録による経年時の診断への活用

- ・装置を用いて収集した画像は簡易に記録することができる。経年後の診断時に画像を収集し、過去の記録画像と見比べることにより、床下内や各部の変容の有無の判断に役立てることができる。

5.10.3 床下劣化診断装置を用いた劣化診断のフロー

床下劣化診断装置を用いた劣化診断のフローを図 5.10.1 に示す。このフロー図は床下だけでなく、住宅・建築物全体の劣化診断を実施することを前提として表現している。

床下劣化診断装置を用いた劣化診断については、最初の事前準備段階において対象の住宅・建築物の床下が適用条件に該当するかどうかを確認し、該当する場合に、装置を用いた劣化診断を実施する。装置を用いた劣化診断は前述した通り、一次、二次、三次に区分した内容を、段階的に必要な範囲について行う。

床下が適用条件に該当しない場合（部分的に該当しない場合を含む）は、人が床下内に進入して診断するか、床下が狭隘な場合には床材を撤去するなどの処置を講じて、劣化診断を実施する。

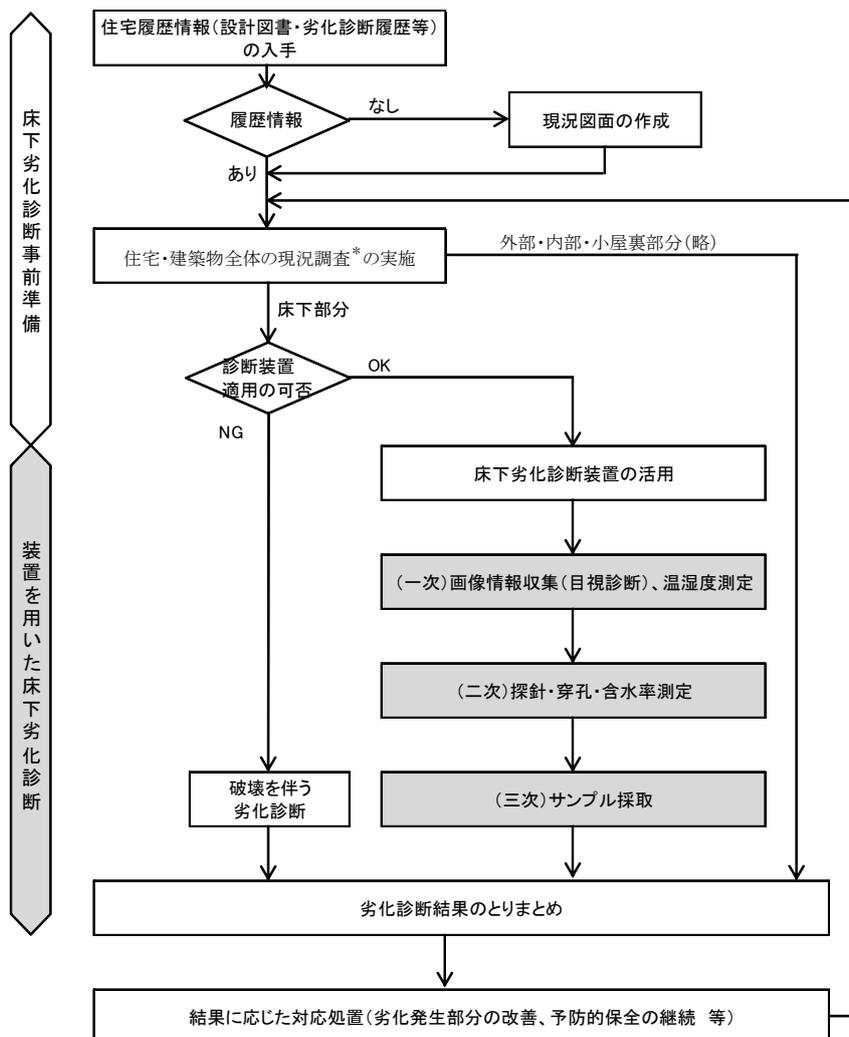


図 5.10.1 床下劣化診断装置を用いた劣化診断のフロー（概要）

床下劣化診断装置を用いた劣化診断の具体的な手順は次のとおりで、そのフローを図5.10.2に示す。

- ・事前確認：初めに床下劣化診断装置の適用条件（床下点検口、床下高さ、床面の性状）を確認し、適用が可能な場合に床下空間に劣化診断装置を投入する。
- ・一次診断：画像収集に限定し、劣化の疑わしい箇所の特定を行う。
- ・二次診断：診断部を搭載可能な床高さの範囲において、一次診断で特定した部位を中心に診断機器を用いて探針、穿孔、含水率測定を実施する。それにより、各部位の劣化状況を把握する。
- ・三次診断：一次診断で変状が認められたものの二次診断で異常が認められなかった部位についてはサンプルを採取し、腐朽菌の有無を確認することにより予防保全対策を講じられるようにする。

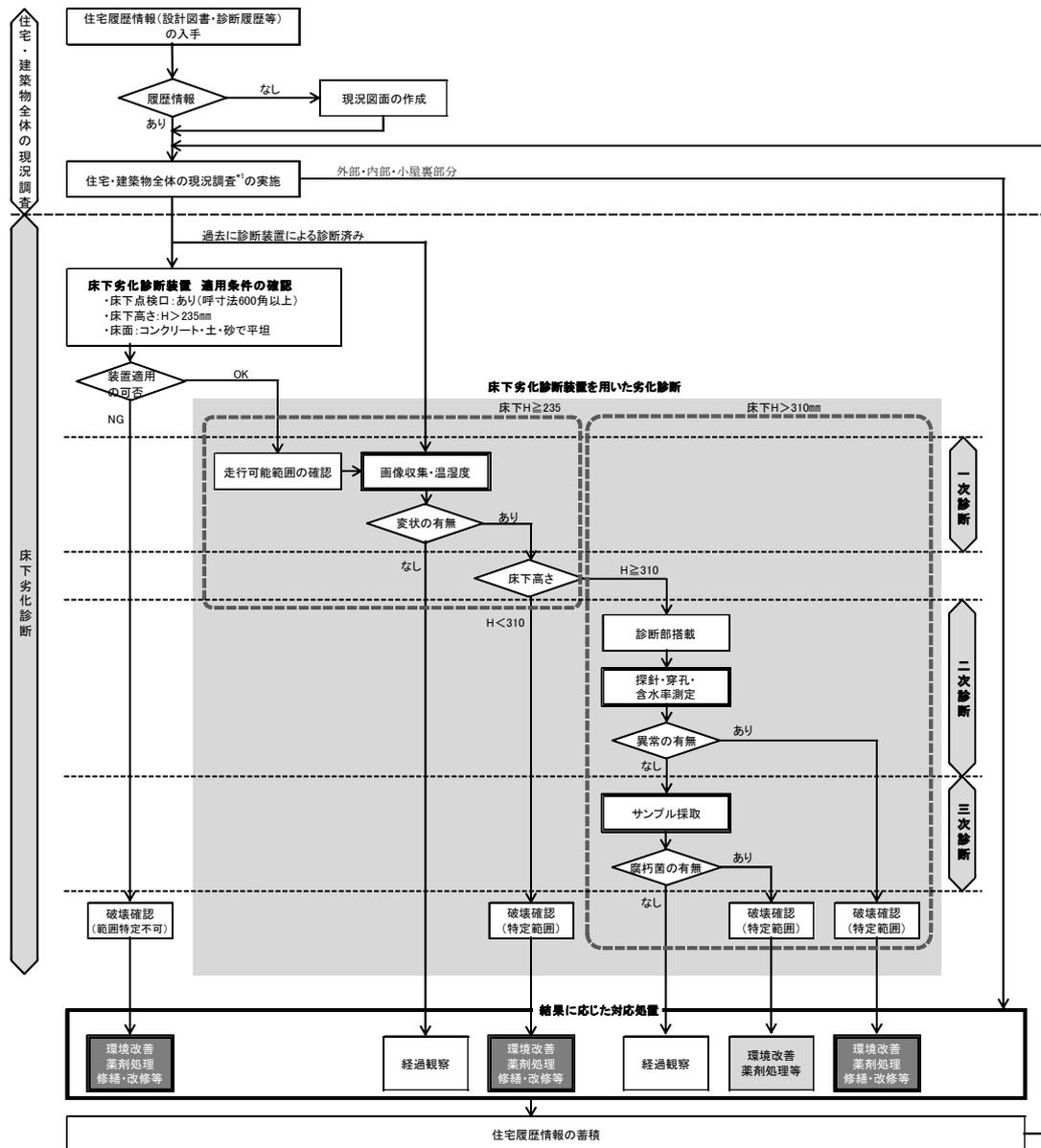


図 5.10.2 床下劣化診断装置を用いた劣化診断のフロー(詳細)

5.11 まとめ

木造建築物の予防保全的維持管理のための床下劣化診断装置を開発した。その結果、狭隘、かつ暗所である床下を自動走行し、遠隔操作により床下の目視点検を行うのみならず、含水率測定、触診検査（穿孔抵抗測定、探針貫入）等の複数の情報から劣化箇所を特定することができ、劣化部分のサンプル採取も可能な装置が開発され、これを活用した劣化診断手順が考案された。

同装置の実用化に向けた検討、並びに木造建築物の床下劣化診断装置を活用した予防保全的維持管理マニュアルを整備することで、既存住宅性能評価時におけるインスペクションへの活用、既存住宅を対象とした長期優良住宅認定の評価方法（床下の点検・劣化現況検査）への活用、並びに長期維持保全計画に基づいた定期点検への活用が可能となる。

以上から、本研究の成果が、木造建築物の予防保全的維持管理に資するといえる。