

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

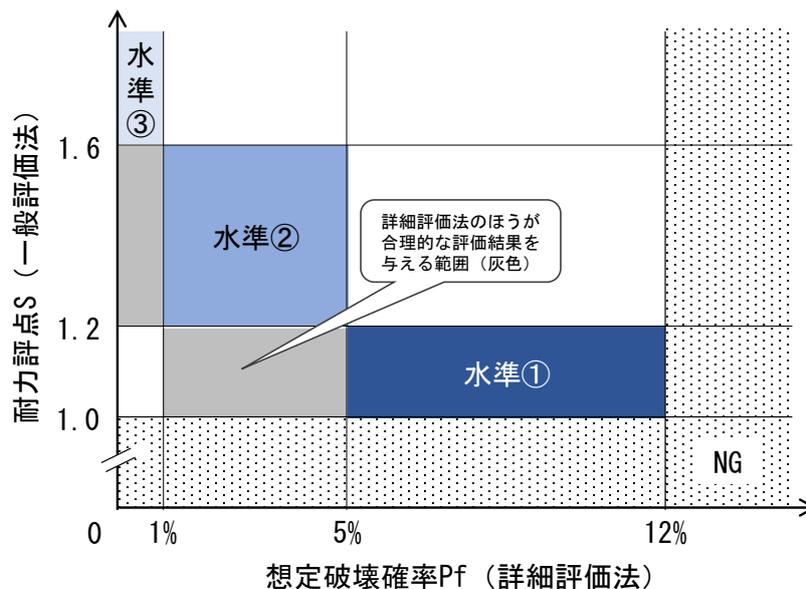
耐風補強評価の方法のうち詳細評価法は、改修工法の最大耐力と風荷重に関する統計値から算定される想定破壊確率に基づき、改修時の耐風補強による性能向上の程度を評価するものである。この評価方法によって、当該改修工法による耐風補強効果が4.1節(2)項で選択した耐風性能水準(①～③)を満たすか否かを確認することができる。

【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

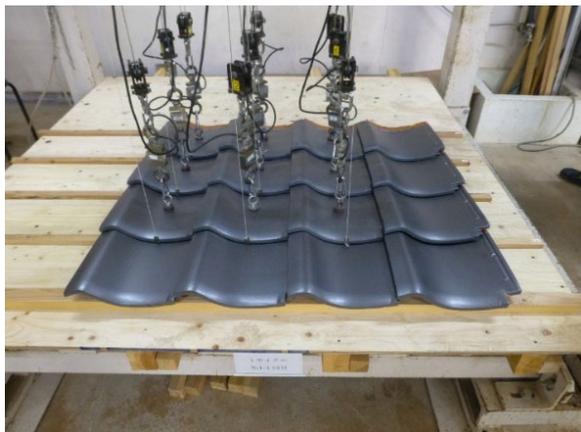
【解説】

(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。

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

(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

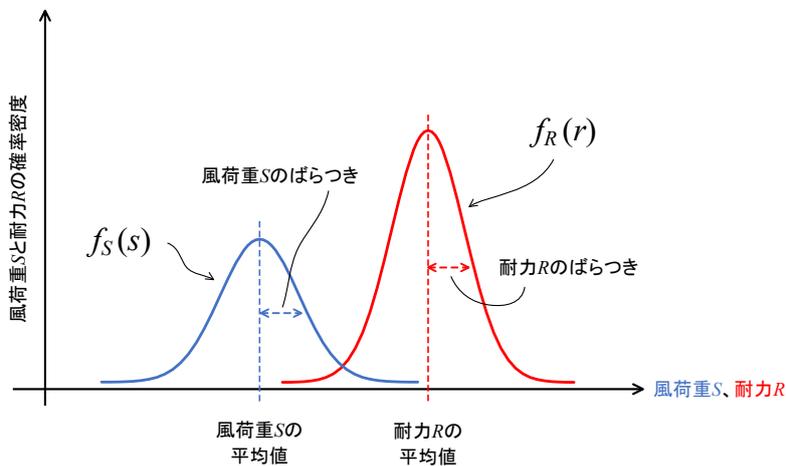
耐風性能水準に対応する指標として、(6.2.3)式で改修工法の想定破壊確率 P_f を定義した。想定破壊確率 P_f は、基準風速から決まる風荷重（再現期間約 50 年）に対して破壊（脱落・飛散等）しうる確率の大小を表す。以下に想定破壊確率 P_f の導出手順を示す^{例えば 6.8)}。

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	a_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	a_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 $a_d=1.0$ （経年部位なし）とした。

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

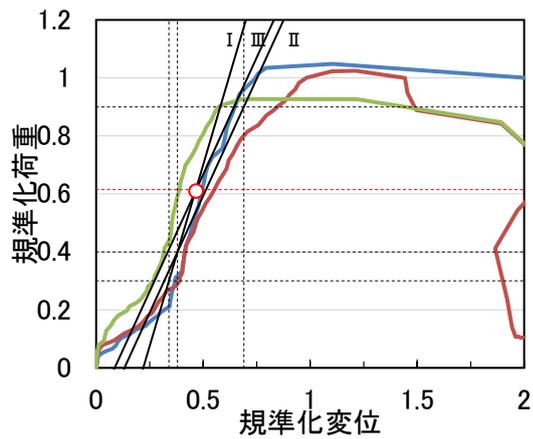
$$P_{fa,(i)} = \Phi \left[-\frac{\ln \left(S_{min,(i)} \frac{\alpha_C}{a} \sqrt{\frac{v_W^2+1}{v_R^2+1}} \right)}{\sqrt{v_R^2+v_W^2}} \right] \quad (\text{解 6. 2. 18})$$

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。

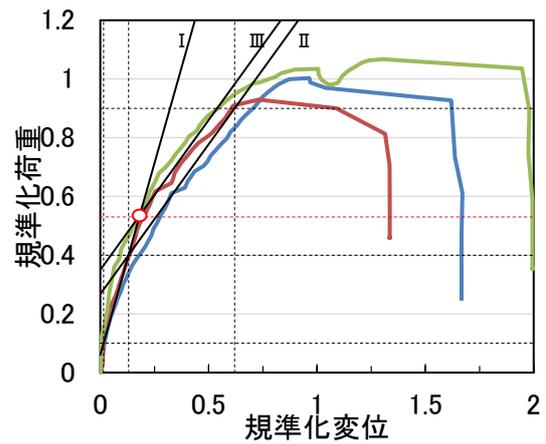
解図6.2.3では縦軸の荷重を最大荷重の平均値、横軸の変位を最大荷重時変位の平均値でそれぞれ規準化した。また、木造耐力壁の短期基準耐力の算出方法^{6.9)}に倣い、降伏耐力に対応する荷重点(各図の赤丸)を求める3直線を併記しているが、(a)粘土瓦(全数緊結)については初期载荷段階で下に凸の性状を示すため、当該方法の「0.1Pmax」を「0.3Pmax」に読み替えて第I直線を引いた。各図に示した赤丸の規準化荷重が低減係数 a に対応するとみなすと、いずれの工法も a は概ね0.6となる。

解表 6. 2. 2 各屋根試験体の耐力試験結果^{6.10)}

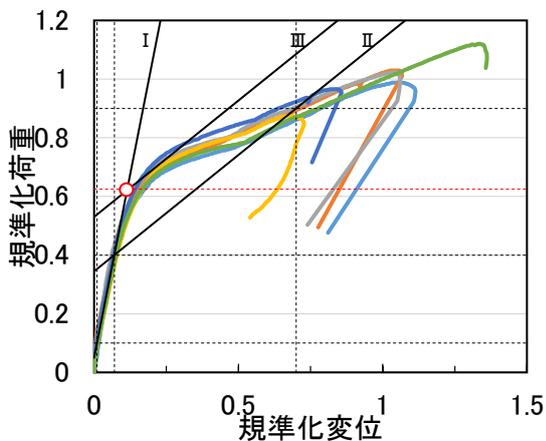
屋根工法	最大荷重		破壊形態
	平均値	変動係数	
(a) 粘土瓦(全数緊結)	3,569N/m ²	0.062	瓦棧木からのくぎ抜け
(b) 粘土瓦(千鳥緊結+長ねじ補強)	2,636N/m ²	0.069	瓦棧木からのくぎ抜け, 長ねじの抜け
(c) 折板屋根接合部	6.6kN	0.080	はぜ締め部の開きと折板材の座屈
(d) スレート屋根	601N	0.037	スレート屋根材の割れ



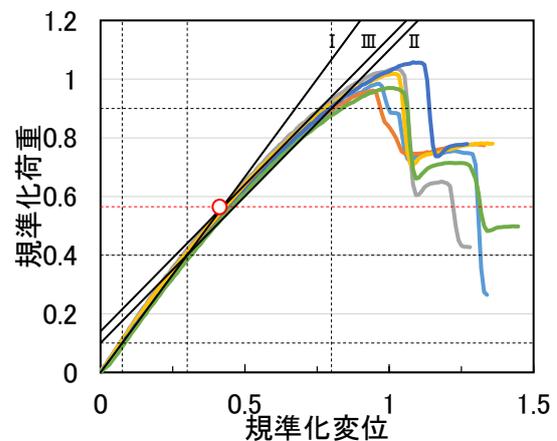
(a) 粘土瓦(全数緊結)



(b) 粘土瓦(千鳥緊結+長ねじ補強)



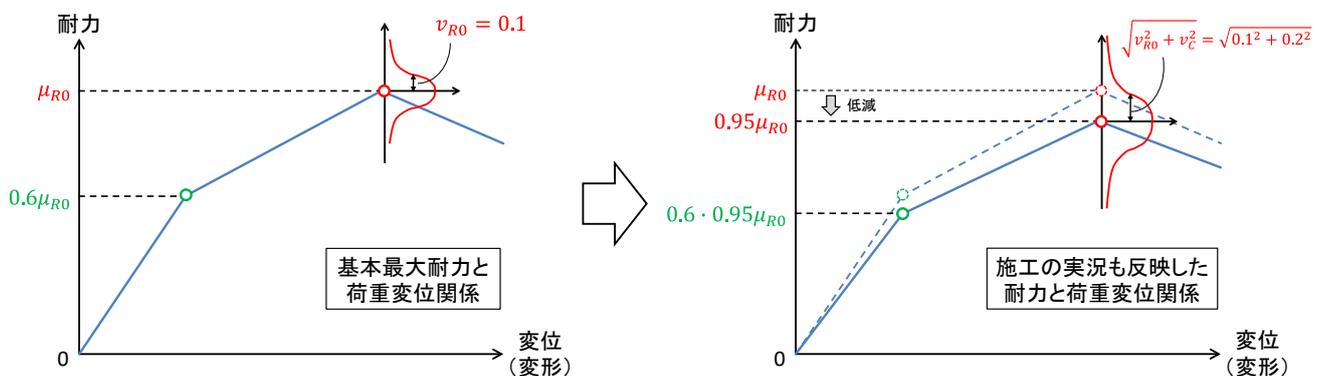
(c) 折板屋根接合部



(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。

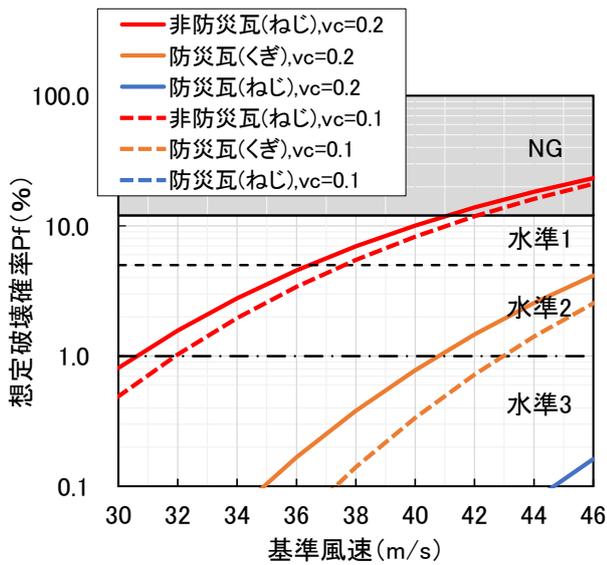
解図6.2.4に想定破壊確率を用いた評価結果、解表6.2.5に基準風速38m/sでの結果一覧を示す。図には耐風性能水準①～③に対応する $P_{fa,i}$ を黒の実線、点線、一点鎖線でそれぞれ併記した。

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、屋根ぶき工法の実況(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。

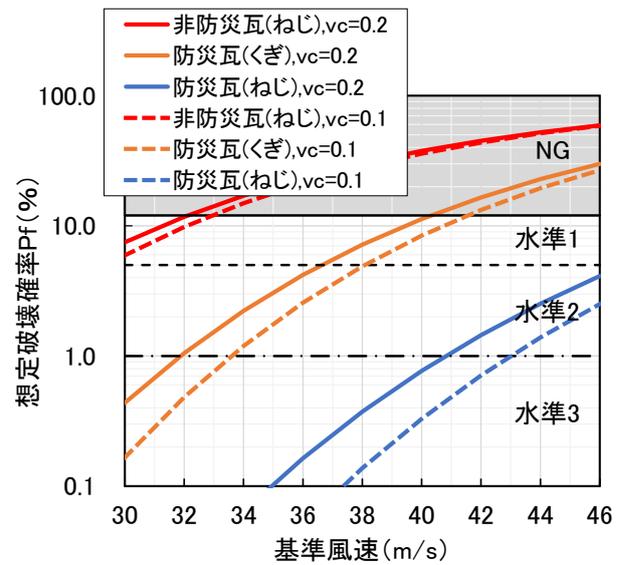
解表6.2.4 粘土瓦試験体の耐力試験結果

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

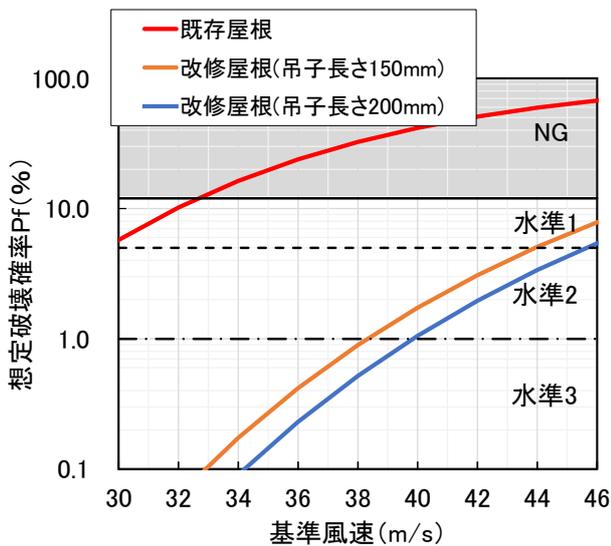
2) 折板ぶき

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。

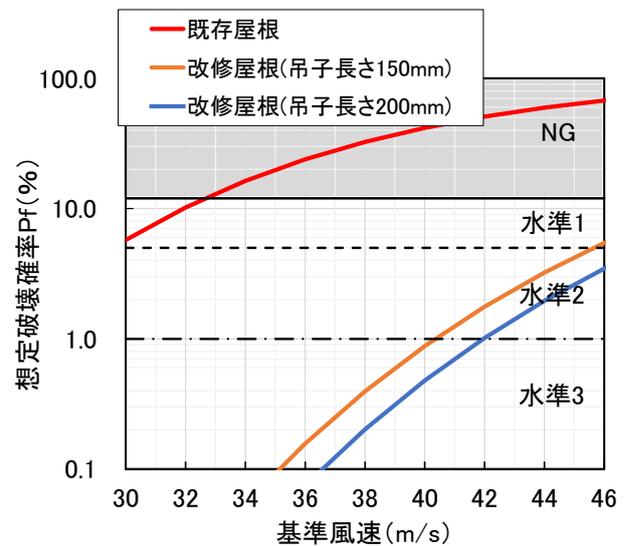
解図 6.2.5 に想定破壊確率を用いた評価結果、解表 6.2.7 に基準風速 36m/s での結果一覧を示す。図には耐風性能水準①～③に対応する $P_{f,a,i}$ を黒の実線、点線、一点鎖線でそれぞれ併記した。基準風速が 36m/s の区域で見ると、既存屋根の耐風性能が NG であるのに対して、カバー工法による耐風補強効果が確認でき、粗度区分Ⅱの改修屋根（折板板厚 0.8mm, 吊子長さ 150mm）について、 $v_c=0.2$ で水準①となるのに対して $v_c=0.1$ で水準②となり、より高い性能水準の評価結果となっている。

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



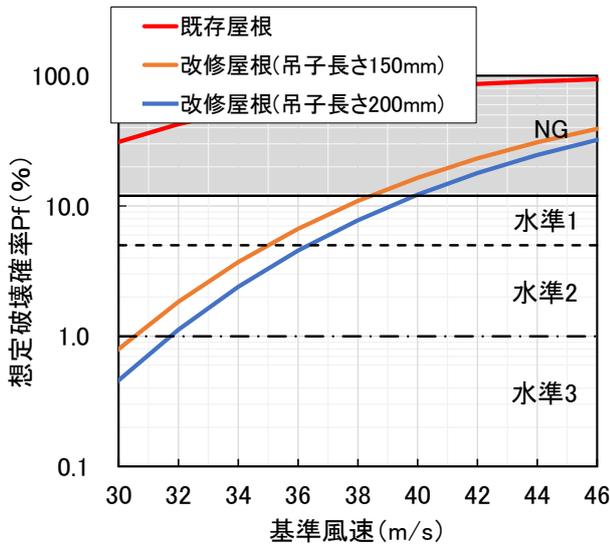
変動係数 $v_c=0.2$
(右記以外の施工)



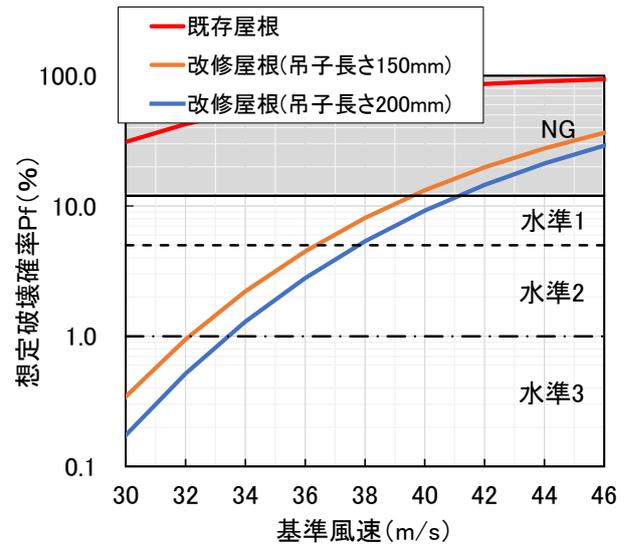
変動係数 $v_c=0.1$
(有資格者による施工)

(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 MSR2014，2014.

- 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，鴛海四郎：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.

