

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1309

February 2025

既存建築物の屋根ふき材の耐風診断・耐風補強評価マニュアル(案)

喜々津 仁密

Manual on wind resistance diagnosis and wind resistance reinforcement evaluation
for roofing system of existing building (Draft)

KIKITSU Hitomitsu

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

既存建築物の屋根ふき材の耐風診断・耐風補強評価マニュアル(案)

喜々津 仁密

*

Manual on wind resistance diagnosis and wind resistance reinforcement
evaluation for roofing systems of existing building (Draft)

KIKITSU Hitomitsu

概要

本マニュアル案は、既存建築物の屋根ふき材を対象にした耐風診断と改修工法の耐風補強評価に資する目的でとりまとめたものである。本書では、屋根改修の実施を促すための耐風診断の考え方と手順を提示した。また、用途等に応じて必要とされる耐風性能を確保した屋根の実現に資するため、耐風性能水準を提示した上で、耐風補強を伴う改修工法が同水準を満たすことを評価する方法を提案した。

キーワード : 屋根ふき材、耐風性能、屋根改修

Synopsis

This draft manual was organized to support wind resistance diagnosis and evaluation of wind reinforcement methods for roofing systems of existing buildings. This manual outlines the concept and procedure for wind resistance diagnosis to promote roof renovation. In addition, to help realize roofing systems with the required wind resistance, it presents wind-resistant performance levels and proposes a method for evaluating whether renovation methods with wind-resistant reinforcement meet each performance level.

Key Words : Roofing Systems, Wind-resistant Performance, Roof Renovation

*

建築研究部

Building Department

既存建築物の屋根ふき材の耐風診断・耐風補強評価マニュアル(案)

目 次

第 1 章 総 則	1
1.1 本マニュアル(案)の目的と適用範囲	1
1.2 屋根ふき材の耐風診断から改修・耐風補強までの流れ	5
1.3 屋根ふき材の耐風性能水準	9
1.4 診断と評価に用いる風荷重	10
参考文献	20
 第 2 章 耐風 1 次診断	 23
2.1 耐風 1 次診断の概要	23
2.2 調査方法	24
2.2.1 事前調査	24
2.2.2 現況調査	24
2.3 診断方法	27
2.3.1 建設地における強風の実況の把握	27
2.3.2 屋根ふき材のぜい弱性の把握	31
2.3.3 強風被害リスクの診断	32
参考文献	33
 第 3 章 耐風 2 次診断	 35
3.1 耐風 2 次診断の概要	35
3.2 調査方法	36
3.2.1 事前調査	36
3.2.2 現況調査	37
3.3 診断方法	43
3.3.1 風荷重の算定	43
3.3.2 残存耐力の算定	43
3.3.3 耐力評点に基づく強風に対する損傷可能性の診断	46
参考文献	48

第4章	屋根ふき材の改修における耐風補強	49
4.1	改修における耐風補強の概要	49
4.2	耐風補強の種類と配慮事項	50
	参考文献	62
第5章	改修工法の耐風補強評価（一般評価法）	63
5.1	一般評価法の概要	63
5.2	評価方法	64
5.2.1	風荷重の算定	64
5.2.2	許容耐力の算定	64
5.2.3	耐力評点に基づく耐風補強効果の評価	65
	参考文献	68
第6章	改修工法の耐風補強評価（詳細評価法）	69
6.1	詳細評価法の概要	69
6.2	評価方法	70
6.2.1	風荷重の統計値の算定	70
6.2.2	最大耐力の統計値の算定	70
6.2.3	想定破壊確率に基づく耐風補強効果の評価	73
	参考文献	82
付録1	耐風1次診断リーフレットの例示	85
付録2	耐風2次診断票の例示	91
付録3	各屋根ふき材の改修工事費の試算例	95
付3.1	粘土瓦ぶき	95
付3.2	折板ぶき	100
付3.3	金属板ぶき	106
付録4	各屋根ふき材の耐力試験データ	111
付4.1	粘土瓦ぶき	111
付4.2	折板ぶきの接合部	113
付4.3	金属板ぶき	114
付4.4	住宅屋根用化粧スレートぶき	115

第1章 総則

1.1 本マニュアル(案)の目的と適用範囲

- (1) 本マニュアル(案)は、既存建築物の屋根ふき材を対象にした耐風診断と改修工法の耐風補強評価に活用するものである。平常時にこれらの診断と評価を行うことで、強風時の脱落や飛散に伴う以下の可能性を未然に低減することを目的とする。
- ・ 人命に対する危害
 - ・ 当該建築物の機能喪失
 - ・ 周囲の建築物等に対する二次被害
- (2) 本マニュアル(案)は、主に瓦ぶき、金属板ぶき、折板ぶき、住宅屋根用化粧スレートぶきに適用する。

【解説】

(1) 本マニュアル(案)作成の背景

近年の非常に強い勢力を保って四国に上陸した平成30年台風第21号、強い勢力で房総半島に上陸した令和元年台風第15号は、多くの地点で観測史上1位の風速を観測する記録的な暴風となった。こういった上陸地域を中心に多数の建築物被害が発生した状況は、社会的にも大きなインパクトを与えた。顕著な災害をもたらした令和元年台風第15号については、気象庁が災害の経験や教訓を後世に伝承すること等を目的として「令和元年房総半島台風」と名称を定めた。解表1.1.1に示す損害保険支払総額をみると、近年の平成30年台風第21号、令和元年台風第19号、令和元年台風第15号がそれぞれ支払総額の歴代第1位、第2位、第4位を占めており、さらには顕在化している気候変動の影響として今後、猛烈な熱帯低気圧（台風）の出現頻度が日本の南海上で現在よりも高まる可能性が指摘されている^{1.1)}。台風による災害には風災だけでなく水災も含むものの、これらの災害実態や台風の将来予測は、建築物の耐風対策について更に取り組むべき課題があることを示唆するものである。

解表 1.1.1 過去の主な風水害等による保険金の支払い^{1.2)}に加筆

順位	災害名	発生年月日	支払保険金(億円)
			合計(うち火災・新種)
1	平成30年台風第21号	2018/9/3～5	10,678(9,363)
2	令和元年台風第19号(令和元年東日本台風)	2019/10/6～13	5,826(5,181)
3	平成3年台風第19号	1991/9/26～28	5,680(5,225)
4	令和元年台風第15号(令和元年房総半島台風)	2019/9/5～10	4,656(4,398)
5	平成16年台風第18号	2004/9/4～8	3,874(3,564)

令和元年台風第15号による被害分析の結果、観測された風速は建築基準法令での基準風速レベル未満であったが、建築年が古いほど屋根に被害を受けた住宅の割合が多い傾向が顕在化した。また、この台風による住宅の被害棟数については、例えば千葉県内で全壊314棟、半壊3,652棟、一部損壊61,104棟であった（内閣府「令和元年台風第15号に係る被害状況等について（令和元年12月5日）」）。このように住宅の被害総数が増加するほど、行政対応や修復工事への影響が大きく、被災者の生活再建や住宅再建に著しい遅延が発生する状況も生まれる。平成30年の非常に強い勢力を保った台風の上陸は25年ぶりであり、今後も強大化した台風の上陸とそれに伴う甚大な建築物被害が懸念される。しかし、建築物の居住者や管理者に対して、屋根の修繕・改修の機会を捉えた強風に対する補強（耐風補強）を促す仕組みや、屋根ふき材の耐風性能をより高い水準に誘導する方法が整備されていないのが現状である。

このような課題認識のもと、国土交通省が設置した社会資本整備審議会建築物事故・災害対策部会（令和2年7月開催）において令和元年房総半島台風を踏まえた強風対策（案）^{1,3)}が示された。この対策では3つの柱として「屋根ふき材に対する強風対策」、「小屋組に対する強風対策」、「基準風速の検証」が掲げられ、屋根ふき材に対しては以下の対策が挙げられている。

① 建築基準法の告示基準の改正

- ・ 瓦屋根のガイドライン工法を建築基準法の告示基準に位置付け、新築時等に義務付ける。
- ・ 平成17年国交省告示第566号の枠組みを活用し、既存不適格建築物の増改築時に、増改築部分以外の既存部分へは、新基準を基本的に遡及適用しない扱いとする。

② 沿岸部仕様の検討

- ・ 沿岸部向けの対策については、十分な知見の蓄積がないため、国総研等において試験等を実施し、望ましい緊結方法のあり方について検討を進める。

③ 既存建築物の屋根ふき材の改修の促進

- ・ 強化される告示基準に適合させるための屋根ふき材の改修等に対する支援制度の活用について周知を図るとともに、さらなる支援策の必要性について検討
- ・ 屋根ふき材の補強技術（部分改修を含む）の評価方法等について、国総研等において開発を進める。

④ 屋根ふき材の耐風性能の見える化の推進

- ・ 上記の対策を踏まえて、住宅性能表示制度における耐風等級の見直し（屋根ふき材の耐風等級の追加）を検討

上記の対策③に係る研究開発を国土技術政策総合研究所（国総研）等で行うこととされた点を踏まえ、国総研建築研究部では令和3～5年度に事項立て課題「既存建築物における屋根ふき材の耐風診断・補強技術評価に関する研究」を実施した。本書はその研究成果に基づき、既存建築物の屋根ふき材を対象にした耐風診断と改修時の耐風補強効果の評価方法や考え方をとりまとめたものである。本書の活用と普及によって居住者や管理者を屋根の耐風診断・補強に促すほか、上記の対策④への反映を視野に入れた耐風性能の見える化に資する技術資料を提供することも想定している。なお、診断・評価法に係る知見は継続して蓄積すべきものであり、更新や見直しを今後行う余地がある点で本書の名称には（案）を付記した。

(2) 耐風診断と耐風補強評価の目的

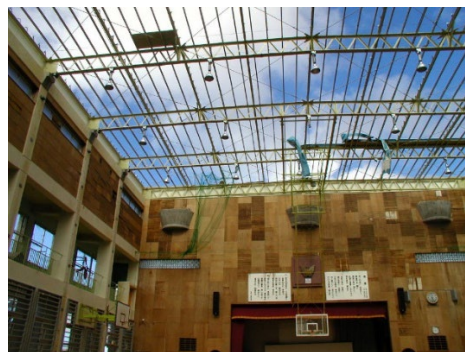
強風によって屋根ふき材が損傷すると、その脱落や飛散等による直接的な人的被害を生じたり、避難経路の閉塞や室の機能不全等が生じたりするおそれがある。過去に国総研、建築研究所が行った強風被害調査では脱落飛散等の事例が多く確認されている（解図 1.1.1）。こういった被害を未然に防ぐために耐風診断や耐風補強を平常時に行うことが望ましく、本書ではその拠り所となる考え方や具体的な診断・評価方法を整備した。

屋根ふき材の耐風診断と耐風補強の目的は、強風時の「人命に対する危害」、「建築物の機能喪失」、「周囲の建築物等に対する二次被害」の3つの可能性を可能な限り未然に低減することである。具体的に1つ目の危害には、重量のある屋根ふき材の上からの脱落・落下による危害、鋭利又は硬質な屋根ふき材の飛散による危害がある。2つ目の機能喪失には、屋根ふき材の脱落又は飛散により屋内に強風や雨水が浸入し、屋内空間の使用ができなくなったり設備什器の故障・汚損等が挙げられる。3つ目の二次被害の例としては、飛散した屋根ふき材が周囲の建築物に衝突したり電柱や電線に絡む被害が挙げられる。

これまでの屋根の改修実態をみると、主に強風対策の目的で改修を行うよりもむしろ、雨漏り等の不具合が顕在化して初めて現況調査や改修を行うことが多いようである。また、耐震改修、環境配慮型の改修、大規模な用途変更といった既存ストック改善の一環で屋根改修の機会もある。したがって、こういった不具合の改善や耐震改修等の機会をとらえて、耐風診断も兼ねた現況調査や耐風補強に誘導することも現実的と思われる。そのほか、将来の維持保全計画のなかで耐風診断、改修計画のなかで耐風補強計画をそれぞれ組み込むことも想定される。



(a) 瓦屋根（令和元年房総半島台風）



(b) 金属屋根（平成 15 年台風第 14 号）

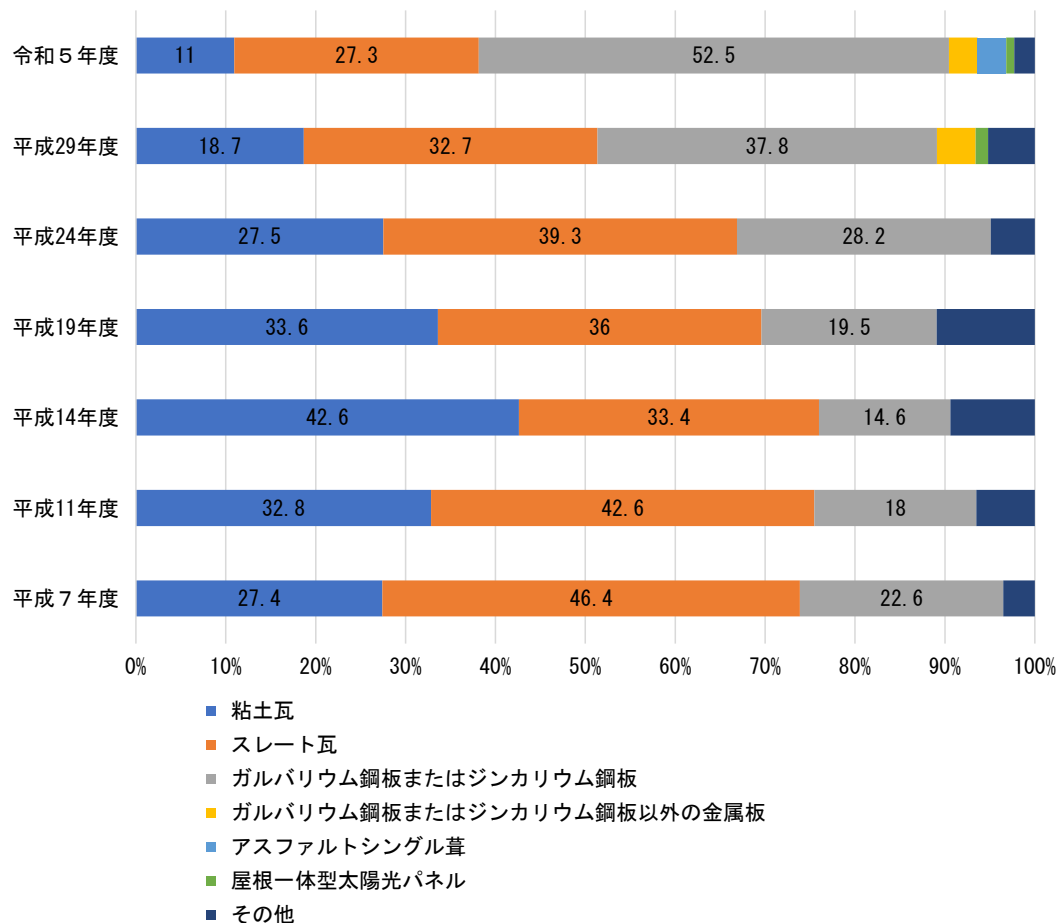
解図 1.1.1 台風による屋根ふき材の強風被害例

(3) 本マニュアル(案)で対象とする屋根ふき材の種類

解図 1.1.2 に戸建て住宅における屋根ふき材の使用割合^{1.4)}を示す。調査対象がフラット 35 の設計検査を受けた新築戸建て住宅（木造軸組工法の住宅）に限定されるが、屋根ふき材の使用割合は平成 7 年度から粘土瓦、スレート瓦、金属板が全体の 9 割程度を占めており、直近（令和 5 年度）の調査では「ガルバリウム鋼板またはジンカリウム鋼板」の使用割合が最も多く、次に「スレート瓦」が多い。なお、地域別では、北海道で「ガルバリウム鋼板またはジンカリウム鋼板」とともに、その他の金属板の使用割合が高く、首都圏で「スレート瓦」の使用割合が高いとされている。

以上の戸建て住宅での屋根ふき材のほか、非住家施設での屋根ふき材の使用状況も踏まえ、本書

では主に瓦ぶき、金属板ぶき、折板ぶき及び住宅屋根用化粧スレートぶきを対象にしている。ただし、これら以外の屋根ふき材についても本書の方法や考え方を参考にすることは可能である。また、太陽光発電パネルを屋根ふき材の上に設置する際の現況調査や耐風診断は本マニュアルの対象範囲外とするが、本書の方法や考え方を援用することも可能であると考えられる。



※平成24年度以前の調査の設問では、「ガルバリウム鋼板またはジンカリウム鋼板」と「ガルバリウム鋼板またはジンカリウム鋼板以外の金属板」の選択肢は、「金属板」としていた。
 ※平成29年度調査の設問から、「屋根一体型太陽光パネル」の選択肢を設けた。
 ※2つ以上の屋根葺き材を用いている物件の場合はダブルカウントしているため、合計値は100%を超える。

解図 1.1.2 戸建て住宅における屋根ふき材の使用割合^{1.4)}

(4) 本マニュアル(案)で対象とする利用者

本書の主な利用者は、本文の(3)項に掲げた各屋根工法の設計・施工に関わる設計者、施工者（屋根専門工事業者・総合工事業者）、各製品の製品供給業者である。本書に示す診断・評価の考え方や手順を参考にして、各屋根工法の実状に応じた診断・評価法の整備を図るとともに、それらが円滑に行われるよう関連する調査票その他の書式の充実も図っていただくことを想定している。

(5) 本マニュアル(案)で用いる用語

本書で用いる主な用語の定義を解表 1.1.2 にまとめる。調査、改修、修繕の定義は、日本建築学会「建築物の改修の考え方・同解説」^{1.5)}に準じた。また、以降の解説では、以下のように正式名称を

略称している。

■略称

法

令

建告

■正式名称

建築基準法

建築基準法施行令

建設省告示（例：平成 12 年建設省告示第 1458 号 → 平 12 建告第 1458 号）

解表 1.1.2 本マニュアル(案)で用いる主な用語の定義

用 語	定 義
耐風 1 次診断	屋根ふき材の耐風 2 次診断の要否を判断する目的で、建築物の居住者や管理者等が行う診断。原則として、地上からの外観目視によって行う。
耐風 2 次診断	屋根ふき材の修繕や改修の要否を判断する目的で、屋根の設計・施工を専門とする者が行う診断。原則として、屋根上での目視、触診、破壊試験によって行う。
調 査	改修の要否判断、計画・設計・施工及び改修後の保全に必要な各情報の収集・整理・確認を行うこと。診断時に行う事前調査、現況調査、改修工法の検討時に行う設計調査がある。
改 修	劣化又は陳腐化した屋根の部分の性能や機能を、初期の水準もしくはそれ以上の要求される水準にまで改善すること。
修 繕	劣化した、又は陳腐化した屋根ふき材の性能・機能を原状あるいは実用上支障のない状態まで回復させること。ただし、保守の範囲に含まれる定期的な小部品の取り替えは除く。
耐風補強	屋根ふき材を風圧力の作用に対して強度的（耐力的）に改良すること。
耐風補強評価	屋根ふき材の改修工法によって期待される耐風補強の効果を評価すること。一般評価法と詳細評価法のいずれかの方法を選択できる。
耐風性能水準	屋根ふき材の改修時に耐風補強が目標とする性能水準（性能レベル）を 3 段階で表したもの。
風荷重	平 12 建告第 1454 号、第 1458 号の規定に基づく風荷重。ただし、告示の規定にかかわらず、強風の実況を反映した地表面粗度区分の設定が望ましい。
耐力評点	風荷重に対する屋根ふき材の耐力の余裕度（比率）を評点として表したもの。耐風 2 次診断と一般評価法で用いる。
想定破壊確率	風荷重によって屋根ふき材が破壊する可能性を表す確率。詳細評価法で用いる。

1.2 屋根ふき材の耐風診断から改修・耐風補強までの流れ

- (1) 屋根ふき材の耐風診断と改修工法の耐風補強評価は、図 1.2.1 に示す流れにしたがって行う。
- (2) 耐風診断は、修繕・改修の要否を判断するために行うもので、建築物の居住者や管理者が行う

「耐風 1 次診断」と屋根の設計・施工を専門とする者が行う「耐風 2 次診断」がある。

- (3) 耐風補強評価は、改修時に採用する工法（改修工法）について、耐風補強後に期待される性能向上効果を耐風性能水準に照らして評価するものである。評価に当たり、「一般評価法」と「詳細評価法」のいずれかの方法を選択できる。

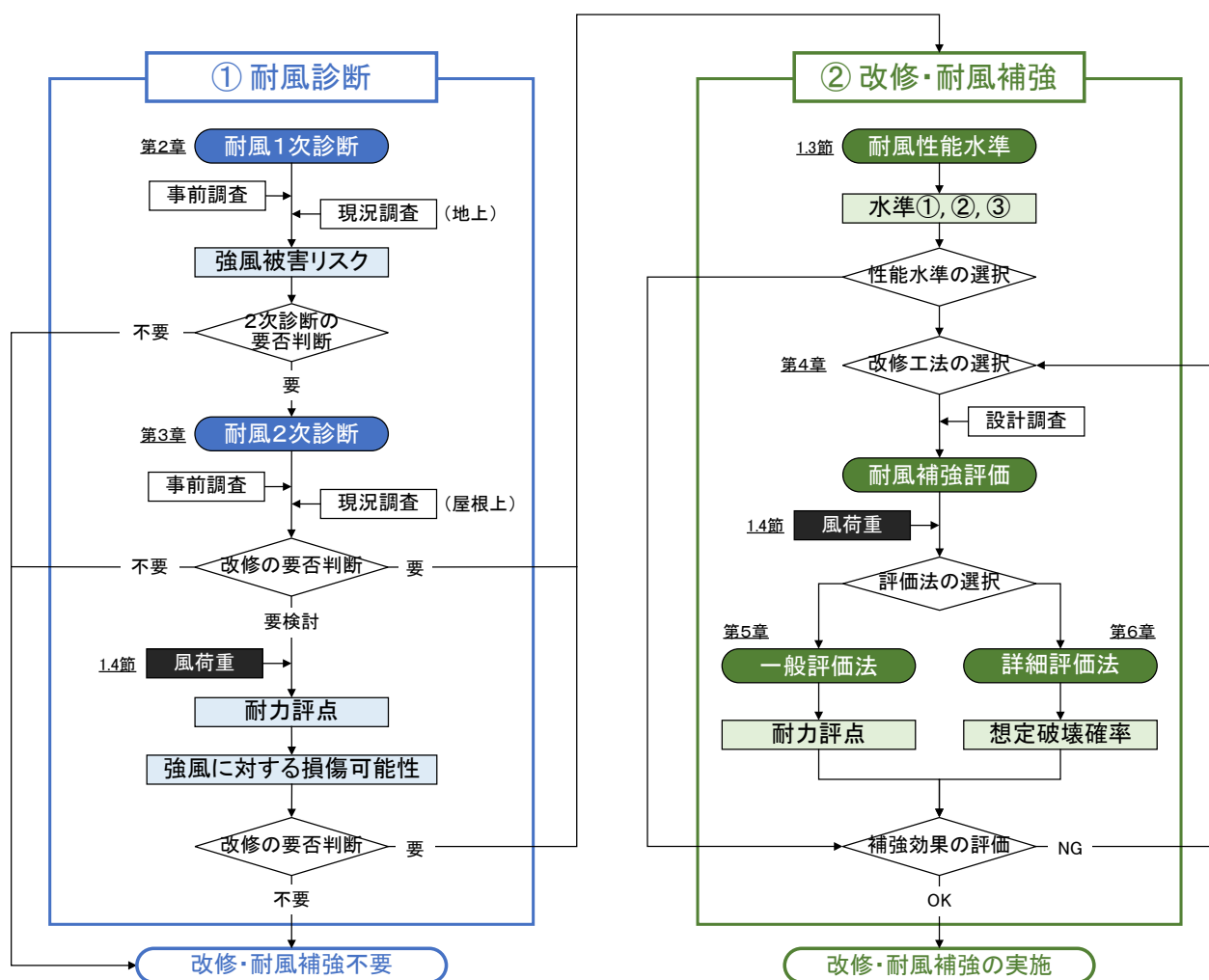


図 1. 2. 1 耐風診断から改修・耐風補強までの流れ

【解説】

- (1) 耐風診断から改修・耐風補強までの流れと本マニュアル(案)の構成

本文の図 1. 2. 1 は、既存の屋根ふき材を対象に行う耐風診断から改修・耐風補強までの一連の流れを示したものである。この流れにしたがって第 2 章以降で、耐風診断、改修工法を選択、耐風補強評価の各方法や考え方について詳述している。なお、耐風性能水準と風荷重は複数の章に共通する事項なので、本章の 1. 3～1. 4 節で述べる。

- 1) 耐風診断（第 2 章、第 3 章）

屋根ふき材の耐風診断は修繕・改修の要否判断のために行うもので、診断主体に応じて 2 段階の方法を示した。第 2 章の耐風 1 次診断は、建築の専門的知識をもたない居住者等であっても簡便に被

害リスクや2次診断の要否を判断できるような方法としている。また、第3章の耐風2次診断は屋根の設計・施工を専門とする者（屋根専門工事業者等）が行うもので、屋根上の現況調査に基づく診断や風荷重・耐力の計算を必要とする。

既に調査・診断法が整備されている屋根ふき工法については、耐風2次診断でそれらの既往の方法と併用して調査・診断することも想定している。例えば瓦屋根の耐風診断^{1,6)}では、建築士、地方公共団体の職員等が一次診断（地上からの調査による診断）、瓦屋根診断技士、かわらぶき技能士、瓦屋根工事技士等が二次診断（屋根の実地調査に基づく診断）を行うこととされている。このうち「二次診断」は本書での耐風2次診断と併用することができ、「一次診断」は本書での耐風1次診断と診断の実施者が異なるが、その目的や調査の観点は同じである。

2) 改修・耐風補強（第4章、第5章、第6章）

一般に屋根ふき材の改修工法には補強工法、重ねぶき工法（カバー工法）、ふき替え工法があるが、第4章ではいずれの工法を選択する場合でも耐風補強を意図することを原則とする。そして、3段階の耐風性能水準と対応付け、耐風補強後に期待される性能向上効果の評価法として2通りの方法を提示している。第5章の方法では耐力の余裕度を耐力評点、第6章の方法では想定される破壊確率を想定破壊確率と呼び、それぞれ性能向上効果の大小を定量的に表す指標（ものさしの目盛りに相当）とした。耐風補強による効果を明示的にすることで、採用すべき改修工法を複数の選択肢の中から合理的に決定できるほか、建築物の所有者や管理者に改修や補強の目的・意義を効果的に説明することも期待できる。

なお、耐風性能水準を含むこの評価の考え方は、屋根ふき材の高い耐風性能を確保するための指針として新築の際にも援用できる。

(2) 屋根ふき材の改修における建築基準法上の取り扱い

屋根の改修時に屋根ふき材のみを改修する場合の建築基準法上の取り扱いについて、国土交通省住宅局建築指導課長より技術的助言が令和5年3月に発出されている（令和5年3月31日・国住指第595号）。また同日付けで、屋根の改修に係る設計・施工上の留意事項についての周知依頼も発出されている（令和5年3月31日・国住指第596号）。以下にそれぞれ引用する。

屋根ふき材のみの改修を行う行為は、法第2条第14号に規定する大規模の修繕及び同条第15号に規定する大規模の模様替には該当しないものとして取り扱って差し支えない。

また、既存の屋根の上に新しい屋根をかぶせるようないわゆるカバー工法による改修は、法第2条第14号に規定する大規模の修繕及び同条第15号に規定する大規模の模様替には該当しないものとして取り扱って差し支えない。

屋根ふき材のみの改修を行うなど、法第2条第14号に規定する大規模の修繕及び同条第15号に規定する大規模の模様替に該当しない屋根の改修を行う際には、確認申請は不要である。

その際、当該改修後の建築物が構造耐力上安全であることが明らかな場合には、再度、壁量計算や耐震診断等を行う必要はなく、構造耐力上安全であることが明らかでない場合には、壁量計算や

耐震診断等により安全性の確認が必要である。

一般に大規模の修繕・模様替は、屋根や外壁など構造耐力上主要な部分のメンテナンスのために行う場合が多く、現行の構造耐力規定やこれに準ずる基準への適合を求めるのは過度の負担となる場合が多いと考えられることから、令第 137 条の 12 第 1 項で構造耐力上の危険性が增大しないことを条件にこれら修繕・模様替をすることができる。その上で上記の技術的助言によれば、屋根改修の対象に構造躯体が含まれず屋根ふき材のみの場合には、カバー工法による場合を含め、大規模の修繕や模様替には該当しないものと取り扱うことができることとされ、確認申請は不要となる。しかし、上記の留意事項を踏まえれば、屋根改修の対象が屋根ふき材のみの場合であっても、改修工法が当該建築物の躯体の構造安全性に与える影響（改修後に構造耐力上安全であるかどうか）の有無の確認は必要であり、併せて改修工法の耐風性を検討する際の指針として本書を活用することができる。

(3) 屋根の診断・改修に対する支援制度

強風災害や水災害等により被害を受けるおそれのある住宅に居住する者が安全に生活できる住宅を確保できるよう、住宅の改修等に対する支援制度が用意されている^{1,7)}。具体的には、以下の区域を対象に、耐風性能が十分ではないおそれのある既存住宅・建築物の屋根の耐風性能の診断及び脱落の危険性があると判断された屋根の改修に必要な費用の一部に対する支援を行うものであり、すでに複数の自治体でこの補助制度が活用されている。

- ・ 人口集中地区（DID）等¹で基準風速 32m/s 以上の区域
- ・ 地域防災計画等で地方公共団体が指定する区域

本書に示す診断や改修時の耐風補強の考え方は、この補助制度を活用する際にも参考にすることができる。

¹ 国勢調査による人口集中地区及び区域内の住宅の密度が 30 戸/ha 以上となる 5ha 以上の区域（区域内住宅戸数が 300 戸以上の区域に限る）

1.3 屋根ふき材の耐風性能水準

屋根ふき材の耐風補強の性能目標は、建築物の用途や重要度等に応じて表 1.3.1 に示す 3 つの耐風性能水準とする。

表 1.3.1 屋根ふき材の耐風性能水準

耐風性能水準		想定する主な建築物	
①	50年に一度程度発生する暴風による力に対し、最低限確保すべき耐風性能を有している。	右記以外の一般建築物	官庁施設等
②	50年に一度程度発生する暴風による力に対し、一定の耐力上の余裕を確保した耐風性能を有することで、暴風時の機能継続にも資する。		
③	50年に一度程度発生する暴風による力に対し、水準②よりさらに耐力上の余裕を確保した耐風性能を有することで、暴風時の十分な機能継続にも資する。		災害拠点建築物

【解説】

(1) 耐風性能水準の概要

屋根ふき材の耐風補強後に期待される耐風性能水準として、表 1.3.1 に示す①～③の 3 水準を設定した。再現期間が概ね 50 年に相当する風荷重に対して、屋根ふき材が損傷しない性能（耐風性能）のレベルを段階的に定義している。

水準①は建築基準法令で想定する耐風性能と同程度で、最低限確保すべき性能に対応した水準（最低水準）として位置付けている。法令で規定する風荷重の再現期間も概ね 50 年とされている。水準②～③は、水準①よりも高い性能に誘導するために設けた水準（誘導水準）として位置付けている。水準①～②は住宅性能表示基準における耐風等級（構造躯体の損傷防止）の等級 1～2 に相当する性能を屋根ふき材にも対応付けたものであり、戸建て住宅等の一般的な建築物への適用を想定している。一方、官庁施設の中でも暴風時の機能継続が特に期待される災害拠点建築物、重要度が高い用途施設等に対しては、水準③も含めた水準から性能目標を選択することが望ましい。

建築の専門的知識をもたない居住者や管理者にこの水準を説明する際、水準①を「梅」、水準②を「竹」、水準③を「松」に例えるとイメージの共有が円滑になると思われる。第 5 章と第 6 章では、屋根ふき材の耐風補強後の性能を表す定量的な指標を提案しており、これらの指標と 3 つの水準との対応を確認することで、効率的に耐風補強による性能向上効果を評価・検証することができる。

この耐風性能水準は水準①が法令で想定する性能に対応することから、前節の解説で述べたとおり、新築時の屋根ふき材の耐風性能を評価する際にも活用可能である。

(2) 耐風性能水準に対応するクライテリア

第 5 章の一般評価法と第 6 章の詳細評価法において、各水準に対応するクライテリアとして解表 1.3.1 に示す各数値を設定している。風荷重と耐力から算定した各指標（耐力評点、想定破壊確率）

を表中のクライテリアと比較することによって、採用した改修工法による耐風補強効果があらかじめ目標とした性能水準を満たすか否かを確認することができる。

解表 1.3.1 各性能水準に対応するクライテリア

耐風性能水準	一般評価法における 耐力評点の最低値 S_{min}	詳細評価法における 想定破壊確率の許容値 P_{fa}
①	1.0	12%
②	1.2	5%
③	1.6	1%

例えば官庁施設（新築を想定）の基本的性能基準^{1.8)}では、建築非構造部材の耐風に対する性能として解表 1.3.2 に示す技術的事項が定められている。表中の「建築基準法施行令第 82 条の 4 に規定される風圧力」は、耐風性能水準に示す「50 年に一度程度発生する暴風による力」と同程度である。これを一般評価法で設定したクライテリアと比較すると、一般評価法のほうが耐力上の余裕をやや上乘せした設定であることがわかる。すなわち、耐風性能水準②を満たしていれば分類Ⅱ、耐風性能水準③を満たしていれば分類Ⅰの官庁施設にそれぞれ求められる性能を自動的に担保することとなる。

解表 1.3.2 官庁施設の基本的性能基準に定める耐風に関する性能^{1.8)}に一部加筆

分類	I	II	III
対象とする施設	災害応急対策活動に必要な施設、危険物を貯蔵若しくは使用する施設又は重要な財産・情報を保管する施設のうち特に重要なもの	災害応急対策活動に必要な施設、危険物を貯蔵若しくは使用する施設又は重要な財産・情報を保管する施設	分類Ⅰ及びⅡに該当しない施設
性能の水準	稀に発生する暴風に比べ、遭遇する可能性が十分低い暴風に対して人命の安全に加えて十分な機能の確保が図られている。	稀に発生する暴風に比べ、遭遇する可能性が低い暴風に対して、人命の安全に加えて機能の確保が図られている。	稀に発生する暴風に対して、人命の安全に加えて機能の確保が図られている。
技術的事項 (風圧力に対する安全性の確保)	建築基準法施行令第 82 条の 4 に規定される風圧力の 1.3 倍の風圧力に対して、構造耐力上安全である。	建築基準法施行令第 82 条の 4 に規定される風圧力の 1.15 倍の風圧力に対して、構造耐力上安全である。	建築基準法施行令第 82 条の 4 に規定される風圧力に対して、構造耐力上安全である。

1.4 診断と評価に用いる風荷重

- (1) 診断と評価に用いる風荷重は、平成 12 年建設省告示第 1454 号、第 1458 号の規定にしたがって算定する。ただし、建設地が沿岸部（目安として、海岸線からの距離が概ね 200m 以下）の場合

には告示の規定にかかわらず、地表面粗度区分をⅡとすることが望ましい。

- (2) 閉鎖型建築物であっても、既存の開口部の耐風性や飛来物に対する耐衝撃性が不足している場合には、必要に応じて開放型建築物とみなしたピーク内圧係数を用いて風荷重を算定することができる。

【解説】

(1) 診断と評価に用いる風荷重の概要

耐風2次診断と耐風補強効果の評価では風荷重の算定が必要となり（3.3.1、5.2.1、6.2.1項）、通常の屋根ふき材の耐風計算と同様に平12建告第1454号、第1458号の規定に基づいて算定する。ただし、近年の強風被害は特に沿岸部で顕著であったことを踏まえ、この評価と診断では告示の規定にかかわらず、建設地の実況に応じた地表面粗度区分の設定が望ましいこととした。具体的には、建設地が沿岸部（海岸線からの距離が概ね200m未満を目安）であれば、規定上は粗度区分Ⅲであっても粗度区分Ⅱとして風荷重を算定する。なお、この風荷重の計算で竜巻による突風作用は考慮されていない。

(2) 風荷重の算定方法

令第82条の4に基づく平12建告第1458号に、屋根ふき材の構造安全性を確かめるための風圧力（風荷重）の算定方法が規定されている。当該規定に基づいて屋根ふき材に作用する風圧力は以下の式によって計算する。局地的な地形や地物の影響によって平均風速が割り増されるおそれがある場合には、平12建告第1454号第1第2項ただし書に基づき、その影響を適切に評価して（解1.4.3）式の E_r を割り増す必要がある。

$$W = \bar{q} \hat{C}_f \quad (\text{解 1.4.1})$$

$$\bar{q} = 0.6 E_r^2 V_0^2 \quad (\text{解 1.4.2})$$

$$E_r = 1.7 \left(\frac{H}{Z_G} \right)^\alpha \quad (\text{解 1.4.3})$$

ここで、 W ：風圧力（N/m²）、 $\bar{q}$ ：平均速度圧（N/m²）、 $\hat{C}_f$ ：ピーク風力係数、 E_r ：平均風速の高さ方向の分布を表す係数、 H ：屋根平均高さ（建築物と軒の高さとの平均）（m）（ただし $H \leq Z_b$ の場合は $H = Z_b$ ）、 α 、 Z_b 、 Z_G ：地表面粗度区分に応じて解表1.4.1に掲げる数値、 V_0 ：基準風速（m/s）である。ただし、平12建告第1458号の規定において、地表面粗度区分がⅣの場合には解表1.4.1に示すⅢの場合の数値を用いることとされている。

解表 1.4.1 平12建告第1454号に規定する地表面粗度区分と Z_b 、 Z_G 、 α の値

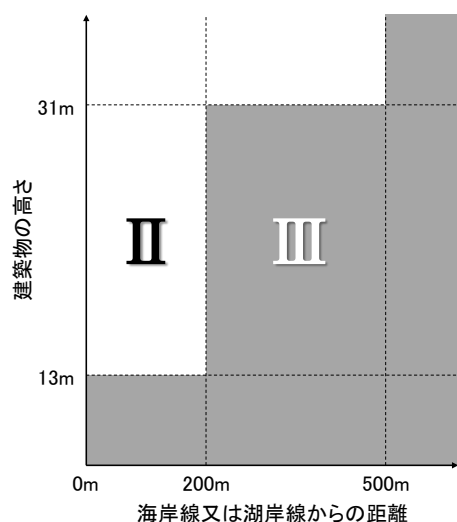
地表面粗度区分	I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
Z_b	5	5	5	10
Z_G	250	350	450	550
α	0.10	0.15	0.20	0.27

1) 地表面粗度区分

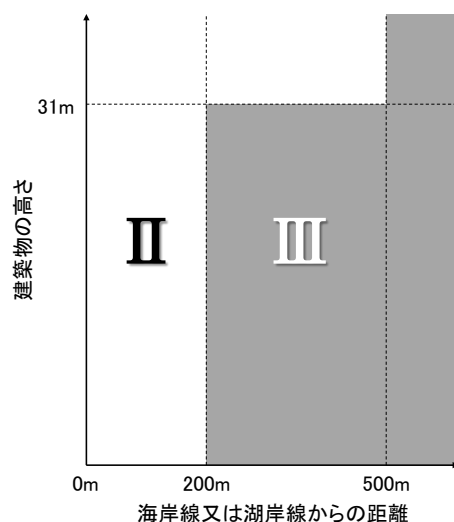
風荷重の算定に必要となる地表面粗度区分は、平 12 建告第 1454 号で規定されている。この規定は令和 2 年 12 月に一部改正され、従前設けられていた都市計画区域内・外の規定が削除された（改正告示は令和 4 年 1 月より施行）。

4 通りの区分のうちⅠは極めて平坦で障害物がないもの、Ⅳは都市化が極めて著しいものとしてそれぞれ特定行政庁が規則で定める区域とされている。ⅡとⅢは解図 1.4.1(a)に示すように、建築物の高さと海岸線等からの距離に応じて区分されている。Ⅱには解図 1.4.1(a)に示す条件のほか、極めて平坦で障害物が散在しているものとして特定行政庁が規則で定める区域も含まれる。

一方、診断と評価に用いる風荷重は上記の規定にかかわらず、建設地が沿岸部であれば建築物の高さが 13m 未満であっても、地表面粗度区分をⅡとして算定することが望ましい。この取り扱いを解図 1.4.1(b)に示す。



(a) 平 12 建告第 1454 号での規定

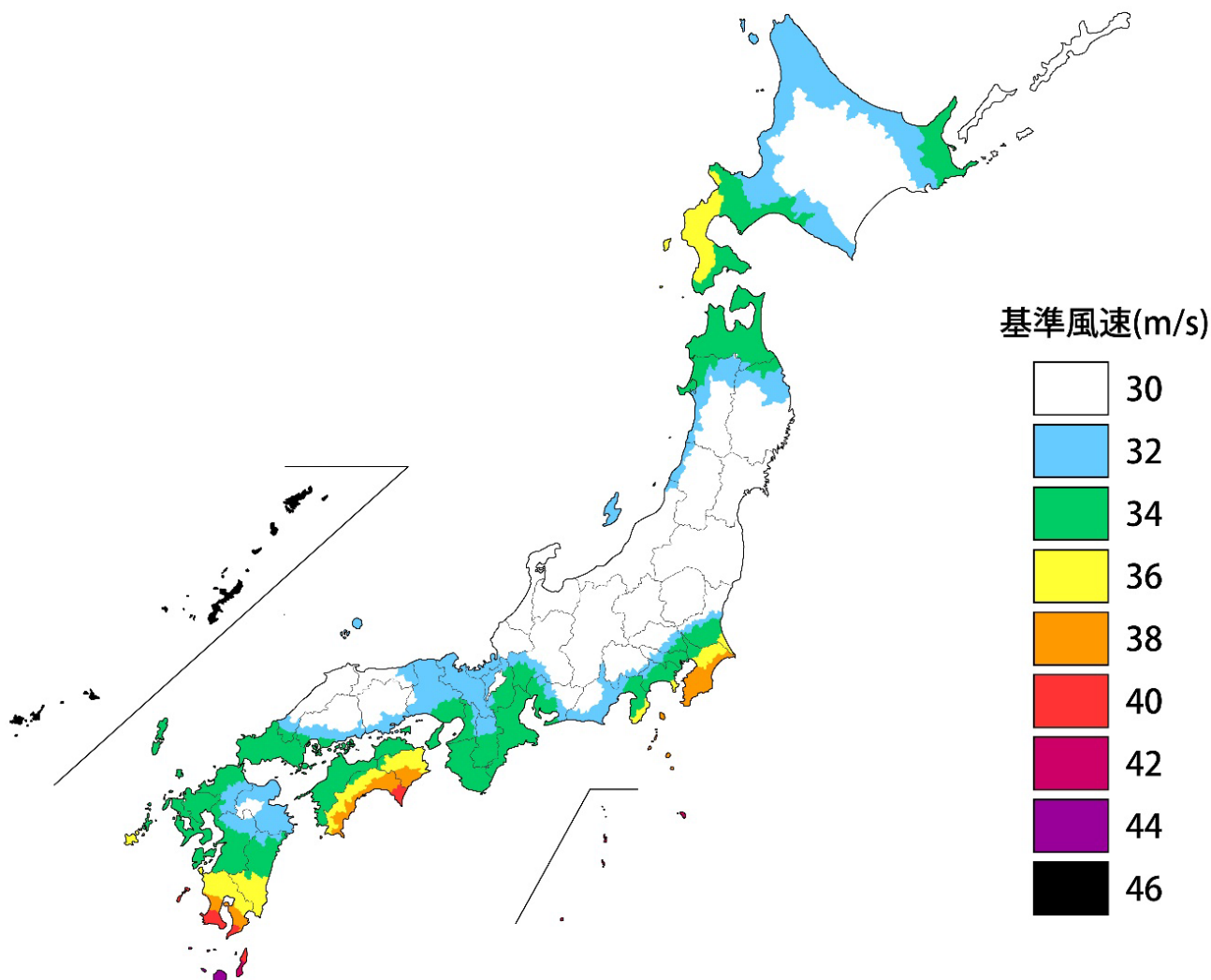


(b) 本書での取り扱い

解図 1.4.1 地表面粗度区分Ⅱ・Ⅲの適用

2) 基準風速

基準風速は 30m/s～46m/s の範囲で 9 区分され、それぞれの行政単位ごとに平 12 建告第 1454 号第 2 に示された表に定められている。基準風速の分布を解図 1.4.2 に示す。例えば東京 23 区は 34m/s、鹿児島市は 38m/s である。なお、この告示の表に掲げる地方の区分の市町村合併等に伴う取り扱いに関しては、告示制定時（平成 12 年 6 月）における行政界区分に従って対処する。



解図 1.4.2 基準風速の分布

3) ピーク風力係数

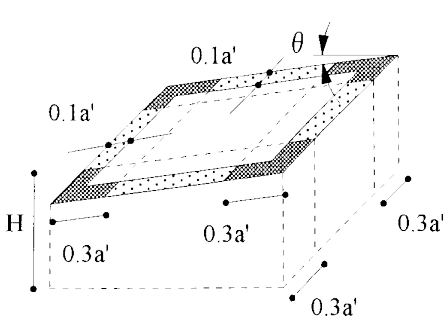
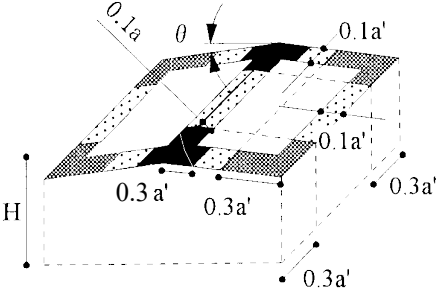
ピーク風力係数は、風洞試験によって定める場合のほか、平 12 建告第 1458 号に規定するピーク外圧係数とピーク内圧係数の差として算定する。切妻屋根面と片流れ屋根面の場合を例に、平 12 建告第 1458 号第 2 項に定める負のピーク外圧係数を解表 1.4.2 に示す。同告示に定める数値のほか、適切な風洞試験の結果に基づく「建築物荷重指針・同解説（2015）」^{1.9)}やその他の技術資料で掲げられたピーク風力係数についても、風洞試験を行った際の適用範囲を確認したうえで、試験を行って算出されたものとして取り扱うことができる。技術資料の一例として、同告示に定められていない寄棟屋根面については解表 1.4.3、軒裏面については解表 1.4.4 にそれぞれ示すピーク外圧係数を用いてよい^{1.10)}。

解表 1.4.2～1.4.3 に示すように、外周部及び隅角部の幅 $0.1a'$ は、建築物平面の短辺長さと屋根平均高さによって決まる数値である。一般に軒先とけらばの隅角部や棟の両端部では他の部位に比べてピーク外圧係数の絶対値が大きい。これは軒先等で風の流れがはく離する際に瞬間的に生ずる大きな負圧の性状を反映したものであり、同告示や文献 1.8) では一般的に想定される状況を包含して

概ね安全側になる数値が設定されている。また、風洞試験を実施する際には、「実務者のための建築物風洞実験ガイドブック 2008 年版」^{1.11)}を参考にすることができる。

解表 1.4.2 切妻屋根及び片流れ屋根面における負のピーク外圧係数

部位 \ θ	10度以下の場合	20度	30度以上の場合
 の部位	-2.5	-2.5	-2.5
 の部位	-3.2	-3.2	-3.2
 の部位	-4.3	-3.2	-3.2
 の部位	-3.2	-5.4	-3.2



この表において、部位の位置は、下図に定めるものとする。また、表に掲げる θ の値以外の θ に応じたピーク外圧係数は、表に掲げる数値をそれぞれ直線的に補間した数値とし、 θ が10度以下の切妻屋根面については、当該 θ の値における片流れ屋根面の数値を用いるものとする。

この図において、 H 、 θ 及び a' は、それぞれ次の数値を表すものとする。

H 建築物の高さと軒の高さとの平均 (m)

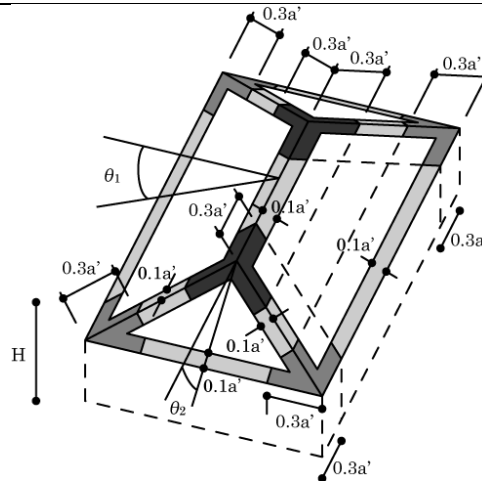
θ 屋根面が水平面となす角度 (単位 度)

a' 平面の短辺長さ a と H の2倍の数値のうちいずれか小さな数値 (30を超えるときは、30とする。) (m)

解表 1.4.3 寄棟屋根面の負のピーク外圧係数^{1.10)}

部位 \ θ_1 又は θ_2	10度以下の場合	20度	30度以上の場合
 の部位	-2.5	-2.5	-2.5
 の部位	-3.2	-3.2	-3.2
 の部位	-4.3	-3.2	-3.2
 の部位	-3.2	-5.4	-3.2

この表において、部位の位置は、下図に示すものとする。また、表に掲げる θ_1 又は θ_2 の値以外の θ_1 又は θ_2 に応じた係数は、表に掲げる数値をそれぞれ直線的に補間した数値とし、両屋根勾配から得た数値のうち絶対値が大きいほうの数値を両屋根勾配に対するピーク外圧係数とみなす。



この図において、 H 、 θ_1 、 θ_2 、 a' は、それぞれ次の数値を表すものとする。

H 建築物の高さと軒の高さとの平均 (m)

θ_1 、 θ_2 けた行方向、張り間方向それぞれの屋根勾配 (度)

a' 平面の短辺長さ H の2倍の数値のうちいずれか小さな数値 (30 を超えるときは、30 とする。) (m)

解表 1.4.4 軒裏面のピーク外圧係数^{1.10)}

正の場合 $C_{pe} G_{pe}$	C_{pe}	0.8
	G_{pe}	平 12 建告第 1458 号第 3 項の表 9 (帳壁の正圧部の G_{pe}) に定める数値
負の場合		-2.1

4) 平均速度圧と風圧力の一覧

地表面粗度区分ⅢとⅡの場合について、(解 1.4.2) ~ (解 1.4.3) 式と解表 1.4.1 を用いて計算した平均速度圧 $\bar{q}$ の一覧を解表 1.4.5、1.4.7 に示す。また、各地表面粗度区分と各部位に対応した風圧力の一覧を解表 1.4.6、1.4.8 に示す。ピーク風力係数の数値は解表 1.4.2 を参照し、平部では-2.5、外周又は隅角部では-3.2、隅棟部では-5.4 としている。

解表 1.4.5 地表面粗度区分Ⅲでの平均速度圧一覧（単位 N/m^2 ）

屋根平均 高さH(m)	基準風速 V_0 (m/s)								
	30	32	34	36	38	40	42	44	46
5	258	294	331	371	414	459	506	555	607
6	278	316	356	400	445	493	544	597	652
7	295	336	379	425	474	525	578	635	694
8	311	354	400	448	500	554	610	670	732
9	326	371	419	470	524	580	640	702	767
10	340	387	437	490	546	605	667	732	800
15	400	456	514	577	642	712	785	861	941
20	449	511	577	647	721	799	880	966	1,056
25	491	559	631	707	788	873	963	1,056	1,155
30	528	601	679	761	848	939	1,035	1,136	1,242
35	562	639	722	809	901	999	1,101	1,209	1,321
40	593	674	761	853	951	1,054	1,162	1,275	1,393

解表 1.4.6 地表面粗度区分Ⅲでの風圧力一覧（単位 N/m^2 ）

平部（ピーク風力係数=-2.5）

屋根平均 高さH(m)	基準風速 V_0 (m/s)								
	30	32	34	36	38	40	42	44	46
5	-645	-734	-828	-929	-1,035	-1,147	-1,264	-1,387	-1,516
6	-694	-789	-891	-999	-1,113	-1,233	-1,360	-1,492	-1,631
7	-738	-840	-948	-1,063	-1,184	-1,312	-1,446	-1,587	-1,735
8	-778	-886	-1,000	-1,121	-1,249	-1,384	-1,526	-1,674	-1,830
9	-816	-928	-1,048	-1,175	-1,309	-1,451	-1,599	-1,755	-1,918
10	-851	-968	-1,093	-1,225	-1,365	-1,513	-1,668	-1,831	-2,001
15	-1,001	-1,139	-1,286	-1,441	-1,606	-1,779	-1,962	-2,153	-2,353
20	-1,123	-1,278	-1,442	-1,617	-1,802	-1,996	-2,201	-2,416	-2,640
25	-1,228	-1,397	-1,577	-1,768	-1,970	-2,183	-2,406	-2,641	-2,887
30	-1,321	-1,503	-1,696	-1,902	-2,119	-2,348	-2,589	-2,841	-3,105
35	-1,405	-1,598	-1,804	-2,023	-2,254	-2,497	-2,753	-3,022	-3,303
40	-1,482	-1,686	-1,903	-2,134	-2,377	-2,634	-2,904	-3,187	-3,484

解表 1.4.6 地表面粗度区分Ⅲでの風圧力一覧（単位 N/m²）（続き）

外周/隅角部（ピーク風力係数=-3.2）

屋根平均 高さH(m)	基準風速V ₀ (m/s)								
	30	32	34	36	38	40	42	44	46
5	-826	-939	-1,060	-1,189	-1,325	-1,468	-1,618	-1,776	-1,941
6	-888	-1,010	-1,141	-1,279	-1,425	-1,579	-1,740	-1,910	-2,088
7	-944	-1,075	-1,213	-1,360	-1,515	-1,679	-1,851	-2,032	-2,221
8	-996	-1,134	-1,280	-1,435	-1,599	-1,771	-1,953	-2,143	-2,342
9	-1,044	-1,188	-1,341	-1,504	-1,676	-1,857	-2,047	-2,247	-2,455
10	-1,089	-1,239	-1,399	-1,569	-1,748	-1,937	-2,135	-2,343	-2,561
15	-1,281	-1,458	-1,646	-1,845	-2,056	-2,278	-2,511	-2,756	-3,012
20	-1,437	-1,635	-1,846	-2,070	-2,306	-2,555	-2,817	-3,092	-3,379
25	-1,572	-1,788	-2,019	-2,263	-2,521	-2,794	-3,080	-3,381	-3,695
30	-1,690	-1,923	-2,171	-2,434	-2,712	-3,005	-3,313	-3,636	-3,974
35	-1,798	-2,046	-2,309	-2,589	-2,885	-3,196	-3,524	-3,868	-4,227
40	-1,897	-2,158	-2,436	-2,731	-3,043	-3,372	-3,717	-4,080	-4,459

隅棟部（ピーク風力係数=-5.4）

屋根平均 高さH(m)	基準風速V ₀ (m/s)								
	30	32	34	36	38	40	42	44	46
5	-1,393	-1,585	-1,789	-2,006	-2,235	-2,477	-2,731	-2,997	-3,275
6	-1,499	-1,705	-1,925	-2,158	-2,404	-2,664	-2,937	-3,223	-3,523
7	-1,594	-1,813	-2,047	-2,295	-2,557	-2,833	-3,124	-3,428	-3,747
8	-1,681	-1,913	-2,159	-2,421	-2,697	-2,989	-3,295	-3,617	-3,953
9	-1,762	-2,005	-2,264	-2,538	-2,828	-3,133	-3,454	-3,791	-4,144
10	-1,838	-2,091	-2,361	-2,647	-2,949	-3,268	-3,603	-3,954	-4,322
15	-2,162	-2,460	-2,777	-3,113	-3,469	-3,843	-4,237	-4,651	-5,083
20	-2,426	-2,760	-3,115	-3,493	-3,892	-4,312	-4,754	-5,218	-5,703
25	-2,652	-3,017	-3,406	-3,819	-4,255	-4,715	-5,198	-5,705	-6,235
30	-2,853	-3,246	-3,664	-4,108	-4,577	-5,071	-5,591	-6,136	-6,707
35	-3,034	-3,452	-3,897	-4,369	-4,868	-5,394	-5,947	-6,527	-7,133
40	-3,201	-3,642	-4,111	-4,609	-5,135	-5,690	-6,273	-6,885	-7,525

解表 1.4.7 地表面粗度区分Ⅱでの平均速度圧一覧（単位 N/m^2 ）

屋根平均 高さH(m)	基準風速 V_0 (m/s)								
	30	32	34	36	38	40	42	44	46
5	436	496	560	628	700	776	855	938	1,026
6	461	524	592	664	739	819	903	991	1,083
7	483	549	620	695	774	858	946	1,038	1,135
8	502	572	645	723	806	893	985	1,081	1,181
9	520	592	668	749	835	925	1,020	1,119	1,224
10	537	611	690	773	862	955	1,053	1,155	1,263
15	607	690	779	873	973	1,078	1,189	1,305	1,426
20	661	752	849	952	1,061	1,176	1,296	1,422	1,555
25	707	804	908	1,018	1,134	1,257	1,386	1,521	1,662
30	747	850	959	1,075	1,198	1,328	1,464	1,606	1,756
35	782	890	1,005	1,126	1,255	1,390	1,533	1,682	1,839
40	814	926	1,046	1,172	1,306	1,447	1,596	1,751	1,914

解表 1.4.8 地表面粗度区分Ⅱでの風圧力一覧（単位 N/m^2 ）

平部（ピーク風力係数=-2.5）

屋根平均 高さH(m)	基準風速 V_0 (m/s)								
	30	32	34	36	38	40	42	44	46
5	-1,091	-1,241	-1,401	-1,571	-1,750	-1,939	-2,138	-2,346	-2,564
6	-1,152	-1,311	-1,480	-1,659	-1,848	-2,048	-2,258	-2,478	-2,709
7	-1,207	-1,373	-1,550	-1,737	-1,936	-2,145	-2,365	-2,595	-2,837
8	-1,256	-1,429	-1,613	-1,808	-2,015	-2,233	-2,461	-2,701	-2,953
9	-1,301	-1,480	-1,671	-1,873	-2,087	-2,313	-2,550	-2,799	-3,059
10	-1,343	-1,528	-1,725	-1,934	-2,154	-2,387	-2,632	-2,889	-3,157
15	-1,516	-1,725	-1,948	-2,184	-2,433	-2,696	-2,972	-3,262	-3,565
20	-1,653	-1,881	-2,123	-2,381	-2,652	-2,939	-3,240	-3,556	-3,887
25	-1,768	-2,011	-2,270	-2,545	-2,836	-3,142	-3,465	-3,802	-4,156
30	-1,867	-2,124	-2,398	-2,689	-2,996	-3,319	-3,659	-4,016	-4,390
35	-1,955	-2,225	-2,512	-2,816	-3,137	-3,476	-3,833	-4,206	-4,597
40	-2,035	-2,316	-2,614	-2,931	-3,266	-3,618	-3,989	-4,378	-4,785

解表 1.4.8 地表面粗度区分Ⅱでの風圧力一覧（単位 N/m²）（続き）

外周/隅角部（ピーク風力係数=-3.2）

屋根平均 高さH(m)	基準風速V ₀ (m/s)								
	30	32	34	36	38	40	42	44	46
5	-1,396	-1,588	-1,793	-2,010	-2,240	-2,482	-2,736	-3,003	-3,282
6	-1,475	-1,678	-1,894	-2,123	-2,366	-2,621	-2,890	-3,172	-3,467
7	-1,544	-1,757	-1,984	-2,224	-2,478	-2,746	-3,027	-3,322	-3,631
8	-1,607	-1,829	-2,065	-2,315	-2,579	-2,858	-3,151	-3,458	-3,779
9	-1,665	-1,895	-2,139	-2,398	-2,672	-2,961	-3,264	-3,582	-3,915
10	-1,719	-1,956	-2,208	-2,475	-2,758	-3,056	-3,369	-3,697	-4,041
15	-1,941	-2,209	-2,493	-2,795	-3,114	-3,451	-3,805	-4,176	-4,564
20	-2,116	-2,408	-2,718	-3,047	-3,395	-3,762	-4,147	-4,552	-4,975
25	-2,263	-2,574	-2,906	-3,258	-3,630	-4,022	-4,435	-4,867	-5,320
30	-2,390	-2,719	-3,070	-3,441	-3,834	-4,248	-4,684	-5,141	-5,619
35	-2,503	-2,848	-3,215	-3,604	-4,016	-4,450	-4,906	-5,384	-5,885
40	-2,605	-2,964	-3,346	-3,751	-4,180	-4,631	-5,106	-5,604	-6,125

隅棟部（ピーク風力係数=-5.4）

屋根平均 高さH(m)	基準風速V ₀ (m/s)								
	30	32	34	36	38	40	42	44	46
5	-2,356	-2,680	-3,026	-3,392	-3,780	-4,188	-4,618	-5,068	-5,539
6	-2,488	-2,831	-3,196	-3,583	-3,992	-4,424	-4,877	-5,353	-5,850
7	-2,606	-2,965	-3,347	-3,753	-4,181	-4,633	-5,108	-5,606	-6,127
8	-2,713	-3,086	-3,484	-3,906	-4,352	-4,822	-5,317	-5,835	-6,378
9	-2,810	-3,197	-3,610	-4,047	-4,509	-4,996	-5,508	-6,045	-6,607
10	-2,900	-3,300	-3,725	-4,177	-4,654	-5,156	-5,685	-6,239	-6,819
15	-3,276	-3,727	-4,207	-4,717	-5,256	-5,823	-6,420	-7,046	-7,701
20	-3,571	-4,063	-4,587	-5,142	-5,729	-6,348	-6,999	-7,681	-8,396
25	-3,818	-4,344	-4,904	-5,498	-6,126	-6,788	-7,483	-8,213	-8,977
30	-4,033	-4,588	-5,180	-5,807	-6,470	-7,169	-7,904	-8,675	-9,481
35	-4,224	-4,806	-5,425	-6,082	-6,777	-7,509	-8,278	-9,085	-9,930
40	-4,396	-5,002	-5,647	-6,331	-7,054	-7,816	-8,617	-9,457	-10,336

(2) 既存の開口部の耐風性や飛来物に対する耐衝撃性を踏まえた風荷重の算定

過去の強風被害事例では、開口部（窓ガラス等）が広範囲に損壊した後に屋内に強風が吹き込んで内圧が上昇し、屋根ふき材の脱落飛散や小屋組の損壊が生じたと考えられる事例がみられた（例えば、解図 1.4.3）。したがって、既存の開口部が強風や飛散物の作用に対してぜい弱であると考えられる場合には、閉鎖型建築物であっても開放型建築物とみなしたピーク内圧係数を設定することで安全側となり、耐風性の向上に配慮することができる。

なお、屋根ふき材の改修とともに既存の開口部も耐風性向上のための更新が図られる場合には、上記の配慮は不要である。例えば解図 1.4.3(a)に示すフロントサッシの耐風性向上のためには、躯体との接合部耐力に配慮することが重要であり、「アルミフロント品質基準 第8版」^{1.12)}に耐力確保に資する試験・評価法が定められている。また、強風によるガラスの破損被害には、風圧によるものと飛来物の衝突によるものがある。ガラスの更新に当たり、強風時に有効なガラスの選定については「安全・安心ガラス設計施工指針 増補版」^{1.13)}が参考になる。同書ではフロート板ガラスと比較して、飛来物の衝突に対してより有効と思われるガラスとして、合わせガラス（膜の厚い合わせガラスがより有効）が挙げられている。



(a) 平成 30 年台風第 21 号



(b) 令和元年房総半島台風

解図 1.4.3 開口部の損壊から屋根の被害に進展したと考えられる被害事例

参考文献

- 1.1) Kohei Yoshida et al.: Future changes in tropical cyclone activity in high-resolution large-ensemble simulations, Geophys. Res. Lett., 44, 2017. (doi:10.1002/2017GL075058)
- 1.2) 日本損害保険協会：過去の主な風水害等による保険金の支払い（2020.6.8 閲覧）
<https://www.sonpo.or.jp/news/release/2020/ctuevu000000rkwz-att/bepyyoo.pdf>
- 1.3) 国土交通省：令和元年房総半島耐風を踏まえた強風対策(案)，第 27 回建築物等事故・災害対策部会 配付資料（2024.6.14 閲覧）
<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001353869.pdf>
- 1.4) 住宅金融支援機構：フラット 35 住宅仕様実態調査報告，調査結果の概要，p.61，2024.6.

(2024. 11. 26 閲覧)

<https://www.jhf.go.jp/files/400346801.pdf>

1. 5) 日本建築学会：建築物の改修の考え方・同解説，丸善，2002. 2.
1. 6) 全日本瓦工事業連盟・全国陶器瓦工業組合連合会・全国 PC がわら組合連合会・日本建築防災協会：2021 年改訂版 瓦屋根標準設計・施工ガイドライン，2021. 7.
1. 7) 国土交通省：強風災害等により被害を受けるおそれがある住宅の改修に対する支援
<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/content/001383212.pdf> (2024. 09. 01 閲覧)
1. 8) 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修：官庁施設の基本的性能基準及び同解説 平成 18 年版，公共建築協会，2006. 12.
1. 9) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，丸善，2015. 2.
1. 10) 建築研究所：寄棟屋根，ベランダ手すり及び屋上広告板等の風力係数の提案，建築研究資料，No. 142，2013. 10.
1. 11) 日本建築センター：実務者のための建築物風洞実験ガイドブック 2008 年版，2008. 10.
1. 12) 日本サッシ協会：アルミフロント品質基準 第 8 版，2022. 5.
1. 13) 日本建築防災協会：安全・安心ガラス設計施工指針 増補版，2011. 2.

第2章 耐風1次診断

2.1 耐風1次診断の概要

- (1) 屋根ふき材の耐風1次診断は、低層建築物の居住者や管理者が耐風2次診断の要否を判断する目的で行うものである。
- (2) 耐風1次診断では、地上からの外観目視による現況調査を行うことを原則とする。
- (3) 調査結果に基づいて屋根ふき材の強風被害リスクを診断する。この診断結果を参考にして、耐風2次診断の要否を判断することができる。

【解説】

耐風1次診断は、必ずしも建築の専門的知識がない居住者や管理者であっても、強風に対する被害リスク（建設地の強風ハザードと屋根ふき材のぜい弱性との組み合わせ）を診断できるよう簡便性と迅速性を重視した方法とし、原則として地上からの外観目視による調査を前提とする。地上からの目視調査を前提とすれば、確認できる屋根の高さにはおのずと限界があるため、2階建て程度までの低層建築物をこの診断の適用対象とした。ただし、隣接する構造物から調査対象の屋根を俯瞰したり、UAV（ドローン）を活用できる調査環境にある場合には、この限りでない。

居住者や管理者が自ら調査・診断することで、耐風対策に関する意識の向上と被害リスクに関する知識の習得を図ることが望ましい。居住者向けの診断法の先行事例として、例えば「わが家の耐風診断」^{2.1)}や木造住宅の「誰でもできるわが家の耐震診断」^{2.2)}があるが、それと同様の位置づけである。屋根ふき材の製品供給業者や関係団体において、本章に示す診断方法や考え方にに基づき、屋根ふき工法の実態を反映した形で居住者等向けのリーフレット（例えば「誰でもできる〇〇屋根の耐風診断」）を作成頂くことを想定している。作成に当たり、対象工法の実態に即して診断方法を部分的に変更・補足することは可能である。付録1にリーフレット作成の参考となる診断手順書のひな形も提示した。

耐風1次診断の段階から専門業者が調査に同行できる場合は、調査項目や方法をより詳細に設定することも考えられる。その場合に屋根上の調査が可能であれば、耐風1次診断を省略して耐風2次診断から実施しても差し支えない。また、近年では、家庭を訪問してあたかも正規の点検の振りをしながら断りきれない状態にし、不必要又は法外な価格の屋根リフォーム工事等の契約を取る「点検商法」によるトラブルも急増している。警視庁のホームページ^{2.3)}では、こういった悪質業者による点検商法に対して以下の対策が示されており、居住者向けのリーフレットを通して注意喚起をすることも有効である。

- ・ 悪質業者は、突然訪問して「無料点検」を持ち掛けるなど、言葉巧みに不要な工事契約を結ぼうとするので、きっぱり断る。
- ・ リフォーム工事の契約を行う場合は、複数社から見積りを取った上で、慎重に検討する。
- ・ 不安を感じたら、一人で悩まずにすぐ警察へ相談する。

2.2 調査方法

2.2.1 事前調査

現況調査に先立ち、あらかじめ建築年、建築後の屋根の不具合経験の有無、維持管理の履歴を把握する。

【解説】

一般に、既存の屋根ふき材の耐風性能は構工法の種類にかかわらず、建築後の経過年数と適切な維持管理の有無に依存することから、診断根拠の1つとして建築年と建築後の維持管理状況（点検、補修その他のメンテナンス履歴）を確認しておく。この情報は2.3.2項に示すぜい弱性の把握に必要である。

2.2.2 現況調査

現況調査は地上からの外観目視によって行うものとし、可能な範囲で以下の劣化や不具合の有無を確認する。なお、屋根の設計・施工を専門とする者が調査に同行できる場合には、必要に応じて屋根上での調査も併用する。

(1) 屋根ふき材

例) ふき材表面の塗装等の劣化、脱落や浮き上がりの有無、緊結の状況

(2) 下地

例) 野地の雨漏りや腐朽、結露等による不具合の有無、接合部の劣化等の状況

(3) 屋根上付属物

例) 屋根上付属物（雨どい等）の取り付け状況

【解説】

(1) 現況調査の概要

現況調査では、本文の(1)～(3)に示す部位を対象に劣化や不具合の有無を確認する。地上から屋根ふき材を確認できる範囲としては、屋根勾配にもよるが軒先又はけらばが主な対象となる。一般に、くぎやねじの保持力の程度は地上から確認することは困難である。しかし、一部の屋根ふき材が脱落等している場合にその範囲の下地が露出していれば、劣化等の状況から推測できる可能性はある。なお、屋根ふき材自体に十分な劣化や不具合を確認した場合には、その接合部にも劣化等が一定程度進行している可能性があると考えられる。

屋内の屋根裏から野地を確認できる場合には、直接雨漏り等の有無を確認することも有用である。その痕跡が認められる場合には、野地におけるくぎ等の保持力が低下している可能性がある。

(2) 屋根ふき材の劣化や不具合の確認項目

住宅性能表示制度（既存住宅）の評価方法基準に定める屋根の劣化事象等の規定の解説^{2.4)}を引用しつつ、屋根ふき材の種類ごとに調査時の劣化や不具合の着眼点を以下にまとめる。この規定の解説は漏水リスクに起因する劣化等の観点でまとめられているが、それが耐力低下や強風被害の直接

的な誘因にもなり得るものとして参考にできる。各屋根ふき工法別に診断のリーフレットを作成する際には、各劣化・不具合の状況がわかる画像も掲載するとよい。

1) 粘土瓦・住宅屋根用化粧スレート

粘土瓦と住宅屋根用化粧スレートの劣化や不具合の例を解図 2.2.1 に示す。



(a) 粘土瓦



(b) 住宅屋根用化粧スレート

解図 2.2.1 粘土瓦・住宅屋根用化粧スレートの劣化や不具合の例
(画像提供 (一社)全日本瓦工事業連盟)

a) 著しい割れ、欠損、ずれ及び剥がれ

粘土瓦や住宅屋根用化粧スレートの著しい割れ、欠損、ずれ及び剥がれは、飛来物や屋根上の歩行による衝撃により生ずることが多い。さらに、ずれと剥がれは、台風時の強風、地震時の水平力によっても生じ得る。例えば瓦屋根を地上から観察すると、栈山が流れ方向に波打っているように見える場合がある。地上からの外観目視で1か所でもこれらの状況が確認されれば、確認できない範囲にも同様の状況が生じている可能性がある。これらの状況が放置されていると下地材の劣化が促進され、接合部の保持力低下のおそれがあるほか、割れ等が生じた屋根ふき材自体の脱落・飛散等、安全面に問題が生ずるおそれがある。

b) 著しい変色

一般に住宅屋根用化粧スレートの場合、材料の性質及び構法の関係上、ずれや剥がれは生じにくい。化粧スレートに最もよく見られる劣化は、塗膜表面の剥がれに伴う基材の露出であり、外観上

は変色という事象として現れる。一般に、化粧スレートの変色から劣化を判断することは難しいが、材料表面の劣化が顕著で、微生物等が繁殖し、材料自体の耐水性や強度が低下するような状態である場合には、著しい変色が生じたものと判断し、劣化等の1つとして取り扱う。

2) 金属屋根

金属屋根の劣化や不具合の例を解図 2.2.2 に示す。



(a) ほぼ全面的な発錆



(b) 部分的な発錆



(c) 瓦棒ぶきの軒先と唐草の一部の劣化状況

解図 2.2.2 金属屋根の劣化の例

(画像提供 (一社)日本金属屋根協会)

a) 著しい腐食等

金属屋根の場合、基材に亜鉛めっきが施されているものは、塗膜及び保護層の劣化の後、赤さびが発生する前に白さびが発生する。地上からの外観目視で1か所でも確認できれば、確認できない範囲にも同様の状況が生じている可能性が高いと判断できる。同じ赤さびでも、発錆する部位により重要度は異なる。曲げ加工部分は、表面にきずがあるため、平面部分に比べて劣化が早いので特に注意が必要である。ただし、軒先等の材端部分も劣化が早い。平面部の赤さび、はぜ折り部分の赤さびは、漏水に直結する事象である。

また、軒先の端部処理した部位や役物（例えば瓦棒ぶきの掴み込み部や唐草）では比較的劣化の

進行が早い場合も多く、ある程度目視で劣化の程度を把握できる。

b) 著しいめくれ、剥がれ

金属屋根のめくれや剥がれはそのまま雨漏りに直結し、強風時の被害にもつながるので、外観調査の重要な確認項目である。

c) 留め付け部分の著しい浮き

金属屋根の葺き方には、立平葺き、蟻掛け葺き、平葺き、横葺き、瓦棒葺き等、様々な葺き方があるが、釘や嵌合部でのキャップ等の浮きは漏水はもとより、強風時の被害を誘発するおそれがある。したがって、地上からの外観目視による有無の判断は難しいが、確認できた場合には劣化等の1つとして取り扱う。

3) 屋根上付属物

屋根ふき材や下地のほか、可能な場合には屋根上付属物の状態も確認する。雨どいの例を解図2.2.3に示す。雨どいの底に水垢や塵埃が堆積していたり受け金具が変形する等の不具合が生じている場合には、屋根ふき材自体にも一定の劣化等が進行している可能性がある前提で外観観察を行うことが望ましい。



(a) 底に塵埃等が溜まった状況



(b) 受け金具の変形

解図 2.2.3 雨どいの状況例

(画像提供 (一社)全日本瓦工事業連盟)

2.3 診断方法

2.3.1 建設地における強風の実況の把握

建設地における基準風速と立地区分を表 2.3.1 に当てはめて、強風の実況を表す H 指標を選択する。原則として、立地区分の「一般部」は建設地が海岸線から概ね 200mを超える地点、「沿岸部」は建設地が海岸線から概ね 200m以下の地点とする。

表 2.3.1 H 指標

基準風速 立地区分	30～32m/s	34～36m/s	38～46m/s
一般部	H-1	H-2	H-3
沿岸部	H-2	H-3	H-3

注) 基準風速は平12建告第1454号に定める数値。

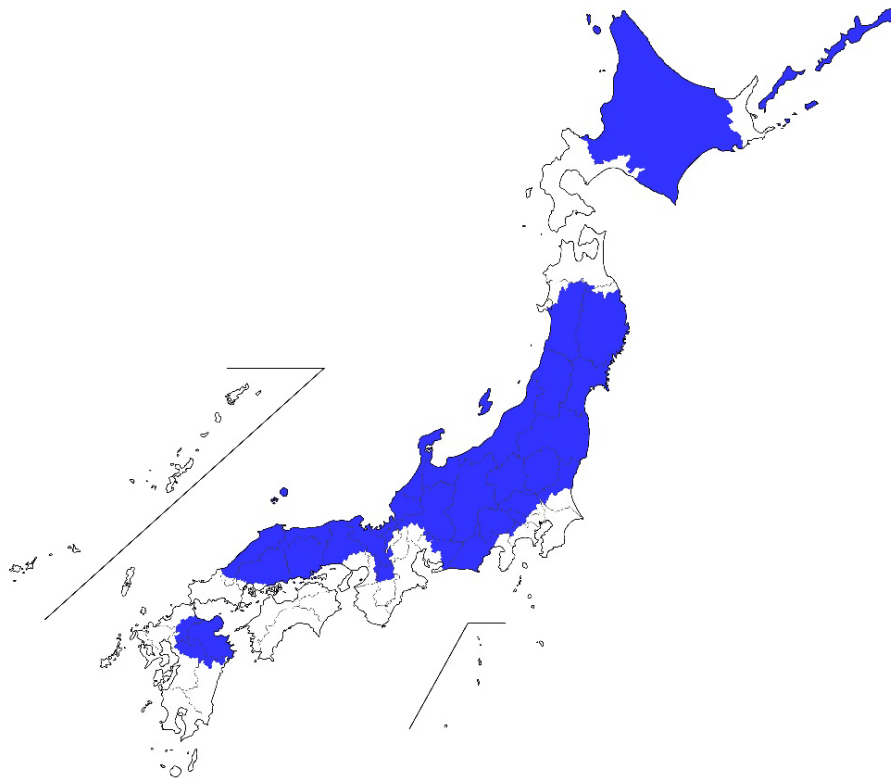
【解説】

(1) 建設地における強風の実況を表す H 指標の概要

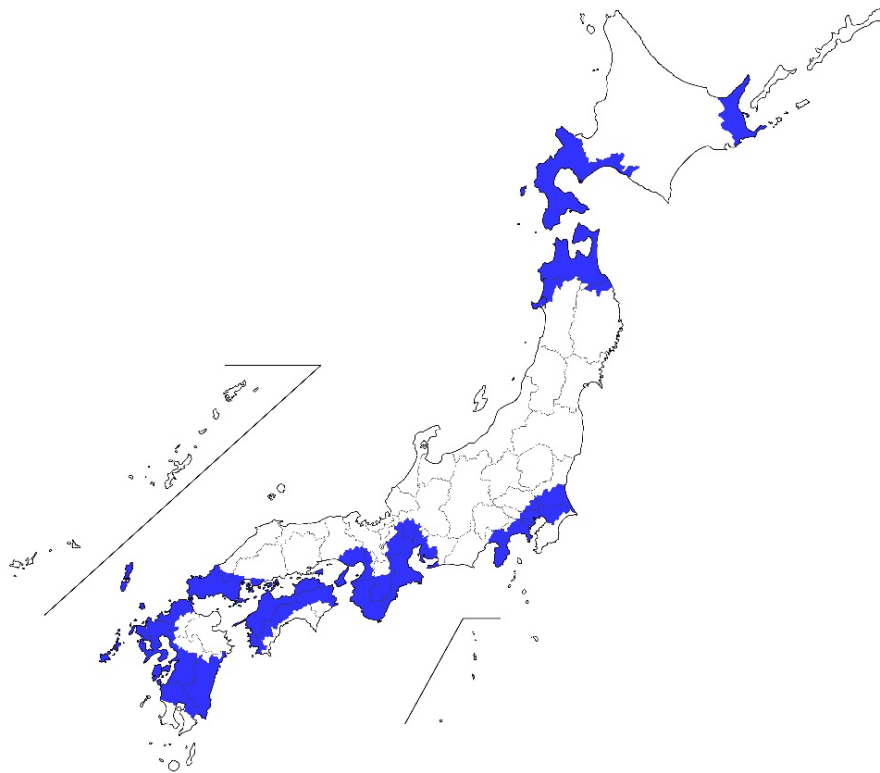
一般に、屋根ふき材の強風被害リスクの大きさは当該建設地での強風ハザード、つまり被害発生
の誘因（引き金）となる強風現象とその危険度に依存し、本文中の「強風の実況」はこれを読み替
えたものである。表 2.3.1 では、想定される強風ハザードの大きさを表す指標として H 指標を提案し
た。「H」は Hazard（ハザード）の頭文字である。建築基準法に基づく平 12 建告第 1454 号では、過
去の台風の上陸頻度等に基づいて基準風速（30～46m/s）が規定されており、解図 2.3.1 に示すよう
にこの風速値を強風ハザードに対応させて 3 つに区分した。

また、海岸線に比較的近く、周囲に強風をさえぎる地物のない地点では、それ以外の地点よりも
大きな風速による作用を受けやすい。例えば令和元年房総半島台風では、沿岸部に位置する住宅等
の瓦屋根や小屋組に顕著な被害が確認されている。このような状況も踏まえて、更に立地状況の違
い（立地区分）も設けた。建築基準法令に規定する風荷重の算定式によれば、同じ基準風速の区域
であっても、地表面粗度区分Ⅱを想定した「沿岸部」の風荷重は、同区分Ⅲを想定した「一般部」
の風荷重の約 1.6 倍となる。

基準風速と立地区分の組み合わせによって選択する H 指標は、H-1、H-2、H-3 の順に強風ハザード
が段階的に大きくなることを表す。ただし、この指標で竜巻等突風によるハザードは想定していな
い。また、風荷重の大きさは建築物の屋根平均高さにも依存するが、2.1 節で低層建築物を適用範囲
としたことに加え、簡便さも優先して高さの違いに応じた区分は設けていない。日本全域の大半が
H-1 に該当する一方、例えば沖縄県や令和元年房総半島台風で顕著な被害が確認されたエリア^{2.5)}は
立地区分の違いにかかわらず H-3 となる。また、例えば大阪府泉佐野市等（基準風速 34m/s）では一
般部が H-2 であるが、平成 30 年台風第 21 号で顕著な被害が確認された沿岸部^{2.6)}が H-3 となる。

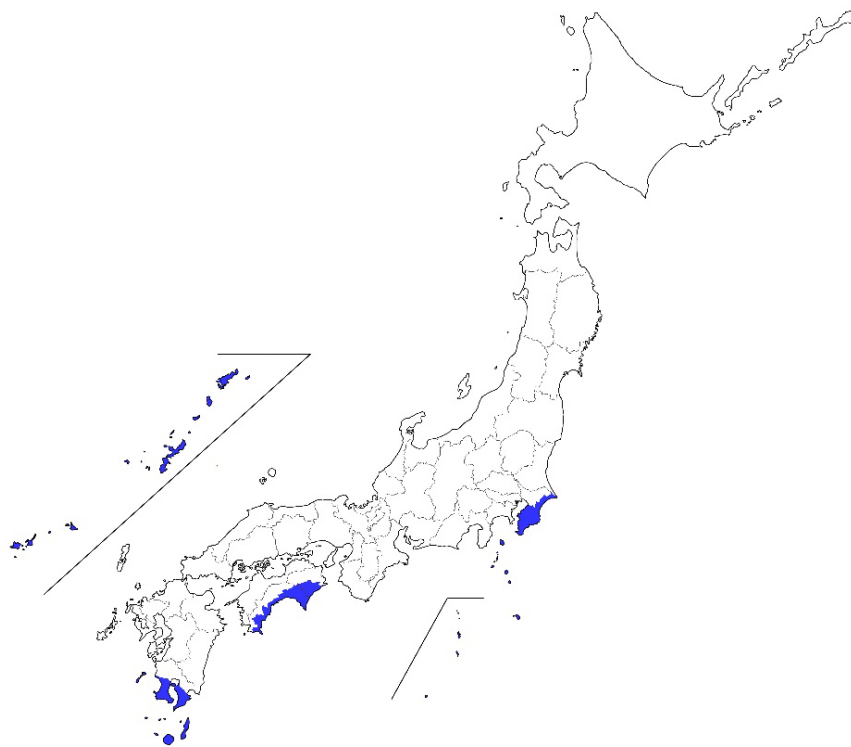


(a) 30~32m/s



(b) 34~36m/s

解図 2.3.1 基準風速の分類



(c) 38~46m/s

解図 2.3.1 基準風速の分類 (続き)

2.3.2 屋根ふき材のぜい弱性の把握

(1) 調査結果を表 2.3.2 の(A)～(B)欄に当てはめて、「(A)欄の点数×(B)欄の点数」を計算する。

表 2.3.2 調査結果に基づく点数

	調査結果	点数
(A)	築10年未満である。	1
	築10年以上経過しており、数年前に維持管理(点検・補修等)を行った経験がある。	1.5
	築10年以上経過しており、数年前に維持管理(点検・補修等)を行った経験がない、又は不明である。	2
(B)	外観上、劣化や不具合は確認できない。	1
	外観上、劣化や不具合は確認できない。ただし、近隣の建築物等に著しい被害をもたらした地震又は強風を過去に経験したが、その直後に点検を行っていない。	1.5
	外観上、屋根ふき材の色褪せ、さび、塗装のはがれ等の劣化が確認できる。	3
	外観上、屋根ふき材のずれ、脱落、割れ、くぎの浮き等の不具合が確認できる。天井に雨漏りと思われる染みが確認できる、又は雨漏りの経験がある。	4

(2) (1)で計算した点数を表 2.3.3 に当てはめて、屋根ふき材のぜい弱性を表すV指標を選択する。

表 2.3.3 V指標

計算した点数	1以上 2未満	2以上 3未満	3以上 6未満	6以上
V指標	V-1	V-2	V-3	V-4

【解説】

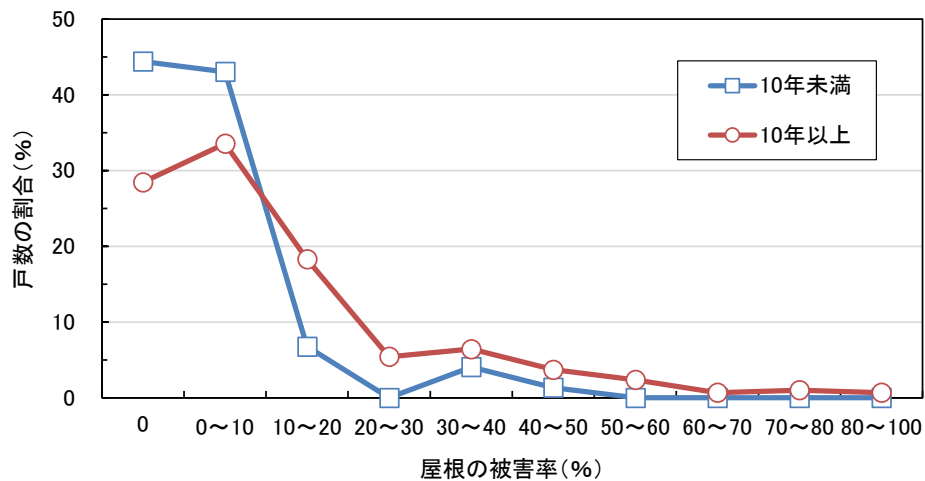
(1) 屋根ふき材のぜい弱性を表すV指標の概要

屋根ふき材の強風被害リスクの大きさは、前項に示した建設地の強風ハザードだけでなく、強風下での屋根ふき材のぜい弱性にも依存する。一般に、ぜい弱性の程度は築年数に依存し、10 年程度以上経過した屋根に強風被害が増えることが指摘されている。例えば解図 2.3.2 は、社団法人日本損害保険協会が 1991 年台風第 19 号による被害調査（長崎県等を対象）からまとめた建築年数と屋根被害率との関係である。建築後 10 年未満のほう被害率の低い側に分布し、明らかに築年数の大きな住宅のほう被害率が高いことがわかる。また、令和元年房総半島台風での被害状況の結果も踏まえて、表 2.3.2 の(A)欄では築 10 年未満／以上の区別を設けた。

さらに、築年数が比較的経過した屋根同士を比較しても、被災経験の有無や適切に維持管理（点検や補修等）がされているかどうかで、ぜい弱性の程度は異なると考えられる。そこで表 2.3.2 では、事前調査で把握した情報を(A)欄、主に現況調査の結果を(B)欄に対応付け、各々の結果に対応

する数値同士を掛け合わせることでぜい弱性の大きさ（点数）を評価することとした。ただし、築10年未満であって、かつ、外観からの不具合や雨漏りの痕跡を確認できる場合（掛け算の結果が4）は、新築時の瑕疵等の可能性も含めて取り扱うのが望ましい。

表 2.3.2 の計算結果に対応する形で、表 2.3.3 では強風に対するぜい弱性を表す4段階の H 指標（V-1～V-4）を設定した。V-1、V-2、V-3、V-4 の順に強風に対するぜい弱性が段階的に大きくなることを表す。なお、「V」はぜい弱性を意味する Vulnerability の頭文字である。



解図 2.3.2 建築年数による屋根被害率の比較 ^{2.7)}

2.3.3 強風被害リスクの診断

(1) 選択した H 指標と V 指標を表 2.3.4 に当てはめて、屋根ふき材の強風被害リスクを診断する。

表 2.3.4 強風被害リスクの診断

H指標 \ V指標	V指標			
	V-1	V-2	V-3	V-4
H-1	小さい			やや大きい
H-2				
H-3				
H-1	やや大きい			大きい
H-2				
H-3				

(2) 強風被害リスクが**大きい**と診断された場合、建築の専門業者に耐風2次診断の実施を依頼し、**やや大きい**と診断された場合、耐風2次診断の要否について専門業者に相談する。なお、**小さい**と診断された場合、耐風2次診断は当面要しないが、今後も一定の頻度で現況調査の実施を計画することが望ましい。

【解説】

(1) 強風被害リスクに基づく診断の概要

既に述べたとおり屋根ふき材の強風被害リスクは、建設地の強風ハザードと屋根ふき材のぜい弱性の組み合わせによって決定される。表 2.3.4 は両者の大きさを表す指標を縦軸と横軸に並べてマトリクス表示し、左上から右下に向かってリスクや被害発生 of 蓋然性が大きくなる傾向を視覚的に分かりやすく示している。

(2) 強風被害リスクと耐風 2 次診断との関係

強風被害リスクの診断結果が「大きい」となった場合には、耐風 2 次診断の実施を計画する方針とする。なお、耐風 2 次診断を実施しても要改修の判断に至ることをあらかじめ見越し、耐風 2 次診断を省略して直接、改修計画を進めることもあり得る。

診断結果が「やや大きい」となった場合には、耐風 2 次診断の実施の要否について、専門業者に相談することが望ましい。一方、診断結果が「小さい」となった場合には、当面の間は屋根の補強や改修を要しないものと考えられるが、築 10 年以上経過した建築物では、ぜい弱性の要因となる不具合や劣化等が生じ得るかどうかについて一定間隔で調査をすることが望ましい。加えて、地震や台風によって近隣で建築物被害が発生した場合には、当該屋根についても被害の有無を確認する目的で臨時的に調査することも望まれる。

参考文献

2. 1) 日本屋根経済新聞社：わが家の屋根診断，2019.
2. 2) 日本建築防災協会：2012 年版木造住宅の耐震診断と補強方法 指針と解説編，pp. 9-15，2012.
2. 3) 警視庁ウェブサイト，点検商法（2024. 11. 25 閲覧）
<https://www.keishicho.metro.tokyo.lg.jp/kurashi/higai/shoho/tenken.html>
2. 4) 国土交通省住宅局住宅生産課等監修：住宅性能表示制度建設住宅性能評価解説（既存住宅・現況調査）2022，全国官報販売共同組合，2022.
2. 5) 国土技術政策総合研究所・土木研究所・建築研究所：令和元年(2019 年)房総半島台風および東日本台風による土木施設・建築物等災害調査報告，国土技術政策総合研究所資料，No. 1111，pp. 312-369，2020.
2. 6) 国土技術政策総合研究所・建築研究所：平成 30 年台風第 21 号に伴う強風による建築物等被害現地調査報告(速報)，2018.（2024. 9. 10 閲覧）
<https://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/h30/typhoon21.pdf>
2. 7) 日本損害保険協会：住宅の強風リスクと耐風診断－屋根葺材を中心として－，安全技術報告書 95-7，1996. 3.

第3章 耐風2次診断

3.1 耐風2次診断の概要

- (1) 屋根ふき材の耐風2次診断は、居住者や管理者からの依頼を受けて、屋根の設計・施工を専門とする者が修繕や改修の要否を判断する目的で行うものである。
- (2) 耐風2次診断では、耐風1次診断の結果を参照するほか、屋根上での現況調査を行うことを原則とする。
- (3) 調査結果に基づいて、現に劣化や不具合が顕著な場合や現行の技術基準等に適合させる必要があると判断した場合には、改修の実施を計画する。左記以外の場合には、屋根ふき材の強風に対する損傷可能性の診断結果を参考にして、改修の要否を判断することができる。

【解説】

(1) 耐風2次診断の概要

耐風2次診断は、建築物の居住者や管理者等からの依頼を受けて、屋根の設計・施工を専門とする者が屋根ふき材の修繕や改修の要否を判断する目的で行うもので、耐風1次診断よりも実況に近い診断結果を提示することができる。すでに耐風1次診断が行われているので、その結果を参照しつつ、屋根上の各種調査の結果に基づき強風下の損傷可能性を診断する。

この診断では、屋根ふき材等に現に劣化や不具合が顕著な場合や現行の基準等に適合させる場合には、以下に示す計算を行うまでもなく、改修計画の検討に進むことができる。一方、改修の要否判断のための実況データを収集する必要がある場合には、建設地や屋根形状から風荷重、現況調査の結果から残存耐力をそれぞれ算定し、両数値から耐力評点を算定することとしている。この耐力評点を用いた方法は「木造住宅の耐震診断と補強方法」^{3.1)}に示す一般診断法に準じており、通常の耐震診断の経験者にとっては比較的なじみやすい方法と思われる。耐力評点結果から強風下で脱落・飛散する可能性を診断することで、修繕や改修の要否について適切な判断材料を得ることができる。

付録2に耐風2次診断の手順と確認項目を反映した診断票の例示様式を提示した。第一面が3.2.1項の事前調査、第二面が3.2.2項の現況調査、第三面が3.3節の診断方法にそれぞれ対応する。この様式を参考にして、各屋根ふき材の実状に適した診断票を整備されたい。

(2) 耐風2次診断の実施者

耐風2次診断では風荷重や残存耐力を算定するほか、屋根上での慎重な安全管理も求められることから、原則として各屋根ふき材の設計・施工実務の経験者等が担当するものとし、例えば以下の有資格者が想定される。

- ・ 瓦屋根工事技士：(一社)全日本瓦工事業連盟（全瓦連）が設置し運営する制度であり、瓦屋根工事に関係する実務経験を有する者が、外部有識者などによる研修と資格試験を経て認定されるも

ので、瓦屋根工事の構法、設計、施工管理、品質管理などに一定の知見を有する。

- ・ かわらぶき技能士（１級、２級）：職業能力開発促進法に基づき実施される、技能検定試験の合格者が称することのできる資格であり、一定の経験年数と瓦工事に関係する知識と施工能力を習得していることが、一級にあっては厚生労働大臣、その他にあっては都道府県知事によって認定される。
- ・ 瓦屋根診断技士：上記の瓦屋根工事技士の資格を持ち、併せてかわらぶき技能士のいずれかの資格を有した者のうち、全瓦連が主催する育成講座を受講した者。５年ごとに更新され、その際に講習会に出席し、最新の知識を習得している。
- ・ 金属屋根工事技士：（一社）日本金属屋根協会が運営する資格制度であり、３年ごとに講習会を受講して資格が更新される。
- ・ 建築板金技能士：建築物の板金工事の技能を認定する国家資格であり、都道府県職業能力開発協会が実施する建築板金に関する学科と実技試験に合格した者。

上記の者のほか建築士による診断も可能であるが、その場合には建築士単独の実施ではなく、各屋根ふき材に関する業者も調査に同行し、調査内容への助言や屋根上の安全確保の補助をすることが望ましい。また、診断を行う者は上記の公的な有資格者に限るものではない。例えば、屋根ふき材の製品供給業者が独自に施工資格を設ける場合があるが、その有資格者が当該製品に限って現況調査や診断をすることも可能である。

3.2 調査方法

3.2.1 事前調査

現況調査に先立ち、あらかじめ耐風１次診断の結果を把握するほか、調査対象の屋根ふき材に関する技術資料、新築時の設計・施工図書を確認する。

【解説】

耐風２次診断を行う事前準備として、あらかじめ耐風１次診断の結果を把握しておく。１次診断を経ずに２次診断から始める場合には建築物の居住者や管理者に対してヒアリングし、以下の情報を把握する。これらは残存耐力を検討する際の有効な情報となる。

- ・ 建築年
- ・ 建築後の屋根の不具合経験の有無
- ・ 維持管理（点検、修繕等）の既往履歴

残存耐力の算定には屋根ふき材の技術資料が根拠となるため、これらをあらかじめ告示基準と併せて確認しておくことも求められる。今日では各屋根ふき工法ごとの技術資料が整備されており、具体的には以下が該当するが、可能であれば現行の技術資料の内容だけでなく、施工当時に用いられた資料の内容まで確認できるとよい。

- ・ 各屋根ふき材の製品供給業者が発行する製品カタログ、設計・施工要領書（マニュアル）
- ・ 関連する業界団体が発行する設計・施工ガイドライン

さらに、築年数の古い建築物では入手困難な場合も多いと思われるが、新築時の設計・施工図書

も入手や閲覧ができれば風荷重や残存耐力算定の参考になる。

3.2.2 現況調査

- (1) 現況調査は建築物の屋根上で行うものとする。以下の(2)～(3)のほか、屋根ふき材の製品供給業者や関係団体が定める調査項目がある場合には、当該調査も併せて行う。
- (2) 目視や触診によって以下の部位を確認する。
 - 1) 屋根ふき材
 - ・ 屋根ふき材の種類と仕様
 - ・ 現行の技術基準や技術資料への適合性
 - ・ 劣化（変色、発錆、腐食等）や不具合（脱落、ずれ、浮き上がり、屋根上の歩行時のたわみ等）の有無
 - 2) 接合部
 - ・ 接合具（くぎ、ねじ等）の種類と仕様
 - ・ 現行の技術基準や技術資料への適合性
 - ・ 接合具の留め付け間隔
 - ・ 劣化（変色、発錆、腐食による断面欠損等）や不具合（抜け等）の有無
 - 3) 下地
 - ・ 下地（下ぶき材を含む）の種類と仕様
 - ・ 現行の技術基準や技術資料への適合性
 - ・ 劣化（変色、発錆、腐朽・腐食等）や不具合（雨漏り痕等）の有無
- (3) 必要に応じて、接合部や下地の劣化の程度を確認するための保持力（引き抜き強度）試験を行う。この場合、原則として複数個所で試験を行うものとする。
- (4) 屋根各部の劣化・不具合の状況と現行の技術基準等への適合状況に基づき、表3.2.1を参考にして改修の可否等を判断する。調査結果に基づく検討をさらに行う場合には、3.3 節の診断による。

表 3.2.1 劣化・不具合の状況と現行の技術基準等への適合状況を踏まえた判断

		屋根各部の劣化や不具合の状況	
		現に劣化や不具合が顕著である	劣化や不具合がある
適基現 合準行 状等の 況へ技 の術	不適合	◎	◎, ○, △
	適合	—	○, △

（凡例）

◎：改修を要すると判断

○：調査結果に基づく診断を行った上で、改修の可否を判断

△：改修を当面要さず、修繕等に対応すると判断

【解説】

(1) 現況調査の概要

耐風 2 次診断では耐風 1 次診断と異なり、屋根上での現況調査を原則としている。したがって、屋根ふき材自体の状況だけでなく、接合部（釘やねじ）の仕様と状態、接合部の保持力に関わる下地の状況も詳細に把握でき、その結果を修繕・改修の要否判断に反映することができる。現況調査は主として、目視や触診による非破壊調査と保持力（引き抜き強度）試験による破壊調査に分けられる。非破壊調査の実施は必須とし、下地に新たに孔を開けることとなる破壊調査は必要に応じて実施するものとした。

現況調査で確認する観点は、屋根各部の劣化・不具合状況と現行の技術基準・技術資料への適合状況の 2 点である。表 3.2.1 では、これらの観点の組み合わせからどのように改修の要否等の判断に至るかについて、いくつかの可能性を提示した。屋根ごとの実状に応じて様々な判断があり得ると思われるが、ここでは主に 3 通りの判断に至ることを想定している。例えば各部の工法や仕様が現行の技術基準等に適合しておらず、かつ、現に顕著な劣化や不具合がある状況では、比較的容易に要改修の判断（◎印）に至ると考えられる。一方、顕著な劣化等にまだ至っていない状況に対しては様々な判断があり得るため、表中ではその協議や判断の余地を狭めないよう、全ての判断（◎, ○, △印）があり得るものとした。このうち、○印は改修の要否を協議・判断するために一定の現況データを要すると考えられる場合を想定しており、3.3 節の診断で判断材料を得ることができる。また、△印の修繕には屋根ふき材の再塗装や接合具の締め直し等の実施を想定している。なお、現行の技術基準等に適合し、かつ、現に顕著な劣化や不具合がある状況はまれなケースと思われ、同表の対象にしていない。

屋根ふき材の製品供給業者や関係団体が別途定める調査方法がある場合には、それも併用した調査を行う。例えば瓦屋根については、「2021 年改訂版 瓦屋根標準設計・施工ガイドライン」^{3.2)}に屋根上調査票の例が掲げられている。同調査票では、各部位の施工状況が昭 46 建告第 109 号の規定に不適合である場合及び現に瓦の脱落・浮き上がり等の不具合が発生している場合に、要改修の判断をすることとされており、この取り扱いは表 3.2.1 の◎印に該当する。

(2) 目視や触診による調査の概要

非破壊調査は目視や触診によることを前提とし、主に各部位に用いられている製品の種類や仕様、接合具の留め付け間隔、不具合や劣化の状況を調査する。また、各部仕様が現行の技術資料に適合しているかどうか確認し、構造方法が昭 46 建告第 109 号に規定されている屋根瓦については告示基準への適合性も確認する。

1) 屋根ふき材、接合部、下地の劣化等状況

一般に、屋根ふき材自体の状況は目視のみでもある程度の把握はできるが、屋根上からではふき材の裏面側にある接合部や下地の状況把握は困難である。ただし、下地については、屋根上からでもふき材を触診（上から軽く押す等）しておおよその状況を推察できることもある。ふき材の一部を容易に原状復旧できる方法で取り外すことが可能であれば、下地を目視でも確認でき、また触診の精度も上がり、状況をより確認しやすくなると考えられる。さらに、屋内（小屋裏）からの観察が可能であれば、下地の裏面側について目視や触診にて状況把握が可能となる。しかし、屋内から

の観察については、例えば非住家施設（工場倉庫）の折板屋根では天井高も高いため、高所作業用設備の持ち込みや設置が必要となる状況も多く、場内の通常操業との干渉が避けられない。そのような調査が求められる場合には、遠隔操作カメラを高く掲げ上げる伸縮棒付き台座や UAV（ドローン）の活用も視野に入れつつ、可能な範囲で現況調査を実施することが望ましい。

以下では金属屋根を例にして、目視や触診による現況調査の観点や留意点をまとめる。

a) 屋根ふき材

塗装鋼板は、ふき材として施工後、太陽光線、雨露、気温、大気中に含まれる亜硫酸ガス等の外的条件により、表面の塗膜の変化・消耗から亜鉛の消耗、鉄地の腐食へと劣化が進行していく。塗膜の変化・消耗の段階で適切に塗り替えられれば鉄地の健全性は維持されるが、赤さびが確認された段階では、その程度にかかわらず鉄地の減耗が始まっていると考えることができる。

赤さびが確認された場合、屋根全体の面積に対する赤さびが確認できる面積の比率に着目し、同比率が概ね 50%を超える場合には、本文の表 3.2.1 の「現に劣化や不具合が顕著である」状況に該当するものとして要改修の目安になると考えられる。解図 3.2.1（解図 2.2.2 の再掲）に赤さびの事例を示す。



(a) ほぼ全面的な発錆



(b) 部分的な発錆

解図 3.2.1 赤さびの事例
(画像提供 (一社)日本金属屋根協会)

また、一般に鉄地（鋼材）の減耗は許容されないが、文献 3.3) では 10%を超える減耗が生じた場合に使用上の限界と定義されていることから、可能な場合にはふき材の板厚を測定する。測定する場合には、ノギスやマイクロメーターで直接測定する方法と非破壊の測定方法がある。前者の方法では鉄地（鋼材）の表裏両面から物理的に挟み込むため、ふき材からの部分的な切り出し（一部破壊）が必要となる場合もある。現実的には切り出しが困難な場合が多いと思われるが、安価に精度よく測定できる手法である。一方、後者の方法はポータブル超音波厚さ計を用いて、ふき材の表面のみからの測定が可能のため破壊を伴わない。ただし、板厚 0.4mm 程度からのふき材が測定可能な市販の機種は少なく、高額となる可能性もある。これらの鉄地（鋼材）の減耗があらかじめ設定した目安を超えた場合には、表 3.2.1 の「現に劣化や不具合が顕著である」状況に該当するものとして、改修の実施を計画することが望ましい。

b) 接合部

ドリルねじ等の接合部は、目視により錆の状態、ボルトの緩みや抜け落ち等の有無を確認するほか、触診によってぐらつきの有無も確認する。解図3.2.2に接合部の不具合例を示す。これらの不具合が確認された場合には、ドリルねじの増し締めや増し打ちなどの対処が可能な場合や、場合によっては一旦ねじを抜いて部材を取り外し、さらに部材の下地（野地板など）を観察できる場合もある。また、解図3.2.3は横ぶき屋根でのドリルねじの緩みや外れによって下り棟部材が浮いている状況である。この場合、一旦下り棟部材を取り外すことで、ドリルねじ受けの部材を目視で確認でき、さらに下地のルーフィングや野地板を目視や触診で確認することもできる。このように一旦取り外すことができ、かつ、即時復旧できる部材に関しては、可能な範囲で取り外すことによって精度の高い調査が可能となる。



(a) リベットの抜け落ち



(b) ボルト・ナットの緩み

解図 3.2.2 接合部の不具合例
(画像提供 (一社) 日本金属屋根協会)



解図 3.2.3 ドリルねじの緩みや外れによって下り棟部材が浮いた状況の例
(画像提供 (一社) 日本金属屋根協会)

c) 下地

解図3.2.4は折板材を支持するタイトフレームに断面欠損が認められ、改修（ふき替え）が必要と判断されて鋼製母屋ごと取り外された事例である。赤さびの発錆のみならずここまで断面欠損が進

行していれば、表 3.2.1 の「現に劣化や不具合が顕著である」状況として改修の実施を計画する。



解図 3.2.4 タイトフレームの断面欠損の状況の例
(画像提供 (一社) 日本金属屋根協会)

2) 屋根瓦の現行の技術基準等への適合状況

屋根瓦については、2001 年発行の「瓦屋根標準設計・施工ガイドライン」に定められた工法（ガイドライン工法）が過去の台風や地震に対しても構造耐力上有効であることが確認されており、令和 2 年 12 月に改正された昭 46 建告第 109 号では、ガイドライン工法の詳細が反映される形で全ての瓦の下地への緊結（全数緊結）が求められることとなった。したがって、屋根瓦を現況調査する際にはガイドライン工法に該当するか否かが現行の技術基準等への適合性のポイントとなるが、それを外観から判断するためには以下の手順①～②によることができる^{3.4), 3.5)}。

手順①（建築年からの判断）

建築年が 2001 年以降（ガイドラインの制定後）の場合には、以下の手順②に進む。建築年が概ね 2001 年より前（ガイドラインの制定前）の場合には、ガイドライン工法に該当しない工法（以下、旧工法）と判断する。

手順②（瓦の緊結方法からの判断）

棧瓦の外観からは、必ずしもガイドライン工法であるか否か判断できないので、袖瓦、軒瓦及び棟瓦の下記の状況から総合的に判断する。

- ・ 袖瓦の側面がパッキン付きステンレスねじ又は緊結線で全数緊結されている場合には、ガイドライン工法の可能性が高い。
- ・ 軒瓦がパッキン付きステンレスねじ又は緊結線で全数緊結されている場合には、ガイドライン工法の可能性が高い。
- ・ 棟瓦が緊結線で緊結（大回し・千鳥）されている場合には、旧方法と判断する。緊結線が確認されない場合には、ガイドライン工法と旧工法の場合がある。

(3) 保持力（引き抜き強度）試験の概要

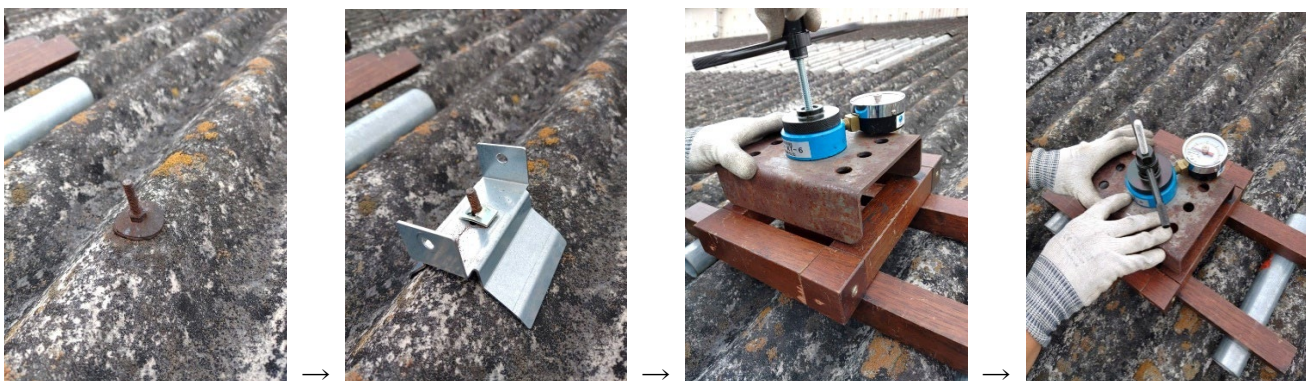
特に接合部や下地の劣化状況の確認に際し、目視・触診による非破壊調査の範囲で十分に確認できない場合やその健全性の判断を保留にした場合には、破壊調査の実施が有用である。具体的には、

屋根上の複数個所で接合部や下地の健全性確認のための保持力（引き抜き強度）試験を実施し、その引き抜き力の平均値を健全性の実況とする。保持力（引き抜き強度）試験の実施箇所の目安として、例えば鋼板製屋根では屋根面ごとに3か所以上（目視で劣化が著しいと判断される場合には、5か所以上）とすることが望ましいとされている^{3,6)}。その他の屋根工法でも調査方法の定めがない場合には、この鋼板製屋根の方法を参考にすることができる。

解図 3.2.5 は、既存の折板屋根の接合部（吊子）の強度を引張試験機で確認した事例、解図 3.2.6 は、既存スレート屋根のフックボルトの強度確認を行いながら、改修工法（カバー工法）における金具の固定方法を同時に検討した例である。破壊調査は既存の下地に新たに孔を開けたり接合部を変形させることになるので、関係者間の協議によって実施の可否判断や実施可能な場合にはその復旧方法を検討する必要があるが、実施が許可された時点で解図 3.2.6 のように改修を行うことが前提となっている場合もあると思われる。



解図 3.2.5 折板屋根の吊子部分の強度確認事例
(画像提供 (一社) 日本金属屋根協会)



解図 3.2.6 既存スレート屋根のフックボルトの強度確認と改修金具固定方法の検討の事例
(画像提供 (一社) 日本金属屋根協会)

3.3 診断方法

3.3.1 風荷重の算定

診断に用いる風荷重 W (N/m²)は、1.4節にしたがって算定した数値とする。

【解説】

診断に用いる風荷重は、設計・施工図書から屋根勾配等を確認し、1.4節にしたがって算定する。

3.3.2 残存耐力の算定

(1) 診断に用いる残存耐力 R_d (N/m²)は、(2)又は(3)にしたがって算定した数値とする。

(2) 目視や触診による調査結果に基づく場合

1) 残存耐力 R_d は、(3.3.1)式によって算定する。

$$R_d = R_0 \cdot k_d \quad (3.3.1)$$

ここで、 R_0 ：許容耐力の基本値 (N/m²)、 k_d ：耐力低減係数である。

2) 許容耐力の基本値は、屋根ふき材の仕様が準拠する技術資料に基づき設定する。

3) 耐力低減係数は、目視・触診による調査で認められた劣化や不具合の状況に応じて、表 3.3.1 に基づき設定する。ただし、特別な調査による場合には、当該調査で得た数値とすることができる。

表 3.3.1 耐力低減係数

下地等の劣化や不具合の程度	耐力低減係数
劣化等が認められない。	1.0
下地等に部分的な劣化（下地等の部分的な腐朽、釘接合部の軽微な腐食等）が認められる。	0.9～0.8
下地等に劣化（下地等の腐朽や釘接合部の腐食等）や釘の折損その他の不具合等が認められる。	0.6以下

(3) 保持力（引き抜き強度）試験結果に基づく場合

試験実施位置を代表する残存耐力 R_d は、(3.3.2)式によって算定する。

$$R_d = \frac{\bar{R}_t}{a} \quad (3.3.2)$$

ここで、 $\bar{R}_t$ ：試験で得た破壊荷重（最大荷重）の平均値 (N/m²)、 a ：製品供給業者の定める数値又は2以上の数値である。

【解説】

(1) 残存耐力算定の概要

事前調査や屋根上の現況調査に基づき、屋根ふき材の残存耐力を算定する。屋根上で保持力（引き抜き強度）試験を行っている場合には試験結果から耐力を算定できるが、行っていない場合には目視・触診結果から劣化・不具合状況を鑑みて残存耐力を算定する方針とした。

(2) 目視・触診結果に基づく残存耐力の算定

1) 許容耐力の基本値

この場合の残存耐力は、許容耐力の基本値に耐力低減係数を乗ずることで算定する。外装材の耐風計算に関する告示（平12建告第1458号）ではガラスの許容耐力のみ規定されており、屋根ふき材の許容耐力は規定されていない。したがって、算定に必要な許容耐力の基本値には適切な技術資料（当該屋根ふき材の製品カタログ、設計・施工要領書等）に定められた数値を参照する。技術資料の数値を参照する際、現況調査で確認した仕様詳細が技術資料に掲載されている仕様と合致していることを必ず確認しなければならない。しかし、築年数の経った屋根工法の場合、現在入手できる技術資料にそのまま参照できる数値が掲載されていないことも想定される。その場合には、参照できる数値をふき材の板厚、留め付け間隔（荷重負担面積）、接合具の保持力等の違いで調整したものを、許容耐力の基本値とする。

2) 耐力低減係数

現況調査で劣化や不具合が認められた場合には、(3.3.1)式に示す耐力低減係数によって一定程度耐力を低減する必要がある。しかし、屋根ふき材の劣化等と残存耐力に関する技術的知見が乏しいのが現状で、劣化等を適切に反映した低減係数は十分に整備されておらず、調査事例ごとの実況を踏まえて個々に判断されているものと思われる。

本文の表3.3.1は主に下地等の部材の劣化程度に着目したもので、解表3.3.1に示す「木造住宅の耐震診断と補強方法」^{3.1)}精密診断法2に定める壁の劣化低減係数の定性的記述に倣った。厳密には、耐震診断での低減が主として壁体のせん断抵抗の程度を反映するものに対して、本診断での低減は接合部単体の引き抜き抵抗の程度を反映すべきもので、そのまま援用することが適切でない可能性がある。しかし、解表3.3.1での「劣化の程度」の定性的な記述は屋根の構成材にも共通する部分があること、それに対応する数値も0.85と0.7の2つのみで取り扱いが簡便であることから、これを参考にすることとした。耐力低減係数については、解表3.3.1の「0.85」を「0.9～0.8」、「0.7」を「0.6」とし、ほとんど耐力を有さない極めて著しい劣化事象がある場合には、解表3.3.1の数値にかかわらず、より大きな低減が望ましいとされていることを踏まえ、「0.6」に「以下」を付記した。

また、表3.1.1の劣化の程度とそれに対応する係数は木下地の知見を根拠としているが、鋼製下地の場合にもこれを参考にする事とした。もちろん、下地や接合部の種類にかかわらず適切な技術資料等^{例えば3.7)}を参照して特別な調査を実施できる場合には、表3.3.1によらずに調査結果から係数を設定することが望ましい。

解表 3.3.1 壁の劣化等による低減係数^{3.1)}

劣化の程度	低減係数
①劣化が認められない。	1.0
②部材に部分的な劣化が認められる。 (ドライバーが刺さる、部材の腐朽が見られる、面材釘接合部に軽微な腐食が見られる、モルタルに亀裂があるなど)	0.85
③部材に著しい劣化が認められる。 (ドライバーが簡単に深く刺さる、部材の劣化や面材釘接合部の腐食、釘の折損等により接合部の耐力がない、モルタルや土壁が一部剥落しているなど)	0.7

以下に、木下地の劣化（保持力低下）を想定した引き抜き耐力の検討例を示す。日本建築学会「木質構造設計規準・同解説－許容応力度・許容耐力設計法－」^{3.8)}では、釘接合の終局引き抜き耐力 p_w (N) として(解 3.3.1)式が規定されている。

$$p_w = 44.1r_0^{2.5} d l_r \quad (\text{解 3.3.1})$$

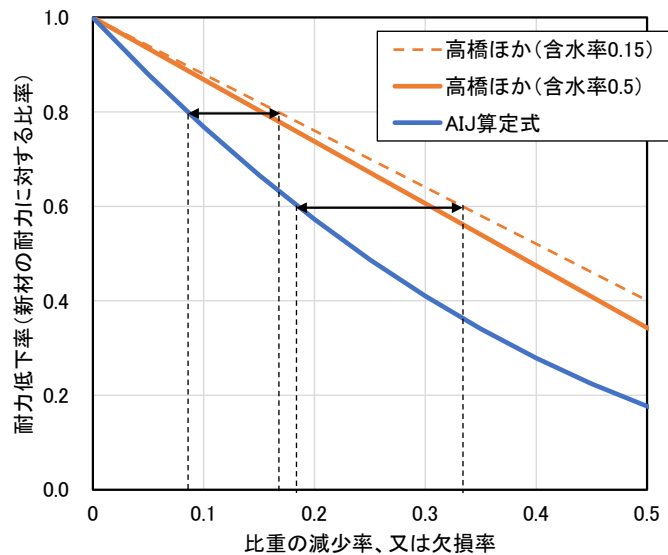
ここで、 r_0 ：木材の基準比重、 d ：釘径(mm)、 l_r ：釘の主材への有効打ち込み長さ(mm)であり、耐力は比重の2.5乗に比例することとされている。

また、外装下地材の劣化による影響として下地材の欠損率と含水率に着目し、欠損率、含水率と最大引き抜き耐力との関係を検討した研究例^{3.9)}を引用する。ここで、欠損率とは欠損がないと考えられる試験片の絶乾状態で求めた重量に対する、20年間放置された屋外曝露材から採取した試験片の絶乾時の重量（重量減少率）として定義される。この研究では、引き抜き耐力との相関がみられた欠損率と含水率を説明変数として線形重回帰分析を行い、釘の引き抜き耐力 R_n (kN) について(解 3.3.2)式が示されている。

$$R_n = 0.58 - 0.67k_v - 0.14k_m \quad (\text{解 3.3.2})$$

ここで、 k_v ：欠損率、 k_m ：含水率である。

上記の2つの式に基づき、木下地の比重の減少率又は欠損率と耐力低下率との関係を解図 3.3.1 に示す。例えば、縦軸を釘の引き抜きを想定した木下地接合部の耐力低減係数とみなせば、比重の減少率又は欠損率が10～20%程度で0.8、20～30%程度で0.6の係数に対応している。



解図 3.3.1 木下地の比重の減少率・欠損率と耐力低下率との関係

(3) 屋根上の保持力（引き抜き強度）試験結果に基づく残存耐力の算定

例えば、古い屋根ふき工法が採用された屋根ふき材等の場合には、今日入手できる技術資料にその工法に該当する仕様や許容耐力が掲載されていないことが予想される。このように適切な根拠を参照できない場合には、下地等に留め付けた部品の保持力（引き抜き強度）試験の結果から耐力算定することが有効である。ここでは、試験で得た破壊荷重（最大荷重）の平均値を製品供給業者の定める数値又は2以上の数値で除して、残存耐力を得ることとした。この方法は鋼板製屋根の算定方法^{3,4)}に倣ったものである。

3.3.3 耐力評点に基づく強風に対する損傷可能性の診断

- (1) (3.3.3)式によって屋根ふき材の耐力評点 S を算定する。ここで、 W ：3.3.1 項で算定した風荷重 (N/m^2)、 R_d ：3.3.2 項で算定した残存耐力 (N/m^2) である。

$$S = \frac{R_d}{W} \quad (3.3.3)$$

- (2) 算定した耐力評点 S を表 3.3.3 に当てはめて、屋根ふき材の強風に対する損傷可能性を診断する。

表 3.3.3 強風に対する損傷可能性の診断

耐力評点S	強風に対する損傷可能性
1.0以上	低い
0.7以上1.0未満	やや高い
0.7未満	高い

(3) 強風に対する損傷可能性が**高い**と診断された場合、耐風補強を伴う改修の実施を計画し、**やや高い**と診断された場合、耐風補強を伴う改修の実施の要否について居住者や管理者と協議する。なお、**低い**と診断された場合、必ずしも耐風補強を伴う改修は要しないが、必要に応じて修繕等に対応するか又は今後の調査実施計画を検討することが望ましい。

【解説】

(1) 耐力評点に基づく診断の概要

耐風2次診断では、診断に用いる風荷重に対する残存耐力の比率を耐力評点 S と定義し、これに基づいた診断の方法とした。耐力評点は外力に対する耐力の余裕度に相当し、それを屋根ふき材の損傷可能性の大小と関連付けた。表 3.3.3 に示した耐力評点の区分 ($S < 0.7$ 、 $0.7 \leq S < 1$ 、 $1 \leq S$) は、「木造住宅の耐震診断と補強方法」^{3.1)}の一般診断法における上部構造評点の判定の区分に倣った。耐力評点が1以上であれば最低限確保すべき耐力を保持し、損傷可能性は「低い」と判断することができる。一方、例えば不具合や劣化の状況が認められた場合には耐力評点が1未満となることも想定され、損傷可能性を「やや高い～高い」と診断する。

(2) 損傷可能性と耐風補強を伴う改修の要否との関係

今後、将来にわたって既存屋根の脱落・飛散による人的・物的被害の可能性を減らすことが耐風補強のモチベーション（動機）となる。そこで、表 3.3.3 の診断結果に基づき、耐力評点が1以上であれば耐風補強を当面要さないが、0.7 未満となった場合には原則として、耐風補強を伴う改修の実施を計画する方針とした。耐力評点が0.7 以上1.0 未満となった場合には、建築物個々の状況も勘案した上で、最終的には居住者又は管理者との間で改修実施の要否を決定することとなる。

工事の費用や期間等の都合で全面的な葺き替え改修を当面行わない場合には、改修までの現実的な措置として、屋根ふき材の飛散防止対策を兼ねた修繕や補修を行うことも考えられる。例えば文献 3.10)～3.11)に示す集合住宅の例では、既存の屋根ふき材を補修した上で、ポリエステル製の安全ネットで上から覆う応急的な対策がされている。その後、台風の強風によって一部の屋根ふき材に剥がれが生じたが、外部に飛散することなくネット内に納まった実例が報告されている。この実例を踏まえれば、安全ネットの敷設も飛散によって生じうる人命に対する危害や周囲への二次被害の可能性の低減が一定程度期待できるものであり、1.1 節に示した本マニュアル(案)の目的にも整合

する。この方法は、耐久性や耐摩耗性を考慮したネット材を選定するとともに、ネット材が負担する引張力、ネット材の軒先への固定方法等を適切に検討する前提において有効であり、全面的な改修を行うまでの当面の被害予防対策として参考にすることができる。

参考文献

3. 1) 日本建築防災協会：2012 年版木造住宅の耐震診断と補強方法，2012.
3. 2) 全日本瓦工事業連盟・全国陶器瓦工業組合連合会・全国 PC がわら組合連合会・日本建築防災協会：2021 年改訂版 瓦屋根標準設計・施工ガイドライン，2021. 7.
3. 3) 国土開発技術センター・建築物耐久性向上技術普及委員会 編：建築物の耐久性向上技術シリーズ 建築構造編Ⅱ 鉄骨造建築物の耐久性向上技術，技報堂出版，1986.
3. 4) 国土技術政策総合研究所・(国研) 建築研究所：福島県沖を震源とする地震による建築物の瓦屋根等の被害 現地調査報告，2021. 6. 8. (2024. 09. 01 閲覧)
<https://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/R2/fukushimajishin.pdf>
3. 5) 高舘祐貴，喜々津仁密，宮村雅史，石井儀光，鈴木裕美：令和元年房総半島台風による屋根の強風被害調査と被害分析，日本建築学会技術報告集，第 74 巻，pp. 542-547，2024. 2.
3. 6) 日本金属屋根協会・日本鋼構造協会：鋼板製屋根・外壁の設計・施工・保全の手引き MSRW2014，2014. 2.
3. 7) 日本建築学会：既存木造建築物健全性調査・診断の考え方(案)(木質部材・接合部等)，2002. 3.
3. 8) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説－許容応力度・許容耐力設計法－，2006. 12.
3. 9) 高橋徹，L Y Sophearith，西嶋一欽：令和元年台風 15 号の被害に基づく家屋の耐風性能評価と経年劣化した外装下地材の耐風性能の比較実験，日本建築学会技術報告集，第 29 巻，第 71 号，pp. 58-61，2023. 12.
3. 10) 谷口順，桜井宏行，谷口政和，田沼毅彦：「UR 賃貸住宅ストック活用・再生ビジョン」に係る技術的事項について（その 6）－UR 賃貸住宅における勾配屋根の強風被害の状況と課題について－，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 265-266，2021. 9.
3. 11) 谷口政和，桜井宏行，谷口順，田沼毅彦：「UR 賃貸住宅ストック活用・再生ビジョン」に係る技術的事項について（その 7）－UR 賃貸住宅における勾配屋根の強風被害の予防対策について－，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 1331-1332，2021. 9.

第4章 屋根ふき材の改修における耐風補強

4.1 改修における耐風補強の概要

- (1) 屋根ふき材の改修には新築時と異なる条件や制約があるため、設計者、施工者、屋根専門工事業者（以下、設計者等）はそれぞれの条件等についての的確に判断し、相互間の協議を行いながら改修計画を立案する。立案する際には、耐風2次診断の結果を参照するほか、必要に応じて設計調査（詳細調査）を行う。
- (2) 改修工法には、原則として耐風補強を意図した方法を採用し、当該耐風補強による性能向上の目標を1.3節の耐風性能水準（①～③）から選択する。
- (3) 必要に応じて壁量計算や耐震診断等により、当該改修後の建築物が構造耐力上安全であることを確認する。
- (4) 設計者等は、改修計画と耐風補強による効果を建築物の居住者や管理者に示し、理解を得たうえで改修工事に着手する。

【解説】

(1) 屋根ふき材の改修工事の概要

屋根ふき材の改修は、新築時に比べて工事対象の性能について比較的不明な点が多いうえに、新築時とは異なる制約もある。新築と同様、またはそれ以上の技量が要求される。例えば新築当時の設計・施工図書の入手が困難であったり、工事を開始してみなければ分からない劣化や不具合等で、工事の変更を余儀なくされる場合もある。また、建築物の使用者は工事中であってもその内部空間で日常生活を続けることが多く、いわゆる「居ながら改修」が求められ、工期の制約や工事の搬入路といった問題もあり得る。

これらの制約や条件を把握したうえで改修工事の着手前に、改修計画、工事の工程を綿密に立て、それを設計・施工図書としてまとめる。改修計画の立案に当たっては、耐風2次診断の結果を参照し、必要に応じて設計調査（詳細調査）も行うほか、一連の計画の詳細については例えば「建築改修工事監理指針（上巻）」^{4.1)}や「建築物の改修の考え方・同解説」^{4.2)}等の文献も参考にすることができる。「監理指針」は公共建築物の改修工事に携わる監督職員向けの文献であるが、工事現場管理の詳細などは設計者や屋根専門工事業者の立場でも有用である。

(2) 改修における耐風補強の概要

改修計画の立案では単に新築時の原状復旧のための改修に留まらず、さらに耐風性能の上乗せも意図した耐風補強を図ることが望ましく、本書では耐風補強に誘導する考え方を提示している。具体的には、耐風補強の目標やそれによって期待できる効果（耐風補強による性能向上の程度）は1.3節の耐風性能水準と対応付け、それを満たすことのできる改修工法を採用するものとする。当該工法が耐風性能水準を満たすか否かは、第5～6章に示す評価方法によって検証することができる。

また建築物の居住者や管理者に対して、この耐風性能水準の趣旨を示しながら、改修計画や耐風補強後の性能向上の程度をわかりやすく説明することも望まれる。

(3) 屋根改修後の建築物の構造安全性の確認

1.2 節の解説に示したとおり、屋根の改修に係る設計・施工上の留意事項（令和 5 年 3 月 31 日・国住指第 596 号）として、屋根ふき材のみの改修を行う場合、改修後の建築物が構造耐力上安全であることが明らかな場合には、再度、壁量計算や耐震診断等を行う必要はない。しかし、構造耐力上安全であることが明らかなでない場合には、壁量計算や耐震診断等により安全性の確認が必要であるとされている。例えば、屋根ふき材全体の改修後の重量が改修前の重量よりも大幅に増加することが見込まれる場合には、その下部構造における慣性力増加の影響について、壁量計算や耐震診断等によってあらかじめ確認することが望ましい。

4.2 耐風補強の種類と配慮事項

- (1) 屋根ふき材の改修は、一般に以下の工法によって行う。
- 1) 補強工法
 - 2) 重ねぶき工法（カバー工法）
 - 3) ふき替え工法
- (2) 屋根ふき材の耐風補強においては、新設の屋根ふき材から下地までの風荷重が伝達される経路（以下、ロードパス）に配慮し、その各部の耐力を適切に確保できる工法を選択する。

【解説】

(1) 屋根ふき材の耐風補強の概要

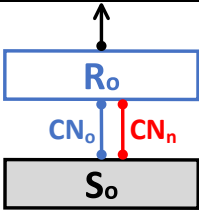
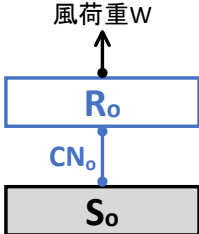
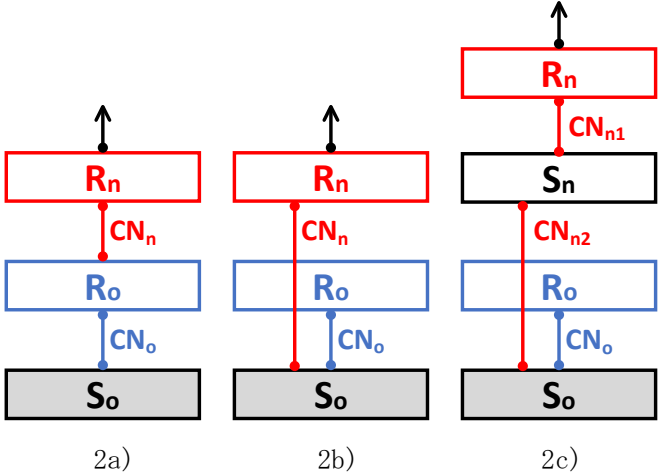
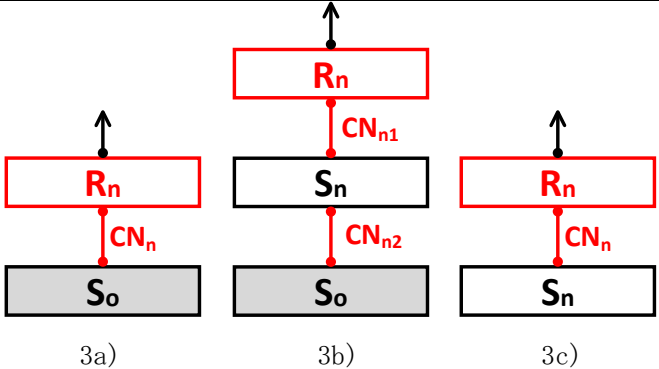
屋根ふき材の改修方法としては、1)補強工法、2)重ねぶき工法、3)ふき替え工法の3通りがあり、これらの概念図を解図 4.2.1 に示す。このうち、部分的な補強は修繕の延長で扱われることもあり、重ねぶき工法は一般に「カバー工法」とも呼ばれている。これらの改修を通して耐風補強も併せて図ることが重要であり、その結果として耐風性能水準②～③に対応した高い性能を確保することも期待できる。

以下に各改修工法の概要と耐風補強の考え方をまとめる。

1) 補強工法

既存の屋根ふき材(R₀)をそのまま残し、それに釘やねじの増し打ち、クリップによる補強、又は接着剤の塗布によって補強するものである。2)や 3)の全面的な改修を要さない場合や費用面でやむを得ず実施できない場合に、補強工法が改修の選択肢となりうる。改修前よりも下地への接合箇所が増えるので、一定程度の耐風性能の向上は期待できるが、既存の接合部(CN₀)と下地(S₀)を更新しないため、これらの保持力や残存耐力が小さい場合には性能向上が期待できない点に注意するべきである。

また、例えば金属板ぶきの板金等による補強など、屋根全体ではなく局部風圧が大きい部位（屋根の外周部や端部）のみ部分的に補強する場合もある。

改修工法	既存の屋根	改修後の屋根
1) 補強工法		
2) 重ねぶき工法 (カバー工法)	風荷重W 	 2a) 2b) 2c)
3) ふき替え工法		 3a) 3b) 3c)
(凡例) R_o : 既存の屋根ふき材、CN_o : 既存の接合部、S_o : 既存の下地又は躯体 R_n : 新設の屋根ふき材、CN_n : 新設の接合部、S_n : 新設の下地又は躯体 ※添え字の「o」はold、「n」はnewの意味。		

解図 4.2.1 屋根ふき材の改修工法

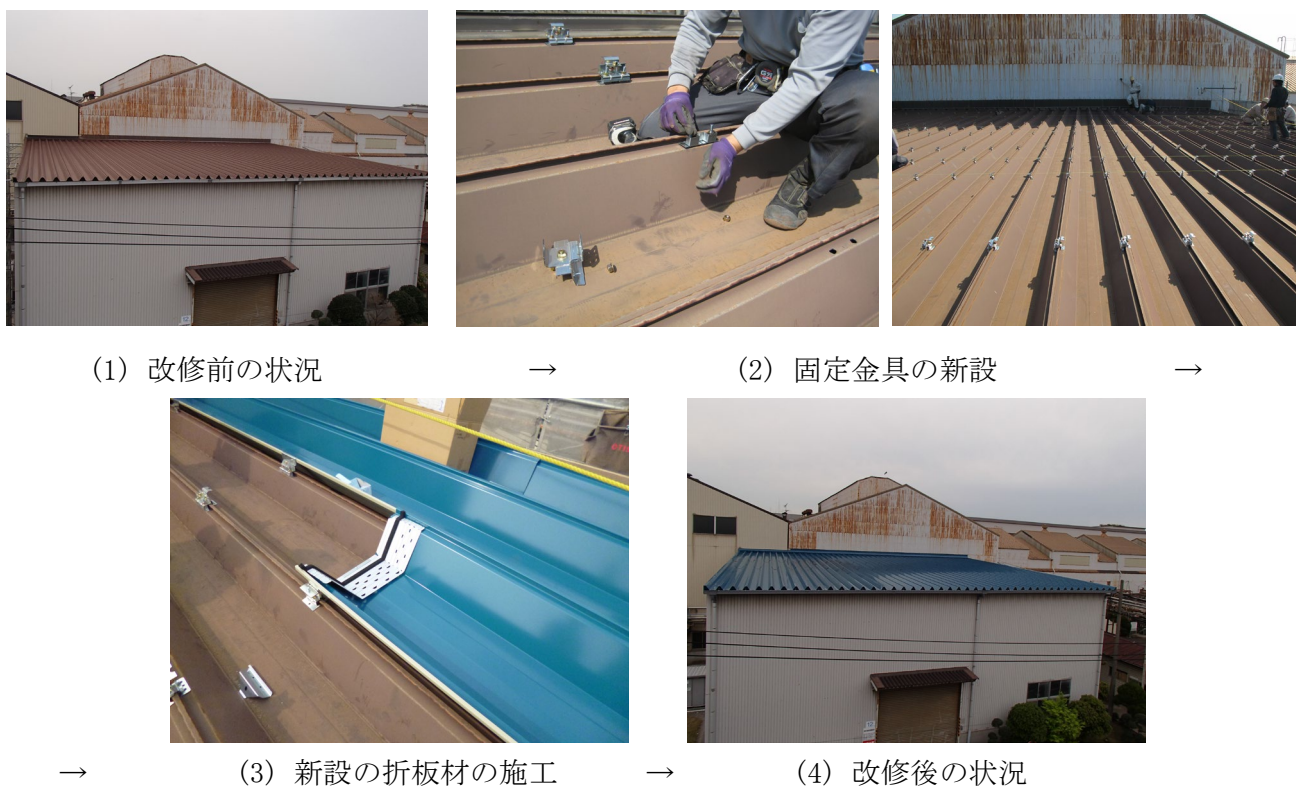
2) 重ねぶき工法 (カバー工法)

既存の屋根ふき材(R_o)を撤去せずに存置させたまま、その上から新設の屋根ふき材(R_n)を重ねる(かぶせる)工法である。したがって、解図 4.2.1 では新旧の屋根ふき材(R_n)と(R_o)が上下に併記されている。図中の 2a) のケースでは、新設の屋根ふき材が既存の屋根ふき材(R_o)に直接接合されるため、既存の屋根ふき材での保持力が小さい場合には新設の接合部(CN_n)が新たな弱点となって性能向上が期待できない。また、新設の接合部の耐力が大きい場合でも、既存の接合部(CN_o)の更新はされないため、屋根全体の耐風性能は改修前と変わらない可能性がある。なお、本書の対象外であるが、

金属屋根のはぜ締め部又は嵌合部に太陽光パネルの架台を取り付ける場合について、それを R_n とみなせば 2a) のケースと同様の取り扱いとなる。

2b) と 2c) のケースでは、新設の屋根ふき材が既存の下地 (S_o) に直接接合、又は新設の下地 (S_n) を介して接合されるため、既存の下地の健全性に依存する一方で、既存の屋根ふき材 (R_o) と接合部 (CN_o) は改修後の耐風性能に直接関係しないことになる。例えば新設の屋根ふき材の板厚を既存よりも大きくし、既存の下地が健全であれば、既存の屋根ふき材と接合部の状況に関わらず、この改修によって着実に性能向上を図ることができる。

解図 4.2.2 に折板ぶき屋根のカバー工法の事例を示す。通常の折板ぶき屋根には野地板がないため、既存の折板材を全て撤去した場合には野天の状態になり、工事期間中の通常業務等に支障が生ずる。このことから、通常の折板ぶき屋根の改修には既存の折板材を存置させたカバー工法が多く採用されている。



解図 4.2.2 折板ぶき屋根のカバー工法の施工手順

(画像提供(一社)日本金属屋根協会)

3) ふき替え工法

既存の屋根ふき材 (R_o) を全て撤去し、新設の屋根ふき材 (R_n) にふき替える工法である。したがって図中に (R_o) は存在しない。この場合の下地については、3a) の既存の下地 (S_o) のまま、3b) の既存の上に新設の下地 (S_n) を設置する、3c) の既存の下地を撤去して新設の下地を設置する場合の 3 通りが考えられる。既存の下地を撤去する 3c) の場合は、結果的に新築の屋根ふき工法と同じになり期待される耐風性能も明確である。既存の上に新設の下地を設置する 3b) の場合も、既存と新設の下地同士の接合部 (CN_{n2}) が適切 (CN_{n1} と同等以上の耐力であること) であれば、新築の屋根ふき工法と同程度の

性能が期待できる。また、既存の下地を更新しない3a)の場合には、屋根全体の耐風性能は上記2)と同様に既存の下地の健全性に依存する。

(2) 耐風補強上の配慮事項

(1)でみたように改修時に耐風補強を意図し、その工法や新設する材料の仕様を適切に選択することで、改修前よりも積極的に耐風性能を向上させることが可能となる。

一般に、屋根ふき材から接合部を介して下地までの風荷重が伝達される経路をロードパス (Load pass) と言う^{4.3)}。耐風補強を検討する際の配慮として、新設の屋根ふき材から下地までのロードパスを確認した上で、想定する風荷重のもとでロードパスが途切れない工法を選択することが重要である。解図4.2.1ではロードパスも概念的に示されている。例えば下地に関しては既存の下地も撤去する全面的なふき替え工法を除き、既存の下地がロードパスの1つになるため、耐風2次診断での現況調査で健全性を確認し、その結果を改修工法の計画や耐力検討に適切に反映する。

また、ロードパスを意図的に改修前から変えることで耐風性能の向上を図ることも期待できる。例えば2b)と2c)のカバー工法のケースでは、既存の屋根ふき材と接合部はロードパスから無視でき、実質的にはそれぞれ以下のように3a)と3b)のケースと同等のロードパスとみなせる。

- ・ 風荷重 $W-R_n-CN_n-S_o$ 。
- ・ 風荷重 $W-R_n-CN_{n1}-S_n-CN_{n2}-S_o$ 。

(3) 改修工事のコスト

耐風補強の効果とそのコストとの関係を示すことも補強の促進をする上で重要と思われる。粘土瓦ぶきのふき替え工法と補強工法、折板ぶきと金属板ぶきのふき替え工法と重ねぶき工法を対象に、改修工事費の試算を行った結果を付録3に示したので、参考にされたい。

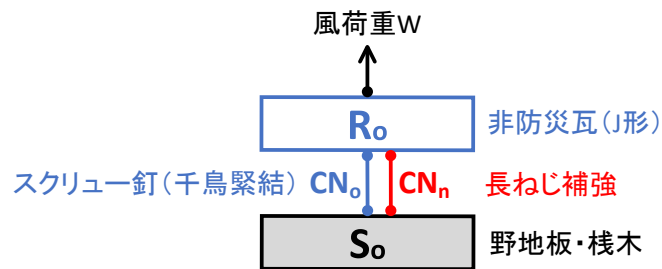
(4) 補強工法を想定した試験例

粘土瓦ぶきと住宅屋根用化粧スレートぶきの補強工法を想定した試験例を以下に示す。なお、いずれの試験体も下地の劣化や既存接合具の保持力の低下は考慮せずに製作した。

1) 粘土瓦ぶき

昭46建告第109号の改正によって瓦屋根の全数緊結が明確化されたが、改正前の瓦屋根の平部においては必ずしも全ての瓦が緊結されているわけではない。以下では、既存屋根として千鳥緊結による粘土瓦ぶき（非防災瓦）、補強工法屋根としてねじで補強したものを試験体とした引き上げ試験事例を示す。解図4.2.3にロードパスのイメージ、解表4.2.1に各試験体の構成、解図4.2.4に釘・ねじ留め位置を示す。補強工法屋根では、野地（構造用合板）まで達するよう長さ115mmの長ねじを採用し、瓦1枚おきに留め付けた。

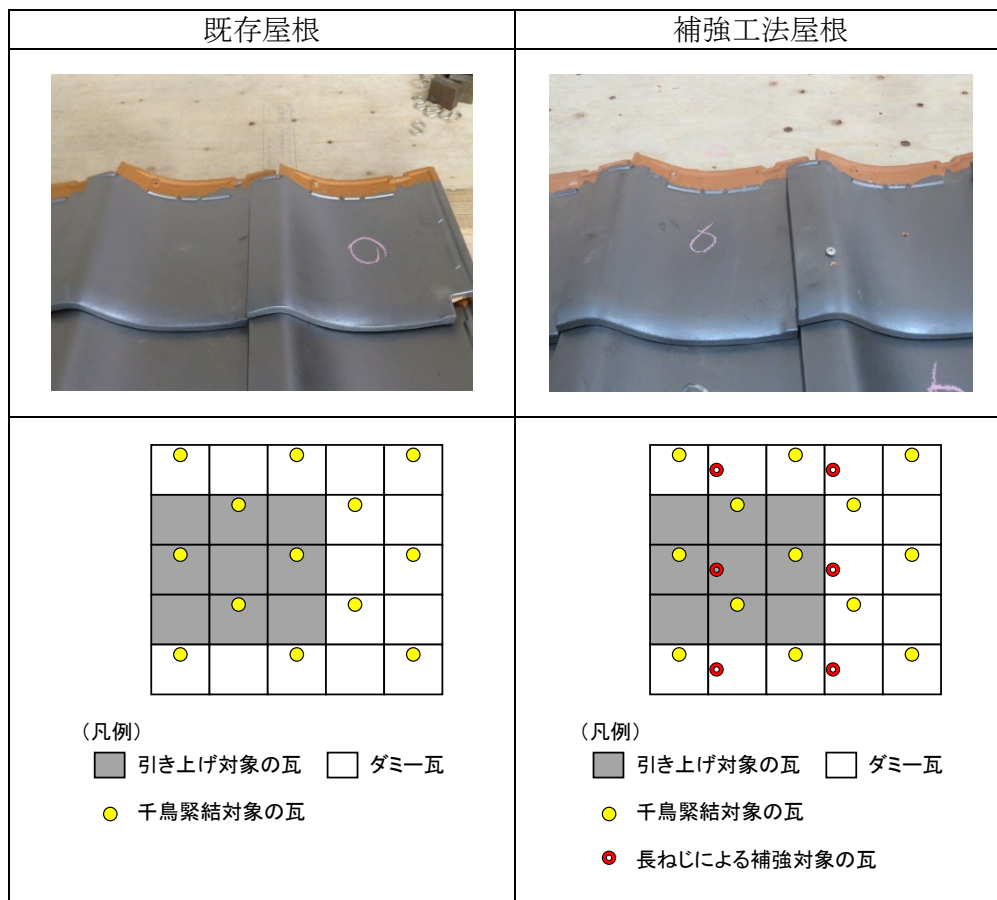
解表4.2.2に引き上げ試験結果を示す。補強工法屋根の最大引き上げ荷重は既存屋根の2倍以上となり、部分的な補強であっても一定程度の耐力の向上が確認できる。



解図 4. 2. 3 補強された粘土瓦ぶきのロードパス

解表 4. 2. 1 試験体の構成一覧

屋根の想定	瓦の種類	緊結方法と有効瓦枚数	釘等の名称と寸法
既存屋根	非防災瓦 (J形)	千鳥緊結 10.5枚	スクリーュー釘(径2.4mm・長さ65mm)
補強工法屋根		千鳥緊結+長ねじ補強 14.0枚	スクリーュー釘(径2.4mm・長さ65mm) 長ねじ(径4.3mm・長さ115mm)



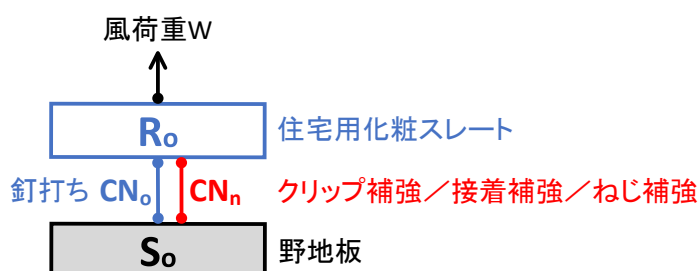
解図 4. 2. 4 試験体の釘・長ねじ留め位置

解表 4.2.2 引き上げ試験結果

屋根の想定	最大引き上げ荷重 ※試験体 3 体の平均値
既存屋根	1280.7N/m ²
補強工法屋根	2635.7N/m ²

2) 住宅屋根用化粧スレートぶき

以下では住宅屋根用化粧スレートぶきの補強工法を対象にした試験例を示す。既存のふき材をそのまま残し、それにクリップ、接着又はねじによる補強を想定した。解図 4.2.5 にロードパスのイメージ、解表 4.2.3 に引き上げ試験結果、解図 4.2.6 に試験体の破壊状況の例を示す。補強を行わない既存屋根仕様に対して、各種の補強を行った場合には約 1.6～3.5 倍の耐力増加となっている。



解図 4.2.5 補強された住宅屋根用化粧スレートぶきのロードパス

解表 4.2.3 引き上げ試験結果

屋根の想定		最大引き上げ荷重 ※試験体 6 体の平均値
既存屋根		601N
補強工法 屋根	クリップ補強	1004N
	接着補強	2119N
	ねじ補強	2012N



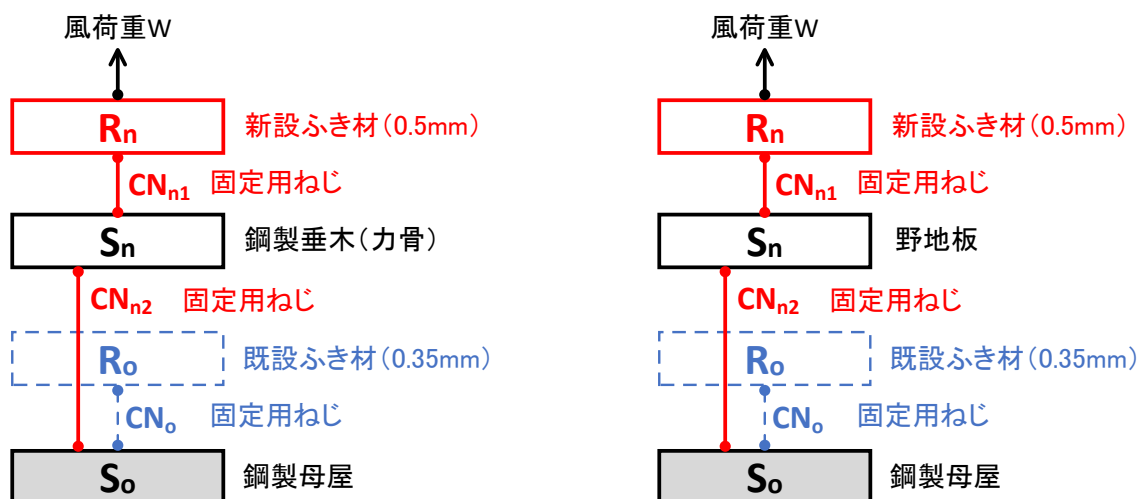
解図 4.2.6 試験体の破壊状況の例（左：接着補強、右：ねじ補強）

(5) 重ねぶき工法（カバー工法）を想定した試験例

金属板ぶきと折板ぶきの補強工法を想定した試験例を以下に示す。ここでも、下地の劣化や既存接合具の保持力の低下は考慮していない。

1) 金属板ぶき

以下では立平ぶきの金属屋根を例に、カバー工法による屋根試験体の耐風圧性試験による性能検討の例を示す。解図 4.2.7 にロードパスのイメージ、解図 4.2.8～4.2.9 に耐風圧性試験体の概要を示す。解図 4.2.7 において既設のふき材(R_o)とその固定ねじ(CN_o)は、風荷重の作用から鋼製下地までのロードパスには寄与しないので点線で示している。解図 4.2.8 は既存屋根を想定した試験体で、ふき材（厚さ 0.35mm、働き幅 300mm）を野地（構造用合板、厚さ 12mm）に直接ねじ留めした。一方、解図 4.2.9 はこの既存屋根をカバー工法で改修した想定の種類 2 の試験体である。いずれも新設のふき材は厚さ 0.5mm、働き幅 220mm であり、既存のふき材より板厚が大きい。また、働き幅をより小さくすることで接合部 1 か所当たりの風圧作用面積が小さくなる。同図(a)では既存のふき材の上に鋼製垂木（力骨）を設け、それに新設のふき材をねじ留めした。一方、同図(b)では既存のふき材の上に野地（構造用合板）を設け、それに新設のふき材をねじ留めした。新設の鋼製垂木と野地はいずれも鋼製母屋に直接ねじ留めされており、解図 4.2.1 の 2)c) に示す S_n に相当する。



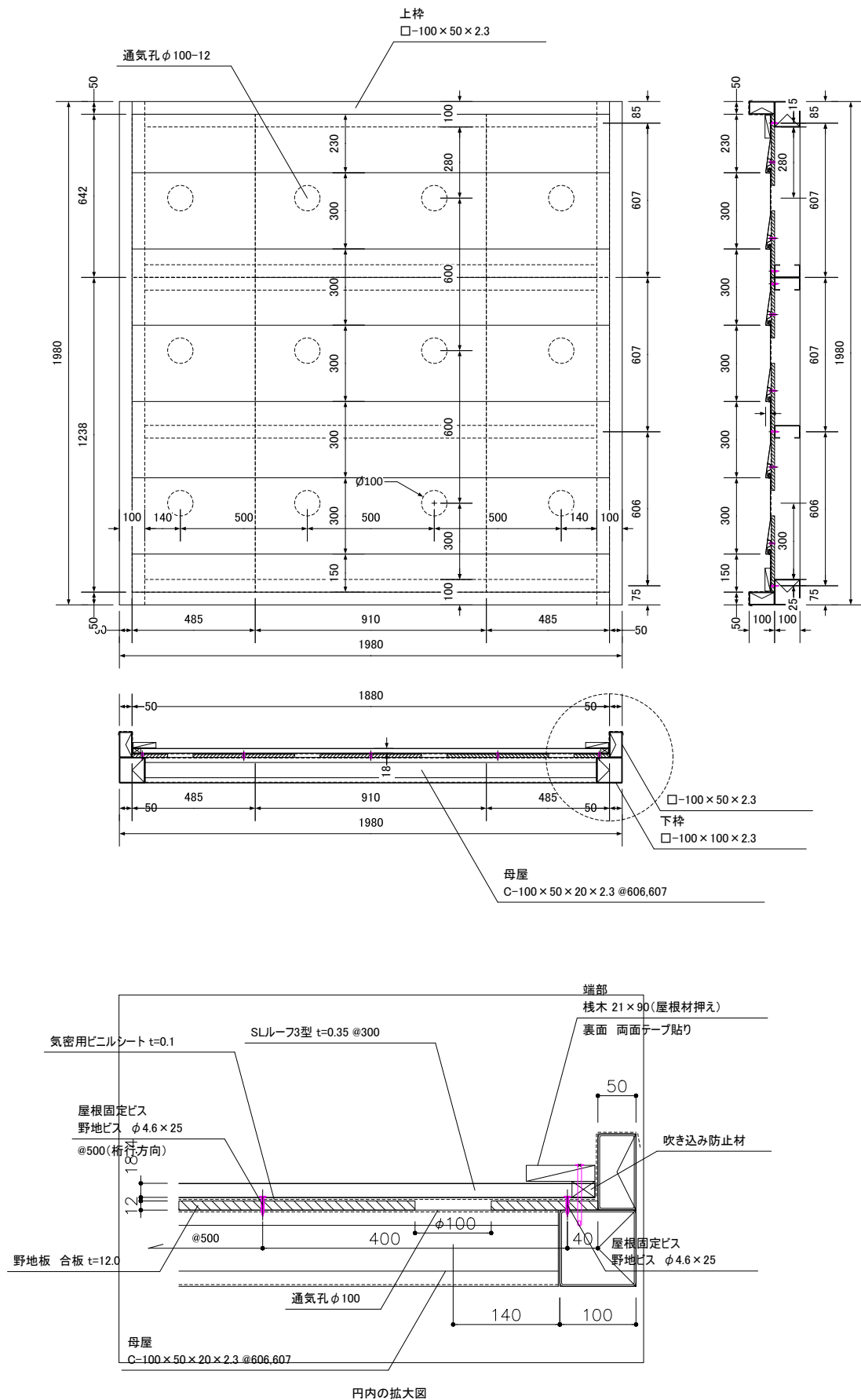
(a) 鋼製垂木（力骨）を追加

(b) 野地（構造用合板）を追加

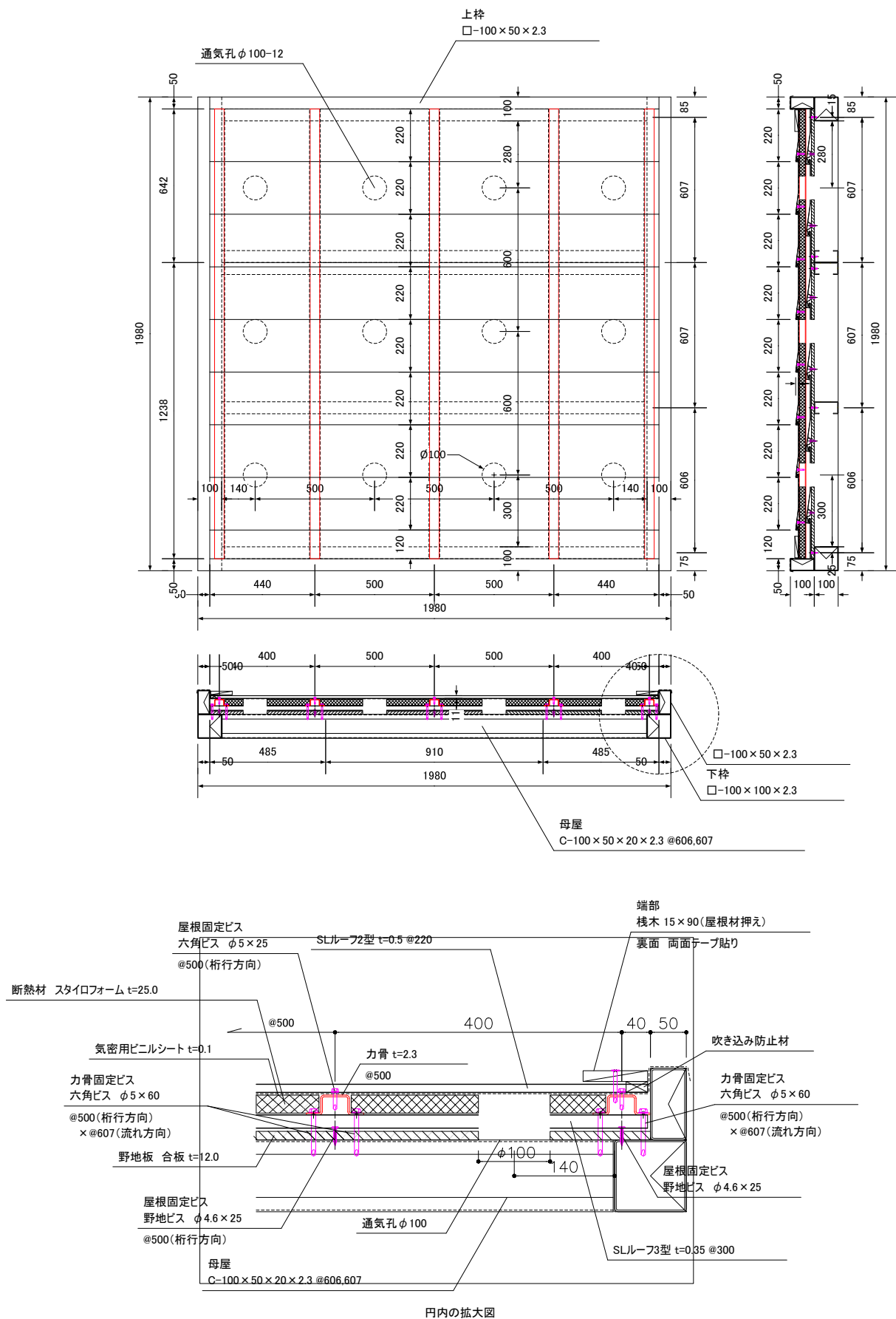
解図 4.2.7 カバー工法による金属板ぶきのロードパス

(※ロードパスに寄与しない部位は点線で表示)

解表 4.2.4 に耐風圧性試験の結果を示す。既存屋根の破壊時圧力（ -7000Pa ）に対して、鋼製垂木を下地に用いた改修工法屋根ではそれを超える圧力レベルでも破壊しない。既存屋根では構造用合板へのねじ留めであったが、この改修工法屋根では鋼製垂木を設けたことで荷重が新設のふき材から鋼製垂木を経由して鋼製母屋まで円滑に伝達されるロードパスに変わり、耐力の向上が図られている。一方、構造用合板を下地として新設した改修工法屋根では破壊時圧力が -6000Pa であり、既存屋根と比較して明確な耐力の向上は確認されなかった。ただし、この試験では既存屋根の野地における（劣化に伴う）保持力低下は想定していない。既存屋根の野地に一定程度劣化が生じている場合には、既存屋根よりも性能向上が期待できると考えられる。



解図 4.2.8 金属板ぶきの耐風圧性試験体の例（既存屋根仕様）（単位 mm）



(a) 鋼製垂木 (力骨) を追加

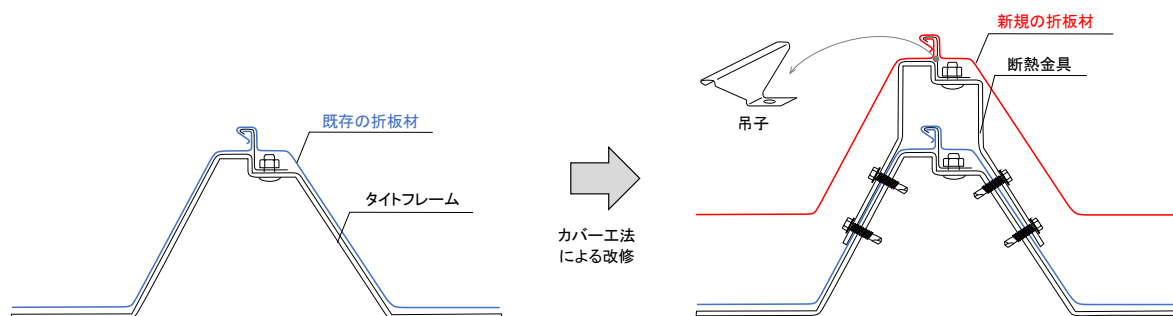
解図 4.2.9 金属板ぶきの耐風圧性試験体の例 (カバー工法屋根仕様) (単位 mm)

解表 4.2.4 耐風圧性試験結果

試験体名称	試験体図	破壊時圧力	破壊状況
既存屋根仕様	解図 4.2.8	-7,000Pa	屋外側ふき材の固定ねじの 抜けを伴う嵌合部の外れ
改修工法屋根仕様 (鋼製垂木を追加)	解図 4.2.9(a)	装置の圧力上限 (- 9,750Pa) で破壊なし	—
改修工法屋根仕様 (野地を追加)	解図 4.2.9(b)	-6,000Pa	屋外側ふき材の固定ねじの 抜けを伴う嵌合部の外れ

2) 折板ぶき

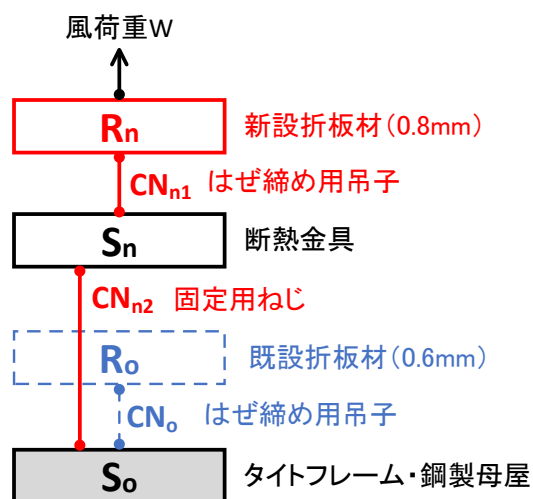
次に、カバー工法による折板ぶきを想定した耐力試験例を示す。折板屋根のカバー工法には解図 4.2.10 のような方法が用いられる。ここで、新規の折板材を支持する断熱金具は既存の折板材を貫通し、既存のタイトフレームに直接ねじ留めされている。



解図 4.2.10 折板ぶきのカバー工法のイメージ

解図 4.2.11 にロードパスのイメージ、解表 4.2.5 と解図 4.2.12 に接合部試験体の構成部材、解図 4.2.13 に試験体の外観を示す。解図 4.2.11 において既設折板材 (R_0) とそれをタイトフレームに取り付けるはぜ締め用吊子 (CN_0) は、ロードパスに寄与しないので点線で示している。既存屋根の折板材が板厚 0.6mm であるのに対して、改修工法屋根の折板材は板厚 0.8mm に増加させている。また、折板材を掴み込むための吊子は長さの違いに着目した。つまり、既存の吊子と改修工法屋根 R_1 の新設の吊子の長さは 150mm であるのに対し、改修工法屋根 R_2 の新設の吊子の長さは 200mm とした。

解表 4.2.6 に各試験体の最大荷重の結果を示す。いずれの改修工法屋根も、既存屋根よりも折板材の板厚を大きくしたこと、さらに、新設の吊子の長さがより長い R_2 のほうが R_1 よりも最大荷重が大きくなっている。なお、载荷途中で断熱金具のねじ留め部分や体とフレームに損傷や変形は生じていない。以上の結果から、解図 4.2.10 のようなカバー工法を採用することにより、既存屋根よりも改修後の耐力の向上を図ることが期待できる。

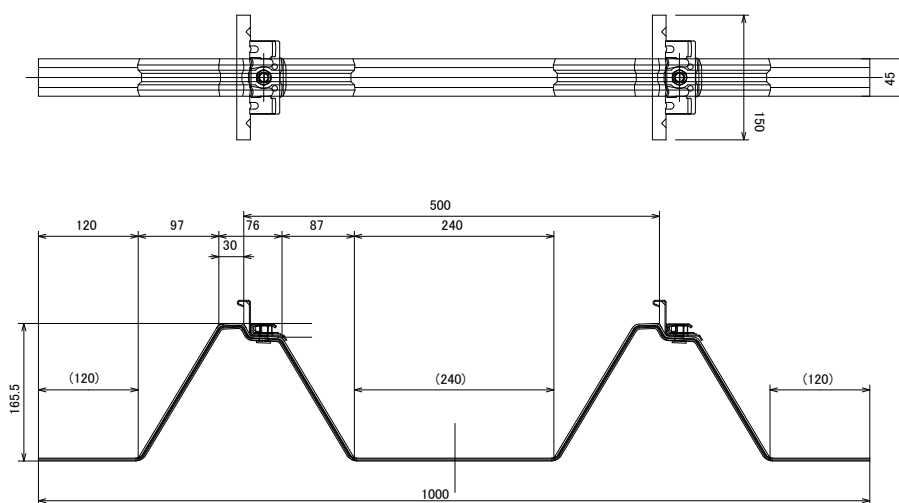


解図 4. 2. 11 カバー工法による折板ぶきのロードパス

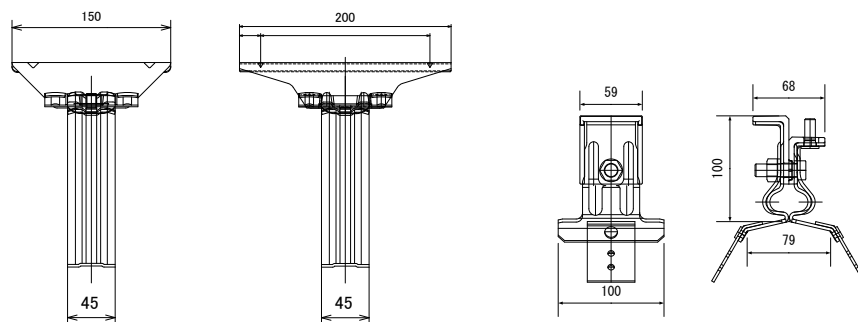
(※ロードパスに寄与しない部位は点線で表示)

解表 4. 2. 5 接合部試験体の構成部材一覧 (単位 mm)

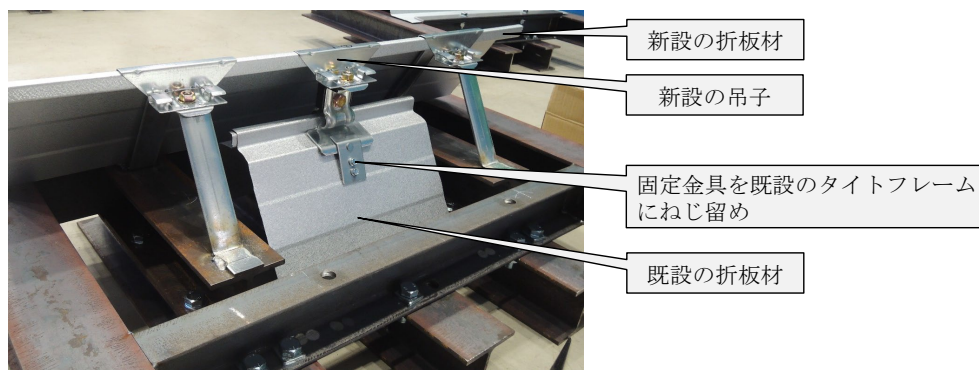
屋根の 想定	試験体 名称	既存の折板ぶき		新設の折板ぶき	
		折板材	吊子	折板材	吊子
既存 屋根	E0	働き幅 500 山高 162 板厚 0.6	長さ 150 板厚 1.2	—	—
改修 工法 屋根	R1	同上	同上	働き幅 500 山高 162 板厚 0.8	長さ 150 板厚 1.2
	R2	同上	同上	働き幅 500 山高 162 板厚 0.8	長さ 200 板厚 1.2



解図 4. 2. 12 吊子と断熱金具の形状



解図 4. 2. 12 吊子と断熱金具の形状（続き）



解図 4. 2. 13 接合部試験体の外観

解表 4. 2. 6 接合部試験体の耐力試験結果

屋根の想定	試験体 名称	最大荷重 ※試験体 6 体の平均値
既存屋根	E0	3. 9kN
改修工法 屋根	R1	6. 6kN
	R2	7. 1kN

参考文献

4. 1) 建築保全センター（国土交通省大臣官房官庁営繕部監修）：建築改修工事監理指針（上巻）令和 4 年版，2022. 12.
4. 2) 日本建築学会：建築物の改修の考え方・同解説，丸善，2002. 2.
4. 3) 日本建築学会：建築物荷重指針を活かす設計資料 2－建築物の風応答・風荷重評価／CFD 適用ガイドー，丸善，pp. 13-14，2017. 2.

第5章 改修工法の耐風補強評価（一般評価法）

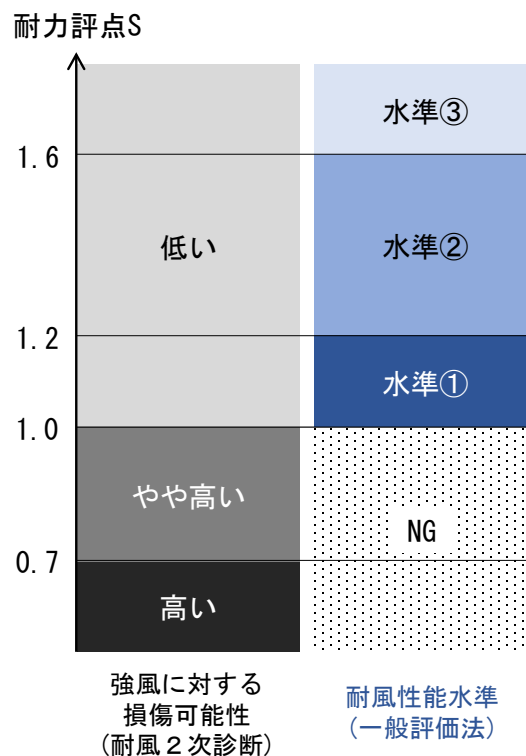
5.1 一般評価法の概要

耐風補強評価の方法のうち一般評価法は、改修工法の許容耐力と風荷重から算定される耐力評点に基づき、改修時の耐風補強による性能向上の程度を評価するものである。この評価方法によって、当該改修工法による耐風補強効果が 4.1 節(2)項で選択した耐風性能水準（①～③）を満たすか否かを確認することができる。

【解説】

(1) 一般評価法の概要

耐風補強評価のうち一般評価法は、屋根ふき材の改修工法の許容耐力と風荷重から耐力評点を算定し、1.3 節に示す耐風性能水準との対応関係に基づいて、改修工法による耐風補強効果を評価するものである。ここで算定する耐力評点は耐風 2 次診断でも用いていることから、解図 5.1.1 に示すように診断結果との連続性を図りやすい。診断と共通の指標を用いることで、例えば「耐力評点が 0.7 と診断された屋根が、耐風補強を伴う改修によって 1.4（水準②）まで向上する」といった説明をすることができる。



解図 5.1.1 耐力評点 S を指標とした耐風 2 次診断と一般評価法の関係

この方法では耐力と風荷重のばらつき（変動係数）のデータは要しないが、これに対してばらつきを考慮した方法を詳細評価法として第 6 章に示している。評価を行う際には、本章の一般評価法

(確定的な方法) と次章の詳細評価法 (確率統計的な方法) のいずれかを選択することができる。

5.2 評価方法

5.2.1 風荷重の算定

評価に用いる風荷重 W (N/m²) は、1.4 節にしたがって算定した数値とする。

【解説】

評価に用いる風荷重は、設計・施工図書から屋根勾配等を確認し、1.4 節にしたがって計算する。なお、耐風 2 次診断での風荷重算定の際 (3.3.1 項)、海岸線からの距離が概ね 200m 以下であることから地表面粗度区分をⅡとした場合には、この風荷重の粗度区分でも同じ取り扱いとする。

5.2.2 許容耐力の算定

- (1) 評価に用いる許容耐力 R_a は、(5.2.1)式によって算定した数値とする。ここで、 R_0 ：許容耐力の基本値、 α_d ：下地等の実況を反映した調整係数 (≤ 1.0) である。

$$R_a = R_0 \cdot \alpha_d \quad (5.2.1)$$

- (2) 許容耐力の基本値は、当該改修工法の技術資料に基づき設定する。
- (3) 下地等の実況を反映した調整係数は、耐風 2 次診断の結果に基づき設定する。ただし、既存の経年部位が改修工法のロードパスに含まれない場合には、1.0 とすることができる。

【解説】

(1) 許容耐力の基本値の設定

改修工法の許容耐力は、許容耐力の基本値 R_0 に下地等の実況 (劣化等) を反映した耐力低減係数 α_d を乗じて算定する。許容耐力の基本値は当該改修工法の技術資料を参照して設定する。ここで技術資料としては、製品供給業者が発行する製品カタログや施工要領書、業界団体が定める構法標準や設計・施工ガイドライン等を想定している。これらの技術資料に示す数値は、一般的には新築時を想定した許容耐力である点に留意する。また、技術資料で耐力試験の実施を原則としている場合には、必要に応じて試験から許容耐力の基本値を得る。

(2) 下地等の実況を反映した調整係数の設定

改修工法において風荷重が伝達される経路 (ロードパス、4.2 節参照) に既存の下地や接合部が存在し、それらに部分的な劣化が認められる場合や経年材であることから保持力の低減をあらかじめ見込む場合には、許容耐力の基本値に調整係数を乗ずることとした。数値の設定の際には、原則として耐風 2 次診断の結果を参照する。例えば下地であれば、表 3.3.1 に示した 0.9~0.8 (下地等に部分的な劣化が認められる場合) の耐力低減係数を α_d に採用することが考えられる。また、保持力 (引き抜き強度) 試験の結果を参照できる場合には、新築時の保持力に対する試験結果の比率を勘

案して α_d を設定する。

一方、既存の下地等であっても新築時と同程度の保持力が確保できる場合には、 $\alpha_d=1.0$ として許容耐力を算定すればよい。

5.2.3 耐力評点に基づく耐風補強効果の評価

- (1) 耐風性能水準に対応づける指標として、改修工法の耐力評点 S は(5.2.2)式によって算定した数値とする。ここで、 W ：風荷重 (N/m^2)、 R_a ：許容耐力 (N/m^2) である。

$$S = \frac{R_a}{W} \quad (5.2.2)$$

- (2) 耐力評点 S が(5.2.3)式を満足する場合、当該改修工法によって耐風補強された屋根ふき材が耐風性能水準 i の性能を有するものとみなす。ここで、 $S_{min,(i)}$ ：各水準 i (=①, ②, ③)に対応して表5.2.1に示す耐力評点の最低値である。

$$S \geq S_{min,(i)} \quad (5.2.3)$$

表 5.2.1 耐風性能水準と耐力評点の最低値との対応

耐風性能水準 i	耐力評点の最低値 $S_{min,(i)}$
$i = \text{①}$	1.0
$i = \text{②}$	1.2
$i = \text{③}$	1.6

【解説】

(1) 耐力評点の算定

耐風性能水準に対応する指標として、(5.2.2)式で耐力評点 S を定義した。(5.2.2)式右辺の分母 W を基準風速から決まる風荷重（再現期間約 50 年）に対する必要耐力とみなせば、耐力評点 S は損傷を生じない程度までの耐力余裕度の大きさを表すものと理解できる。(5.2.3)式から、耐力評点 S が各耐風性能水準 i に対応する耐力評点の最低値を下回らないことを確認することで、改修による耐風補強効果が水準 i を満たすことを把握できる。

(2) 耐力評点の最低値の設定根拠

(5.2.3)式を変形した $R \geq S_{min,(i)} W$ の右辺について、水準①の $1.0W$ は再現期間が約 50 年、水準②の $1.2W$ は約 200 年、水準③の $1.6W$ は約 500 年の風荷重にそれぞれ対応する。水準①～②の S_{min} は、解表5.2.1に示す住宅性能表示基準での既存住宅の耐風等級（構造躯体の損傷防止）1～2の荷重係数と同じである。つまり水準①～②では、法令に定める風圧力（再現期間約 50 年）に対して構造躯体の等級1～2で想定する構造安全性（損傷を生じない程度）と同程度の性能を屋根ふき材にも求めている。また、水準③の S_{min} は、限界耐力計算での稀な風圧力に対する極めて稀な風圧力の比率と同じ

である。住宅性能表示基準では、既存住宅の構造躯体に対して水準③に対応する耐風等級は規定されていないが、1.3 節で解説したとおりこの水準は暴風時に特に機能継続が期待される災害拠点建築物等への適用を想定し、再現期間が約500年の風荷重に対して屋根に損傷が生じない程度の耐風性能を想定したものとなる。災害拠点建築物等以外の一般用途の建築物であっても、水準③を目標とする改修と耐風補強を行うことでより高い耐風性能の確保が期待できる。

解表 5.2.1 既存住宅にかかる表示すべき耐風等級

説明する事項	説明に用いる文字
耐風等級 (構造躯体の倒壊等 防止及び損傷防止)	暴風に対する構造躯体の倒壊、崩壊等のしにくさ及び構造躯体の損傷 (大規模な修復工事を要する程度の著しい損傷)の生じにくさ
等級 2	構造耐力に大きく影響すると見込まれる劣化事象等が認められず、かつ、極めて稀に(500年に一度程度)発生する暴風による力(建築基準法施行令第87条に定めるものの1.6倍)の1.2倍の力に対して倒壊、崩壊等せず、 <u>稀に(50年に一度程度)発生する暴風による力(同条に定めるもの)の1.2倍の力に対して損傷を生じない程度</u>
等級 1	構造耐力に大きく影響すると見込まれる劣化事象等が認められず、かつ、極めて稀に(500年に一度程度)発生する暴風による力(建築基準法施行令第87条に定めるものの1.6倍)に対して倒壊、崩壊等せず、 <u>稀に(50年に一度程度)発生する暴風による力(同条に定めるもの)に対して損傷を生じない程度</u>
等級 0	その他

注) 等級0は、現況仕様にに基づく耐風計算上の構造耐力が等級1に満たない、構造耐力に大きく影響すると見込まれる劣化事象等が認められる場合

(3) 耐力評点に基づく耐風補強効果の評価例

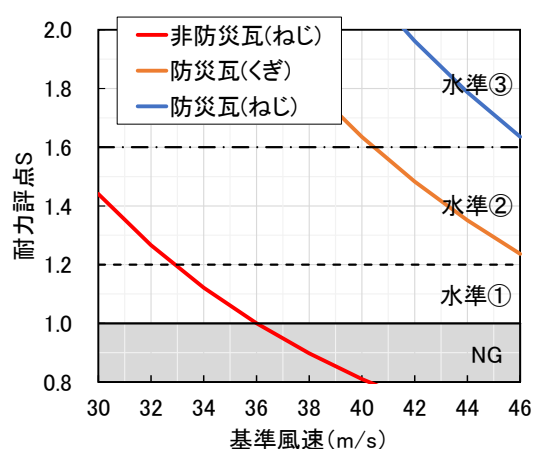
J形粘土瓦の屋根について、耐力評点を用いた性能評価の例を以下に示す。評価対象の仕様は非防災瓦(径3.8mm・長さ51mmのスクリューねじ)、防災瓦(径2.4mm・長さ65mmのスクリューくぎ)、防災瓦(径3.8mm・長さ51mmのスクリューねじ)で、いずれも全数緊結である。

各仕様の許容耐力の基本値 R_0 は「2021年改訂版 瓦屋根標準設計・施工ガイドライン」^{5.1)}の標準仕様(表4.3.1)と強風の実況に配慮した平部の仕様(表4.3.3)を参照して、解表5.2.2に示す数値とした。また、下地等の実況を反映した調整係数 α_d は、1.0と0.8の2通りとした。評価に用いる風荷重 W は地表面粗度区分ⅢとⅡについて、屋根平均高さを7m、ピーク風力係数の絶対値を2.5として算定した。

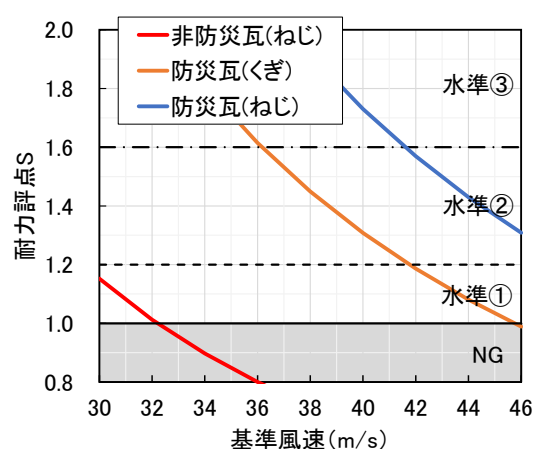
解表 5.2.2 各仕様の許容耐力の基本値 R_0

仕様	くぎ・ねじの寸法	許容耐力の基本値 R_0
非防災瓦(ねじ)	径 3.8mm・長さ 51mm のスクリーねじ	1063 N/m ²
防災瓦(くぎ)	径 2.4mm・長さ 65mm のスクリーくぎ	2145 N/m ²
防災瓦(ねじ)	径 3.8mm・長さ 51mm のスクリーねじ	2837 N/m ²

解図 5.2.1～5.2.2 に評価結果を示す。耐風性能水準①～③に対応する $S_{min,i}$ を黒の実線、点線、一点鎖線でそれぞれ併記した。

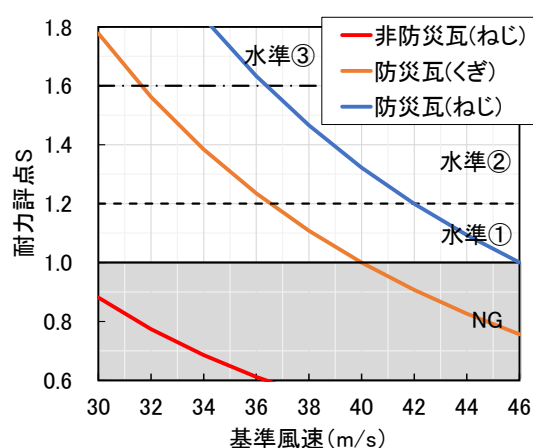


(a) 調整係数 $\alpha_d=1.0$

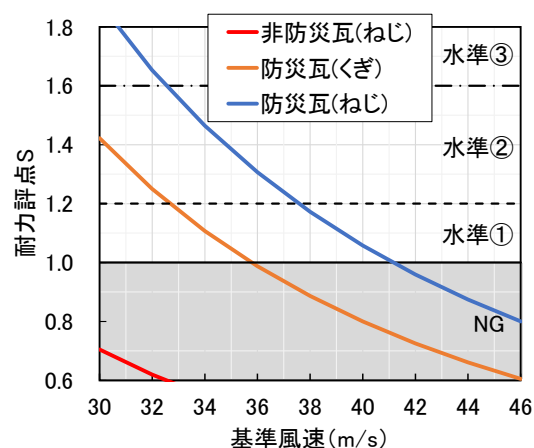


(b) 調整係数 $\alpha_d=0.8$

解図 5.2.1 耐力評点 S を指標とした評価結果 (地表面粗度区分Ⅲ)



(a) 調整係数 $\alpha_d=1.0$



(b) 調整係数 $\alpha_d=0.8$

解図 5.2.2 耐力評点 S を指標とした評価結果 (地表面粗度区分Ⅱ)

例えば基準風速が 38m/s の区域について調整係数 $\alpha_d=1.0$ の場合、粗度区分Ⅲでは防災瓦(スクリ

ユーくぎ)と防災瓦(スクリーねじ)がともに水準③であるのに対し、粗度区分Ⅱでは前者が水準①、後者が水準②の耐風性能となる。以上より、耐風補強後の耐風性能を表す指標として耐力評点を用いることで、異なる耐風性能水準に対応した仕様の提示(耐風性能の差別化)が可能となる。

参考文献

5.1) (一社)全日本瓦工事業連盟他：2021 年版 瓦屋根標準設計・施工ガイドライン，2021.

第6章 改修工法の耐風補強評価（詳細評価法）

6.1 詳細評価法の概要

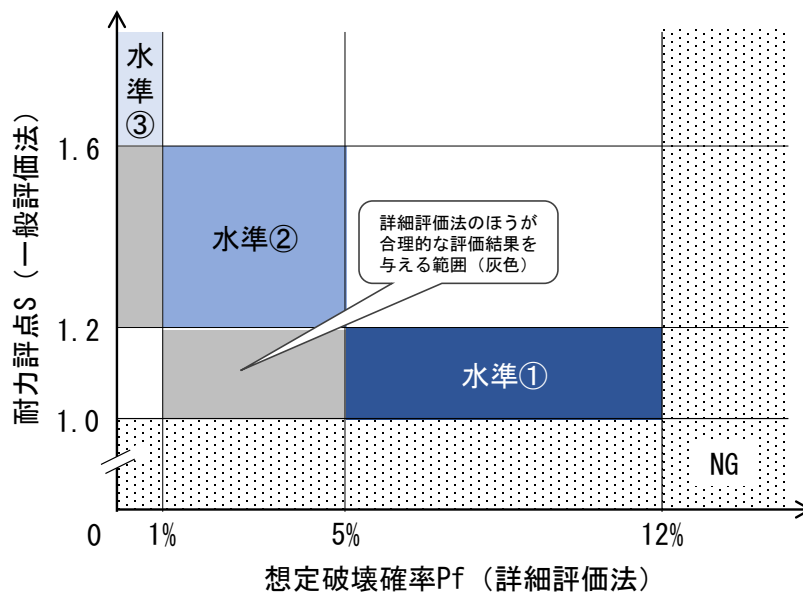
耐風補強評価の方法のうち詳細評価法は、改修工法の最大耐力と風荷重に関する統計値から算定される想定破壊確率に基づき、改修時の耐風補強による性能向上の程度を評価するものである。この評価方法によって、当該改修工法による耐風補強効果が 4.1 節(2)項で選択した耐風性能水準（①～③）を満たすか否かを確認することができる。

【解説】

(1) 詳細評価法の概要

耐風補強評価のうち詳細評価法は、屋根ふき材の改修工法の最大耐力と評価に用いる風荷重から想定破壊確率を算定し、耐風性能水準との対応関係に基づいて、改修工法による耐風補強効果を評価するものである。改修工法の実況を反映した統計値（平均値・変動係数）を直接活用できる場合にこの方法を採用し、想定破壊確率を算定する際に耐力と風荷重のばらつき（変動係数）を考慮する。その意味で、この評価方法は前章の確定的な方法に対して確率統計的な方法と言える。

解図 6.1.1 に、耐風性能水準における想定破壊確率と耐力評点の対応関係を示す。想定破壊確率が小さくなるほど、耐力評点は逆に大きくなる（つまり、耐力の余裕度が増す）ことを示しており、同一の工法・仕様であればどちらの指標を用いても概ね同等の性能水準になるよう、6.2.3 項で想定破壊確率の許容値 1、5、12%を設定している。また、詳細評価法では耐力と風荷重の実状をより反映できる余地があることから、一般評価法よりも合理的な評価結果（解図 6.1.1 の灰色の範囲）を提示することも期待できる。



解図 6.1.1 耐風性能水準における想定破壊確率と耐力評点の対応関係

例えば以下のような場合に詳細評価法を用いることで、その特徴を活かすことが期待できる。

- ・ 改修工法の部材構成について、既往の技術資料に定める許容耐力を適用できず、耐力試験による耐力の検討を要する場合
- ・ 比較的重要度の高い建築物について、耐風性能を詳細に把握する必要がある場合
- ・ 耐風性能の評価に陽な形で、施工者の技能や施工管理の適切さを反映する場合
- ・ 改修後の耐風性能を説明する際の定量的な指標として、耐力の余裕度ではなく、被害の発生可能性（被災リスク）を用いる場合（例えば「想定破壊確率が改修工法 A では 10%（水準①）であるのに対して、改修工法 B では 1%未満（水準③）まで小さくなることが期待できる」といった説明が考えられる）

6.2 評価方法

6.2.1 風荷重の統計値の算定

評価に用いる風荷重の平均値 μ_W (N/m²)は 1.4 節にしたがって算定した数値、変動係数 v_W は原則として 0.35 とする。ただし、変動係数を適切な風洞実験又は数値流体計算から得られる場合には、当該数値とすることができる。

【解説】

6.2.3 項に示す評価では、風荷重の統計値として平均値と変動係数が必要である。風荷重の統計値としては、乱流境界層風洞での風圧実験結果を参照することが望ましいが、一般には入手が困難なため、平均値としては 1.4 節にしたがって算定する風荷重でよい。つまり、当該地点の風況を考慮し、平 12 建告第 1458 号に基づき算定する。なお、耐風 2 次診断での風荷重算定の際（3.3.1 項）、海岸線からの距離が概ね 200m 以下であることから地表面粗度区分をⅡとした場合には、この風荷重の粗度区分でも同じ取り扱いとする。

変動係数についても評価に用いる技術的知見が十分ではないため、現状では「建築物荷重指針・同解説 2015」^{6.1)}に掲載されている数値（0.35）によることを原則とした。近年では風洞実験や数値流体計算の結果を踏まえ、風荷重のばらつきに関する検証等が行われている。そのような技術的知見が蓄積されれば、上記の数値にかかわらず、その他の適切な数値を採用することも期待できる。

6.2.2 最大耐力の統計値の算定

- (1) 評価に用いる最大耐力の平均値 μ_R (N/m²)は(6.2.1)式、変動係数 v_R は(6.2.2)式によって算定した数値とする。ここで、 μ_{R0} と v_{R0} ：基本最大耐力の平均値(N/m²)と変動係数、 α_d と v_d ：下地等の実況を反映した調整係数の平均値と変動係数、 α_c と v_c ：施工の実況を反映した調整係数の平均値と変動係数である。

$$\mu_R = \mu_{R0} \cdot \alpha_d \cdot \alpha_c \quad (6.2.1)$$

$$v_R = \sqrt{v_{R0}^2 + v_d^2 + v_c^2} \quad (6.2.2)$$

- (2) 基本最大耐力の平均値と変動係数は、改修工法の実状を適切に反映した耐力試験の結果に基づき設定する。
- (3) 下地等の実況を反映した調整係数の平均値と変動係数は、表 6.2.1 又は特別な調査・研究の結果に基づき設定する。ただし、既存の経年部位が改修工法のロードパスに含まれない場合には、「経年部位なし」の各数値とすることができる。

表 6.2.1 下地等の実況を反映した調整係数の平均値 α_d と変動係数 v_d

	経年部位なし	経年部位あり
α_d	1.0	0.9以下
v_d	0	0.3

- (4) 施工の実況を反映した調整係数の平均値と変動係数は、表 6.2.2 又は特別な調査・研究の結果に基づき設定する。

表 6.2.2 施工の実況を反映した調整係数 α_c と変動係数 v_c

	有資格者による 施工の場合	左記以外の場合
α_c	0.95	
v_c	0.1	0.2

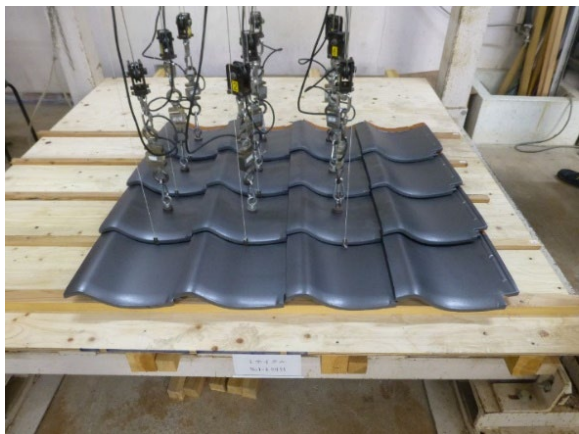
【解説】

(1) 最大耐力の統計値算定の概要

6.2.3 項に示す評価では、屋根ふき材の最大耐力の統計値（平均値・変動係数）が必要である。最大耐力は適切な耐力試験から得られるが、既存屋根の場合には下地等の実況（経年の程度）も必要に応じて考慮する必要がある。さらに、施工精度の程度もばらつき（変動係数）の大小の要因になり得る。したがって、ここでは耐力の実状をできるだけ評価に反映できるように、試験値に下地等の実状と施工の程度を考慮することにより、最大耐力の統計値を設定した。

(2) 基本となる最大耐力の統計値の設定

基本となる最大耐力の統計値は、各工法の実状を適切に反映した耐力試験結果に基づくこととする。耐力試験の方法としては、瓦ぶきが「2021 年改訂版 瓦屋根標準設計・施工ガイドライン（全日本瓦工事業連盟ほか）」^{6.2)}、折板ぶきが「鋼板製屋根構法標準 SSR2007（日本金属屋根協会ほか）」^{6.3)}、金属板ぶきが「鋼板製屋根・外壁の設計・施工・保全の手引き MSRW2014（日本金属屋根協会ほか）」^{6.4)}、住宅屋根用化粧スレートぶきが「住宅屋根用化粧スレート葺き屋根耐風性能 設計施工ガイドライン（住宅外装テクニカルセンター）」^{6.5)}にそれぞれ定められている。これらの方法に基づき複数体の試験結果から、試験時における最大耐力の平均値と変動係数を把握する。解図 6.2.1 に国総研が実施した各屋根ふき材の耐力試験例を示す。また、各屋根ふき工法の耐力試験データを付録 4 にまとめて掲載した。



(a) 粘土瓦ぶき



(b) 金属板ぶき



(c) 折板ぶきの接合部



(d) 住宅屋根用化粧スレートぶき

解図 6.2.1 各屋根ふき材の耐力試験の実施例

(3) 下地等の実況を反映した調整係数の平均値と変動係数の設定

改修工法において風荷重が伝達される経路（ロードパス、4.2 節参照）に既存の下地や接合部が存在し、それらに部分的な劣化が認められたり経年材であることから一定程度の保持力の低減をあらかじめ見込む場合には、基本最大耐力の平均値に調整係数の平均値 α_d を乗ずる必要がある。この考え方は一般評価法での許容耐力の算定(5.2.2 項)と同じであり、表 6.2.1 の「経年部位あり」の数値は表 3.3.1 に示した係数 0.9~0.8（下地に部分的な劣化が認められる場合）と整合させた。一方、調整係数の変動係数については技術的な知見が十分でないため、風荷重の変動係数より小さく、表 6.2.2 に示す施工の実況を反映した調整係数の変動係数より大きな 0.3 とした。ただし、この表中の数値にかかわらず、特別な調査・研究の結果を参照できる場合には、当該数値を v_d としてよい。

なお、下地や接合部に新築時と同程度の保持力が確保できる場合には、「経年部位なし」の平均値と変動係数を採用することができる。

(4) 施工の実況を反映した調整係数の平均値と変動係数の設定

一般に、施工精度の程度や施工管理体制の違いも改修後の屋根工法の性能に影響しうると考えられるため、詳細評価法では施工の実況を耐力に反映できることとした。この施工の実況は一般評価

法に陽な形で考慮していないものである。調整係数の平均値については、木造耐力壁の短期許容せん断耐力を求める際の低減係数の設定状況^{6,6)}を参考にした。指定性能評価機関の水平加力の業務方法書では、基準となる短期せん断耐力に耐力低減の要因を評価する係数 α を乗ずることとされており、その要因の1つとして耐力壁の施工性の影響（施工現場での施工管理と試験体の製作管理との違いが耐力に及ぼす影響）を評価する係数も挙げられている。この文献に示されている近年の評価実績では、 α として0.9以上1.0未満の実績が最も多いことから、ここでは調整係数の平均値 α_c として0.95を設定した。

一方、施工者が一定水準以上の技能を有している場合には、それ以外の場合よりも施工のばらつきが小さくなることが想定される。そこで、調整係数の変動係数は有資格者による施工の場合とそれ以外の場合で区別した。施工性に係る変動係数の知見が十分ではないことから、前者の場合に0.1、後者の場合に0.2と相対的な差を設けている。

以上より、風荷重と最大耐力の設定に必要な各変動係数の大小関係は以下のとおりである。

$$v_d(\text{経年部位なし}) < v_c(\text{有資格者による施工}) < v_c(\text{有資格者以外による施工})$$

$$< v_d(\text{経年部位あり}) < v_w$$

屋根ふき材の耐力の変動係数に関する既往の知見は十分ではないが、数値の目安として例えば「木質構造限界状態設計指針(案)・同解説」^{6,7)}では、耐力の変動係数として0.1～0.4が対象範囲とされている。また同文献の設計例では、垂木にひねり金物を留め付けるための太め丸釘の降伏耐力の変動係数が0.15と見積もられている。これに対して、 $v_{R0}=0.15$ 、 $v_d=0.3$ 、 $v_c=0.2$ とした場合の変動係数 v_R は(6.2.2)式から0.39となり、上記の文献で対象とする上限値に概ね相当する。

6.2.3 想定破壊確率に基づく耐風補強効果の評価

- (1) 耐風性能水準に対応づける指標として、改修工法の想定破壊確率 P_f は(6.2.3)式によって算定した数値とする。ここで、 μ_w と v_w ：風荷重の平均値(N/m²)と変動係数、 μ_R と v_R ：最大耐力の平均値(N/m²)と変動係数、 $\Phi[\cdot]$ ：標準正規確率分布関数である。

$$P_f = \Phi \left[- \frac{\ln \left(\frac{\mu_R}{\mu_w} \sqrt{\frac{v_w^2 + 1}{v_R^2 + 1}} \right)}{\sqrt{v_R^2 + v_w^2}} \right] \quad (6.2.3)$$

- (2) 想定破壊確率 P_f が(6.2.4)式を満足する場合、当該改修工法によって耐風補強された屋根ふき材が耐風性能水準 i の性能を有するものとみなす。ここで、 $P_{fa,(i)}$ ：各水準 i (=①, ②, ③)に対応して表6.2.3に示す想定破壊確率の許容値である。

$$P_f \leq P_{fa,(i)} \quad (6.2.4)$$

表 6.2.3 耐風性能水準と想定破壊確率の許容値との対応

耐風性能水準 i	想定破壊確率の許容値 $P_{fa, (i)}$
$i = \textcircled{1}$	12%
$i = \textcircled{2}$	5%
$i = \textcircled{3}$	1%

【解説】

(1) 確率統計的な指標としての想定破壊確率の算定

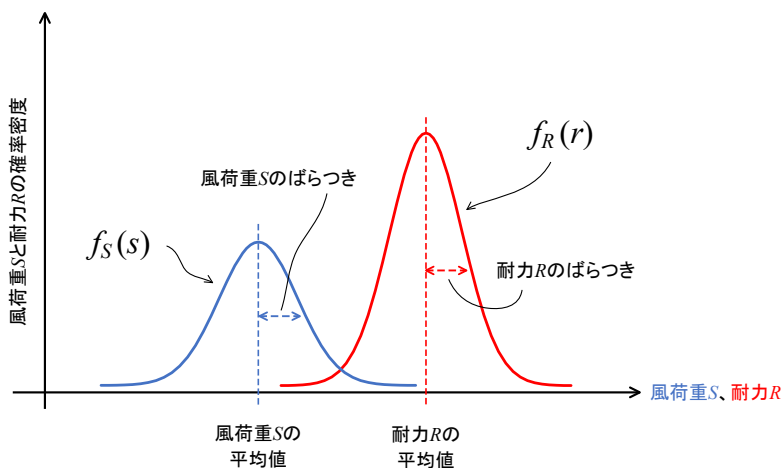
耐風性能水準に対応する指標として、(6.2.3)式で改修工法の想定破壊確率 P_f を定義した。想定破壊確率 P_f は、基準風速から決まる風荷重（再現期間約 50 年）に対して破壊（脱落・飛散等）しうる確率の大小を表す。以下に想定破壊確率 P_f の導出手順を示す^{例えば 6.8)}。

風荷重の絶対値を W 、最大耐力を R とし、いずれも対数正規分布に従う場合を考えれば、 $\ln W$ と $\ln R$ は正規分布となる。ここで、 W と R の変域はいずれも正の範囲（ $0 \sim \infty$ ）である（解図 6.2.2 参照）。

$$\ln W = N(\lambda_W, \xi_W^2) \quad (\text{解 6.2.1})$$

$$\ln R = N(\lambda_R, \xi_R^2) \quad (\text{解 6.2.2})$$

ここで、 λ_W と ξ_W^2 は $\ln W$ の平均と分散、 λ_R と ξ_R^2 は $\ln R$ の平均と分散である。



解図 6.2.2 風荷重と耐力の確率密度分布のイメージ

このときの破壊に至るまでの安全性の余裕を

$$Z = \frac{R}{W} \quad (\text{解 6.2.3})$$

とすれば、次のようになる。

$$\ln Z = \ln R - \ln W \quad (\text{解 6.2.4})$$

$\ln W$ と $\ln R$ は正規分布なので、 $\ln Z$ も正規分布になる。

$$\ln Z = N(\lambda_Z, \xi_Z^2) \quad (\text{解 6.2.5})$$

$$\lambda_Z = \lambda_R - \lambda_W \quad (\text{解 6.2.6})$$

$$\xi_Z^2 = \xi_R^2 + \xi_W^2 \quad (\text{解 6.2.7})$$

したがって、 Z は対数正規分布となり、その確率分布関数は次のようになる。

$$f_Z(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\xi_Z z} \exp\left[-\frac{(\ln z - \lambda_Z)^2}{2\xi_Z^2}\right] \quad (\text{解 6.2.8})$$

想定破壊確率 P_f は Z が1以下となる確率に等しいので、次のように表される。

$$P_f = P[Z \leq 1] = \int_0^1 f_Z(d) dz = \int_0^1 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\xi_Z z} \exp\left[-\frac{(\ln z - \lambda_Z)^2}{2\xi_Z^2}\right] dz \quad (\text{解 6.2.9})$$

ここで、 $y = \frac{\ln z - \lambda_Z}{\xi_Z}$ 、 $dy = \frac{1}{\xi_Z z} dz$ とし、積分区間を $z = 0 \sim 1 \rightarrow y = -\infty \sim \frac{\lambda_Z}{\xi_Z}$ とすれば、

$$P_f = \int_{-\infty}^{-\lambda_Z/\xi_Z} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy = \Phi\left(-\frac{\lambda_Z}{\xi_Z}\right) = 1 - \Phi\left(\frac{\lambda_Z}{\xi_Z}\right) \quad (\text{解 6.2.10})$$

となる。したがって、風荷重の絶対値 W と最大耐力 R が対数正規分布の場合の想定破壊確率 P_f は、信頼性指標 β を用いて、次のように表される。

$$P_f = \Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta) \quad (\text{解 6.2.11})$$

$$\beta = \frac{\lambda_Z}{\xi_Z} = \frac{\lambda_R - \lambda_W}{\sqrt{\xi_R^2 + \xi_W^2}} \quad (\text{解 6.2.12})$$

ここで、自然対数の平均 λ 、標準偏差 ξ と元の数値の平均 μ 、標準偏差 σ との関係を考えると、 W と R の双方に対して次式が成り立つ。

$$\lambda = \ln \mu - \frac{1}{2} \ln\left(1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2}\right) = \ln \mu - \frac{1}{2} \ln(1 + v^2) \quad (\text{解 6.2.13})$$

$$\xi^2 = \ln\left(1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2}\right) = \ln(1 + v^2) \quad (\text{解 6.2.14})$$

ここで、 v は元の数値の変動係数に相当する。以上の(解 6.2.13)～(解 6.2.14)を(解 6.2.11)～(解 6.2.12)に代入すれば、想定破壊確率 P_f は次式で表される。

$$P_f = \Phi\left[-\frac{\ln\left(\frac{\mu_R}{\mu_W} \sqrt{\frac{v_W^2 + 1}{v_R^2 + 1}}\right)}{\sqrt{\ln(v_R^2 + 1)(v_W^2 + 1)}}\right] \quad (\text{解 6.2.15})$$

もし、変動係数が小さければ、二次の微小量を無視して、以下の近似が可能である（小さい x に対し、 $e^x \approx 1 + x$, $\ln(1 + x) \approx x$ ）。取り扱いの簡便さも考慮し、この式を本文に示す想定破壊確率とした。

$$P_f \approx \Phi \left[-\frac{\ln \left(\frac{\mu_R}{\mu_W} \sqrt{\frac{v_W^2 + 1}{v_R^2 + 1}} \right)}{\sqrt{v_R^2 + v_W^2}} \right] \quad (\text{解 6. 2. 16})$$

P_f は一見して複雑な式だが、解表 6. 2. 1 に示すように表計算ソフトウェア（Microsoft Excel）の組み込み関数を活用することで簡単に計算することができる。

解表 6. 2. 1 表計算ソフトウェアによる P_f の計算例

	A	B	C	
1	風荷重	μ_W	※算定結果を入力	(N/m ²)
2		v_W	0.35	
3	基本最大耐力	μ_{R0}	※試験結果を入力	(N/m ²)
4		v_{R0}	※試験結果を入力	
5	下地等の実況を 反映した調整係数	α_d	1.0, 0.9以下	
6		v_d	0, 0.3	
7	施工の実況を 反映した調整係数	α_c	0.95	
8		v_c	0.1, 0.2	
9	最大耐力	μ_R	=C3*C5*C7	(N/m ²)
10		v_R	=SQRT(C4^2+C6^2+C8^2)	
11	$P_f = \Phi [-b/a]$	a	=SQRT(C2^2+C10^2)	
12		b	=LN(C9/C1*SQRT((C2^2+1)/(C10^2+1)))	
13			=NORM. S. DIST(-C12/C11, TRUE)*100	
				(%)

(2) 耐風性能水準に対応した想定破壊確率の許容値

表 6. 2. 3 に示す想定破壊確率の許容値の導出過程を以下にまとめる。まず、耐風性能水準を(解 6. 2. 17)式によって基本最大耐力の平均値 μ_{R0} 、風荷重の平均値 μ_W と対応付ける。ここで、 a は最大耐力を損傷限界に概ね対応する耐力に変換するための低減係数であり、右辺の分子が試験で確認された許容耐力に相当するので、前章の(5. 2. 3)式中の耐力評点の最低値 $S_{min,(i)}$ と対応付けることができる。(解 6. 2. 16)式と(解 6. 2. 17)式から μ_{R0} と μ_W を消去して得た(解 6. 2. 18)式により、許容値 $P_{fa,(i)}$ は水準 i の関数として表すことができる。ただし、ここでは本文の(6. 2. 1)式において $\alpha_d=1.0$ （経年部位なし）とした。

$$S_{min,(i)} = \frac{a \mu_{R0}}{\mu_W} \quad (\text{解 6. 2. 17})$$

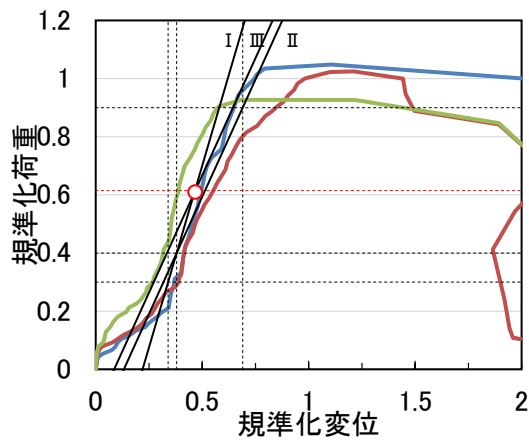
$$P_{fa,(i)} = \Phi \left[-\frac{\ln \left(S_{min,(i)} \frac{a_C}{a} \sqrt{\frac{v_W^2+1}{v_R^2+1}} \right)}{\sqrt{v_R^2+v_W^2}} \right] \quad (\text{解 6. 2. 18})$$

上式中の低減係数 a については、既往の耐力試験で得られた荷重変位関係から検討した。J 形粘土瓦、折板屋根接合部、住宅屋根用化粧スレート(以下、スレート屋根)を例にして、耐力試験結果を解表 6. 2. 2、荷重変位関係を解図 6. 2. 3 に示す。各耐力試験は各種技術資料^{6. 2)~6. 5)}に従った単調引張り载荷による。解表 6. 2. 2 に示す最大荷重の変動係数は 0. 1 程度以下であり、接合部で損傷が生じないスレート屋根が最も小さい。

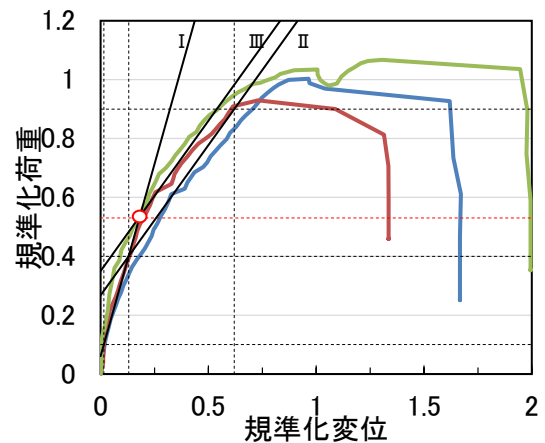
解図 6. 2. 3 では縦軸の荷重を最大荷重の平均値、横軸の変位を最大荷重時変位の平均値でそれぞれ規準化した。また、木造耐力壁の短期基準耐力の算出方法^{6. 9)}に倣い、降伏耐力に対応する荷重点(各図の赤丸)を求める 3 直線を併記しているが、(a) 粘土瓦(全数緊結)については初期载荷段階で下に凸の性状を示すため、当該方法の「0. 1Pmax」を「0. 3Pmax」に読み替えて第 I 直線を引いた。各図に示した赤丸の規準化荷重が低減係数 a に対応するとみなすと、いずれの工法も a は概ね 0. 6 となる。

解表 6. 2. 2 各屋根試験体の耐力試験結果^{6. 10)}

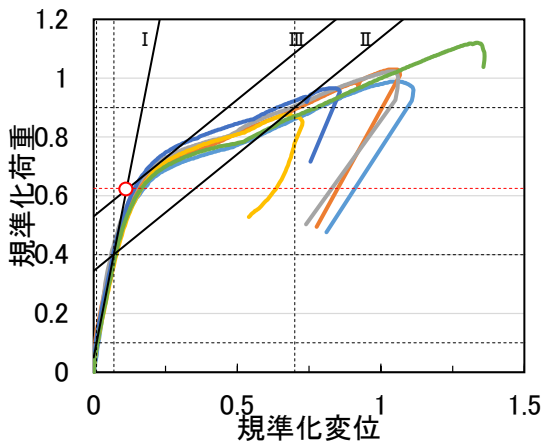
屋根工法	最大荷重		破壊形態
	平均値	変動係数	
(a) 粘土瓦(全数緊結)	3, 569N/m ²	0. 062	瓦棧木からのくぎ抜け
(b) 粘土瓦(千鳥緊結+長ねじ補強)	2, 636N/m ²	0. 069	瓦棧木からのくぎ抜け, 長ねじの抜け
(c) 折板屋根接合部	6. 6kN	0. 080	はぜ締め部の開きと折板材の座屈
(d) スレート屋根	601N	0. 037	スレート屋根材の割れ



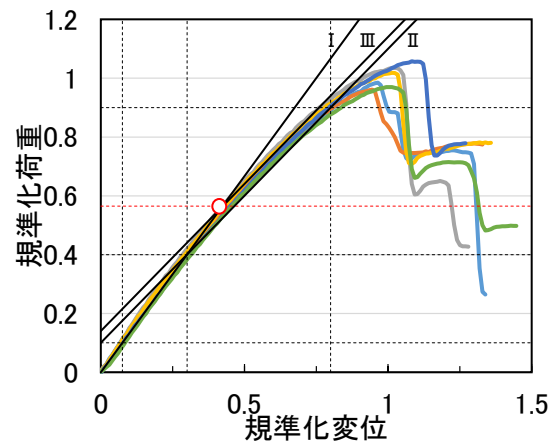
(a) 粘土瓦(全数緊結)



(b) 粘土瓦(千鳥緊結+長ねじ補強)



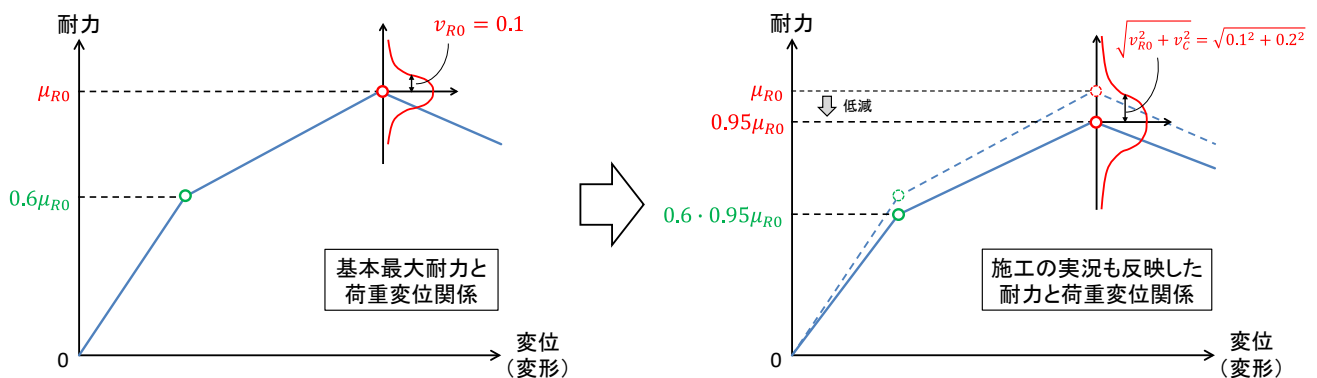
(c) 折板屋根接合部



(d) スレート屋根

解図 6.2.3 各屋根試験体の荷重変位関係^{6.10)}

以上の検討結果から $a=0.6$ 、 $v_{R0}=0.1$ 、表 6.2.2 から $\alpha_c=0.95$ 、 $v_c=0.2$ 、6.2.1 項から $v_W=0.35$ を(解 6.2.18)式にそれぞれ代入して許容値 $P_{fa(i)}$ を算定した。これらの各数値を適用した荷重変位関係のイメージを解図 6.2.4、算定結果を解表 6.2.3 に示す。この数値を丸めた結果が本文の表 6.2.3 となる。一般評価法での耐力評点(表 5.2.1)とは違った性能の示し方となり、水準①の $P_{fa(1)}$ に対して水準②は 1/2 未満、水準③は 1/10 未満の確率となる。



解図 6.2.4 想定破壊確率の許容値算定の際に想定した荷重変位関係のイメージ

解表6.2.3 耐風性能水準と想定破壊確率との対応

耐風性能水準 i	想定破壊確率の 許容値 $P_{fa,(i)}$ (%)	信頼性指標 $\beta_i = -\Phi^{-1}(P_{fa,(i)})$
$i=①$	11.77	1.19
$i=②$	5.20	1.63
$i=③$	1.02	2.32

(3) 想定破壊確率に基づく耐風補強効果の評価例

1) 粘土瓦ぶき

J形粘土瓦の屋根を例に耐風補強効果の評価例を示す。評価対象の仕様は非防災瓦(径3.8mm・長さ51mmのスクリーねじ)、防災瓦(径2.4mm・長さ65mmのスクリーくぎ)、防災瓦(径3.8mm・長さ51mmのスクリーねじ)で、いずれも全数緊結である。

仕様ごとに基本最大耐力の平均値 μ_{R0} と変動係数 v_{R0} は解表6.2.4に示す耐力試験結果を参照する。施工の実況を反映した調整係数の平均値 α_c は0.95とし、変動係数 v_c は有資格者の関与の有無に応じて0.1と0.2の2通りで計算した。なお、下地等の実況を反映した調整係数は「経年部位なし」とした。また、風荷重の平均値 μ_w は地表面粗度区分ⅢとⅡについて、屋根平均高さを7m、ピーク風力係数の絶対値を2.5として算定した。

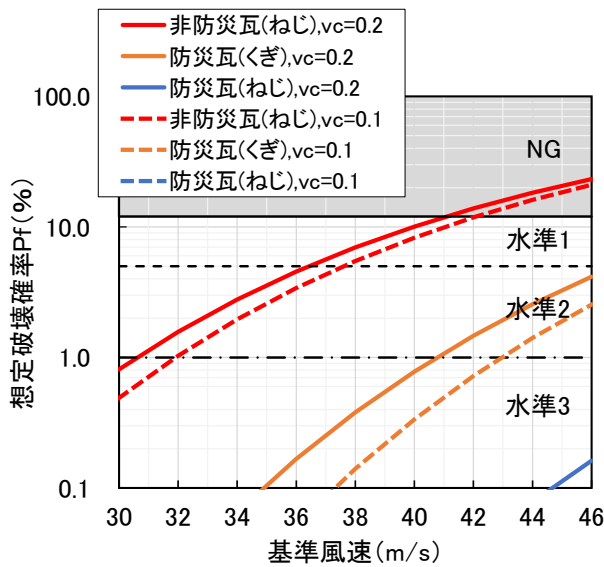
解図6.2.4に想定破壊確率を用いた評価結果、解表6.2.5に基準風速38m/sでの結果一覧を示す。図には耐風性能水準①～③に対応する $P_{fa,i}$ を黒の実線、点線、一点鎖線でそれぞれ併記した。

解表6.2.5に示す基準風速が38m/sの区域でみると、粗度区分Ⅱの防災瓦(スクリーくぎ)について、 $v_c=0.2$ では水準①となり一般評価法と同じ結果であるが、 $v_c=0.1$ では水準②となり、より高い性能の評価結果となり得る。以上より、想定破壊確率を用いることで異なる耐風性能水準に対応した仕様の提示(耐風性能の差別化)が可能となる。また、建築基準法令に定める耐風性能(水準①)を超える水準②～③に対応した耐風設計を行う際には、想定破壊確率を指標とした性能評価が、屋根ふき工法の実況(施工実態を含む)を反映した合理的な設計や被害リスクの定量的な説明の一助になるものと考えられる。

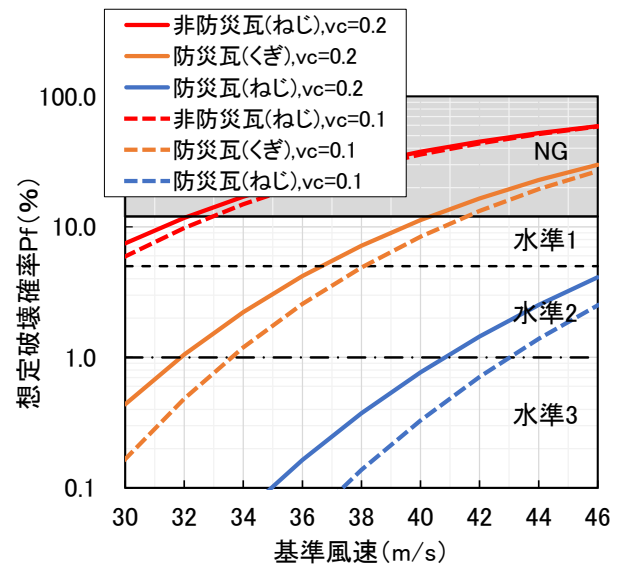
解表6.2.4 粘土瓦試験体の耐力試験結果

仕 様	最大荷重	
	平均値 (N/m ²)	変動係数
非防災瓦(スクリーねじ)	2,672	0.314
防災瓦(スクリーくぎ)	3,569	0.0615
防災瓦(スクリーねじ)	5,851	0.0618

注) 耐力試験の方法は文献6.2)の単調引き上げ試験による。



(a) 地表面粗度区分Ⅲ



(b) 地表面粗度区分Ⅱ

解図 6.2.4 想定破壊確率 P_f を指標とした性能評価結果

解表 6.2.5 基準風速 38m/s (銚子市等)での評価例

	粗度 区分	一般評価法	詳細評価法	
			右記以外 の施工	有資格者 による施工
非防災瓦（径 3.8mm・長さ 51mm のスクリューねじ）	Ⅱ	NG	NG	NG
	Ⅲ	NG	水準①	水準①
防災瓦（径 2.4mm・長さ 65mm のスクリューくぎ）	Ⅱ	水準①	水準①	水準②
	Ⅲ	水準③	水準③	水準③
防災瓦（径 3.8mm・長さ 51mm のスクリューねじ）	Ⅱ	水準②	水準③	水準③
	Ⅲ	水準③	水準③	水準③

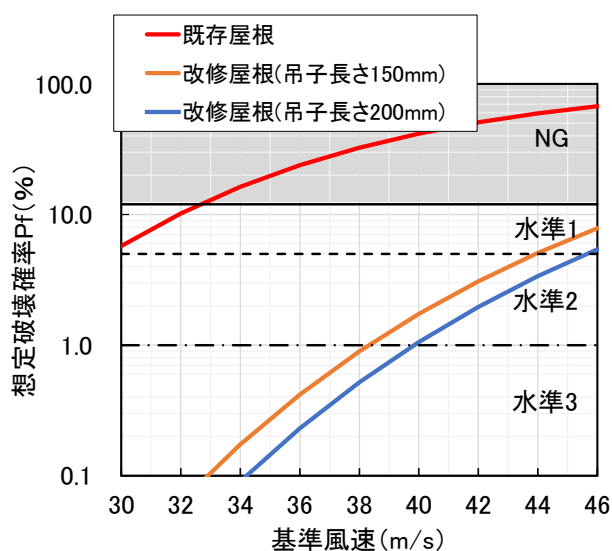
2) 折板ぶき

次に、既存の折板ぶき屋根をカバー工法によって改修することを想定した耐風補強効果の評価例を示す。既存屋根と改修屋根は第 4 章の解表 4.2.5 の仕様とし、仕様ごとに基本最大耐力の平均値 μ_{R0} と変動係数 v_{R0} は解表 6.2.6 に示す接合部試験体の耐力試験結果を参照する。施工の実況を反映した調整係数の平均値 α_c はいずれも 0.95 とし、変動係数 v_c は 0.1 と 0.2 の 2 通りで計算した。ただし、既存屋根の変動係数 v_c は 0.2 のみとした。また、下地等の実況を反映した調整係数の平均値 α_d と変動係数 v_d については、既存屋根は「経年部位あり」、改修屋根はロードパスを考慮して「経年部位なし」の数値とした。また、風荷重の平均値 μ_w は地表面粗度区分ⅢとⅡについて、屋根平均高さを 10m、ピーク風力係数の絶対値を 3.2 として算定した。

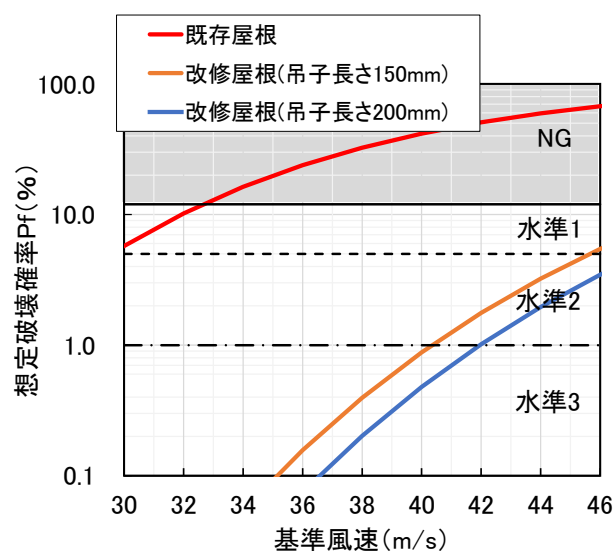
解図 6.2.5 に想定破壊確率を用いた評価結果、解表 6.2.7 に基準風速 36m/s での結果一覧を示す。図には耐風性能水準①～③に対応する $P_{fa,i}$ を黒の実線、点線、一点鎖線でそれぞれ併記した。基準風速が 36m/s の区域でみると、既存屋根の耐風性能が NG であるのに対して、カバー工法による耐風補強効果が確認でき、粗度区分Ⅱの改修屋根（折板板厚 0.8mm, 吊子長さ 150mm）について、 $v_c=0.2$ で水準①となるのに対して $v_c=0.1$ で水準②となり、より高い性能水準の評価結果となっている。

解表 6.2.6 折板ぶき屋根の接合部試験体の耐力試験結果

仕 様	最大荷重	
	平均値 (kN)	変動係数
既存屋根 (折板板厚 0.6mm, 吊子長さ 150mm)	3.9	0.157
改修屋根 (折板板厚 0.8mm, 吊子長さ 150mm)	6.6	0.080
改修屋根 (折板板厚 0.8mm, 吊子長さ 200mm)	7.1	0.071



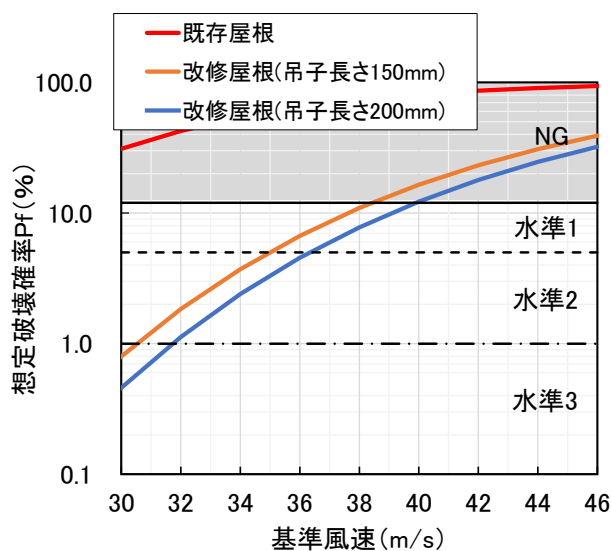
変動係数 $v_c = 0.2$
(右記以外の施工)



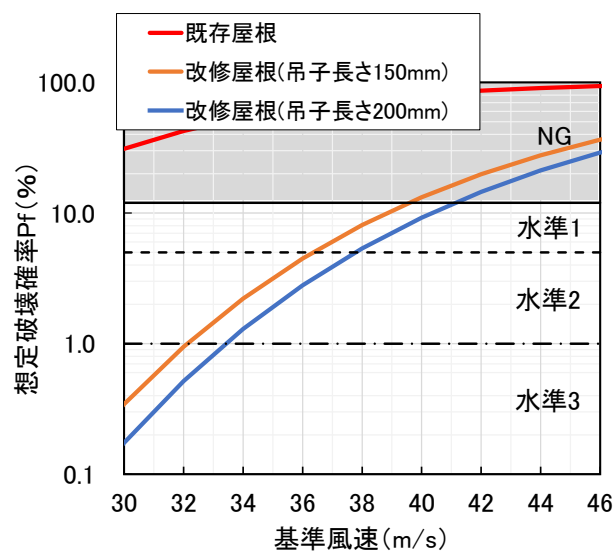
変動係数 $v_c = 0.1$
(有資格者による施工)

(a) 地表面粗度区分Ⅲ

解図 6.2.5 想定破壊確率 P_f を指標とした性能評価結果



変動係数 $v_c=0.2$
(右記以外の施工)



変動係数 $v_c=0.1$
(有資格者による施工)

(b) 地表面粗度区分Ⅱ

解図 6.2.5 想定破壊確率 P_f を指標とした性能評価結果 (続き)

解表 6.2.7 基準風速 36m/s での評価例

	粗度 区分	詳細評価法	
		右記以外 の施工	有資格者 による施工
既存屋根 (折板板厚 0.6mm, 吊子長さ 150mm)	Ⅱ	NG	—
	Ⅲ	NG	—
改修屋根 (折板板厚 0.8mm, 吊子長さ 150mm)	Ⅱ	水準①	水準②
	Ⅲ	水準③	水準③
改修屋根 (折板板厚 0.8mm, 吊子長さ 200mm)	Ⅱ	水準②	水準②
	Ⅲ	水準③	水準③

参考文献

- 6.1) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，丸善，2015.
- 6.2) 全日本瓦工事業連盟，全国陶器瓦工業組合連合会，全国 PC がわら組合連合会，日本建築防災協会：2021 年改訂版 瓦屋根標準設計・施工ガイドライン，2021.
- 6.3) 日本金属屋根協会，日本鋼構造協会：鋼板製屋根構法標準 SSR2007，2008.
- 6.4) 日本金属屋根協会，日本鋼構造協会：鋼板製屋根・外壁の設計・施工・保全の手引き MSRW2014，2014.

- 6. 5) 住宅外装テクニカルセンター：住宅屋根用化粧スレート葺き屋根耐風性能 設計施工ガイドライン，2002.
- 6. 6) 宮澤健二，駕海四郎：Q. 249 木造耐力壁の短期許容せん断耐力，規基準の数値は「何でなの」を探る，建築技術，Vol. 2，pp. 153-155，2015.
- 6. 7) 日本建築学会：木質構造限界状態設計指針(案)・同解説，丸善，2003.
- 6. 8) 柴田明德：確率的手法による構造安全性の解析，森北出版，2005. 8.
- 6. 9) 日本住宅・木材技術センター：木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2017 年版)，2017. 3.
- 6. 10) 喜々津仁密，高舘祐貴，奥田泰雄：既存瓦屋根の改修工法と経年変化に基づく耐風性能評価，日本建築学会学術講演会梗概集(構造 I)，pp. 135-136，2022.

付録 1 耐風 1 次診断リーフレットの例示

次頁に耐風 1 次診断の手順をまとめたリーフレットの例を示す。一般の居住者や管理者向けとし、第 2 章に示す診断の手順にしたがって各項目の要点を示した。この例を参考に各屋根ふき工法の実状を踏まえたリーフレットを整備する際、例えば外観調査の参考として代表的な劣化・不具合事例の写真を充実させたり、円滑に耐風 2 次診断に進めるよう信頼できる専門業者や団体の問合せ先を明記するとよい。こういったリーフレットを居住者や管理者に広く配布することで、居住者等による自発的な調査・診断に誘導されたい。

誰でもできる屋根の耐風診断

近年、令和元年房総半島台風などの強風によって、多くの建築物に被害が発生しました。被害エリアでの現地調査の結果、**強風に対する屋根のぜい弱性**が被害の主な原因であることが明らかになっています。したがって、強風被害を減らすためにはぜい弱な屋根を適切に把握し、耐風補強を図ることが重要です。

このリーフレットでは建築物の居住者や管理者向けに、**屋根ふき材の耐風診断の手順と考え方**をわかりやすく紹介しています。この手順にしたがって調査・診断を実際に行うことで、専門業者による詳細な調査・診断の要否を把握できるほか、**建築物の強風対策**に関する意識の向上と**被害リスク**に関する知識の習得を図れるよう留意しました。このリーフレットの活用が、強風被害の低減の一助になることを期待しています。



瓦屋根(令和元年房総半島台風)



金属屋根(平成15年台風第14号)



写真1 台風による屋根ふき材の強風被害例



家庭を訪問して正規の点検の振りをしながら断りきれない状態にし、不必要又は法外な価格の屋根リフォーム工事を契約する「点検商法」トラブルも急増しています。悪質業者は、突然訪問して「無料点検」を持ちかけるなど、言葉巧みに不要な工事契約を結ぼうとするので、きっぱり断りましょう。

(警視庁ウェブサイト) <https://www.keishicho.metro.tokyo.lg.jp/kurashi/higai/shoho/tenken.html>

手順①

事前調査

- 屋根の調査に先立ち、あらかじめ建築物の築年数、屋根の不具合経験の有無、メンテナンス(維持管理)の履歴を把握します。

屋根ふき材の耐風性は構工法の種類にかかわらず、築年数(建築後の経過年数)と適切な維持管理がされたかどうかによって異なります。これらの情報は診断の拠り所になります。

手順②

建設地の強風の実況の把握

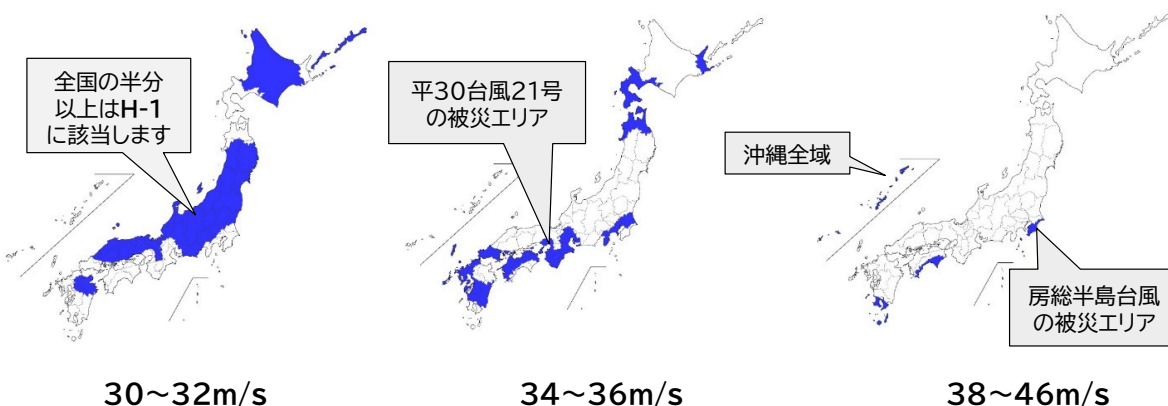
- 建設地での基準風速(以下の地図を参照)と立地区分を表1に当てはめて、強風の実況を表すH指標を選択します。建設地が海岸線から概ね200m以下の場合には、立地区分の「沿岸部」を選択します。
- H指標は、数字が大きいほど、強風による危険度が相対的に大きくなることを表します。例えば沖縄県全域は、立地区分の違いにかかわらず「H-3」になります。

表1 H指標※

基準風速 立地区分	30~32m/s	34~36m/s	38~46m/s
一般部	H-1	H-2	H-3
沿岸部	H-2	H-3	H-3

※ H指標の「H」は、被害発生誘因(引き金)となる強風現象とその危険度を意味するHazardの頭文字です。

基準風速は、建築基準法に定められている数値です。過去の台風記録に基づく風害の程度等に応じて30~46m/sの範囲の風速が定められており、暴風の10分間平均風速の50年再現期待値に概ね相当します。ここでは、建設地での基準風速を強風による危険度と関連付けました。



同じ基準風速の区域であっても、沿岸部では海側から吹く強風を遮る地物が少ないため、一般部(沿岸部以外)よりも建築物に作用する風荷重が大きくなります。建築基準法に定める計算式によれば、一般部に対する沿岸部の風荷重は約1.6倍です。

例えば「H-3」に該当する以下のエリアでは、過去の台風で顕著な屋根ふき材の被害が発生しています。

- 沖縄県宮古島 基準風速46m/s(平成15年)
- 大阪府泉佐野市(沿岸部) 基準風速34m/s(平成30年)
- 千葉県南房総市 基準風速38m/s(令和元年) など

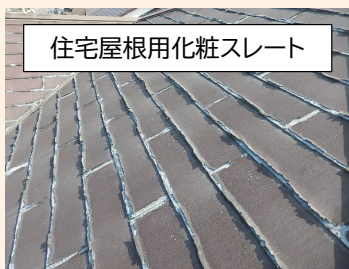
手順③

屋根ふき材の外観調査

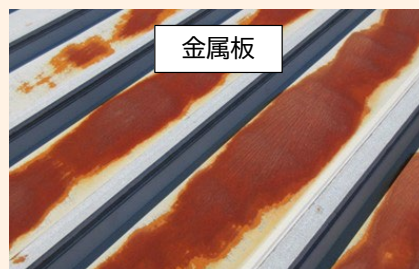
- 屋根ふき材を目視で外観調査し、可能な範囲で以下の劣化や不具合の有無を確認します。
 - (1) 屋根ふき材（例）ふき材表面の塗装等の劣化、脱落や浮き上がりの有無、緊結の状況
 - (2) 下地（例）野地の雨漏りや腐朽、結露等による不具合の有無、接合部の劣化等の状況
 - (3) 屋根上付属物（例）雨どい等の取り付け状況



粘土瓦



住宅屋根用化粧スレート



金属板

写真2 各屋根ふき材の劣化等の例

屋根の設計・施工の専門業者が調査に同行できる場合には、必要に応じて屋根上での調査も併用します。

手順④

屋根ふき材のぜい弱性の把握(その1)

- 事前調査と外観調査の結果から、表2の(a)欄の点数×(b)欄の点数を計算します。
- (a)欄では築年数とメンテナンスの履歴、(b)欄では劣化・不具合状況にそれぞれ注目します。

表2 調査結果に基づく点数

	調査結果	点数
(a)	築10年未満である。	1
	築10年以上経過し、数年前にメンテナンスを行った経験がある。	1.5
	築10年以上経過し、数年前にメンテナンスを行った経験がない、又は不明である。	2
(b)	外観上、劣化や不具合は確認できない。	1
	外観上、劣化や不具合は確認できない。ただし、近隣の建築物等に著しい被害をもたらした地震又は強風を過去に経験したが、その直後に点検を行っていない。	1.5
	外観上、屋根ふき材の色褪せ、さび、塗装のはがれ等の劣化が確認できる。	3
	外観上、屋根ふき材のずれ、脱落、割れ、くぎの浮き等の不具合が確認できる。天井に雨漏りと思われる染みが確認できる、又は雨漏りの経験がある。	4

3

画像提供：
(一社)全日本瓦工事業連盟、(一社)日本金属屋根協会

手順⑤

屋根ふき材のぜい弱性の把握(その2)

- 手順④で計算した点数を表3に当てはめ、屋根ふき材の強風に対するぜい弱性を表すV指標を選択します。
- V指標は、数字が大きいほど、相対的に被害が生じやすくなることを表します。例えば築10年以上経過し、外観から何らかの不具合が確認できる場合には「V-4」になります。

表3 V指標※

計算した点数	2未満	2以上3未満	3以上6未満	6以上
V指標	V-1	V-2	V-3	V-4

※ V指標の「V」は、ぜい弱性を意味するVulnerabilityの頭文字です。

手順⑥

強風被害リスクの診断

- 手順②⑤で選択したH指標とV指標を表4に当てはめ、屋根ふき材の強風被害リスクを診断します。表の左上から右下に向かって、段階的にリスクが大きくなることを視覚的に確認できます。
- 強風被害リスクの結果から、耐風2次診断※の要否を判断します。
※ 屋根ふき材の修繕や改修の要否を判断する目的で、屋根の設計・施工の専門業者が行う診断
- 強風被害リスクが「大きい」場合には、耐風2次診断を専門業者に依頼してください。「やや大きい」場合には、耐風2次診断の要否について専門業者に相談してください。

表4 強風被害リスク

H指標 \ V指標	V-1	V-2	V-3	V-4
H-1	小さい		やや大きい	
H-2				
H-3			大きい	

一般に、屋根ふき材の強風被害リスクは、建設地の強風の実況(危険度)と屋根ふき材のぜい弱性の組み合わせによって決まります。表4では両者の大きさを表す指標を縦軸と横軸に並べ、被害発生蓋然性の相対的な違いを分かりやすく示しました。

付録２ 耐風２次診断票の例示

次頁に耐風２次診断票の様式の例を示す。診断票の構成は付表 2.1 のとおりであり、第 3 章に示す手順にしたがって第一面に事前調査、第二面に現況調査、第三面に風荷重・残存耐力の算定と損傷可能性の診断の各項目が示されている。この様式では調査から診断までの一覧性を優先し、各項目の詳細は第一面～第三面とは別に「別紙」で補足するものとした。別紙の中には屋根ふき材の製品供給業者や関係団体が別途定める調査・診断票も含まれる。

付表 2.1 耐風２次診断票の構成

構 成	調査・診断内容の区分
第一面	① 事前調査
第二面	② 現況調査
第三面	③ 風荷重の算定 ④ 残存耐力の算定 ⑤ 損傷可能性の診断
別 紙	・ 目視・触診による各部位の劣化や不具合の状況の詳細 ・ 保持力試験の実施位置がわかる屋根平面図 ・ 保持力試験結果の詳細 ・ 風荷重、残存耐力の算定方法の詳細 ※ 上記に製品供給業者や関係団体が定める調査・診断票の様式も含まれる。

(第一面)

区分	項目	記入欄		
①事前調査	建築物の概要	名称		
		所在地		
		用途	☐ 戸建住宅、 ☐ 集合住宅、 ☐ 店舗、 ☐ 事務所、 ☐ 庁舎等公共施設、 ☐ 工場 ☐ 倉庫、 ☐ 体育館、 ☐ その他()	
		建築年	☐ 建築年_____年(築年数_____年)、 ☐ 不明	
		構造種別	☐ 木造、 ☐ 鉄骨造、 ☐ 鉄筋コンクリート造、 ☐ その他()	
		階数・高さ	_____階・_____m	
		屋根形状・勾配	☐ 切妻、 ☐ 片流れ、 ☐ 寄棟、 ☐ その他()	
			_____度(_____寸勾配)	
	屋根ふき工法の種別	☐ 瓦ぶき、 ☐ 金属板ぶき、 ☐ 折板ぶき、 ☐ 住宅屋根用化粧スレートぶき ☐ その他()		
	・新築時の設計図書	所在の有無	☐ あり、 ☐ なし・不明	
		屋根ふき材の技術資料	☐ あり(以下に記入)、 ☐ なし・不明	
			技術資料の名称:	
	屋根の維持管理	実施の有無	☐ 実施(以下に記入)、 ☐ 未実施・不明	
		概要	実施年_____年 ※直近の実績 実施概要:	
	耐風1次診断	実施の有無	☐ 実施(以下に記入)、 ☐ 未実施	
		診断結果	H指標	☐ H-1、 ☐ H-2、 ☐ H-3
			V指標	☐ V-1、 ☐ V-2、 ☐ V-3、 ☐ V-4
			強風被害リスクが ☐ 大きい、 ☐ やや大きい	

※)必要に応じて、各詳細を別紙に示すこと。

(第二面)

区分	項目	記入欄										
② 現況調査	調査日時	____年____月____日 午前・午後 ____時 (調査回数____回目)										
	調査者	保有資格:										
	目視・触診	屋根ふき材	種類と仕様	種類(製品名称等): 仕様(板厚・緊結間隔等):								
			現行の技術基準等への適合状況	技術基準・資料の名称: ☐ 適合、 ☐ 不適合、 ☐ 不明								
			劣化や不具合の有無	☐ あり (☐ 一般部、 ☐ 一般部以外、詳細は別紙)、 ☐ なし、 ☐ 不明								
		接合具	種類と仕様	種類(製品名称等): 仕様(板厚・緊結間隔等):								
			現行の技術基準等への適合状況	技術基準・資料の名称: ☐ 適合、 ☐ 不適合、 ☐ 不明								
			劣化や不具合の有無	☐ あり (☐ 一般部、 ☐ 一般部以外、詳細は別紙)、 ☐ なし、 ☐ 不明								
		下地	種類と仕様	種類(製品名称等): 仕様(板厚等):								
			現行の技術基準等への適合状況	技術基準・資料の名称: ☐ 適合、 ☐ 不適合、 ☐ 不明								
			劣化や不具合の有無	☐ あり (☐ 一般部、 ☐ 一般部以外、詳細は別紙)、 ☐ なし、 ☐ 不明								
	保持力試験	実施の有無	☐ 実施(以下に記入)、 ☐ 未実施									
		機器名称										
		試験箇所	____箇所(詳細は別紙)									
		試験結果	詳細は別紙									
判断		<table border="1"> <thead> <tr> <th>劣化等状況 技術基準等への適合状況</th><th>現に劣化や不具合が顕著である</th><th>劣化や不具合がある</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>不適合</td><td>◎</td><td>◎, ○, △</td></tr> <tr> <td>適合</td><td>—</td><td>○, △</td></tr> </tbody> </table> (凡例)◎:改修を要すると判断、○:調査結果に基づく診断を行った上で、改修の要否を判断、△:改修を当面要さず、修繕等で対応すると判断 ☐ ◎に該当 ⇒ <u>改修を計画</u>(第三面の診断等は必要に応じて実施) ☐ ○に該当 ⇒ 第三面の診断等を実施 ☐ △に該当 ⇒ 修繕等を計画(第三面の診断等は不要)		劣化等状況 技術基準等への適合状況	現に劣化や不具合が顕著である	劣化や不具合がある	不適合	◎	◎, ○, △	適合	—	○, △
		劣化等状況 技術基準等への適合状況	現に劣化や不具合が顕著である	劣化や不具合がある								
不適合	◎	◎, ○, △										
適合	—	○, △										
(判断の所見)												

※)必要に応じて、各仕様等の詳細を別紙に示すこと。

(第三面)

区分	項 目	記 入 欄		
③ 風荷重の算定	屋根平均高さ	_____ m		
	建設地の基準風速	_____ m/s		
	地表面粗度区分	☐ I、 ☐ II（海岸線からの距離が概ね200m以下の場合を含む） ☐ III、 ☐ IV		
	平均速度圧 q_H	_____ N/m^2		
	ピーク風力係数 $C_p^{\wedge}$ ($=C_{pe}^{\wedge}-C_{pi}^{\wedge}$)	対象部位	☐ 一般部、 ☐ 軒・けらば部、 ☐ 棟部	
		外圧 $C_{pe}^{\wedge}$	_____	
		内圧 $C_{pi}^{\wedge}$	_____	
風荷重 $W (=q_H C_p^{\wedge})$	_____ N/m^2			
④ 残存耐力の算定	算定方針	☐ 目視・触診の結果に基づく、 ☐ 保持力試験の結果に基づく		
	果 目 に 視 基・ づ 触 診 場 の 結	許容耐力の基本値 R_0	_____ N/m^2 参照した技術資料の名称:	
		耐力低減 係数 k_d	劣化等の 確認部位	☐ 屋根ふき材、 ☐ 接合具、 ☐ 下地
			劣化等の状態	_____
			設定の根拠	_____
		_____ (≤ 1.0)		
	残存耐力 $R_d (=R_0 k_d)$		_____ N/m^2	
	果 保 に 持 基 づ 試 験 場 の 結	破壊荷重の平均値 R_t	_____ N/m^2	
		安全率 a	設定の根拠	_____ (> 1.0)
			残存耐力 $R_d (=R_t/a)$	
⑤ 損傷可能性の診断	耐力評点 $S (=R_d/W)$	_____		
	耐力評点 S	強風に対する損傷可能性	診断結果に基づく対応	
	$1.0 \leq S$	☐ 低い	⇒ 改修を要しない (必要に応じて修繕等に対応)	
	$0.7 \leq S < 1.0$	☐ やや高い	⇒ <u>改修の要否について、居住者等と協議</u>	
	$S < 0.7$	☐ 高い	⇒ <u>改修を計画</u>	
(診断・対応の所見)				

※)必要に応じて、算定方法の詳細を別紙に示すこと。

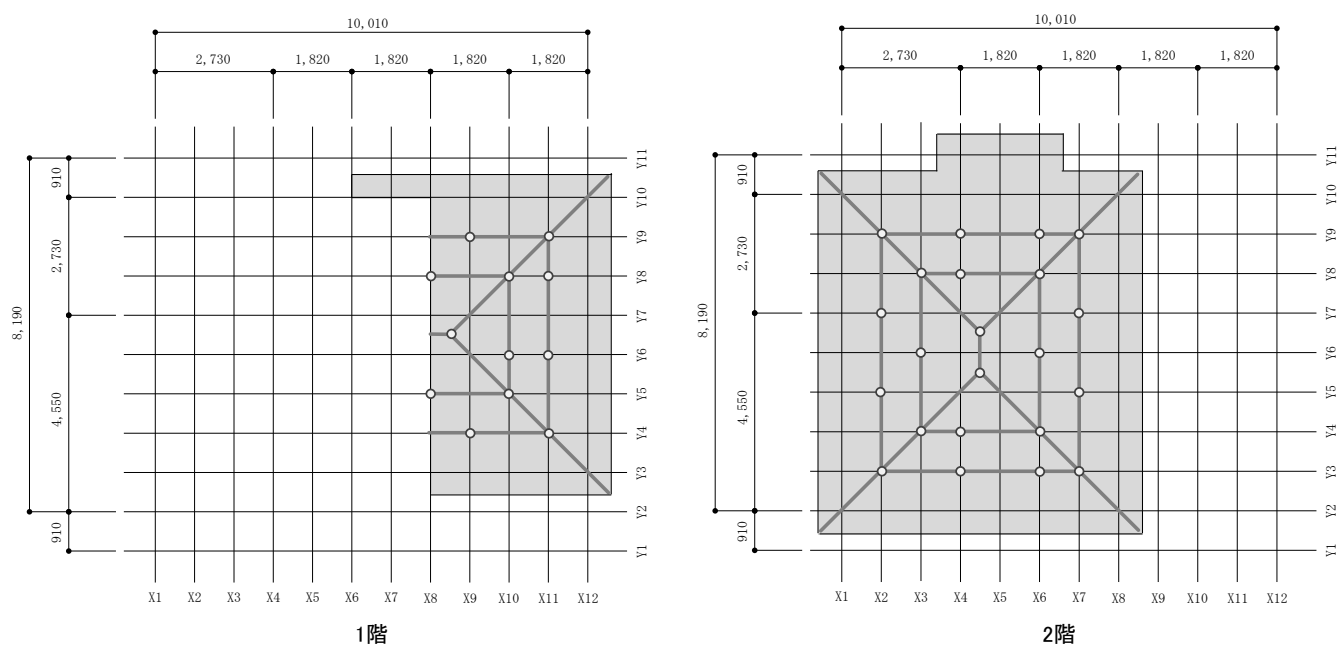
付録3 各屋根ふき材の改修工事費の試算例

付3.1 粘土瓦ぶき

(1) 改修工事費試算の概要

耐風補強の効果とそのコストとの関係を把握することを目的に、粘土瓦屋根の改修工法を対象にした改修工事費の試算を行った。以下に試算の概要と前提条件を示す。

試算対象の屋根の規模・形状は、日本住宅・木材技術センター「木造軸組工法住宅の限界耐力計算による設計の手引き」の設計例に示す木造3階建ての例に準じ、その2階及び3階部分の屋根面積を算定に用いた。付図3.1.1に小屋伏せ図を示す。ここでは上記の設計例を2階建てとみなし、足場仮設費の試算に必要な高さ1階部分の2.8mを引いた数値とする。



付図3.1.1 対象とする建築物の小屋伏せ図

粘土瓦ぶきによる既存屋根の種類は、付表3.1.1に示す土ぶきと引っ掛け栈工法の2通りである。屋根平部の改修工法は、付表3.1.2に示すふき替え工法と補強工法とする。既存屋根の種類と改修工法との組み合わせから、試算対象は7ケースである。

付表 3.1.1 既存の粘土瓦ぶきの工法（平部）

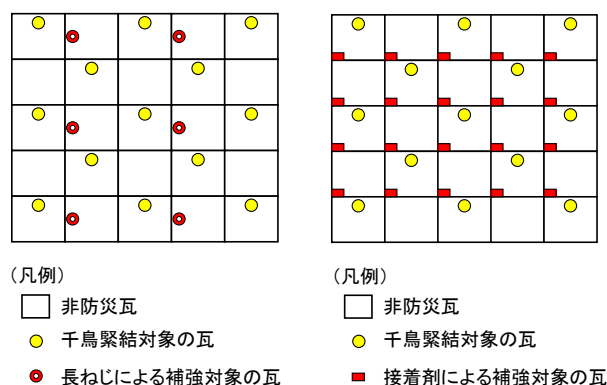
既存屋根の種類	既存瓦	工法
既存①	非防災瓦（J形）	土ぶき（既存瓦の緊結なし）
既存②		引っ掛け棧工法（既存瓦をスクリー釘（径 2.4mm、長さ 65mm）による千鳥緊結）

付表 3.1.2 粘土瓦ぶきの改修工法（平部）

ケース	既存 屋根	改修工法		下地
T-F1	既存 ①	ふき 替え 工法	既存瓦を撤去し、新設瓦として防災瓦(J 形)をスクリー一回転止め加工釘（径 2.4mm×長さ 65mm）による全数緊結。	野地板を撤去・新設。瓦棧木を新設。
T-F2				既存の野地板の上に野地板を新たに重ね張り。瓦棧木を新設。
H-F1	既存 ②			野地板と瓦棧木を撤去・新設。
H-F2				既存の野地板の上に野地板を新たに重ね張り。瓦棧木を撤去・新設。
H-F3				既存の野地板と瓦棧木をそのまま存置。
H-Ha		補強 工法	既存瓦をそのまま存置し、棧山を長ねじで補強。	—
H-Hb		既存瓦をそのまま存置し、棧山を接着補強。	—	

付表 3.1.2 に掲げるもののほか、以下の試算条件を設定した。

- ・ ふき替え工法の 5 ケースでは、防水シートを更新する。
- ・ ケース H-Ha の棧山補強時に使用する接合具は、パッキン付き長ねじ（径 4.3mm×長さ 115mm）とする。また、ケース H-Hb の接着補強時に使用する接着剤は、瓦用シーリング材（セメダイン瓦用）又はこれと同等品とする。これらの補強箇所は引き上げ試験で使用した付図 3.1.2 の試験体仕様に準ずる。
- ・ けらば部と軒先部は付表 3.1.2 の平部に応じた改修工法、棟部は冠瓦伏せ棟を前提にした改修工法をそれぞれ選択する。



付図 3.1.2 長ねじと接着による補強箇所（引き上げ試験体での位置）

付表 3.1.2 の各ケースについて、(一社)全日本瓦工事業連盟に加入する宮城県、神奈川県、和歌山県、福岡県内の瓦工事業者（計 4 者）にて改修工事費を試算した。一般的な公共建築工事に係る工事費の構成のうち、「直接工事費」に相当する範囲を試算の対象とし、それ以外の「一般管理費等」、「現場管理費」、「共通仮設費」に相当する範囲は試算の対象外とした。直接工事費を構成する費目のうち材料費は、原則として以下に従って試算した。

- ・ 粘土瓦、接合具・接着剤、野地板等の材料単価に個別の数量を乗ずるか、単位面積当たりの単価に施工面積を乗じて算定する。材料単価や単位面積当たりの単価をメーカーがカタログ等で一般に公表している販売希望価格による場合、同価格が実勢価格と異なる場合には、その割引率を乗じた価格を積算に用いる材料単価とすること。
- ・ 上記以外の単価を材料費の根拠とする場合には、最新の市場価格として市販の建設物価資料に掲載されている実勢価格を参考にした。

また、直接経費のうち足場仮設費や重機借料等は、市販の建設物価資料に掲載されている実勢価格を参考にし、水道光熱電力料は試算の対象外とした。

(2) 改修工事費の試算結果

計 4 者による試算結果を平均したものを付表 3.1.3 示す。なお、宮城県内の瓦工事業者による試算については、同エリアで土葺きの瓦屋根がないことからケース T-F1 と T-F2 を対象外とした。

既存屋根の種類によらず、既存の野地板の更新を伴うふき替え（ケース T-F1、H-F1）の工事費が最も大きく、それに対して既存の野地板と瓦棧木をそのまま存置したふき替え（ケース H-F3）の工事費は上記ケースの 9 割未満である。一方、既存瓦の更新を伴わない補強工法（ケース H-Ha、H-Hb）の工事費はケース T-F1、H-F1 に対して約 20～30%程度である。なお、いずれのケースも工事費の変動係数は 10%前後であった。

この検討に関連して国土交通省のホームページ「令和元年房総半島台風を踏まえた建築物の強風対策」に掲載されている啓発用パンフレット²では、瓦屋根の改修費用の目安として次の算定式が示

² 国土交通省，日本建築防災協会：瓦屋根の改修ってどのくらいかかるの？瓦屋根の改修工事のススメ，2021. 3. (2024. 9. 11 閲覧)

https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/content/kawararoof_pamph.pdf

されている。

$$\text{工事費目安} = 17,500 A + 6,500 L \quad (\text{付 3.1.1})$$

ここで、 A ：屋根面積(m^2)、 L ：棟長さ(m)で、係数の 17,500 は屋根面工事単価 (円/ m^2)、6,500 は棟工事単価 (円/m) である。この式に、本検討で対象にした瓦屋根の屋根面積として約 120m^2 、棟長さ(隅棟を含む)として約 35mを適用すると、工事費目安は約 233 万円となる。一般に立地条件や仕様する瓦の種類等の仕様の違いにより金額が異なるため、この算出結果にはおおよそ±50 万円程度の幅があると考えられるが、ふき替え工法の本積算結果と同程度の工事費を与えている。

付表 3.1.3 瓦ぶき屋根の改修工事費の試算結果

ケース	既存屋根	改修工法	改修工事費	
			平均値（円）	変動係数(%)
T-F1	既存① (土ぶき)	ふき替え工法	2, 726, 482	9. 6
T-F2			2, 596, 895	9. 8
H-F1	2, 721, 780		11. 6	
H-F2	2, 610, 836		11. 1	
H-F3	2, 311, 899		10. 6	
H-Ha	既存② (引っ掛け棧工法)	補強工法	800, 058	9. 1
H-Hb			639, 428	8. 3

(3) 改修工事費と耐風補強効果との関係

(2)に示した既存屋根が引っ掛け棧工法の 5 ケースについて、試算結果を最大耐力と対応づけることで、改修工事費と耐風補強効果との関係を確認する。付表 3.1.4に各ケースの試算結果と最大耐力を示す。各ケースの最大耐力の平均値は、同一仕様の耐力試験結果(第4章の解表 4.2.1、付録4)を参照した。

付表 3.1.4 各ケースの試算結果と最大耐力

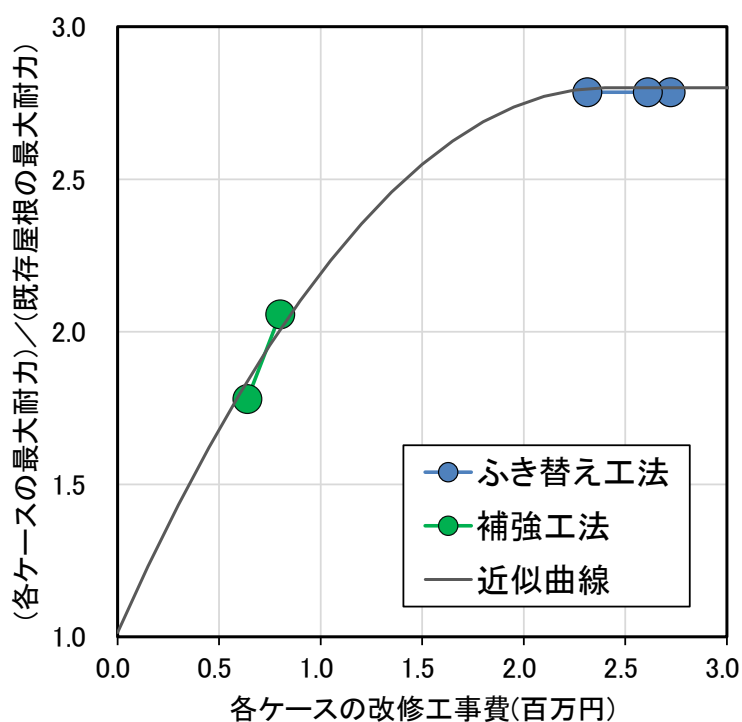
ケース	ふき替え工法			補強工法		既存屋根
	H-F1	H-F2	H-F3	H-Ha	H-Hb	既存②
改修工事費 (百万円)	2.72	2.61	2.31	0.80	0.64	—
最大耐力の平均値 (N/m^2)	3568	3568	3568	2636	2280	1281
各ケースの最大耐力の 既存屋根の最大耐力に 対する比率	2.79	2.79	2.79	2.06	1.78	1.0

付表 3.1.4 に基づき、各ケースの改修工事費と最大耐力との関係を付図 3.1.3 に示す。同図より、改修工法の種類が異なっても工事費と最大耐力との関係を(付 3.1.2)式の近似曲線上に表すことができる。ここで、 R ：各ケースの最大耐力の既存屋根の最大耐力に対する比率、 C ：各ケースの改修工事費(百万円)である。

$$R = \begin{cases} 2.8 - 0.31(C - 2.4)^2 & (C \leq 2.4) \\ 2.8 & (2.4 < C) \end{cases} \quad (\text{付 3.1.2})$$

(付 3.1.2)式を一階微分することで得られる(付 3.1.3)式より、単位工事費当たりの最大耐力の比率の増分は、工事費が小さいほど大きくなる。このことは、工事費が小さい補強工法であっても工事費に対する耐風補強効果(費用対効果)が大きいことを示唆する。

$$\frac{dR}{dC} = \begin{cases} 1.49 - 0.62C & (C \leq 2.4) \\ 0 & (2.4 < C) \end{cases} \quad (\text{付 3.1.3})$$



付図 3.1.3 各ケースの改修工事費と最大耐力との関係

付 3.2 折板ぶき

(1) 改修工事費試算の概要

耐風補強の効果とそのコストとの関係を把握することを目的に、折板ぶきの改修工法を対象にした改修工事費の試算を行った。以下に試算の概要と前提条件を示す。

対象とする折板屋根の規模・形状は、「鋼板製屋根構法標準 SSR2007（日本金属屋根協会・日本鋼構造協会発行）」の設計例 2 に示す鉄骨造 2 階建ての例に準じ、その下屋根を除く主屋根の面積を算定に用いた。付表 3.2.1 に対象建築物と屋根の概要、付図 3.2.1 に屋根の平面図、付表 3.2.2 に既設折板材と改修時の新設折板材の仕様をそれぞれ示す。既設と新設のいずれも接合方法ははぜ締め形である。新設①は既設の仕様と同じであるが、新設②と③は既存屋根からの性能向上を意図して折板材の板厚を変更（0.6mm→0.8mm）している。さらに、新設③では吊子の長さも他のケースから変更（150mm→200mm）している。

試算で対象とする改修工法はふき替え工法と重ねぶき工法（カバー工法）とし、付表 3.2.2 に示す新設折板材との組み合わせに応じて、付表 3.2.3 に示す 6 ケースとした。

付表 3.2.1 対象建築物と屋根の概要

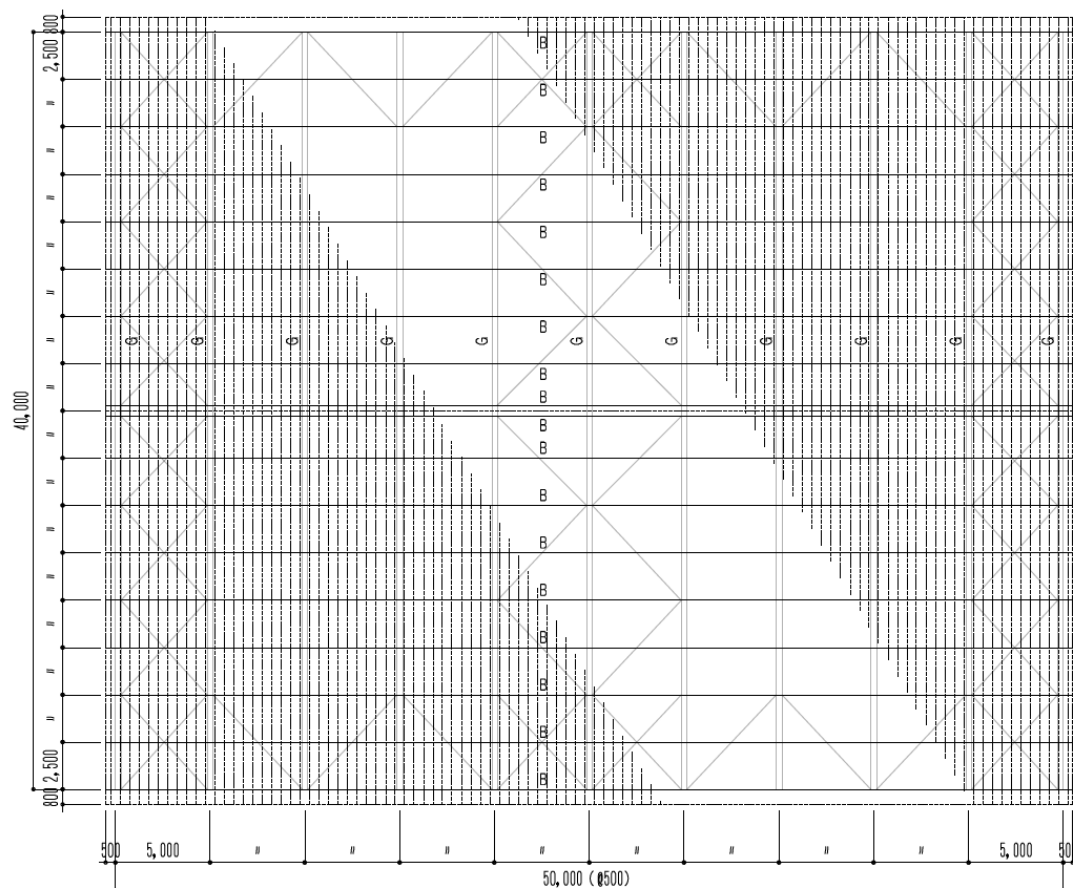
改修対象	既設屋根仕様	屋根面積	屋根形状	屋根勾配
折板屋根	折板ぶき（はぜ締め形） 野地なし	2000 m ²	切妻	5/100

付表 3.2.2 既設／新設折板材の仕様（単位 mm）

既設／新設	折板材	はぜ締め部の吊子
既設	働き幅 500，山高 162，板厚 0.6	長さ 150，板厚 1.2
新設①	働き幅 500，山高 162，板厚 0.6	長さ 150，板厚 1.2
新設②	働き幅 500，山高 162，板厚 0.8	長さ 150，板厚 1.2
新設③	働き幅 500，山高 162，板厚 0.8	長さ 200，板厚 1.2

付表 3.2.3 試算の対象ケース

ケース	改修工法	新設折板材
F1	ふき替え工法	新設①
F2		新設②
F3		新設③
K1	重ねぶき工法 （カバー工法）	新設①
K2		新設②
K3		新設③



付図 3.2.1 折板屋根の平面図

改修工事費の試算は、(一社)日本金属屋根協会の協力を得て行った。一般的な公共建築物の工事費構成のうち「直接工事費」に係る範囲を対象とし、それ以外の「一般管理費等」、「現場管理費」、「共通仮設費」は対象外とした。また、改修工事は建築物の状態や施主との協議に基づいて計画され、様々な工期が想定されるが、工期を「3ヶ月間」に仮定して中断なく工事を行うものとした。

ここでは、直接工事費に係るものとして、市販の単価資料（一般社団法人経済調査会「季刊 建築施工単価'22・秋号（2022.10.5.）」）に掲載されている実勢価格を参考に以下の項目の積算を行った。

1) 仮設工事費

壁面全体に仮設を設けるものとし、本体足場と安全ネットを対象として単価資料に基づき算出する。なお、足場階段と足場運搬費は、共通仮設費に含まれるものとして試算の対象外とした。

2) 解体工事費

既存屋根の解体撤去費は、単価資料に基づき算出する。

3) 屋根改修工事費

屋根改修工事費は単価資料に基づいて積算する。材料費は、折板材や吊子等の材料単価に個別の数量を乗じて算定する。重機の借料等は、単価資料に掲載されている実勢価格を参考にした。また、現場での各種作業に要する水道光熱電力料や輸送費は、積算の対象外とした。なお、単価資料では建築面積が 300m² 程度の建築物を想定されているため、工事規模の違い等による経費単価の変動も考慮した調整を行っている。

(2) 改修工事費の試算結果

改修工事費の試算結果を付表 3.2.4 にまとめる。各ケースごとに工事費の合計額で内訳額を除した比率を示した。改修工事費が最も小さいのがケース K1 であった。各ケース間の比較ができるよう、各ケースの改修工事費をケース K1 の改修工事費で除した比率も最下段に示した。試算結果から把握できることは以下のとおりである。

- ・ ふき替え工法のほうが重ねぶき工法よりも工事費が大きい結果（約 1.2 倍）となった。ふき替え工法では、既存屋根の解体工事費が工事費全体の約 35% を占めている。
- ・ 改修工法が同じケース同士で比較すると、新設のふき材の板厚の違い（0.6mm、0.8mm）による費用の差は 6% 程度、改修用金具・吊子の長さの違い（150mm、200mm）による費用の差は 2% 程度である。このことから一般に、ふき材や金具・吊子の寸法の違いが工事費全体に及ぼす影響は小さいことがわかる。
- ・ 重ねぶき工法では屋根の断熱性に配慮して、断熱材（グラスウール）を既存と新設の折板間に敷き込むことができる。この費用は工事費全体の約 15% である。

付表 3.2.4 折板ぶきの改修工事費の試算結果

名称	摘要	(各工事費の内訳額)／(工事費の合計額)					
		ふき替え工法			重ねぶき工法		
		F1	F2	F3	K1	K2	K3
1 仮設工事		0.093	0.088	0.087	0.089	0.083	0.082
外部足場組立							
本体足場		0.052	0.049	0.049	0.062	0.059	0.057
垂直ネット		0.017	0.016	0.016	0.020	0.019	0.019
水平ネット	層間ネット別途	0.019	0.018	0.018			
運搬費							
材料荷揚げ・荷降ろし	架け払い	0.005	0.005	0.005	0.006	0.006	0.005
2 解体工事		0.372	0.355	0.350	0.000	0.000	0.000
既存屋根撤去							
撤去作業	既存屋根撤去	0.280	0.268	0.264			
撤去作業	タイトフレーム撤去(溶接解体)	0.049	0.047	0.046			
撤去材荷降ろし		0.005	0.005	0.005			
産業廃棄物処分費							
收拾・運搬費	撤去材約30t+その他材	0.010	0.010	0.010			
中間処理処分費	撤去混廃(既存屋根裏張付想定)	0.026	0.025	0.025			
中間処理処分費	撤去鉄くず	0.001	0.001	0.001			
3 屋根改修工事		0.536	0.556	0.563	0.911	0.917	0.918
主屋根(切妻)							
折板ぶき はげ式	カラーガルバリウム鋼板 0.6mm	0.312			0.427		
折板ぶき はげ式	カラーガルバリウム鋼板 0.8mm		0.343	0.337		0.461	0.452
断熱材	グラスウール 10kg/m ³				0.156	0.147	0.144
タイトフレーム・吊子	亜鉛めっき(吊子長さ150mm)	0.066	0.063				
ケラバフレーム・吊子	亜鉛めっき @1000(吊子長さ150mm)	0.006	0.006				
タイトフレーム・吊子	亜鉛めっき(吊子長さ200mm)			0.076			
ケラバフレーム・吊子	亜鉛めっき @1000(吊子長さ200mm)			0.007			
改修用金具・吊子	亜鉛めっき(吊子長さ150mm)				0.110	0.104	
改修用金具・吊子	亜鉛めっき @1000(吊子長さ150mm)				0.010	0.009	
改修用金具・吊子	亜鉛めっき(吊子長さ200mm)						0.121
改修用金具・吊子	亜鉛めっき @1000(吊子長さ200mm)						0.011
軒先見切面戸	カラーガルバリウム鋼板 周囲コーキング共	0.007	0.007	0.007	0.010	0.009	0.009
水止面戸	カラーガルバリウム鋼板 周囲コーキング共	0.008	0.008	0.008	0.012	0.011	0.011
エブロン面戸	カラーガルバリウム鋼板 周囲コーキング共	0.008	0.008	0.008	0.012	0.011	0.011
棟包み	カラーガルバリウム鋼板	0.009	0.009	0.009	0.012	0.012	0.011
軒先水切	カラーガルバリウム鋼板	0.018	0.017	0.017	0.025	0.023	0.023
ケラバ包み	カラーガルバリウム鋼板	0.015	0.014	0.014	0.020	0.019	0.019
軒樋	塩ビ既製品	0.020	0.019	0.018	0.027	0.025	0.025
現場成形費							
地上成形	労務程度 その他別途	0.044	0.042	0.041	0.060	0.057	0.055
揚重機	屋根葺き用	0.011	0.011	0.011	0.015	0.015	0.014
成型資機材搬出入							
揚重機	各種揚重及びコイル用	0.011	0.010	0.010	0.015	0.014	0.014
合計		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
		F1	F2	F3	K1	K2	K3
(各ケースの工事費の合計額)／(ケースK1の工事費の合計額)		1.210	1.266	1.286	1.000	1.063	1.086

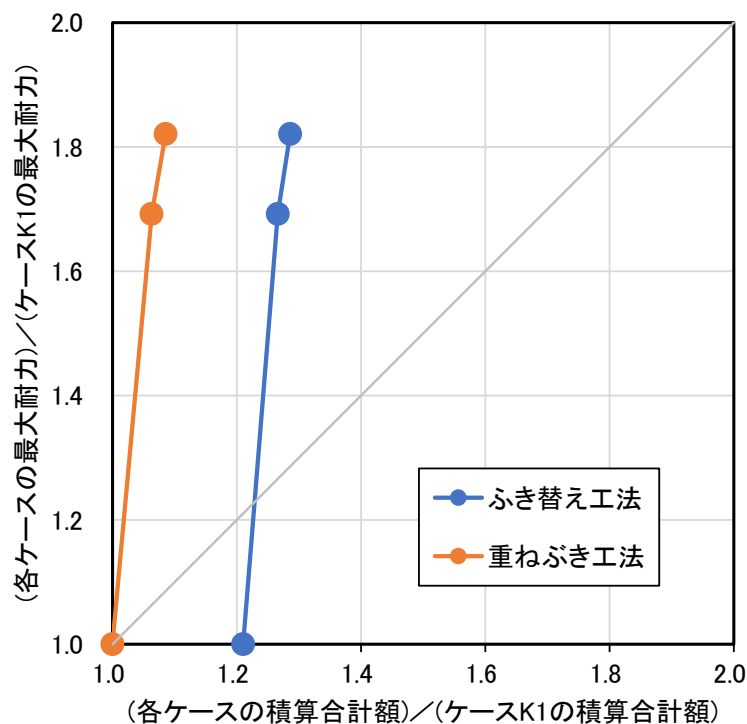
(3) 改修工事費と耐風補強効果との関係

(2)に示した各ケースの試算結果を最大耐力と対応づけることで、改修工事費と耐風補強効果との関係を確認する。付表3.2.5に各ケースの試算結果と最大耐力を示す。各ケースの最大耐力の平均値は、同一仕様の耐力試験結果（第4章の解表4.2.6、付録4）を参照した。ケースF1とK1の仕様は既設屋根の仕様と同一であるが、ケースF2、F3、K2、K3は既設屋根に対して折板材の板厚や吊子の長さを変更した仕様なので耐風性能の向上が期待できるものである。

付図3.2.2に改修工事費が最も小さいケースK1の数値で改修工事費と最大耐力を規準化した結果を示す。同図において上半分の三角形の範囲にあるケースが、ケースK1に対する最大耐力の比率が工事費の比率よりも大きいいため、工事費に対する耐風補強効果が相対的に高いものと解される。例えば重ねぶき工法の場合、ケースK2とK3はK1に対する工事費の比率が約1.1であるのに対して最大耐力の比率が1.7～1.8倍程度となっている。

付表3.2.5 各ケースの試算結果と最大耐力

ケース	ふき替え工法			重ねぶき工法		
	F1	F2	F3	K1	K2	K3
各ケースの改修工事費 のケースK1の改修工 事費に対する比率	1.210	1.266	1.286	1.000	1.063	1.086
最大耐力の平均値(kN)	3.9	6.6	7.1	3.9	6.6	7.1

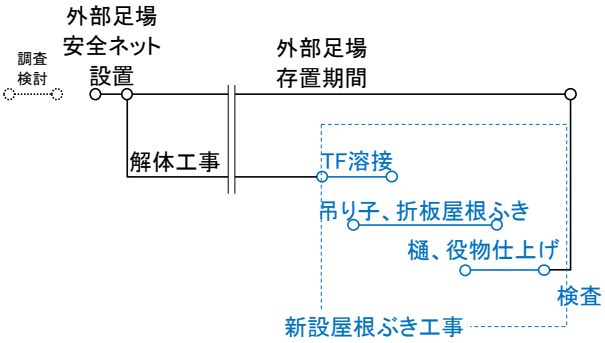
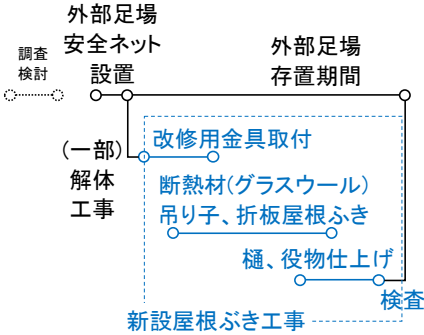


付図3.2.2 各ケースのケースK1に対する改修工事費と最大耐力の比率

(4) 改修工程の流れ

各試算ケースについて、一般的な工程の流れを付表 3.2.6 に示す。

付表 3.2.6 折板ぶき屋根の改修工程の流れ

ふき替え工法（ケース F1～F3）
 天候の変化を見ながら少しずつ既存屋根材の解体作業を進め、並行して新設屋根を追いかけて施工。天候の急変時には雨水が直接屋内に降り注いでしまう恐れに対し細心の注意を払いつつ、人工計画や工期は相当な冗長性を見込む必要があり予測しづらい。したがって、折板のふき替えは稀なケースであるのが実状である。なお、ふき替えにおいて吊り子のみ交換し、既存タイトフレーム（TF）をそのまま用いる場合には、図中の「TF 溶接」の工程はない。
重ねぶき工法（ケース K1～K3）
 折板の重ねぶき工法(カバー工法)の場合では、断熱材を比較的安価かつ容易に追加できるため、断熱材(グラスウール)を敷き込む場合も非常に多い。既存折板屋根が一重ぶきの場合には断熱性能がほぼ期待できないため、改修の機会に断熱性能の向上も併せて要求されるためである。なお、樋、けらば包み、棟包み等の一部の役物の解体工事を行う場合もある。

付 3.3 金属板ぶき

(1) 改修工事費試算の概要

耐風補強の効果とそのコストとの関係を把握することを目的に、金属板ぶきの改修工法を対象にした改修工事費の試算を行った。以下に試算の概要と前提条件を示す。

対象とする金属板ぶきの屋根の規模・形状は、「鋼板製屋根構法標準 SSR2007（日本金属屋根協会・日本鋼構造協会発行）」の設計例 4 に示す鉄骨造体育館の例に準じ、屋根形状を切妻型に変更したうえで、その屋根面積を算定に用いた。既設屋根材と改修時の新設屋根材はいずれも横葺きとした。付表 3.3.1 に対象建物と屋根の概要、付図 3.3.1 に平板ぶき屋根の平面・立面図、付表 3.3.2 に既設／新設屋根材の仕様をそれぞれ示す。新設①は既設の仕様と同じであるが、新設②は屋根材の板厚を 0.35mm から 0.5mm に、働き幅を 300mm から 220mm に変更している。

試算で対象とする改修工法はふき替え工法と重ねぶき工法（カバー工法）とし、付表 3.3.2 に示す新設屋根材との組み合わせに応じて、付表 3.3.3 に示す 6 ケースとした。

付表 3.3.1 対象建築物と屋根の概要

改修対象	既設屋根仕様	屋根面積	屋根形状	屋根勾配
平板ぶき 屋根	横ぶき工法 野地板あり（木毛セメント板）	690 m ²	切妻	30/100

付表 3.3.2 既設／新設屋根材の仕様（単位 mm）

既設／新設	屋根材
既設	SL ルーフ 3 型、厚さ 0.35、幅 300
新設①	SL ルーフ 3 型、厚さ <u>0.35</u> 、幅 <u>300</u>
新設②	SL ルーフ 2 型、厚さ <u>0.5</u> 、幅 <u>220</u>

付表 3.3.3 試算の対象ケース

ケース	改修工法	新設屋根材	下地
F1a	ふき替え工法	新設①	野地板を撤去・更新 (既設の野地板が劣化した状況を想定)
F1b			既設の野地板をそのまま存置 (既設の野地板が健全な状況を想定)
F2		新設②	既設の野地板をそのまま存置 (既設の野地板が健全な状況を想定)
K1	重ねぶき工法 (カバー工法)	新設①	既設の屋根上に野地板を新設
K2a		新設②	既設の屋根上に野地板を新設
K2b			既設の屋根上に力骨を新設

ふき替え工法について、ケース F1a は既設の野地板を撤去・新設し、ケース F1b と F2 は既設の野

107

(2) 改修工事費の試算結果

改修工事費の試算結果を付表 3.3.4 にまとめる。各ケースごとに改修工事費の合計額で内訳額を除いた比率を示した。改修工事費が最も小さいのがケース K1 であった。各ケース間の比較ができるよう、各ケースの改修工事費をケース K1 の改修工事費で除した比率も最下段に示した。試算結果から把握できることは以下のとおりである。

- ・ 野地板を撤去・更新するふき替え工法（ケース F1a）の工事費が最も大きく、ケース K1 の重ねぶき工法の約 1.5 倍となった。重ねぶき工法では、既設のふき材の上に野地板又は鋼製胴縁（力骨）を新設することとなり、既存の野地板を更新しないふき替え工法（ケース F1b、F2）の工事費との違いは小さい。
- ・ 改修工法が同じケース同士で比較すると、新設のふき材の板厚・働き幅の違い（0.35mm@300mm、0.5mm@220mm）による費用の差は 8%程度である。このことから一般に、ふき材の寸法の違いが工事費全体に及ぼす影響は比較的小さい。
- ・ ふき替え工法について、既存部分の解体工事費の工事費全体に占める割合は約 30%となった。
- ・ 重ねぶき工法については、既設の屋根上に鋼製胴縁（力骨）を設けるケース K2b の工事費が最も大きい。

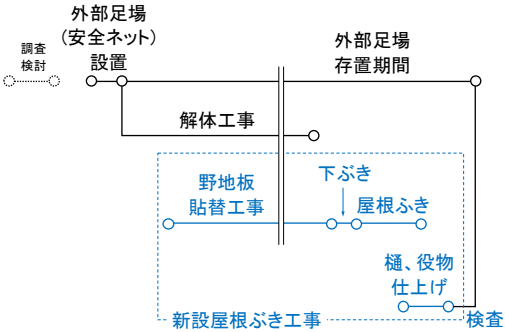
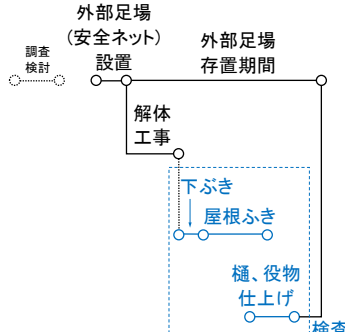
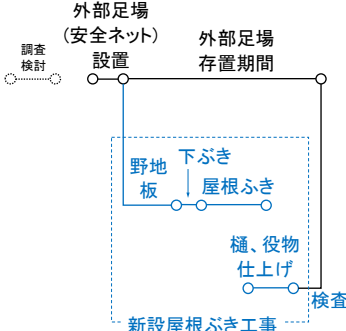
付表 3.3.4 金属板ぶき屋根の改修工事費の試算結果

名称	摘要	(各工事費の内訳額)／(工事費の合計額)					
		ふき替え工法			重ねぶき工法		
		F1a	F1b	F2	K1	K2a	K2b
1 仮設工事		0.123	0.178	0.164	0.161	0.148	0.122
外部足場組立							
本体足場		0.078	0.114	0.105	0.114	0.105	0.087
垂直ネット		0.026	0.037	0.034	0.037	0.034	0.028
水平ネット	層間ネット別途	0.012	0.018	0.016			
運搬費							
材料荷揚げ・荷降ろし	架け払い	0.006	0.009	0.009	0.009	0.009	0.007
2 解体工事		0.301	0.295	0.272	0.000	0.000	0.000
既存屋根撤去							
撤去作業（屋根）	既設 SLルーフ3型 t0.35mm、@300	0.191	0.277	0.255			
撤去作業（野地板）	既設 木毛セメント板 t25mm、ルーフィング含む	0.074					
撤去材荷降ろし（屋根）		0.003	0.005	0.004			
撤去材荷降ろし（野地板）		0.003					
産業廃棄物処分費							
収拾・運搬費	撤去材約4t+その他材（屋根材）	0.007	0.010	0.009			
収拾・運搬費	撤去材約9t+その他材（木毛セメント板）	0.005					
中間処理処分費	撤去鉄くず（屋根材）	0.002	0.003	0.003			
中間処理処分費	撤去混廃（木毛セメント板）	0.015					
3 屋根改修工事		0.576	0.527	0.564	0.839	0.852	0.878
主屋根（切妻）	カラーガルバリウム鋼板						
横ぶき屋根	新設① SLルーフ3型 t0.35mm、@300	0.278	0.404		0.406		
横ぶき屋根	新設② SLルーフ2型 t0.5mm、@220			0.451		0.453	0.373
防湿材	アスファルトルーフィング940	0.017			0.025	0.023	0.019
野地板	硬質木片セメント板 t25mm	0.190			0.276	0.255	0.210
下地	力骨 t=2.3 H=25 @500						0.177
軒先唐草	屋根同材	0.017	0.025	0.023	0.025	0.023	0.019
軒先水切	屋根同材	0.017	0.025	0.023	0.025	0.023	0.019
妻側唐草	屋根同材	0.011	0.016	0.015	0.016	0.015	0.012
妻側水切	屋根同材	0.011	0.016	0.015	0.016	0.015	0.012
棟包み	屋根同材	0.008	0.012	0.011	0.012	0.011	0.009
揚重費							
揚重機（屋根）		0.006	0.008	0.007	0.008	0.007	0.006
揚重機（野地板）		0.006			0.008	0.007	0.006
揚重機（役物・その他）	水切	0.006	0.008	0.007	0.008	0.007	0.006
運搬費							
搬入車両		0.006	0.009	0.008	0.009	0.009	0.007
搬入車両		0.003	0.005	0.004	0.005	0.004	0.004
合計		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
		F1a	F1b	F2	K1	K2a	K2b
(各ケースの工事費の合計額)／(ケースK1の工事費の合計額)		1.457	1.004	1.090	1.000	1.086	1.319

(3) 改修工程の流れ

各試算ケースについて、一般的な工程の流れを付表 3.3.5 に示す。

付表 3.3.5 金属板ぶき屋根の改修工程の流れ

ふき替え工法（ケース F1a）	ふき替え工法（ケース F1b, F2）
 天候の変化を見ながら少しずつ既存屋根の解体作業を進め、並行して新設屋根を追いかけて施工。天候の急変時には雨水が直接屋内に降り注いでしまう恐れに対し細心の注意を払いつつ、人工計画や工期は相当な冗長性を見込む必要があり予測しづらい。	 既存野地板（及びルーフィング）を残存させる。この残存ルーフィングにより改修工事の途中の若干の降雨に対してはほぼ最低限の防水性は保たれる。したがって、これらの改修工法はケース 1 に比べると計画立案しやすい傾向にある。
重ねぶき工法（ケース K1, K2a, K2b）	
 既存屋根ぶき構造をほぼ全て残存させる。この残存屋根ぶき構造により改修工事の途中の若干の降雨に対してはほぼ十分な防水性が保たれる。したがって、これらの改修工法は計画を立てやすい。	

付録4 各屋根ふき材の耐力試験データ

付4.1 粘土瓦ぶき

- ・ 試験方法：瓦屋根標準設計・施工ガイドラインに定める単調引き上げ試験方法
- ・ 試験機関：あいち産業科学技術総合センター 三河窯業試験場
- ・ 試験結果：付表4.1.1のとおり（試験体数は各3体）。

付表4.1.1 粘土瓦ぶきの試験結果

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様(mm)	破壊状況	最大荷重		
			平均値(N/m ²)	標準偏差(N/m ²)	変動係数
(a)	J形防災瓦（全数緊結） スクリュー釘（径2.4mm，長さ65mm） 有効瓦枚数：14枚	釘抜け	3568	220	0.062

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様(mm)	破壊状況	最大荷重		
			平均値(N/m ²)	標準偏差(N/m ²)	変動係数
(b)	J形防災瓦（全数緊結） スクリューねじ（径3.8mm，長さ51mm） 有効瓦枚数：14枚	瓦ツメ破損	5851	361	0.062

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様(mm)	破壊状況	最大荷重		
			平均値(N/m ²)	標準偏差(N/m ²)	変動係数
(c)	J形防災瓦（全数緊結） スクリューねじ（径4.2mm，長さ65mm） 有効瓦枚数：14枚	瓦ツメ破損	6777	905	0.134

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様(mm)	破壊状況	最大荷重		
			平均値(N/m ²)	標準偏差(N/m ²)	変動係数
(d)	F形防災瓦（全数緊結、各1か所） スクリューねじ（径3.8mm，長さ51mm） 有効瓦枚数：14枚	ねじ抜け	3616	90	0.025

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様(mm)	破壊状況	最大荷重		
			平均値(N/m ²)	標準偏差(N/m ²)	変動係数
(e)	F形防災瓦（全数緊結、各2か所） スクリューねじ（径3.8mm，長さ51mm） 有効瓦枚数：14枚	瓦フック破損	4096	231	0.056

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様(mm)	破壊状況	最大荷重		
			平均値(N/m ²)	標準偏差(N/m ²)	変動係数
(f)	S形防災瓦（全数緊結） スクリューねじ（径4.2mm，長さ65mm） 有効瓦枚数：14枚	瓦破損	6042	141	0.023

付表 4.1.1 粘土瓦ぶきの試験結果（続き）

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様 (mm)	破壊状況	最大荷重		
			平均値 (N/m ²)	標準偏差 (N/m ²)	変動係数
(g)	J 形非防災瓦（千鳥緊結） スクリューくぎ（径2.4mm，長さ65mm） 有効瓦枚数：10.5枚	釘抜け	1281	397	0.310

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様 (mm)	破壊状況	最大荷重		
			平均値 (N/m ²)	標準偏差 (N/m ²)	変動係数
(h)	J 形非防災瓦（千鳥緊結・接着補強） スクリューくぎ（径2.4mm，長さ65mm） 有効瓦枚数：14枚	釘抜け	2280	27	0.012

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様 (mm)	破壊状況	最大荷重		
			平均値 (N/m ²)	標準偏差 (N/m ²)	変動係数
(i)	J 形非防災瓦（千鳥緊結・長ねじ（径4.3mm，長さ115mm）補強） スクリューくぎ（径2.4mm，長さ65mm） 有効瓦枚数：14枚	釘抜け	2636	181	0.069

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様 (mm)	破壊状況	最大荷重		
			平均値 (N/m ²)	標準偏差 (N/m ²)	変動係数
(j)	J 形非防災瓦（全数緊結） スクリューねじ（径3.8mm，長さ51mm） 有効瓦枚数：12.5枚	先端部50mm浮上りで停止（ねじ抜けなし）	2672	840	0.314

付 4.2 折板ぶきの接合部

- ・ 試験方法：鋼板製屋根構法標準 SSR2007（日本金属屋根協会他）に定める接合部の引張試験方法
- ・ 試験機関：（一財）建材試験センター中央試験所
- ・ 試験結果：付表 4.2.1 のとおり（試験体数は各 6 体）。

付表 4.2.1 折板ぶきの試験結果

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様(mm)	破壊状況	最大荷重		
			平均値(kN)	標準偏差(kN)	変動係数
(a)	標準工法 折板材：働き幅500，山高162，板厚0.6， 長さ900 吊子：長さ150，板厚1.2	はぜ締め部の開きと折 板材の座屈	3.9	0.6	0.157

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様(mm)	破壊状況	最大荷重		
			平均値(kN)	標準偏差(kN)	変動係数
(b)	重ねぶき工法 既存折板材：働き幅500，山高162，板厚 0.6，長さ900 既存吊子：長さ150，板厚1.2 新設折板材：働き幅500，山高162，板厚 0.8，長さ900 新設吊子：長さ150，板厚1.2	はぜ締め部の開きと折 板材の座屈	6.6	0.5	0.080

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様(mm)	破壊状況	最大荷重		
			平均値(kN)	標準偏差(kN)	変動係数
(c)	重ねぶき工法 既存折板材：働き幅500，山高162，板厚 0.6，長さ900 既存吊子：長さ150，板厚1.2 新設折板材：働き幅500，山高162，板厚 0.8，長さ900 新設吊子：長さ200，板厚1.2	はぜ締め部の開きと折 板材の座屈	7.1	0.5	0.071

付 4.3 金属板ぶき

- ・ 試験方法：鋼板製屋根・外壁の設計・施工・保全の手引き MSRW2014（日本金属屋根協会他）に定める耐風圧性試験方法
- ・ 試験機関：（一財）建材試験センター中央試験所
- ・ 試験結果：付表 4.3.1 のとおり（試験体数は 4 体）。

付表 4.3.1 金属板ぶきの試験結果

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様(mm)	破壊状況	最大荷重の絶対値		
			平均値 (Pa)	標準偏差 (Pa)	変動係数
(a)	横ぶき工法 ふき材：働き幅275, 板厚0.4 鋼製垂木(板厚2.3, 設置間隔400又は500) にねじ留め	嵌合部の開きが進展 後、嵌合部の外れ	8062.5	626.3	0.078

付 4.4 住宅屋根用化粧スレートぶき

- ・ 試験方法：住宅屋根用化粧スレート葺き屋根耐風性能 設計施工ガイドライン（住宅外装テクニカルセンター）に定める試験方法に準ずる。ただし、同試験方法では 150 回繰り返し载荷としているが、最大荷重を確認することから単調引き上げ载荷に変更した。
- ・ 試験機関：ケイミュー（株）奈良テクノセンター
- ・ 試験結果：付表 4.4.1 のとおり（試験体数は各 6 体）。

付表 4.4.1 住宅屋根用化粧スレートぶきの試験結果

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様(mm)	破壊状況	最大荷重		
			平均値(N)	標準偏差(N)	変動係数
(a)	平形屋根用スレート（板厚5.2） 標準工法	ふき材の釘位置で破断	601.0	22.3	0.037

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様(mm)	破壊状況	最大荷重		
			平均値(N)	標準偏差(N)	変動係数
(b)	平形屋根用スレート（板厚5.2） クリップ併用による補強工法	ふき材の釘位置で破断	1004.0	48.6	0.048

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様(mm)	破壊状況	最大荷重		
			平均値(N)	標準偏差(N)	変動係数
(c)	平形屋根用スレート（板厚5.2） 接着による補強工法	ふき材の中央部で破断	2118.9	131.0	0.062

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様(mm)	破壊状況	最大荷重		
			平均値(N)	標準偏差(N)	変動係数
(d)	平形屋根用スレート（板厚5.2） ねじによる補強工法	補強ねじ部で破断	2012.1	109.6	0.054

試験 ケース	試験体の構成材料・仕様(mm)	破壊状況	最大荷重		
			平均値(N)	標準偏差(N)	変動係数
(e)	樹脂繊維混入軽量セメント瓦 重ねぶき工法	アンダーラップ部先端 の破断、又はクリップ の変形を伴う外れ	1286.7	78.4	0.061

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

N o . 1309

February 2025

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675