

第3章 住宅・建築物の外壁調査・診断技術の取組み

第3章 住宅・建築物の外壁調査・診断技術の取組み

3.1	はじめに	3-1
3.2	専門工事業者による外壁診断業務の実態調査	3-2
3.2.1	実態調査の目的および調査内容	3-2
3.2.2	調査結果	3-2
3.2.3	診断手法に関する課題と対応方法	3-4
3.3	建築基準法第12条による外壁検査の定期報告に関する実態調査	3-5
3.3.1	調査目的	3-5
3.3.2	調査概要	3-5
3.3.3	調査結果	3-5
3.3.4	外壁診断調査を確実に実施させるための取組み	3-8
3.4	各種測定法によるタイル仕上げ外壁の診断精度の検討	3-9
3.4.1	実験の目的	3-9
3.4.2	試験体	3-9
3.4.3	測定方法	3-10
3.4.4	診断手法による測定結果等の整理	3-10
3.4.5	実験結果	3-11
3.5	タイル仕上げ外壁の改修後の診断方法に関する検討	3-17
3.5.1	研究目的	3-17
3.5.2	検討概要	3-17
3.5.3	測定方法	3-18
3.5.4	結果及び考察	3-20
3.5.5	課題	3-21
3.6	外壁診断装置および解析プログラムの試作	3-23
3.6.1	壁面走行型診断装置のプロトタイプ	3-23
3.6.2	手動型診断装置（打診棒の代替）のプロトタイプ	3-28
3.6.3	打音解析プログラム	3-30
3.7	まとめ	3-35

第3章 住宅・建築物の外壁調査・診断技術の取組み

3.1 はじめに

平成元年11月に集合住宅のタイル外壁が下地のモルタルとともに剥落し、通行人が死傷するという痛ましい事故が発生した。以前から外壁のタイル等落下事故は全国で発生していたが、この事故は重大事故であったことから、すぐに再発防止のための検討が行われ、平成2年に建設省住宅局建築指導課長通達として「外壁タイル等落下物対策の推進について（建設省住防発第221号）」が特定行政庁建築主務部長宛に出された。この時に「剥落による災害防止のためのタイル外壁、モルタル塗り外壁診断指針（以降、外壁診断指針と記す）」が別紙資料として発行され、定期報告時における外壁仕上げの診断に当たっての指針として位置づけられることとなった。その後、旧社団法人 建築・設備維持保全推進協会（現 公益社団法人 ロングライフビル推進協会）により、建築仕上診断技術者という資格制度が創設され、外壁診断技術者の育成が進められた。

もともと建築基準法第8条において建築物の所有者は適切な維持保全に努めなければならないこととされているほか、建築物の外壁については、建築基準法第12条において特殊建築物の外壁については定期的な調査診断の実施とその結果の報告が義務づけられている。さらに、この定期報告については、平成20年4月より竣工後10年経過した外壁、また大規模改修工事から10年経過した外壁について全面を打診等により調査し、報告するという内容へ法改正が行われている。

現在、不特定多数の人が利用する建築物など、一定の条件を満たす建築物については、外壁全面を打診等により診断することとなっているが、費用的な問題もあって必ずしも適切に実施されているとは言えない状況にある。通常、全面を打診等により診断する場合は、ゴンドラなどの仮設足場を設置する必要があるため、建築物の所有者にとって金銭的な負担が大きくなる。外壁診断の定期報告では報告率が平均70～80%となっているが、この結果の中には、「検査は実施していない」という報告も含まれているため、実際に検査・診断を行ったものはこの数値よりも低いと思われる。

また、先述の外壁診断指針では原則として診断法は「打診法」を基本に位置づけているが、昨今の外壁改修工法の種類によっては、改修後の外壁の浮き等を打診法で診断すること自体が困難であるとの実態も明らかとなっており、このような外壁の診断を適切に実施するための診断方法の検討も必要になっている。

このような状況を踏まえ、外壁タイル等の剥落事故等を未然に防ぐ「予防保全」技術に関して、定量的な評価が可能な外壁診断技術の研究を行い、さらに簡単に人が近づけないような高所でもコストをかけずに外壁を診断できる技術の研究を実施した。また、現在、主流となっている打診法では診断が困難なものについて、打診法に代わる劣化状況の把握方法や打診法以外の外壁診断手法の精度に関する検証を行った。外壁診断に関しては、ハード的な技術開発・検証以外に、外壁診断の実施状況等の実態調査、診断を実施する診断技術者側の体制、診断コスト等の考え方について調査研究を行った。

3.2 専門工事業者による外壁診断業務の実態調査

3.2.1 実態調査の目的および調査内容

現在、行われている外壁診断の手法や診断する技術者の資格等の実態を把握する目的で、外壁診断業務の専門業者を対象として次の事項について情報収集を行った。

- a 標準的な外壁診断プロセス
- b 適用する診断方法（目視、赤外線装置、有資格者による診断等）
- c 診断時の足場の有無および種類、足場を選定する際はその選定基準
- d 劣化状態を判定する際の診断基準及び根拠
- e 概算費用（10階建て総タイル張り、150戸の分譲マンション）

3.2.2 調査結果

今回調査協力を得られた専門業者は10社（概算費用のみ8社回答）であり、総合建設会社が7社、調査専門業者が3社であった。以下に結果の概要を示す。

1) 診断者の資格

診断者の保有する資格として、建築士や建物仕上診断技術者、特殊建築物等調査資格者の資格が挙げられた。しかし今回の調査で行ったヒアリングによると、すべての専門業者に共通して実際に打診を行っているのは一般作業員であり、診断作業をする上で特に資格は要求していないとのことであった。診断作業そのものには資格者を必ずしも当てるわけではないが、先ほどあげられた有資格者により、診断業務の計画や診断結果の確認、報告書のとりまとめがなされる形になっていることが確認された。

2) 診断手法と調査時の作業床の選定

今回の調査では、ゴンドラを使用した打診調査がほとんどの業者において行われており、ゴンドラを使用しないとしたのは、動力を使ったロープブランコやロボットによる調査を行っている1社であった。また、赤外線装置を用いた調査は約半数の専門業者において行われており、診断の目的や立地条件等に応じて診断手法を選定していることが確認された。

作業床については、コスト面から外部足場よりもゴンドラを選定することが多いものの、診断範囲が限られてしまい調査精度が低くなるといった意見もあった。また、診断の後に改修工事が計画されている場合にあっては、外部足場を最初から設けて調査することもあるとの回答があった。最近では簡易的な診断の場合として一人の利用のロープブランコを用いた診断が行われ、コストを押さえた方法も採用されているケースも見られた。

3) 劣化・不具合の判定基準

目視や打音の確認により劣化や不具合を判断する要素としては、浮き、ひび割れ、剥離、膨れ、欠損、目地の欠け等の外装仕上げ材の状態、エフロ、錆汁等の異物の付着・発生等があるが、各項目について劣化や不具合として記録する定量的な基準を示した回答はほとんどなかった。この調査結果から判断すると、定量的な判断基準を設定せずに診断を行っ

ているのが実態であり、調査結果は作業に従事する作業員の経験や技量の影響を大きく受けているとことが確認された。

4) 外壁診断の概算費用

図 3.2.1 に示した 10 階建て総タイル貼り、150 戸の共同住宅を想定したモデル建物において、各診断手法による概算費用について調査し、8 社から回答を得た。結果を表 3.2.1 に示す。

同じ診断方法でも、専門業者によって診断費用に大きくばらつきが出る結果となった。概ねの傾向としては、足場による打診調査（1000 万円～1700 万円）、ゴンドラによる打診調査（80 万円～500 万円）、赤外線調査（30 万円～178 万円）、目視と部分打診（4 万円～190 万円）の順で高額な結果となった。ここではかなり粗い条件設定で概算金額の算出を依頼したため、ばらつきが大きくなると考えられる。実態の話として、建物所有者側から提示される調査範囲や目的などが判然としない、あるいは明確に示すことができないために見積金額に大きな開きが出てしまい、低金額を示した業者に発注したものの、思っていたような調査結果が得られなかったという話も多い。調査を発注する際の内容については何らかの目安を整備しておく必要があると思われる。

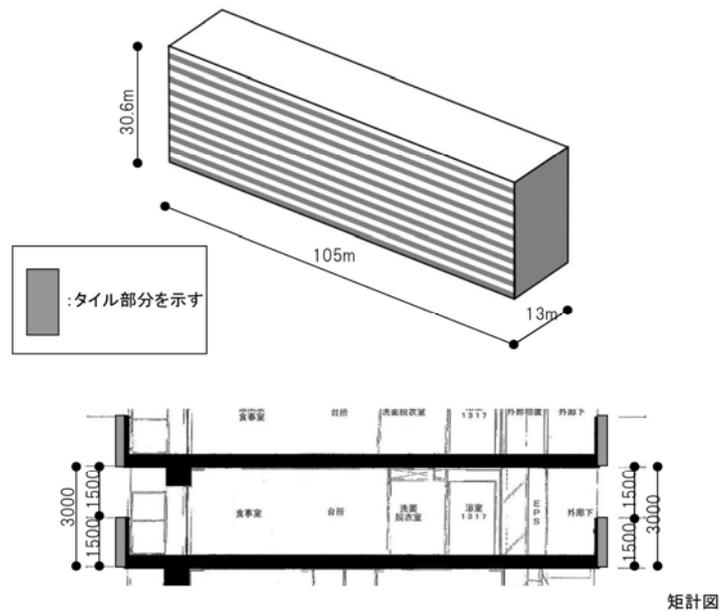


図 3.2.1 モデル建物

表 3.2.1 モデル建物の調査費概算

	企業名	診断費用概算				その他
		目視と部分打診	足場による全面打診	ゴンドラによる全面打診	赤外線法	
1	A社			チェアゴンドラ 160万円		
2	B社	190万円	1700万円	チェアゴンドラ 500万円	90万円	
3	D社	30万円		ゴンドラ 100万円	30万円	
4	E社	30万円	1430万円	チェアゴンドラ 80万円	178万円	
5	F社	50万円	1000万円	チェアゴンドラ 300万円		
6	G社	80万円		ゴンドラ 250万円	150万円	
7	H社					ロープブランコ (動力装置付) 300万円
8	I社	4万円		ゴンドラ 132万円		

5) 外壁の補修・改修工事が既に行われた建物の外壁診断

改修が行われていない外壁診断に比べて、補修・改修工事が 1 度以上実施された外壁診断では、不具合の場所が竣工時からのものなのか、また改修部分のものなのかを特定するのが困難であること、自社で改修を行っていた場合は、改修工事での使用材料や工法、工事範囲等を確認できるものの、他社による改修の場合はそれらの情報がなく、確認するのに手間取っているという実態が確認できた。竣工後の図書類のみならず、維持保全段階で

の診断記録を残し、必要な時に活用できるようにしておくことが重要である。さらに、情報を記録する方法とともに、所有者側で維持保全段階の記録をどのように残していくべきか、あわせて考えて行く必要がある。

3.2.3 診断手法に関する課題と対応方法

打診法の場合、作業員の技量を一定に保ち、診断結果のばらつきを少なくすることが課題である。今回の調査では、専門業者の取り組みとして、①作業員を集めて年に一度研修を行う、②打診調査を行う作業員を全社的に少数に限定し、全国どこで行う調査でもその限定された作業員を派遣する、③打診調査を協力会社に依頼する場合、協力会社のみならず調査に従事する作業員を指名し、常に同じ作業員による診断結果を求める、④調査開始直前に、調査に従事する作業員に対して判断基準のすり合わせを行う（打診装置等と活用）があげられた。

赤外線法については、赤外線画像の撮影環境が整備できたとしても、精度よく診断できる範囲は限定的である。例えば窓などの開口部周りや日射が遮られるバルコニーの下部などの診断の精度は低い。熟練した技術者は建物の構造や形状などを考慮し赤外線を使用する範囲を見極めて診断している。一方、画像が撮影された環境や条件などについて十分な状況把握を行わず、画一的に診断を行う専門業者もいるという実態がある。そのため、赤外線による診断に対して、社会的な信頼が高まらないといったことが懸念されている。この点については、現在、赤外線診断に関する協会がいくつか発足し、赤外線を用いた外壁診断の手法についての講習をそれぞれ行い、講習受講者には修了認定証を発行するなど、適切な技術の普及に努めているところもある。

3.3 建築基準法第12条による外壁検査の定期報告に関する実態調査

3.3.1 調査目的

建築基準法第12条に基づく定期報告制度は、建築物や昇降機などの定期的な調査・検査の結果を報告することを所有者・管理者に義務づけることにより、建築物の安全性を確保することを目的としている。この法律の見直しが行われ、平成20年4月よりタイル・石貼り等による外装仕上げ材等については、竣工や外壁改修工事等から10年を経て最初に実施する調査の際には、打診等による全面診断によりその安全性を確認することが求められることとなった。

そこで、外壁を対象とした定期調査報告について、法改正後の平成21年度および22年度の2カ年の実施状況について調査を行い、さらにその中の一部の特定行政庁については平成23年度について詳細調査を行い、外壁診断を実施する上での現状の問題点を明らかにした。

3.3.2 調査概要

建築基準法第12条に基づいて建築物の定期調査結果を報告される特定行政庁は、平成23年4月1日現在、計444か所である。その中の比較的小規模な建築物のみを取り扱う特定市町村は調査の対象外とし、さらに出先機関として東京都1箇所、埼玉県2箇所を追加した294の特定行政庁等に対して、アンケート調査票を送付し、回答を依頼した。

主な調査内容は次のとおりである。

- ・調査1/定期調査報告の対象建物件数、および実際に報告のあった件数
- ・調査2/「外装仕上げ材等」の報告内容（指摘なし、あるいは要是正）（用途別、年度別）
- ・調査3/全面打診等の外壁調査を行った際に、どのように報告書へ記載するかについての指導の有無。また、指導を行っている場合はその内容

3.3.3 調査結果

1) 平成21年度および22年度の実施状況

①定期調査報告の対象物件数および報告率

今回の調査では、平成21年度、平成22年度ともに対象物件数が200件以下の特定行政庁が50%以上を占めたが、大都市では1000

表 3.3.1 平成21年度および22年度の調査報告件数と是正率（外壁）

定期調査報告対象建物の用途	平成21年度					平成22年度				
	調査結果(件)				要是正率 (%) [B/D]	調査結果(件)				要是正率 (%) [B/D]
	指摘なし [A]	要是正 [B]	特記事項 [C]	計 [D]		指摘なし [A]	要是正 [B]	特記事項 [C]	計 [D]	
ア 劇場、映画館、演芸場など	51	16	2	69	23.19	63	21	2	86	24.42
イ 観覧場、公会堂、集会場など	599	239	3	841	28.42	640	289	2	931	31.04
ウ 病院、養老院、児童福祉施設など	2,349	416	0	2,765	15.05	4,492	908	8	5,408	16.79
エ 旅館、ホテルなど	1,712	351	5	2,068	16.97	1,999	484	7	2,490	19.44
オ 共同住宅、寄宿舎など	5,643	1,605	124	7,372	21.77	1,735	330	7	2,072	15.93
カ 学校、体育館など	598	277	0	875	31.66	1,454	556	24	2,034	27.34
キ 博物館、美術館、図書館など	25	9	0	34	26.47	54	19	2	75	25.33
ク 百貨店、展示場、遊技場、飲食店など	1,964	239	5	2,208	10.82	1,768	316	3	2,087	15.14
ケ 事務所など	714	150	11	875	17.14	521	189	0	710	26.62
コ 複合用途建築物	13	8	1	22	36.36	684	106	22	812	13.05
合計	13,668	3,310	151	17,129	19.32	13,410	3,218	77	16,705	19.26

件を超えるところもあった。また、報告率が 100%という特定行政庁は平成 21 年度で 31 箇所、22 年度で 23 箇所であったが、調査票を回収できた特定行政庁全体での報告率は概ね 70%程度であった。

②「外装仕上げ材等」の報告内容の状況

定期調査報告における外装仕上げ材等の調査結果は、a.指摘なし、b.要是正、c.特記事項のいずれかとして報告される。表 3.3.1 に調査報告件数と是正率を示す。外装仕上げ材等について報告を受けた全建物のうち、「要是正」と報告された建物の割合は、平成 21 年度、平成 22 年度とも約 19%であり、概ね 2 割程度の建物の外装について何らかの対応が必要という報告内容となっていた。なお、特定行政庁の中には、外壁の全面的な調査や改修工事を実施していなくても 3 年以内に実施の計画がある場合には、特記事項にその旨を記載し、「指摘なし」として報告するよう指導しているところもある。

③外装材等の調査方法の記載状況

全面打診の報告について、「全面打診等の調査方法が記載されている件数」を確認したところ、「1.記載なし」の特定行政庁が一番多く、平成 21 年度、平成 22 年度とも全体の 45%程度であり、調査方法が確認できたのは 30%程度であった。

④報告書に記載する内容の指導状況

外壁調査報告書を提出する際に、受付窓口等での指導の有無について質問したところ、指導しているとの回答は全体の 2 割程度に過ぎなかった。指導を行っていないとした特定行政庁の中にも、東京都のまちづくりセンターように、受付業務を受託している外郭団体等が窓口で具体的な指導を行っている場合があった。また、報告書受領時に全面打診等の有無を「口頭で確認している」と回答しているところもあった。

2) 定期調査報告における指導方法および外壁調査方法

平成 21 年度及び平成 22 年度の 2 か年の状況について調査した結果、平成 20 年に見直された外壁の調査方法に対しては、まだ多くの特定行政庁で特別な対応が図られていない状態であった。これは、調査方法が見直された平成 20 年度以降に行われる初回の定期調査報告では、必ずしも全面打診等を実施する必要がなく、次回の調査までに全面打診等を実施する意志のあることが確認できれば「要是正」の対象とならないということがあるため、多くの特定行政庁では、見直された制度の周知や外壁の安全性確保に対する認識の向上といった点でこの 3 か年試行錯誤を行ってきたという現状があるようである。

このような結果を踏まえ、調査方法が見直され丸 3 年が経過した平成 23 年度の状況について、いくつかの特定行政庁を選定し、改めてヒアリング調査を行った。

ヒアリング先は、平成 21 年度および 22 年度の実施状況調査で回収した調査票の中で「全面打診等を行った際の定期報告への記入方法に関する指導」を確認し、具体的な指導の内容を記載している特定行政庁の中から 9 つを選定した。

①実施した外壁調査手法の確認方法

各特定行政庁に対して、a. 実施した外壁調査の具体的内容の確認方法、b. 調査結果等について、定期報告書に添付を求める資料の有無、c. 添付資料に関する指定書式の有無について確認した。その結果を表 3.3.2 に示す。いずれの特定行政庁においても、打診や赤外線、あるいは両者の併用といった具体的な調査方法を報告書に記載させて確認しているとのことであった。市川市と松山市の2庁は、専門業者等が外壁調査を行った結果の資料を定期報告書に添付するよう求めているとの回答であった。他の特定行政庁では、必ずしも添付する必要はないが、添付されていれば受領するという回答であった。また、神戸市は、建物に対する工事履歴を記載する書式を用意しており、全面打診等を実施した際は、その内容をこの書式に記入の上、報告書に添付し提出するとの回答であった。

表 3.3.2 外壁調査の具体的内容の確認方法

調査内容	東京都	市川市	横浜市	茅ヶ崎市	大阪府
a 実施した外壁調査の具体的内容の確認方法	報告書に記載	報告書に記載	報告書に記載	報告書に記載	報告書に記載
b 定期報告書に添付を求める資料の有無	無し	有り	無し	無し	無し
c 添付資料に関する指定書式の有無	無し	無し	無し	無し	無し

調査内容	池田市	神戸市	松山市	福岡県
a 実施した外壁調査の具体的内容の確認方法	報告書に記載	報告書に記載	報告書に記載	報告書に記載
b 定期報告書に添付を求める資料の有無	無し	無し	有り	無し
c 添付資料に関する指定書式の有無	無し	有り	無し	無し

②打診以外の調査方法への対応状況

全面打診以外の調査方法として、

- a. 赤外線と部分打診を併用した調査
- b. 打診を全く行わず、赤外線のみを用いた調査
- c. ロボットを用いた調査

により外壁調査が行われた場合、有効な調査として認めているかどうかについて、各特定行政庁の対応状況を確認した。

調査結果の概要を表 3.3.3 に示す。ヒアリングを行った特定行政庁では、赤外線と部分打診を併用した調査を認めていないところはなかった。打診を全く行わず、赤外線のみを用いた調査については、東京都、横浜市、茅ヶ崎市では、有効な調査と認めていない。東京都では、赤外線による調査のみでは、全面的な外壁の健全性を判断することが難しいと考えており、窓周り等の部分打診を必ず行うよう指導している。一方、横浜市、茅ヶ崎市では、公益社団法人 ロングライフビル推進協会の「定期的診断マニュアル」に赤外線により調査を行う場合は手の届く範囲全ての打診調査を併用しなければならないとされているため、赤外線の場合は部分打診との併用としている。

ロボットを用いた調査については、東京都では有効な調査として認めていない。その理

由は、現時点ではロボットによる調査の事例が非常に少なく、信頼性が確認できないため、とのことであった。その他の特定行政庁では、まだ相談や具体的な報告を受けたことがなく、今後対応を検討する、という回答であった。

表 3.3.3 打診以外の調査方法への対応状況

診断手法	東京都	市川市	横浜市	茅ヶ崎市	大阪府
a 赤外線と部分打診を併用した調査	可	可	可	可	可
b 赤外線のみを用いた調査	不可	可	不可	不可	可
c ロボットを用いた調査	不可	未対応	未対応	未対応	未対応

	池田市	神戸市	松山市	福岡県
a 赤外線と部分打診を併用した調査	可	可	可	可
b 赤外線のみを用いた調査	可	可	可	可
c ロボットを用いた調査	未対応	未対応	未対応	未対応

3.3.4 外壁診断調査を確実に実施させるための取組み

報告率の向上に向けた各特定行政庁等の取組み等について、今回のヒアリングで得られた意見を下記に示す。

- ・金銭的理由により外壁の全面診断を行えず、「要是正」として報告されるものが約半数である。報告率を向上させるには、建物管理者の金銭的負担を低減するため報告周期を延長するのが最も有効と考えられる。屋上防水や外部シールの更新時期が一般的には約 15 年周期とされているので、例えば 13～15 年に一度の全面打診とするのが良いのではないだろうか。
- ・他の制度との連携を図り、外壁診断を実施することに対するインセンティブを与えることが必要ではないかと考えている。例えば、不動産売買時の重要事項説明の項目に、定期調査報告の実施状況を盛り込むことなどが考えられる。
- ・建築物は、それぞれの所有者のものではあるが、同時に社会的な資産ともいえる。安全性を確保するために、建物の所有者や管理者に調査の実施を求めるだけではなく、行政庁としてできることを考えていかなければいけない。診断費用の一部を補助するといったことも、方法としてはあるのではないか。
- ・地域性なのか、「こういう診断を行うことが法律で決められていますよ」と説明してもなかなか納得してもらえない。「法律はわかるけど、診断をしたら何の得があるの?」とか、「ほかのビルはやっているの?」という具合に、直接的なメリットや横並びを確認しつつ進めようという感じになっている。
- ・建物の安全性を確認しておかないと、事故が発生して管理者責任を問われたり、損害賠償責任を負ったりすることを説明して、診断の必要性について建物管理者の意識を高めることが重要である。

3.4 各種測定法によるタイル仕上げ外壁の診断精度の検討

3.4.1 実験の目的

タイル等により仕上げされた外壁の診断方法としては、検査員が壁面を叩いてその打音によって診断する打診検査や赤外線装置法が広く用いられている。これらの他に、鉄筋探査に用いられている超音波レーダ法を用いてタイルの下層にあるモルタル部分の浮きなどの欠陥を調査する技術も、現在、研究が進められているところである。

本節では、各種測定法を用いた場合の外壁診断の精度について、外壁の剥離部を再現した模擬試験体による診断精度の検証実験結果を述べる。

3.4.2 試験体

1) 仕上げの水準

本研究では、写真 3.4.1 に示すようにタイルまたはモルタルにより仕上げされた模擬試験体（3m×3m×20cm のコンクリート躯体がベース）に人工的に浮きとなる欠陥部を作り込み、欠陥の検出精度等に関する実験を行った。表 4.3.1 に仕上げの水準を示す。使用したタイルは同表に示す 3 種類、下地はモルタル仕上げ、直張り、接着剤張りとした。モルタル下地については、塗り厚を 3 水準とした。なお、直張り、接着剤張りの試験体については、ここでは割愛する。



写真 3.4.1 模擬試験

2) 欠陥部の水準

表 3.4.2、3.4.3 に欠陥部の水準を示す。欠陥部の厚さは 0.1mm、1mm、3mm の 3 水準、面積は 5cm 角、10cm 角、20cm 角、30cm 角の 4 水準とし、スチレンボード等を用いて模擬欠陥部を作製した。また欠陥部の位置については、①躯体と下地モルタル（接着剤）の境界（下地モルタルの厚さによって、外壁表面から欠陥部の位置は 10～20mm、20～30mm、30mm 超の 3 水準となる）、②下地モルタルと張付モルタルの境界（外壁表面から欠陥部の位置は 10mm 以内）に設けた。

表 3.4.1 試験体の仕上げ水準（仕上げ種類、下地）

仕上げ種類	水準
タイル仕上げ（3種類）	モルタル下地 厚さ10mm
	モルタル下地 厚さ20mm
	モルタル下地 厚さ30mm
	軽量モルタル 厚さ30mm*
モルタル仕上げ	直張り
	接着剤張
	モルタル 厚さ10mm
	モルタル 厚さ20mm
	モルタル 厚さ30mm

表 3.4.2 模擬欠陥の水準

欠陥の要因	水準
欠陥部の厚さ	・ 0.1mm
	・ 1.0mm
	・ 3.0mm
欠陥部の大きさ	・ 5×5 cm
	・ 10×10 cm
	・ 20×20 cm
	・ 30×30 cm

表 3.4.3 模擬欠陥の位置（表面からの深さ）

	欠陥部の位置
モルタル下地	・ 躯体と下地モルタル（接着剤）の境界 ・ 下地モルタルと張付モルタルの境界

3.4.3 測定方法

測定方法は、1)検査員による打診、2)赤外線装置法（以下、赤外線法と記す）、3)超音波レーダ法の3種類とした。

1) 検査員による打診検査

今回の打診検査（以下、打診と記す）は、外壁診断業務10年以上の経験者3名によって行った。測定は3m角のタイル・モルタル仕上げ壁面全面を診断範囲とし、1)時間制限を設けた打診（制限時間15分）、2)時間制限を設けない打診（無制限）の2つのパターンで行った。

2) 赤外線装置法による測定

赤外線装置法（以下、赤外線法と記す）については、同じメーカー製で温度分解能が異なる2種の装置を用い、撮影距離については4m（対象壁面を正対して撮影できる距離）および20m（5階建て程度の壁面を撮影する距離）でそれぞれ測定を行った。

赤外線法においては、診断精度に及ぼす測定時の天候や時間帯の影響を無視することができないため、1)晴天－早朝もしくは夕方、2)晴天－日中、3)曇天－早朝もしくは夕方、4)曇天－日中の組み合わせで測定を行った。

- ・赤外線①；温度分解能 0.04℃ 空間分解能 0.65mrad

 - F社製、640×480画素、30.7万画素

- ・赤外線②；温度分解能 0.05℃ 空間分解能 1.36mrad

 - F社製、320×240画素 7.7万画素

3) 電磁波レーダ装置による測定

測定には鉄筋探査等の調査で用いられている2社の電磁波レーダ装置を用いた（N社製装置①、H社製装置②）。また、測定は打診検査および赤外線法のように全面を細かく測定する方法ではなく、①高さ3mの壁面を鉛直方向に装置を動かしながら測定（一列の測定が終了した後、25cm水平方向に横移動した列を測定）する方法（以降、鉛直測線と記す）、また②測定エリアを限定（1㎡）して10cm間隔で鉛直・水平方向に動かしながら格子状にデータを測定する方法（以降、10cm格子と記す）の2つの方法で測定し、欠陥の検知状態を評価した。

3.4.4 診断手法による測定結果等の整理

各測定結果を模擬試験体の水準や計測機器毎に整理した。データのとりまとめにあたっては、以下の点に着目し測定結果を整理した。

- 1) 欠陥部大きさや深さの真値との誤差
- 2) 仕上げ材の要因による1)の真値との誤差
- 3) 測定時間を一定条件とした場合の測定点数、精度

また、試験結果を整理するにあたっては、検出結果を各試験で検出した面積と模擬欠陥の重なった範囲の面積比率によって区分し、傾向等を検討することとした。表3.4.4にその区分を示す。

表 3.4.4 測定方法の評価方法

検出区分	欠陥部の検出の有無	検出面積と模擬欠陥の重なり合った面積 模擬欠陥の面積
小さい	有り	95%未満
ほぼ同じ	有り	95%以下105%未満
大きい	有り	105%以上
未検出	無し	模擬欠陥位置に検出結果が無い
誤検出	有り	模擬欠陥位置以外で検出結果がある

3.4.5 実験結果

1) 欠陥部の大きさの違いが及ぼす影響

欠陥部の大きさが最も小さい5cm角を対象とした検出数割合を図3.4.1に、20cm角を対象とした結果を図3.4.2に示す。両図は欠陥部の大きさがそれぞれ5cm、20cmであるが欠陥部の厚さは3水準、位置については4水準のデータが対象となっている。

欠陥部の大きさが5cm角の場合、打診については、検出率0%となり、検査員3名すべてが未検出となった。赤外線法については、上位機種を用いた「赤外線①」、下位機種を用いた「赤外線②」とともに、「撮影距離4m・画像補正有」条件では、天候・撮影時刻によらず、「ほぼ同じ」の比率が5~30%で、検出数割合は10~35%となった。また、「撮影距離20m」では、「赤外線①」において「晴天・昼」条件の検出率は30%と「撮影距離4m」とほぼ同じ検出数割合であるが、測定時の天気や時間によって検出数割合は低下した。「赤外線②」では、「晴天・昼」で検出数割合は10~20%となり「赤外線①」より下がった。また、それ以外は検出できなかった。電磁波レーダについては、検出数割合10~20%であった。

欠陥部の大きさが20cm角の結果を図3.4.2に示すが、「打診」60~95%、「赤外線法」70%、「電磁波レーダ」30~70%となり、検出数割合は5cm角に比べ大幅に高くなった。打診については検出数割合が「ほぼ同じ」の比率が30~40%と高くなっているが、「打診②」と「打診③」との診断結果を比較すると、20~25%程度の検出数割合の個人差が見られた。

赤外線法について、「赤外線①」、「赤外線②」とともに、「撮影距離4m・画像補正有」の条件では、「ほぼ同じ」の比率が20~45%と最も大きくなったが、「撮影距離20m」では「ほ

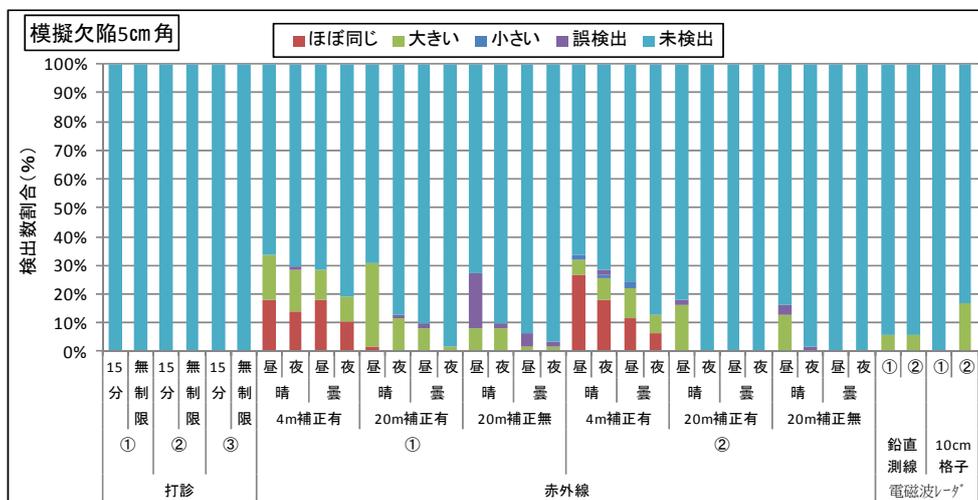


図 3.4.1 模擬欠陥 5cm 角の場合の欠陥検出数割合

ぼ同じ」の比率が大幅に低くなった。天候・撮影時刻別で比較すると、「赤外線①」、「赤外線②」ともに「晴天・昼」が最も検出数割合が高く、次いで「晴天・夜」、「曇天・昼」が同程度、「曇天・夜」の順となった。「電磁波レーダ①」において、鉛直1方向の「鉛直測線」よりも、2方向を測定した「10cm格子」の検出数割合が高く、「10cm格子」では「電磁波レーダ②」の検出率が「電磁波レーダ①」よりも低くなった。

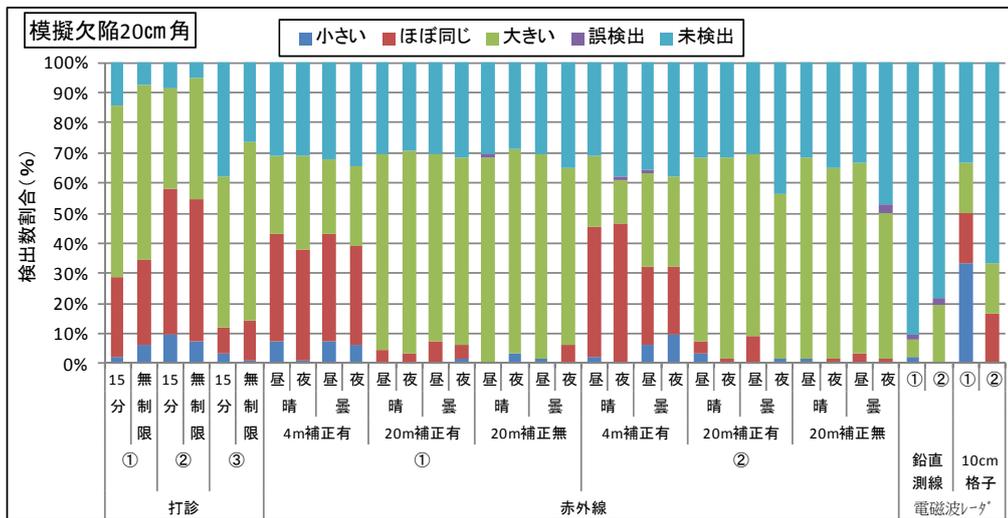


図 3.4.2 模擬欠陥 20cm 角の場合の欠陥検出数割合

2) 欠陥部の厚さの違いが診断精度に及ぼす影響

欠陥部の厚さ 0.1mm、欠陥部の大きさが 10cm 角の場合の検出数割合を図 3.4.3 に示す。「打診」で数%程度検出されているという結果であるが、その他の測定法ではほとんど未検出となった。「電磁波レーダ①・鉛直測線」が 10%となっているのは、ちょうど測定した部分に欠陥部があり、それが検知できたためと考えられる。

欠陥の大きさが 20cm 角の場合の検出数割合を、欠陥部の厚さが 0.1mm、1mm、3mm についてそれぞれ図 3.4.4～図 3.4.6 に示す。

欠陥部の厚さが 0.1mm の場合の検出数割合は、「打診」50～80%、「赤外線法」0～5%となった。「打診」については、個人差はあるものの欠陥部の厚さが小さくても何らかの欠陥は検知された。一方、「赤外線法」について、「赤外線①」、「赤外線②」ともに、検出数割合が低く、ほとんどの条件で未検出となった。「電磁波レーダ①・10cm格子」のみ 50%の検出率となった。

欠陥の厚さが 1mm になると、検出数割合は、個人差によるバラツキを含めて「打診」で 60～100%、「赤外線法」についてはほぼ 100%近い検知率となった。「赤外線法」の場合、撮影距離 4 m の条件で「ほぼ同じ」の割合が 40～60%と高くなっているのに対し、撮影距離 20m の条件の場合には欠陥部と判定された部分のほぼ全てが「大きい」という結果となった。「電磁波レーダ」については、「電磁波レーダ①・10cm格子」のみ 50%の検出率となった。

欠陥部の厚さが 3mm については、「打診」では未検出の割合が減り、何らかの欠陥があることが確認できるという結果となった。「赤外線法」においても、「赤外線①」、「赤外線

②」とともに、厚さ 1mm に比べて未検出の割合が減った。撮影距離、画像補正、温度分解能の違いによる検出率の変化の傾向は、厚さ 1mm の場合と変わらない。「電磁波レーダ」では、これまでの厚さ 0.1mm や 1mm よりも検出数割合は全般的に高くなった。

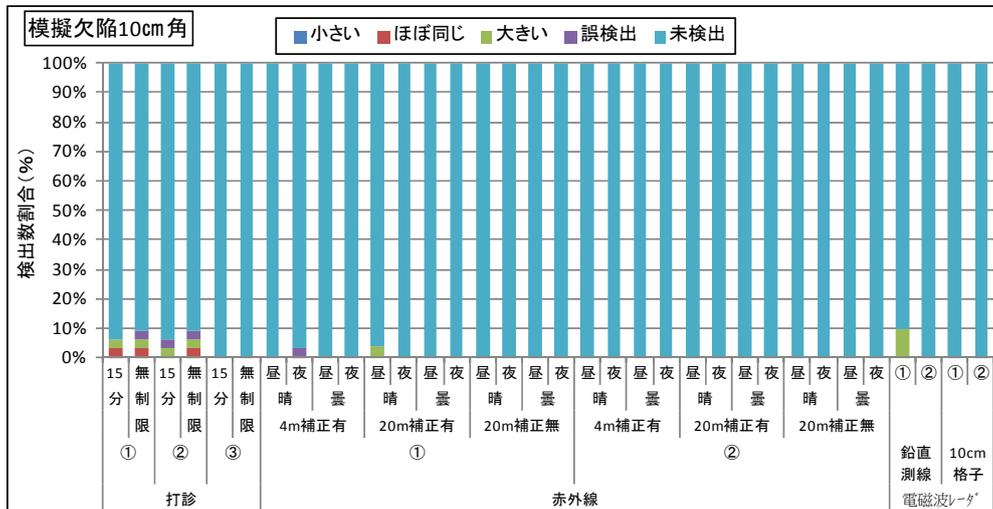


図 3. 4. 3 欠陥部の厚さ 0.1mm、欠陥部の大きさが 10cm 角の場合の欠陥検出数割合

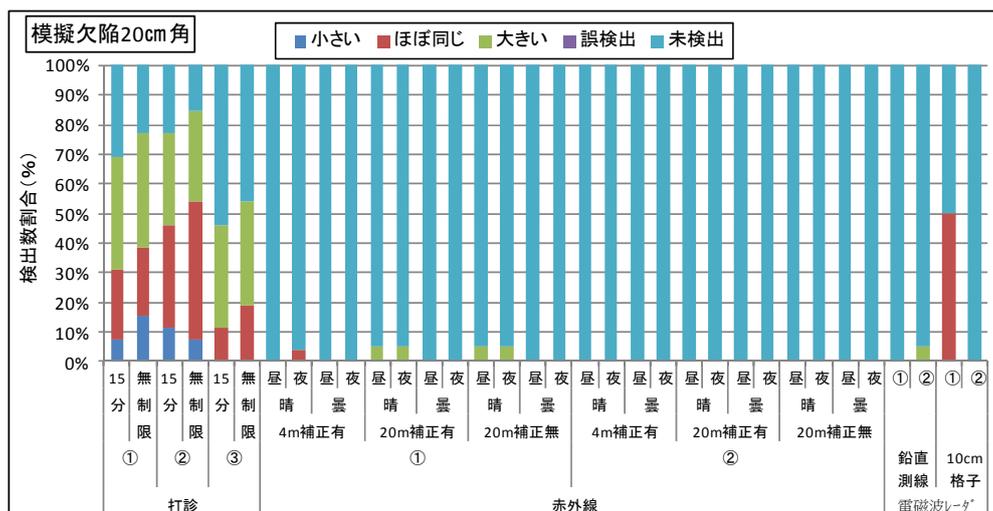


図 3. 4. 4 欠陥部の厚さ 0.1mm、欠陥部の大きさが 20cm 角の場合の欠陥検出数割合

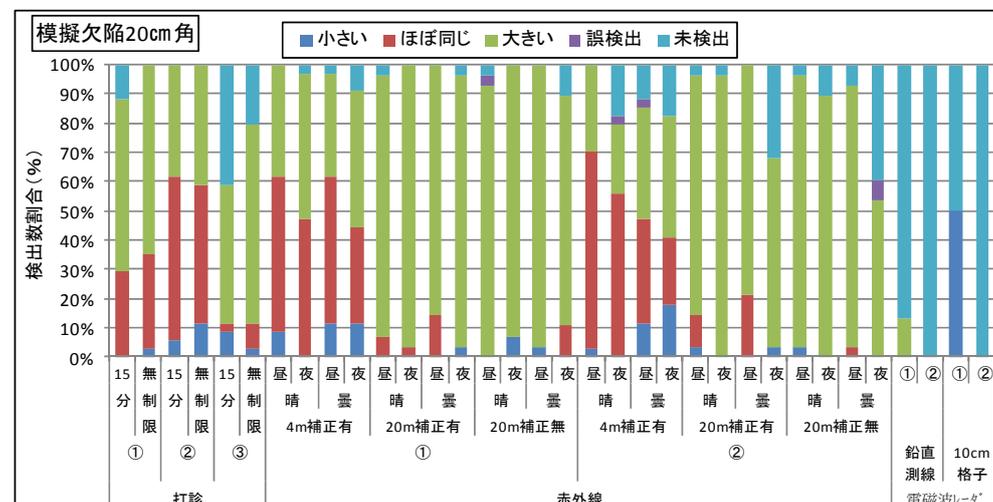


図 3. 4. 5 欠陥部の厚さ 1mm、欠陥部の大きさが 20cm 角の場合の欠陥検出数割合

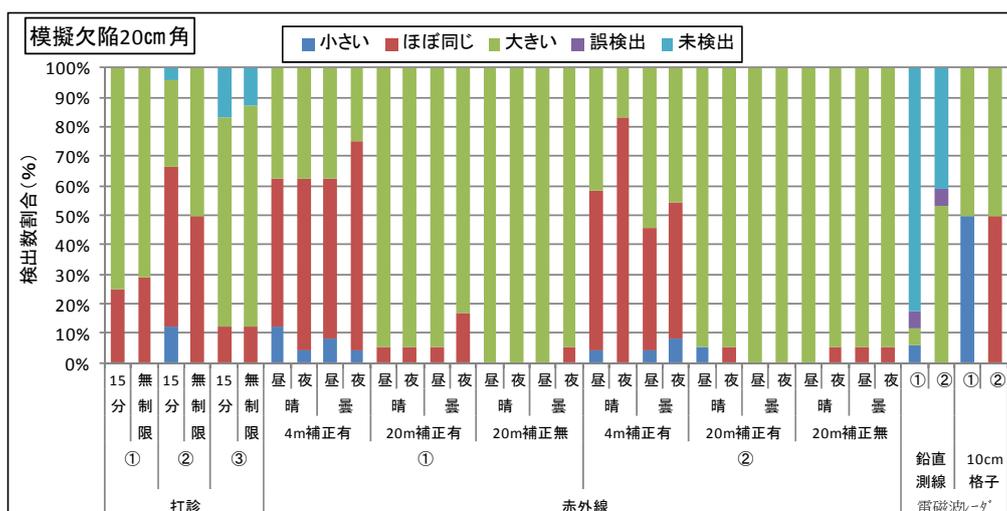


図 3.4.6 欠陥部の厚さ 3mm、欠陥部の大きさが 20cm 角の場合の欠陥検出数割合

3) 欠陥部の位置 (外壁表面からの深さ方向) が及ぼす影響

今回の実験では、下地モルタルの厚さ等を変えた試験体を作製し、欠陥部の深さ方向の位置による影響を検討した。それらの結果は、タイル表面から欠陥部までの位置を①表面から 10mm 以下、②表面から 10~20mm、③表面から 20~30mm、④表面から 30mm 超に分けて測定法毎に検出数割合を整理した。その結果の一部として、欠陥部の深さが 30mm 超で、欠陥部の大きさが 5cm 角、10cm 角、20cm 角、30cm 角の結果を図 3.4.7~3.4.10 に示す。

図 3.4.7 より、欠陥位置が表面から 30mm 超の場合、欠陥部の大きさが 5cm 角程度と小さい場合は欠陥部の厚さが 3mm (今回、最大厚) であっても、ほとんどが未検出であった。しかしながら、図 3.4.7 に示すとおり欠陥部大きさが 10cm 角になると、「赤外線法・撮影距離 4m」の場合は 30%程度の検出数割合となっている。さらに欠陥部の大きさが 20cm 角、30cm 角と大きくなれば、10cm 角のときまでほとんど未検出であった「打診」でも 40~100%の割合で検出されるという結果となった。また、赤外線についても欠陥部の大きさ 20cm 角になると 60%程度、30cm 角になると 70%程度まで検出数割合が上がった。図 3.4.9 および 3.4.10 で赤外線の検出数割合がそれぞれ 60%、70%で頭打ちとなっている。この理由は、2.1 で説明したように、「赤外線」の場合は欠陥部の厚さが 0.1mm 程度と薄くなると欠陥部の面積が大きくなっても温度差が現れることがないため、診断が困難となる。その分のデータが含まれている影響である。

また、「電磁波レーダ・鉛直測線」については欠陥部の大きさが 10cm 角から 30cm と大きくなっても検出率は 20~30%程度と差はあまりないが、「電磁波レーダ・10cm 格子」の場合は欠陥部の面積が大きくなるほど高くなっており、特に正確に検出している割合が高くなっていることが確認できた。

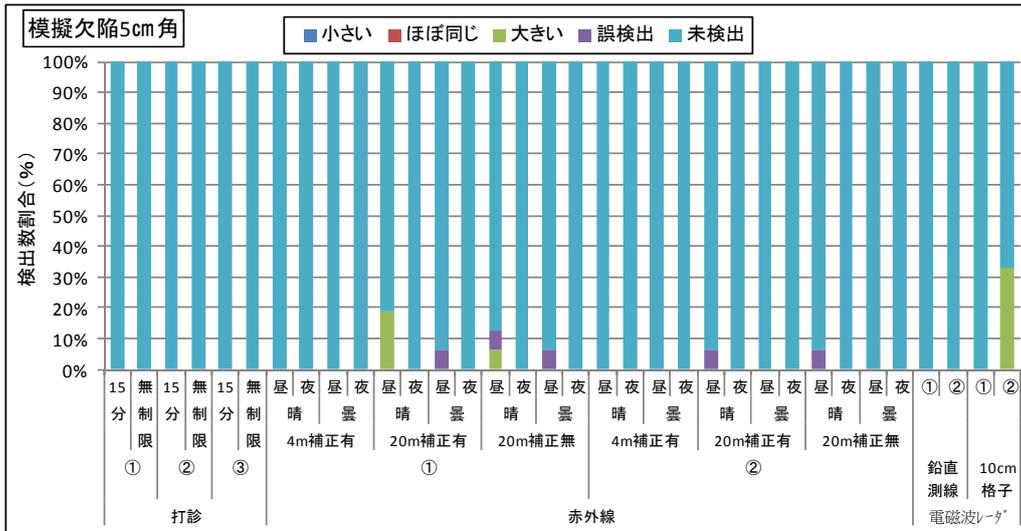


図 3.4.7 欠陥部の深さが 30mm 超、欠陥部の大きさが 5cm 角の場合の欠陥検出数割合

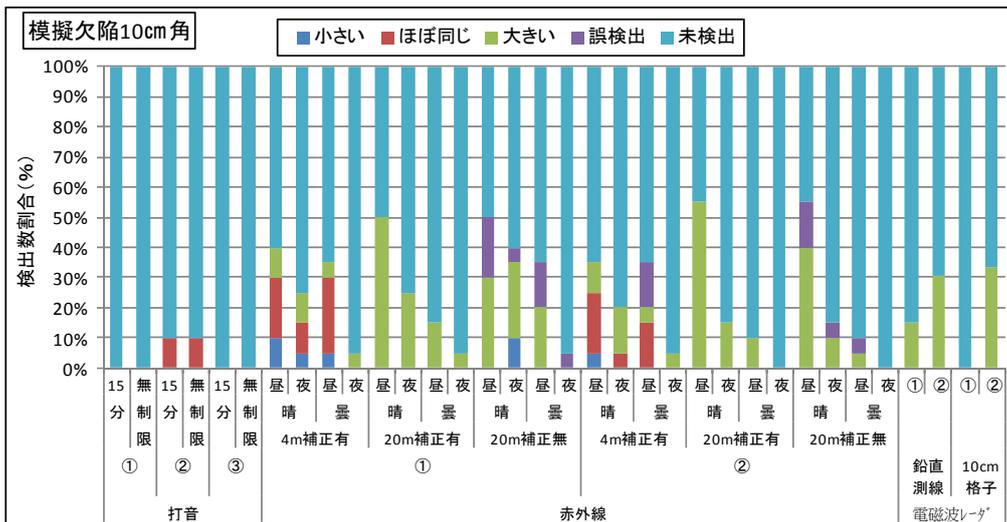


図 3.4.8 欠陥部の深さが 30mm 超、欠陥部の大きさが 10cm 角の場合の欠陥検出数割合

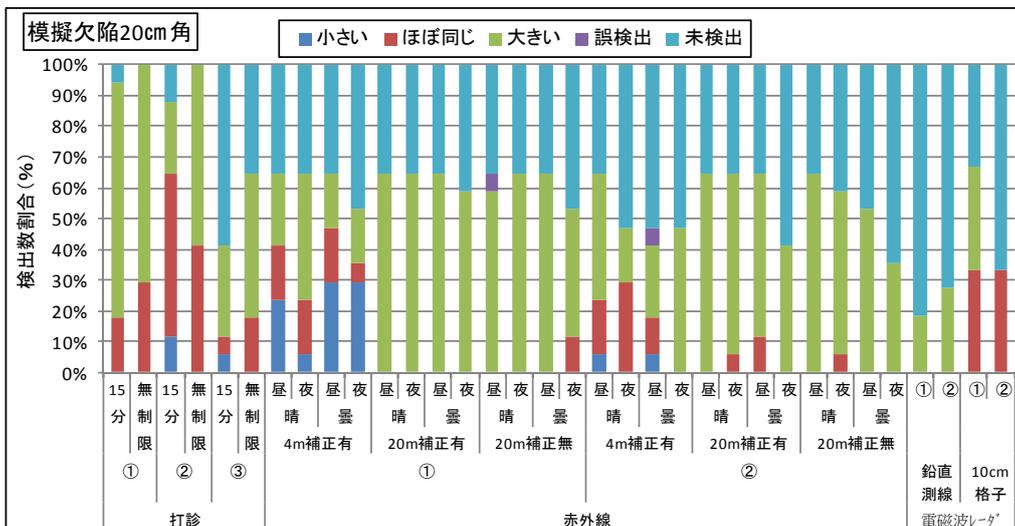


図 3.4.9 欠陥部の深さが 30mm 超、欠陥部の大きさが 20cm 角の場合の欠陥検出数割合

3.5 タイル仕上げ外壁の改修後の診断方法に関する検討

3.5.1 研究目的

タイル等の湿式仕上げ外壁の外壁診断では外観目視と打診法が基本の調査手法とされているが、改修された外壁についてはこれらの方法による浮きの診断は難しいと指摘されている。

そこで、目視及び打診では診断が難しいと指摘される補修・改修工法について調査を行い、さらに現状、施工されている表面仕上げとの組み合わせも考慮し、診断精度に関する検証実験を行った。本節では、補修・改修後の外壁を対象とした診断精度に関する検証実験の概要および今後の診断で必要となる診断手法等について検討した結果について述べる。

3.5.2 検討概要

1) 診断困難と想定される補修・改修工法

現在、外壁の補修・改修工法としては、一旦、タイル等をはがして、再度、貼り替える貼替え工法よりも、タイルやモルタル等の浮き部分にアンカーピンを打ち、エポキシ樹脂を注入する工法や複合改修工法が用いられることが多い。この工法は既存層のはつり工事の必要がないため、建築物を使いながら工事することができるメリットがある反面、工法上の特徴から改修直後も浮き箇所が残る状態となる。そのため、改修から数年経過した後打診法によって検査した場合、もともと残っていた浮きであるのか、新たに広がった浮きであるのかといった剥落危険性の診断が困難であるとの指摘がある。

そこで、改修外壁工法の中の「①アンカーピンニング部分エポキシ樹脂注入工法」、「②注入口付アンカーピンニング部分エポキシ樹脂注入工法」、「③外壁複合改修構工法（通称：ピンネット工法）」について、専門工事業者および有識者とともに現在の施工状況や劣化状況等の確認を行い、その結果をもとに診断が困難とされている改修外壁の診断技術の検証を行う試験体の検討を行った。試験体は浮き部分の補修だけではなく、表層仕上げまで行った。この表層仕上げについては、透明塗膜や擬石調シート材など打診による損傷で美観上問題のあるもの、石張りのような浮き音が検知しにくいもの等を選定した。試験体の仕様は表 3.5.1 を示す 8 種類とした。

2) 試験体

3.4 節の各種測定法による診断精度の検討において用いた試験体（国総研の敷地内に設置されている 3m 角のタイル張り試験体）のうちの 2 面を用い、それぞれ一面を 4 等分し、壁面と下地モルタル界面に 90cm×90cm の人工浮き欠陥（写真 3.5.1（左））を 1 箇所ずつ設けた。仕上げ層は下地モルタルとして既調合ポリマーセメントモルタルを 3 層塗りし、表面には 50 二丁掛タイルを施工した。この 90cm×90cm の人工浮き欠陥に対して、表 3.5.1 に示す選定した 8 種類の改修工法を施工し、検証用試験体とした。改修工事後の試験体を写真 3.5.2 に示す。

表 3.5.1 補修・改修工法の種類

	仕 様
既存部分	コンクリート+PCM*3層+張付けモルタル+50 二丁タイル張り仕上げ ※PCM=ポリマーセメントモルタル
改修部分	①アンカーピンニング部分エポキシ樹脂注入工法+50 二丁タイル張り仕上げ ②注入口付アンカーピンニング部分エポキシ樹脂注入工法+50 二丁タイル張り仕上げ ③注入口付アンカーピンニングエポキシ樹脂注入タイル固定工法+50 二丁タイル張り仕上げ ④複合改修構工法（浮き補修あり）+防水形複層塗材E ⑤複合改修構工法（浮き補修あり）+タイル ⑥複合改修構工法（浮き補修あり）+化粧シート貼付け ⑦複合改修構工法（浮き補修なし）+防水形複層塗材E ⑧複合改修構工法（浮き補修あり）+透明樹脂塗料

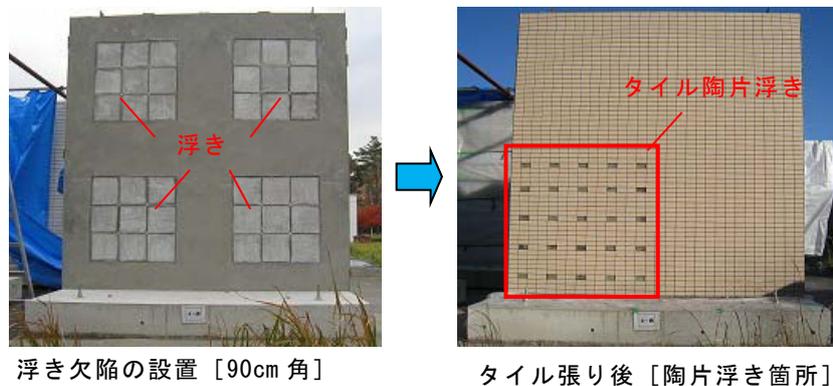
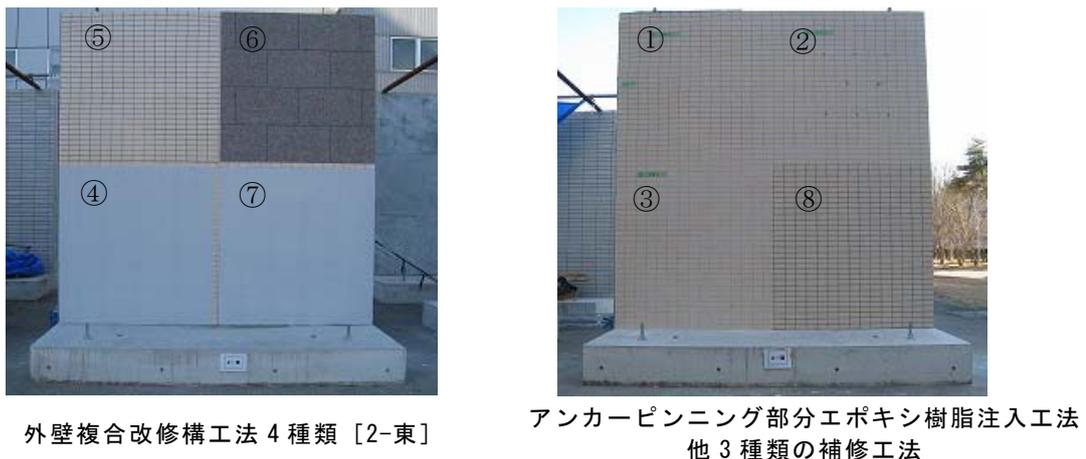


写真 3.5.1 浮き欠陥およびタイル陶片浮きを設けた 3m角試験体



* 写真上の番号は表 3.5.1 の仕上げ種類の番号に対応している

写真 3.5.2 改修工事終了後の試験体

3.5.3 測定方法

調査概要を表 3.5.2 に示す。

表 3.5.2 測定方法

項目	内容	範囲
目視・打診法	目視観察によりタイルのはらみ等の異常の有無を確認した。 テストハンマーにより外壁の浮き欠陥部を確認した*1。部分的に破壊調査*2を行い浮き欠陥部の空隙状況を目視にて確認した。	全面
赤外線法	赤外線カメラにより改修外壁の浮き欠陥部を確認した。目視により赤外線法に影響を及ぼす劣化の有無を確認するとともに、部分打診により赤外線法の補完、精度確認を行った。 使用した赤外線の装置は、3.4.3の2)に記したF社製の赤外線①と同じ	全面
電磁波レーダ法	電磁波レーダにより改修後の外壁仕上げについて空隙の有無を確認した。 使用した電磁波レーダ装置は、3.4.3の3)に記したH社製の②と同じ	一部

1) 目視・打診法

目視によりタイルのはらみ等、異常の有無について調査を行った後、テストハンマーを使用し、外壁タイル仕上げを打撃した際の異音から浮き欠陥部の有無、空隙位置を把握した。なお、調査方法は（公社）ロングライフビル推進協会の「タイル外壁およびモルタル塗り外壁の定期的診断マニュアル」に準じた。

また、打診によって浮き欠陥部と判断した箇所を部分的にディスクサンダーで切り取り、浮き部を目視で確認し、隙間ゲージを用いて浮き代を記録した。

2) 赤外線法

赤外線カメラにより改修外壁の表面温度分布を測定し、熱画像上に現れる温度分布を読み取り内部欠陥（モルタル・タイルの浮き欠陥）を確認するとともに、浮き欠陥部と推定できる箇所を図示して記録した。撮影条件を表 3.5.3 に示す。

表 3.5.3 赤外線法 撮影条件

	予備調査	本調査
撮影日、天候	平成 25 年 1 月 8 日、薄曇のち晴	平成 25 年 2 月 7 日、薄曇のち晴
撮影方法	撮影は調査対象範囲に正対して行った。	
撮影時間	東面： 8：30～11：30 西面：13：30～16：00	東面： 8：30～11：30 西面：13：30～16：00
外気温の変動		

3) 電磁波レーダ法

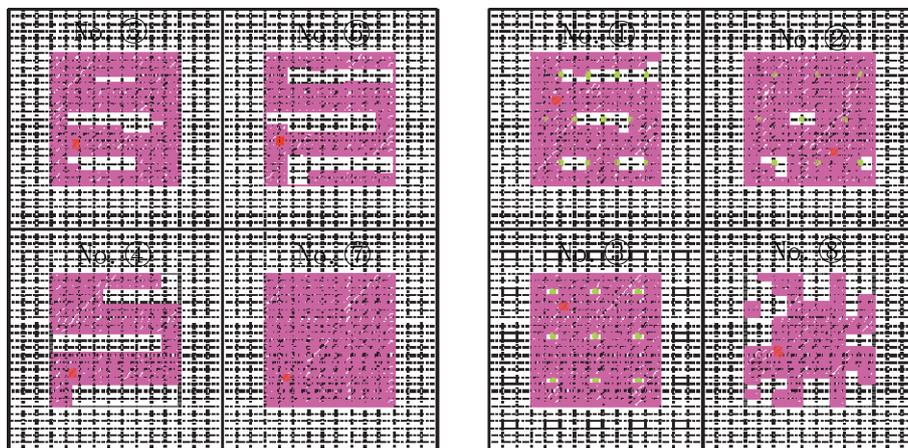
電磁波レーダを使用し、コンクリートと電氣的性質の異なる空隙部（浮き欠陥部）との境界面で生じる反射波を読み取ることで、空隙の位置を確認した。

3.5.4 結果及び考察

1) 外観目視法および打診法

目視調査の結果、外観の異常は無く、浮きの発生などについては確認できなかった。

改修後の調査結果を図 3.5.1（ピンク斜線部：浮き部、緑部：ピンニング痕、赤部：切り取り位置）に示す。仕上げの種類を問わず、打診によって浮き欠陥部を確認することができたが、浮き補修が施されているかどうかは判らなかった（壁 No.⑥は、打診により仕上げ層に傷がつくため、美装性を考慮すると、実務での打診調査は困難である）。特にピンネット工法を用いた改修外壁は、新規仕上げ層が構築されるため、目視・打診法では浮き部の補修が行われているかどうかは識別できなかった。

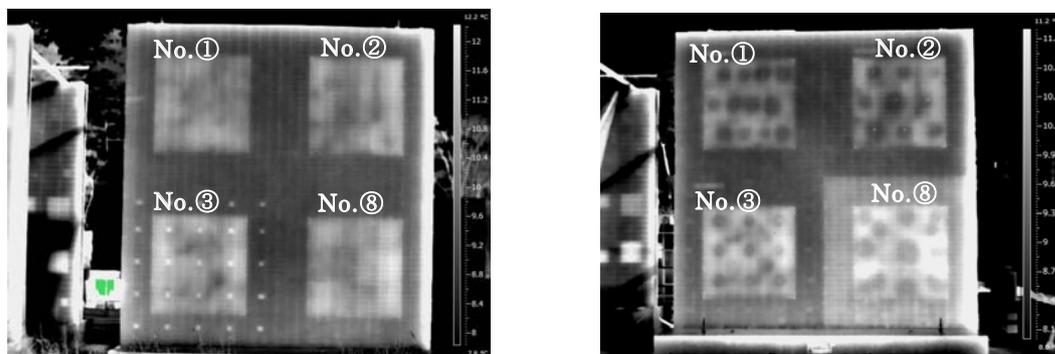


* 図上の番号は表 3.5.1 の仕上げ種類の番号に対応している

図 3.5.1 打診法による調査結果

2) 赤外線法

改修後の調査結果について、図 3.5.2 に赤外線法画像の一例、図 3.5.3 に調査結果（ピンク斜線部：浮き部）を示す。赤外線法によると改修外壁 No. ⑦を除いて樹脂注入による補修跡を確認することができた。よって、熱画像から樹脂の未充填箇所（浮き欠陥部）は確

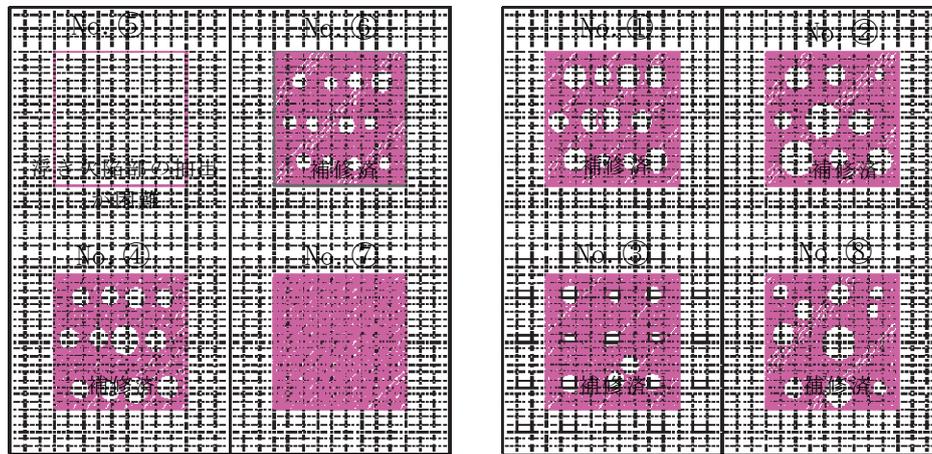


左；樹脂注入前

右；樹脂注入後

図 3.5.2 赤外線法による調査結果（No. ①、②、③、⑧）

認できるものの、浮き欠陥部として抽出せず調査結果は補修済とした。ただし、No.⑤は、樹脂の注入部と未注入部の温度差が小さく、樹脂注入部を明確に判断することが困難であった。また、No.⑦の熱画像は改修前後で差がなく、すべてを浮き欠陥部として抽出した。



* 図上の番号は表 3.5.1 の仕上げ種類の番号に対応している

図 3.5.3 赤外線法による調査結果

3) 電磁波レーダ法

調査の結果を表 3.5.4 に示す。No.⑤を除いて、測定画像から浮き欠陥部と健全部の違いを抽出できた。ただし、浮き欠陥部は健全部に比べて小さいことが必要である。また、熱画像や打診結果といった浮き欠陥に関する情報を事前に準備する必要がある、電磁波レーダ法のみで浮き欠陥部を抽出することは困難である。

表 3.5.4 電磁波レーダ法の診断結果概要

壁 No.	改修後仕上げ	抽出の可否※	
		浮き部	樹脂部
⑤	複合改修構工法（浮き補修あり）＋タイル	×	×
⑥	複合改修構工法（浮き補修あり）＋化粧シート貼付け	○	×
④	複合改修構工法（浮き補修あり）＋防水形複層塗材E	○	×
⑦	複合改修構工法（浮き補修なし）＋防水形複層塗材E	○	×
①	アンカーピンニング部分ボール樹脂注入工法＋50 二丁タイル張り仕上げ	○	×
②	注入口付アンカーピンニング部分ボール樹脂注入工法＋50 二丁タイル張り仕上げ	○	×
③	注入口付アンカーピンニングボール樹脂注入タイル固定工法＋50 二丁タイル張り仕上げ	○	×
⑧	複合改修構工法（浮き補修あり）＋透明樹脂塗料	○	×

3.5.5 課題

外壁診断において、打診により仕上げ表面が損傷する材料や、部分注入工法のように剥落防止性能として安全であるが改修後も浮き箇所が残るなど、調査や診断方法が定まっていな外壁について、どのような診断方法の適用が考えられるか現状について検証実験を行

った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ①試験体を用いた検証実験では、打診法による調査では、剥離音の検知されたタイルを全て剥離と判定した場合には、剥離面積を大きく診断する傾向にある。剥離は一般的にタイルと同面積で現れるわけではないため、打診法による結果の示し方を、「浮き音をタイル面積の 1/3 以上検知した場合は剥離と判定する。」など調査前にルールを明確にして報告する必要がある。
- ②赤外線法を用いて日射を受ける時刻に外壁面を測定した場合には、部分樹脂注入した箇所が円形に現れ、未充填部は充填部よりも高温となることが確認された。
- ③打診法の適用が困難な外装材の種類には、赤外線法の適用も検討する必要がある。ただし、赤外線法による診断が適用できる環境の建物ばかりでは無いことから、別途、新たな方法で診断を行うことも必要である。

今後の外壁診断に対する考え方について、目視は非常に重要であり高い建築の知識が必要となる。それを補助するために打診が行われているが、打診の適用が困難な外壁には赤外線法の適用も積極的に行うことが必要となる。赤外線法は機器さえあれば誰でも撮影できる利点があるが、その一方で、その適切な撮影・診断には、診断者個人のスキルによるところが大きい。赤外線法は、建築の知識が豊富でありかつ、目視や打診の併用もできる技術者が実施することが重要である。確かな調査を実施してもらうためには、今後、赤外線法の診断のあり方も含めて検討する必要がある。

3.6 外壁診断装置および解析プログラムの試作

3.6.1 壁面走行型診断装置のプロトタイプ

1) はじめに

3.1 節でも述べたが、建築物の所有者の維持保全に対して意識されるようになっていくが、金銭的な理由により外壁診断ができないという場合もまだ多い。実際に外壁に関する定期調査報告において、診断していないと報告されたものの理由としてこの点が上げられている。

建築物の外壁面を全面打診する場合の方法としては、足場等を設置して打診検査を行うか、現時点であれば赤外線装置法を用いるか（赤外線装置法の場合は、打診法と併用の形になる）のいずれかになる。今回のプロジェクトで外壁診断における費用調査を実施したところ、専門工事業者や調査対象の建築物の規模によってばらつきはあるが、打診検査を行う場合の費用の近くは半分は仮設費になっていることが明らかとなった。補修・改修工事を前提としている場合は仮設を設けて診断を行う意義は大きいですが、診断のみの場合は、コストの件からは不経済となるため、仮設足場を使用することなく診断できるような方法も整備しておくことが、診断の実施率を向上させる意味では大きい。

このような背景から、足場を不要とし、高所、狭所など人が容易に近づけない場所での外壁の診断を簡便に行うための診断技術の検討を進めることとなった。

2) 開発の経緯

プロジェクトがスタートした当初(平成 22 年度および 23 年度)は、電源供給はバッテリー式として外部からの供給は行わないという条件で開発を進めていた。その他の開発目標として以下を設定した。

- ・ 検査員が外壁調査を実施する場合と同程度の面積が調査できる速度 (10~20m²/hour) を目標
- ・ 微少な段差の回避や偶角部での転回等ができること
- ・ 無線方式により走行装置を遠隔操作できること
- ・ 打音データは AD 変換し、専用の解析プログラムにより剥離等の状態を診断できること
- ・ 重量 (走行装置部分) は 15kg 程度

走行方式については特に条件は無く、最初は吸盤の付いたクローラータイプでの走行方式で検討が始まった。しかしながら重量等の問題を解決することができなかつたため、独立方向タイプに変更し、平成 23 年度末の段階では、全部で 8 つある脚を 4 脚ずつ交互に動かして

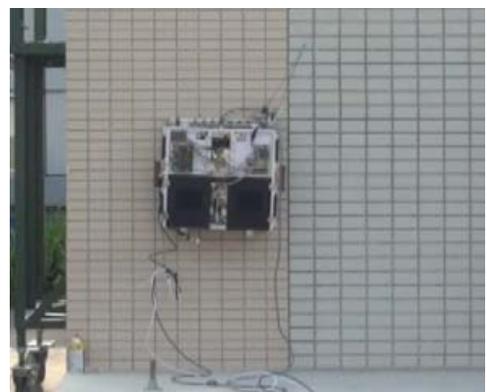


写真 3.6.1 外壁診断装置 (H23 年度)



写真 3.6.2 外壁診断装置 (H24 年度)

壁面を走行する装置を試作した（写真 3.6.1）。

最終年度である平成 24 年度はこの 2 年間の研究成果を踏まえ、基本的に電源供給はバッテリー方式とするが、外部電源の供給でも可能とするように条件を緩和し、改良作業を行った（ただし、電源供給用のケーブルの重量を落下防止装置に負担させることにより、診断装置自体にケーブルの重量がかからないようにするという条件を追加した）。

また、平成 23 年度までの装置では真空ポンプを用いて吸着する機構としていたが、より大きな吸着力が得られるようにするため、ポンプの種類をブロアポンプ（掃除機に使用されているようなもの）に変更することとした（写真 3.6.2）。

3) 開発した壁面走行型外壁診断装置の概要

試作した壁面走行型外壁診断装置は、長さ 1m、幅 85cm、重さ約 17kg である。装置は以下の 3 つの部分で構成される。

- ①外壁診断装置本体
- ②落下防止装置（電源供給を兼ねたリールユニット）
- ③位置計測装置

①外壁診断装置本体

写真 3.6.3 に示すように、外壁診断装置本体は、a. 走行装置、b. 打音装置、c. 走行および打音装置の動作制御装置（制御基盤含む）からなる。

a. 走行装置

走行装置は、吸着面の大きさが 45cm×20cm の 2 つの脚、77cm×20cm の 1 つの脚を有し、2 つの吸引ポンプ（一般の家庭用掃除機に用いられているとほぼ同じもの）により壁面に吸着しながら移動する。移動方法は、装置の上下に取り付けられた 2 つの脚（45cm×20cm）と、装置の真ん中にある脚（77cm×20cm）とを、交互に動かして尺取り虫のように壁面を登り降りする。また、この装置は上下方向だけでなく、横方向への移動も可能となっており、鉛直方向 1 列を診断した後、人が装置を取り外して隣の列に設置しなおすということを経ずに、作業を続けていくことができるようになっている。一回の移動距離は、上下方向がおよそ 10cm、横方向はおよそ 5cm である。

b. 打音装置

打音装置は、壁面を打撃する部分（インパクト）と集音器（マイクロホン）とが一對となったものから構成され、これらは走行装置の先端部に 10cm 間隔で 6 個設置されている（写真 3.6.4、3.6.5、図 3.6.1、3.6.2 参照）。診断のための壁面の打撃と集音は、外壁診断装置本体の移動が終了し、停止下後に行われる。集められた打音はデジタルデータに変換さ

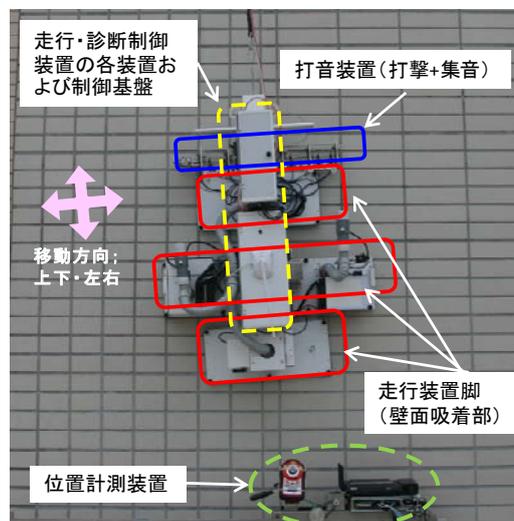


写真 3.6.3 外壁診断装置本体

れ、搭載しているパソコンで解析してタイルが浮いているか、健全であるかを判定するようになってきている。これらのデータは、解析後に地上の制御用パソコンへ送信されるようになってきている。

通常、人が打診する場合の作業量は1時間あたり10～20m²程度と言われており、今回の開発ではその作業量とほぼ同じぐらいになるよう、装置の移動速度や解析方法の検討を進めた。将来的には診断結果を図面情報の中に落とし込み、簡単に検査結果の確認ができるシステムへとなることが期待される。



写真 3.6.4 打診装置の取付状況

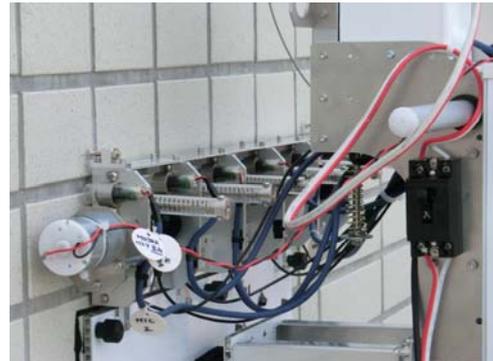


写真 3.6.5 打診装置

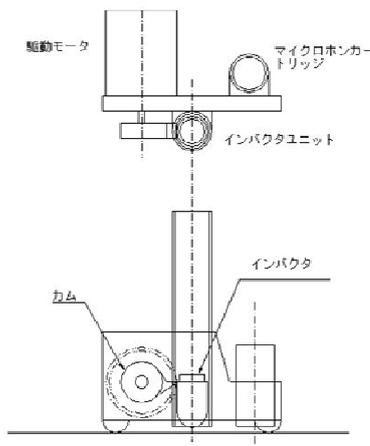


図 3.6.1 打音機構部の基本構想

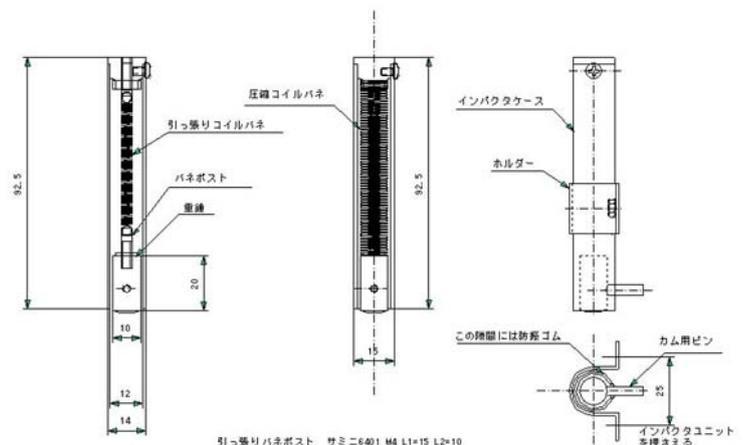


図 3.6.2 インパクタの構造

c. 走行および打音装置の動作制御装置（制御基盤含む）

走行装置・打音装置・位置計測装置の各動作については、一つの制御系で操作可能となるよう制御基盤および制御プログラムを改良設計した。基本的には以下の動作ができるようにプログラムを設計した。

- イ. 前進（後退）動作
- ロ. 前進（後退）+診断（測定系／打撃+データ収録）+位置計測
- ハ. 測定位置の列替え動作（回転・平行移動）

走行系の動作に関しては、壁面に確実に吸着しながら確実に移動できるようにするため、吸着状態を圧力センサーでセンシングしながら吸着部の動作を最適に制御するように設計した。また、上下だけでなく左右への移動と旋回が行なえるようにし、100mmの左右ス

トロックを5回繰り返すことで幅 500mm の列変えを行うことができるようにした。さらに、回転中心を持つ構造により二脚がそれぞれ $\pm 5^\circ$ ほどの角度で旋回できるようになっているため、作業途中で装置進行方向にずれが生じた場合でも修正することが可能である。これらの動作は、ジャイロセンサーによって装置の水平を確認し倒れがあった場合には旋回軸を駆動し常に装置の上端面が水平に保たれるように自動的に修正する。こうした一連の動作はパソコン等から無線 LAN で制御することとした。

②落下防止装置（電源供給を兼ねたリールユニット）

先ほども述べたが、外壁診断装置の開発を始めた初期の段階では、電源方式をバッテリー一型としていたが、使用状態によって電圧が不安定になり、壁面への吸着状態が不確実になることがあった。そのため、平成 24 年度の外壁診断装置の改良にあたっては、外部電源を供給する方式とすることも含めて、改良に向けた検討を行った（当初はバッテリーのみによる駆動を条件としていた）。

最終的には当初の「バッテリーだけで動かす」という条件を外し、走行に支障がないように外部電源を利用する仕様も認めることとした。外部電源を利用する場合は、電源を供給するケーブルの重量が次の問題となる。試作機では、落下防止用のケーブルに電源供給の機能を持たせることとし、外壁診断装置自体にケーブルの重量がかからないように、一定の牽引力でケーブルを引っ張り上げるための巻き上げ装置を設け、余計な重量がかからないようにした（図 3.6.3）。電源供給を兼ねたリールユニットを写真 3.6.6、ケーブルを巻き取る補助具を写真 3.6.7 に示す。仮にタイル外壁の一部が浮いたところに外壁診断装置の吸着板がそこにかかり、タイル・モルタルとともに落下するような場合でも、もとの位置から 50cm 程度下がったところで止まるような制御とした。

この装置は、屋上のパラペットに固定して使用

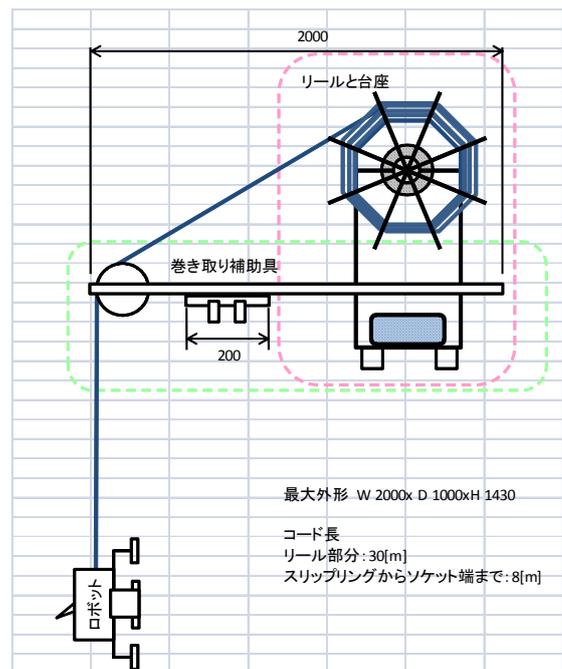


図 3.6.3 落下安全装置の概念図



写真 3.6.6 落下防止装置（電源供給を兼ねたリールユニット）



写真 3.6.7 巻き取り補助具

することを想定している。鉛直方向 1 列の外壁診断作業が進めば装置自体は水平方向に移動することとなるが、その場合は、パラペットに固定する巻き取り装置の補助具を適切な位置に設置しなおす作業が必要となる。

③位置計測装置

走行装置の位置計測には、エンコーダとレーザ測長器を使用した。図 3.6.4 に示すようなレール架台を地上にセットし、その上に写真 3.6.8 に示すレーザ照射計を載せた移動装置を取り付け、外壁装置本体に向けてレーザを照射しながら移動装置を動かして外壁診断装置に取り付けた位置計測用の受光ユニット（レーザの受光部）にレーザが入った時の水平方向の位置をエンコーダから計測する。鉛直方向については、外壁診断装置本体に取り付けられたレーザ距離計を用い、水平方向の距離を測定した際のタイミングで高さを測るようになっている。

計測された位置情報は外壁診断装置に搭載されているパソコンに保存され、その後、打診結果とともに地上に設置されているパソコンに送信される。

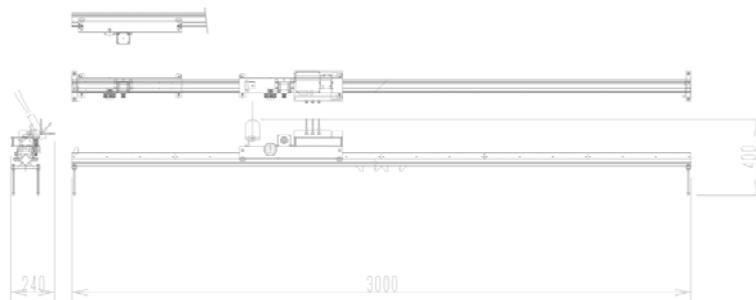


図 3.6.4 レール架台



写真 3.6.8 位置計測のための移動装置（レーザ照射計と無線装置）

3) 動作確認結果および今後の課題

①走行性

ブロアポンプを用いて壁面に吸着する方式としたため、安定して外壁面に吸着することが可能となった。走行は鉛直方向・水平方向にそれぞれ移動することができるようになっており、障害物があった場合でもそれを回避することが可能となっている。速度についても、目標にしていた $10\sim 20\text{m}^2/\text{hour}$ 程度の診断が可能となる移動速度は達成できた。

このように安定して吸着しながら壁面を移動することが可能になった一方で、騒音という問題が新たに発生した。試作機で用いたブロアポンプは、家庭用掃除機に用いられているものと同じようなものであり、何らかの防音対策を施さなければ音圧が大きくなる。今回の装置では診断方法として打音法を用いるため、壁面を打撃したときの音が重要になる。今後はこの騒音をどのように低減させていくかが実用化に向けた課題の一つとなった。

②位置情報

今回は水平方向の距離を測るために、レーザ照射計を搭載した移動装置とそれが動くレール架台のセットを作製し、移動装置のエンコーダから外壁診断装置の水平方向の位置を算定する方法とした。鉛直方向については、外壁診断装置にレーザ測距計を取り付け、地

面からの高さを測定している。水平位置については、レール架台の設置とレーザ照射計からレーザを発射する角度によって、外壁診断装置の搭載しているレーザの受光器にレーザが適切に捉えられない場合もある。特に装置が高い位置に行くほど、誤差が大きくなり、余計に測定が困難になる可能性がある。現在、施工時にはトータルステーションを用いて、基準を出している。この外壁診断装置についても、トータルステーション等を活用して、位置情報を収集するという方法も一つであると考えられる。

③診断精度

診断精度については、3.6.3 で後述する。

3.6.2 手動型診断装置（打診棒の代替）のプロトタイプ

1) はじめに

現状、外壁診断では打診検査が用いられることが多いが、この手法は検査員の技能・経験に依存している。建築物の所有者側の立場として、手の届く範囲でも日常点検で確認ができると都合がよいが、素人だと判断が難しい。

このような状況を踏まえ、本研究では外壁の一次診断等において用いられている打診棒と同じような使われ方をすると想定し、打診検査が検査員の技能・経験に依存している点を、定量的な判断が可能となるような打音の測定解析装置に置き換えた簡易な測定装置の開発を行った。

装置の検討にあたっては、上記以外に以下の項目も開発目標とした。

- ①検査員が直に手に持って検査することが可能な形状・重量であること
- ②より正確な調査が必要になった場合に系統だった調査を行えるように、打診点の位置情報を入力できるシステムを備えること

2) 開発した手動型診断装置の概要

平成 23 年度末の時点で製作した試作機は、壁面を転がる硬質ゴム製のヘッド(直径 32mm、幅 16mm 筒状のもの)にインパクトが取り付けられ、ヘッド部が回転しながら壁面を打撃する機構となっていた。完成後、模擬試験体で検証実験等を実施したが、当初想定していたよりも打撃音が小さかったこと、また、夏の気温の高い時期にはヘッド部分のシリコンゴムが柔らかくなり、タイル面を上手く叩くことができないということが確認された。

この結果を踏まえ、平成 24 年度の改良にあたっては、打撃部はカム等を用いて打撃するような機構に変更することとした。

最終的に製作された試作機を写真 3.6.9～3.6.11 に示す。装置打音測定部(ヘッド)を壁面に押しつけたとき、ヘッド部が壁面に正対するよう、シャフトを最大 15° 測定装置ヘッド部分からオフセットさせることができるように設計した。

図 3.6.5 に打撃部の構造を示すが、インパクトの駆動方法はインパクトおよびカム駆動梃子を横方向に相対させて配置し、装置の寸法圧縮を図った。このため、打音機構は、駆動用ロールの前側に位置している。マイクロホンは、樹脂製の防音カバー(装置の上下方向は開放)に防振を兼ねて接着した風防内に収納する構造となっている。

グリップ内には、アンプおよび AD 変換器を装着した。AD 変換器からの出力は、USB コネクタとなっており、パソコン (PC)用の USB 延長ケーブル (最長 5m)で、測定用の PC と接続している。シャフトは、マイクロホンおよびスイッチ用ケーブルを通すため、パイプ構造している。



写真 3.6.9
手動型外壁診断装置



写真 3.6.10
手動型外壁診断装置と小型 PC



写真 3.6.11 ヘッド部分

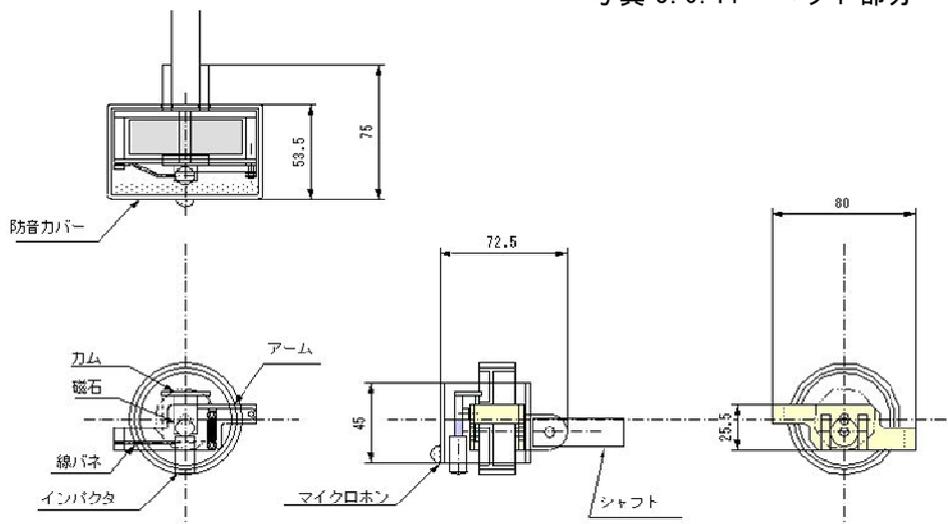


図 3.6.5 打音装置部の概要

現行機は小型パソコンとつなげて診断結果を解析し、結果を表示するようになっている。図 3.6.6 にグリップの構造を示すが、小型パソコンとは、グリップ部についている USB により接続する。将来的に製品化する場合には、専用の基盤にプログラム等を書き込み、小型パソコンを不要とした診断装置とする方向で検討を行った。

診断結果について、健全あるいは非健全（剥離）の

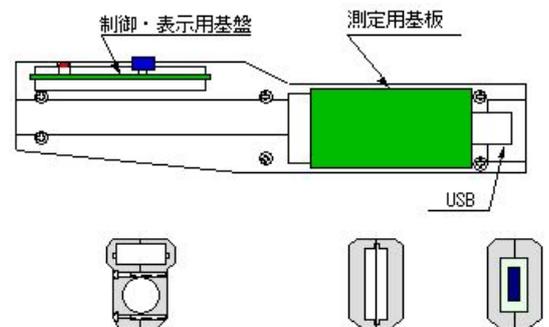


図 3.6.9 グリップ

評価結果がグリップ部に LED 点滅によって表示されるようになっている。

3) 動作確認結果および今後の課題

大型外壁試験体を用いて試作した手動型診断装置の使用性を確認するための実験を行ったところ、打撃の機構については開発当初から何度も改良を行ったため、打撃そのものは確実に打てるようになっていたが、回転体であるヘッド部分がタイル面で滑るという現象が何度かあった。タイル表面に汚れが付いている場合などは特に滑りやすく、滑らないように装置を使用する場合はある程度強い力で押さえつけるように装置を使わなくてはならなかった。打撃部についてはモーター等を用いずに検査員がヘッド部を壁面上で転がしながら使用するように設計したが、回転体の部分については、何らかの動力を用いて、壁面に軽く当てる程度で打撃、集音できるようにすると、確実に、また負担が少なく装置を使用できると考えられ、この点は今後検討が必要である。

開発当初に目標としていた、“検査員が直に手に持って検査することが可能な形状・重量”という点については条件を満たす装置となったが、確実に打撃できるようにモーター等を使用する場合は重量も大きくなると思われるため、他の部分での軽量化が必要である。

また、“打診点の位置情報を入力できるシステムを備えること”ということも開発目標としていたが、cm 単位で位置情報をとらえるという技術は現状でも非常に難しいため、この点については引き続き今後の課題である。

3.6.3 打音解析プログラム

(1) 打音解析の基本的な考え方とプログラム

本研究で試作した壁面走行型診断装置および手動型診断装置のいずれの場合も、打音の解析については、以下に説明する解析方法をベースとしたプログラムを用いた。なお、解析方法自体は、既往の研究、開発ソフトなどで様々なものがあるため、使用目的と必要とする診断精度のレベルに応じて使用する解析プログラムを選定する必要があると考えられる。

打音信号の解析手法として、ゼロクロス回数による主周波数の推定および振幅比による減衰率の推定を行い、その積値を評価尺度値に適用した。健全度の値は、

$$\eta = \frac{F \times A}{F_0 A_0} \quad (3.6.1)$$

$$F_0 = \frac{V_p}{2D} \quad \text{基本周波数}$$

$$A_0 \quad \text{基準減衰量(10dB)}$$

で表すことができる。

基本周波数 F_0 は、外壁のコンクリート躯体部分の厚さ D とその縦弾性波速度 V_p によって変化する。 A は減衰量であり、 A_0 の基準減衰量は任意に設定可能である。これまでの供試体による実験では、おおよそ 10dB 程度の値が妥当と考えられる。

打音によって発生する周波数のうち、構造が健全な場合に発生する周波数の中で最も低

い周波数は、波動が外壁の厚さ方向に多重反射して発生する共振周波数と考えられる。この基本周波数は、外壁材料の縦弾性波速度を厚さの2倍の値で除した値となる。高い周波数成分は、インパクトとタイルの接触インピーダンスを原因として発生する可能性がある。ただし、タイルが下地に接着し、固定されているとすれば、その周波数成分のパワーは弱く、また減衰も速いと想定され、ゼロクロス周波数算出に与える影響は少ないと考えられる。タイルの剥離やモルタル部分の剥離に起因する音の周波数は、一般的に低い周波数となることが知られている。また、実験の結果から音圧の減衰も小さいことが判っている。これらより、式 3.6.1 にあるように、健全状態で期待される周波数と減衰量の積に対する測定量の比を健全度と定義した。



図 3.6.7 画面

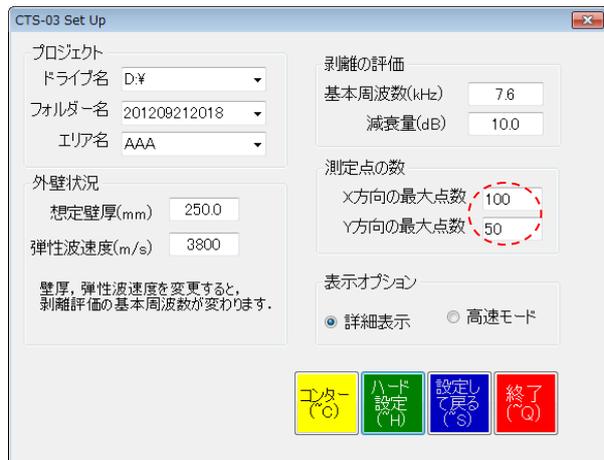


図 3.6.8 画面

この解析法を基に、打音解析プログラムを作成した。図 3.6.7 解析結果を表示する画面を示す。評価結果は、下の主画面に平面コンターとして表示される。測定は、画面の水平方向に左から右に掃引して行うことを前提としている。同図中、赤波線で囲ったカーソルの中に復帰ボタン(カーソルボタン中央)があり、測定ラインが変更になる場合にはこのボタンをクリックすると水平方向は原点(X方向の測定点番号 1)に復帰すると同時に、Y方向の測定ライン番号が一つ増える。

X、Y方向の測定点数は、あらかじめ、「設定」する必要がある(図 3.6.8 中の赤波線内)。打音診断結果のコンターは、図 3.6.9 に示す画面で色設定を行うことができる(色設定は、ユーザの任意)。「初期値」では、基準値の 90%以下となる場合、黄色および赤で表示され、不健全の可能性を示す。測定結果は、図 3.6.10 のようにコンターで表示される。各測定位置での測定値(周波数、減衰率)は、カーソルをあわせることによって、画面にその値を表示することができるようになっている。



図 3.6.9 画面

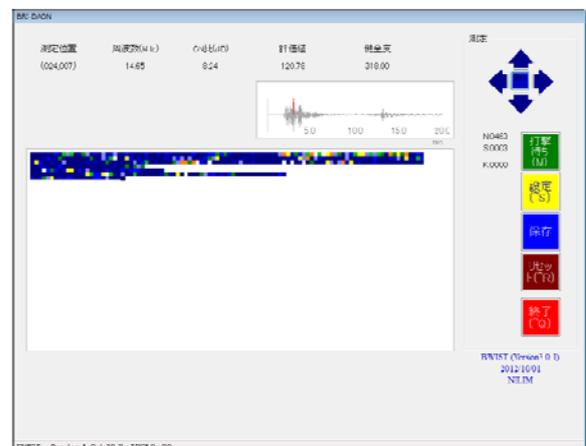


図 3.6.10 画面

(2) 走行型外壁診断装置の打音解析

前項でも説明したとおり、試作した走行型外壁診断装置は壁面に吸着するためにブローポンプを稼働する必要がある。ブローポンプが稼働すると、そのモーター音が高音圧騒音となるため、打音信号の波形そのものだけでは壁面状態の分析をすることはできない。

この騒音の影響を取り除くため、開発当初は打音を測定する直前にノイズ信号を測定し、測定波形のスペクトル解析を行い、そこから自己回帰モデルの係数ベクトルを算出し、これをフィルターとして雑音除去する方法で検討を進めた。しかしながら、実際に測定された外壁診断装置のノイズの周波数成分が打音の健全な場合に測定される周波数成分と重なっていたことが確認され、またノイズの自己回帰モデルは低周波数成分が卓越していたために収束が悪く、自己回帰モデルを適用しても打音信号の波形が再現されていないことがわかった。

事前の検討でノイズの自己回帰モデルを用いること困難であることが明らかとなったため、ノイズと信号発生源の位相差により打音信号を再現する方法に打音解析方針を変更した。原理的には、次のように考えた。

図 3.6.11 に示すようにマイクロホンを 2 個直列に配置する (マイクロホン M1 が外壁に近い方とする)。測定対象とする打音はマイクロホン M1 からマイクロホン M2 の方向に伝搬する。その伝搬遅延時間を τ とする。このマイクロホンに対する外乱ノイズは、同相で二つのマイクロホンに入射すると考える。それぞれのマイクロホンが測定する音圧信号は、3.6.2 式で表すことができる。

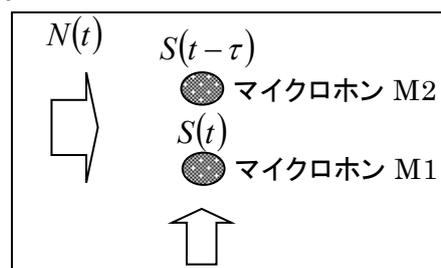


図 3.6.11 ノイズ除去の考え方

$$\left. \begin{array}{l} \text{マイクロホン 1 の測定波形} \\ \text{マイクロホン 2 の測定波形} \end{array} \right\} \begin{array}{l} M_1(t) = S(t) + N(t) \\ M_2(t) = S(t + \tau) + N(t) \end{array} \quad (3.6.2)$$

二つのマイクロホンの測定信号の差分を求めると、次のようになって外乱ノイズは、除去される。

$$\text{両マイクロホンの信号の差分 } D(t) = S(t) - S(t - \tau) \quad (3.6.3)$$

すなわち、二つのマイクロホンの測定波形の差を求めると、測定対象となる信号 S の微分(差分)となっていることがわかる。

したがって、測定対象となる信号を再現するためには、

$$\hat{S}(t) = \frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^t D(t) dt \quad (3.6.4)$$

として、差分信号の積分を求めることとした。

再現された打音は、(1)で説明した解析方法を用いて外壁の評価を行った。ただし、(1)では周波数と減衰率の積集合により健全性を評価していたが、走行型外壁診断装置で収集された打音は、純粋に打音そのものではなくノイズを除去したデータであるため、ここでは周波数のみによって評価した。

(3) 走行型外壁診断装置に搭載した打音装置による診断結果の評価

3.6.1の課題でも記述しているが、ブローポンプから発生される騒音が解析に必要な打音に重なってしまうため、この騒音をできるだけ取り除く必要があった。そのため、マイクの位置を工夫するなどして、位相差により騒音を取り除く等のプログラム上の処理を行った。

騒音の影響を低減させた上で、今回はこれまで使用していた周波数と減衰率の積集合による評価ではなく、周波数のみによって評価するプログラムを作成し、診断精度等について検討した。

図 3.6.12、3.6.14 は模擬欠陥を作り込んだ外壁試験体の模式図であり、図中の青で示した部分は欠陥部である。この外壁試験体は厚さ 20cm のコンクリート壁に下地モルタルを施工し、その上にタイルを張り付けたものである。下地モルタルの厚さは、図 3.6.12 は 20mm、図 3.6.14 は 10mm であり、コンクリートと下地モルタルの界面に厚さ 1mm のスチレンボードを欠陥部として埋め込んだものである。欠陥部の大きさは 5cm 角、10cm 角、20cm 角および 30cm 角の 4 水準とした。

図 3.6.13、3.6.15 は、それぞれ図 3.6.12 および 3.6.14 の試験体について内部欠陥を判別した結果を示している（図中の青の部分は健全と評価したところであり、緑→黄色→橙に

なるほど浮きの程度が大きいと判断されたところを示す)。図からわかるように、20cm角以上の比較的面積の広い内部欠陥については、十分な精度で検出されておると考えられるが、10cm角より小さい欠陥については、検知は困難であった。

今後の課題として、ポンプの騒音を押さえる改良を行うとともに、診断精度を向上させるための検討が必要である。

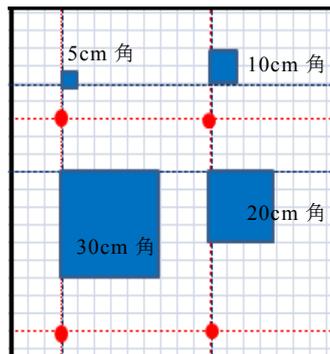


図 3.6.12 欠陥位置の模式図
(下地モルタル 20mm・コンクリート
躯体と下地モルタルの界面に欠陥)

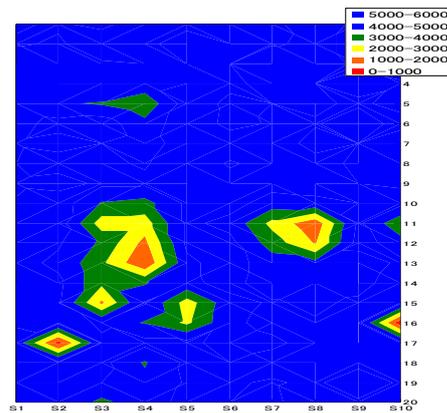


図 3.6.13 左図（図 3.6.12）に
示した試験体の欠陥部の判別結果

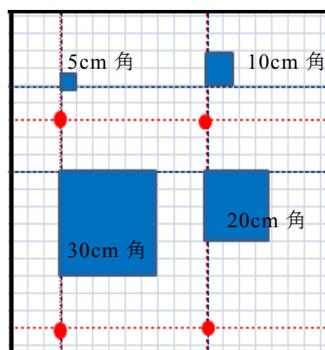


図 3.6.14 欠陥位置の模式図
(下地モルタル 10mm・コンクリート
躯体と下地モルタルの界面に欠陥)

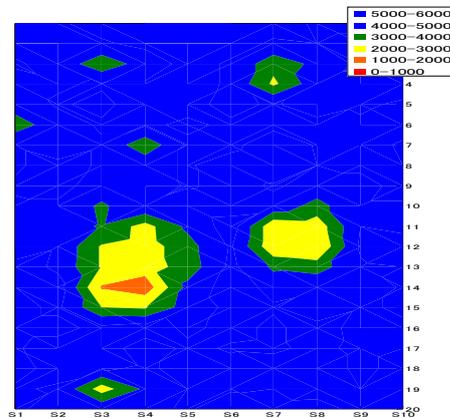


図 3.6.15 左図（図 3.6.14）に
示した試験体の欠陥部の判別結果

3.7 まとめ

鉄筋コンクリート造建築物の外壁を対象とした予防保全に関する取り組みとして、①外壁診断業務および定期検査報告での外壁診断に関する実態調査、②外壁診断手法の検討、および③外壁診断装置の開発を行った。

外壁診断業務については、外壁診断を行う専門業者に対してヒアリングを行い、定量的な評価基準のない打診検査を実施する際の劣化・不具合の判断基準や診断技術を維持するためにとられている対策について実態を取りまとめた。また、建築基準法第12条による外壁の定期報告制度については、実施状況および制度の運用に関して特定行政庁へ調査を行った。この調査では、打診検査以外の調査方法による報告は有効な調査方法として位置づけられていないこと、一方で打診検査での診断が難しい外壁仕上げ工法が増えている現状では新たな診断手法の整備とともに、診断指針の見直しが必要であるという実態が明らかとなった。

外壁診断手法については、現在、外壁診断の基本となっている打診検査とその他の診断手法を用いて診断精度に関する実験検証を行った。その結果、診断手法により検出できる欠陥の状態に違いがあることが明らかとなった。例えば、打診検査ではコンクリートとモルタル、あるいはモルタルとタイルの界面において肌別れしている状態であっても”剥離している”という診断は可能であるが、赤外線調査法では肌別れ程度であれば欠陥部の面積が大きくても検出できない等、診断手法による検出可能な欠陥の違いが明確になった。これらの結果は、外壁診断に適用する各種診断手法の選定、適用限界に関する技術的根拠となるものと考えられる。また、建築物の長期利用が進む中で増えてきた改修外壁については、従前の打診検査では劣化診断が困難と言われてきた。この点について、診断実務に関する実態調査と打診検査に代わる新たな調査手法について検討を行い、技術的な課題を整理した。

外壁診断装置については、高所、狭所など人が容易に近づけない場所においても足場等を設置することなく外壁診断を可能とする「自走式外壁診断装置」のプロトタイプを開発した。この装置については、目地深さ3mm程度のタイル外壁面（大型外壁試験）において昇降動作、診断動作等の実験を実施し、開発目標を概ね満足できていることを確認した。外壁診断装置の開発はまだ道半ばであるため、引き続き、実建物での検証実験を行い、実用化に向けた性能・機能の改良等が必要である。

診断コストを押さえつつ、なおかつ精度よく診断を行うためには、外壁診断装置等を有効に活用していく必要があるが、現状はこれらの診断装置を適用した診断業務は確立されていない。今後は外壁診断装置の使用を前提とした外壁診断業務のあり方や診断基準等を整備し、合理的な診断、延いては維持管理が行われ、建築物の日常安全性が確保されるようになることが望まれる。本研究の成果が、民間企業等による外壁診断装置開発の促進につながることを期待したい。