第Ⅴ章 木造住宅外皮の雨水浸入リスク評価方法

雨水浸入リスク評価ＴＧ　委員

主　査　石川廣三（東海大学）
幹　事　宮村雅史（国土技術政策総合研究所、事務局併任）
書　記　大西祥史（NPO 法人 湿式仕上技術センター）
委　員　土居修一（前筑波大学）
西多　致（前東海大学）
齋藤宏昭（前東京大学、現足利工業大学）
近江戸征介（一般社団法人 全国中小建築工事業団体連合会）
金澤光明（NPO 法人 住宅外装テクニカルセンター）
稲垣和宏（NPO 法人 湿式仕上技術センター）
大場喜和（NPO 法人 湿式仕上技術センター）
神谷昭範（全国陶器瓦工業組合連合会）
田中正幹（全国陶器瓦工業組合連合会）
坂根　昇（透湿ルーフィング協会）
西田和生（国土技術政策総合研究所）

本文　目次

（　）内：執筆者

1. 木造住宅の劣化要因としての雨水（石川）……1
1.1 雨水浸入量把握の重要性……1
1.2 劣化要因を形成する水分供給源としての雨量……1
2. 外皮における雨水浸入と移動の経路（石川）……2
2.1 外皮の構成……2
2.2 浸入・移動の経路と形態……3
3. 外皮におよぼす降雨の負荷（西田）……6
3.1 雨・風の基礎資料……6
3.2 屋根面におよぼす降雨の負荷……7
3.3 外壁面におよぼす降雨の負荷……8
3.4 壁面の雨がかり負荷……8
4. 風雨を受ける外装部材表裏の圧力差（大西）……11
4.1 外装材表面に作用する風について……11
4.2 屋根表裏面の圧力差……12
4.3 外壁表裏面の圧力差……16
5. 風雨を受ける外皮表面間隙部からの雨水浸入量の評価方法（石川）……19
5.1 適用……19
5.2 雨水浸入量に関係する要因と浸入の形態……19
5.3 間隙部の流量計算式……20
5.3.1 一般的な部材間隙……20
5.3.2 微細な平行間隙……21
5.4 間隙に供給される雨水の量……22
5.4.1 雨水の流下方向と直角をなす連続した間隙……22
5.4.2 雨水の流下方向と角度をなす連続した間隙……23
5.4.3 雨水の流下方向と平行な連続した間隙……24
5.5 風雨条件に対応した外皮面間隙部からの浸水量の評価……26
5.5.1 風向に応じた評価……26
5.5.2 間隙前後に作用する平均圧力差の推定……26
5.5.3 圧力差および供給水量の変動に応じた評価……27
5.5.4 計算のフロー……28

6. 外皮各部における雨水浸入量の評価例 30
6.1 屋根葺き材重ね部からの浸水量（神谷） 30
6.1.1 はじめに 30
6.1.2 瓦葺き屋根の散水試験による浸入量 30
6.1.3 計算による浸入量 31
6.1.4 平板系屋根葺き材けらば納め部からの浸水量 36
6.2 外皮二次止水層からの雨水浸入（宮村） 38
6.2.1 外皮二次止水層用防水材料の種類と必要性能 38
6.2.2 外皮二次止水層における浸入経路 43
6.2.3 透湿防水シートまくれ部への吹き込み浸入水量の推定 45
6.2.4 しわ発生による止水層重ね部、またはテープ張り合わせ部からの浸入水量の推定 48
6.2.5 各種接合具貫通部からの浸透水量の推定 49
6.3 モルタル外壁ひび割れ部からの雨水浸透量の評価（石川） 54
6.3.1 はじめに 54
6.3.2 ひび割れ部における雨水浸透機構 54
6.3.3 既調合軽量モルタル塗り層のひび割れ部における雨水浸透量および浸透範囲の評価例 . 56
6.3.4 まとめ 58
6.4 サイディング材目地部からの浸水量（金澤） 59
6.4.1 はじめに 59
6.4.2 サイディング材横目地部における雨水浸入量の評価方法 59
6.4.3 サイディング外壁目地部からの雨水浸透量の評価 61
6.4.4 試算結果についての考察 65
6.4.5 まとめ 68

1. 木造住宅の劣化要因としての雨水

1.1 雨水浸入量把握の重要性

第Ⅳ章で述べたように、外皮内の木材の劣化をもたらす水分として主要なものは、浸入雨水と内部結露水である。このうち、結露現象に関しては、これまでの環境工学分野の知見に基づいて、その発生条件と結露水量をある程度評価することが可能である。これに対して、雨水浸入リスクの定量的評価は進んでいない。

木材の水分履歴と劣化の関係については、本報告書、第Ⅵ章「木造住宅の外皮木部の水分履歴に応じた腐朽危険度予測手法」で扱われるが、一定の浸水リスクを考慮した、外皮内の湿気性状予測シミュレーションによれば、外皮の層構成仕様によっては、比較的少量の浸水によっても木部含水率への影響が顕著であることが明らかになっている。[1)] 、精度の良い予測を実現する上で、外皮内各部へ浸入し得る雨水の量および浸入頻度を定量的に把握することが不可欠である。

外皮におよぼす雨水の作用は、その浸入外力の作用および浸入機構・形態に関して、以下に挙げるような特徴がある。

・浸入外力に関する特徴

（1）外皮面に供給される単位時間あたりの水分量が多量である

（2）雨水とともに風が浸入外力として作用する。

（3）浸水発生位置の雨がかりと流下水量に外皮面の形態や寸法が関係する。

・浸入の機構、形態に関する特徴

（1）浸入量は浸水外力の大きさと浸入口の形状・寸法条件の両面が関係する。

（2）雨水浸入・移動の経路や形態が外皮の構成に応じて多様で複雑である。

（3）浸入や滞留が生ずる位置が集中的である。

（4）浸入雨水は直接木部を湿潤させる他、外皮内での滞留・保持により水蒸気発生源となる。

そのため、雨水浸入による外皮内木部の劣化リスクは、浸水が生じると局部的に木部の著しい湿潤が生じ得ること、降雨中だけでなく、降雨後にも影響が続くことから住宅の耐久性上極めて重要性が高く、また、風雨の環境および外皮の形態による差が大きいこと、外皮構成の諸要因が複雑に関係することがその評価を難しくしている。

1.2 劣化要因を形成する水分供給源としての雨量

表 1.1 に、建物外皮構成部材の数例について、単位面積あたり質量と 24 時間吸水量の概算値を示す。一方、雨量は地域性や季節変動が著しいが、1 日で数十 mm に達することは珍しくない。壁面が受ける雨量（以下、壁面雨量）は同一雨量でも風速で変わるが、強風雨時には水平面雨量と同程度に達する。雨量 1mm は受水面積あたりの水量として 1kg/m^2 に相当するため、表 1.1 の部材の吸水量と比較すると、雨水が外皮構成部材の劣化要因としての水分の供給源として著しく大きな存在であると言い得る。

もちろん、外皮には各種の防水措置が施され、雨水の全量が各部材に直接達するわけではない。また、降雨の合間は吸収された水分が乾燥する条件となる。しかし、後述するように、外皮には極めて多くの雨水の浸入と移動を許す経路が存在しており、これらの経路から外皮内部に達した雨水が適切に排出されず、また、乾燥が妨げられて長期間滞留することにより、内部部材の劣化環境の形成につながる危険が無視できない。

表 1.1 各種外皮構成部材の 24 時間吸水量概算値

部材	葺き枚数（枚/m^2）	1枚の質量（kg）	外皮1m^2あたり体積(m^3)	密度(kg/m^3)	外皮1m^2あたり質量(kg)	24hr吸水率＊（%）	24hr吸水量（kg/m^2）
陶器瓦F形	12.1	3.7	—	—	44.77	5.8	2.6
いぶし瓦J形	16	2.9	—	—	46.4	9.8	4.5
住宅屋根用化粧スレート	6.1	3.4		1740	20.74	8.7	1.8
野地合板厚12mm	—	—	0.012	500	6	8～10	0.5～0.6
コンクリート壁体厚180mm	—	—	0.18	2200	396	3.8	15.0
既調合軽量モルタル厚16mm	—	—	0.016	1200	19.2	10	1.9
窯業系サイディング厚16mm	—	—	0.016	1100	17.6	5～35	0.9～6.2
構造用面材（合板厚9mm）	—	—	0.009	500	4.5	10～13	0.5～0.6
グラスウール16k厚100mm	—	—	0.1	16	1.6	40	0.6

＊ 24時間吸水量データは実測および文献値、吸水条件：合板、コンクリート、既調合軽量モルタルは一面吸水、その他は浸漬。

2. 外皮における雨水浸入と移動の経路

2.1 外皮の構成

住宅の屋根、外壁の雨水浸透に関わる部分の層構成は、単純化すると図 2.1 のように、仕上げ層、仕上げ支持層、二次止水層、下地層からなる。

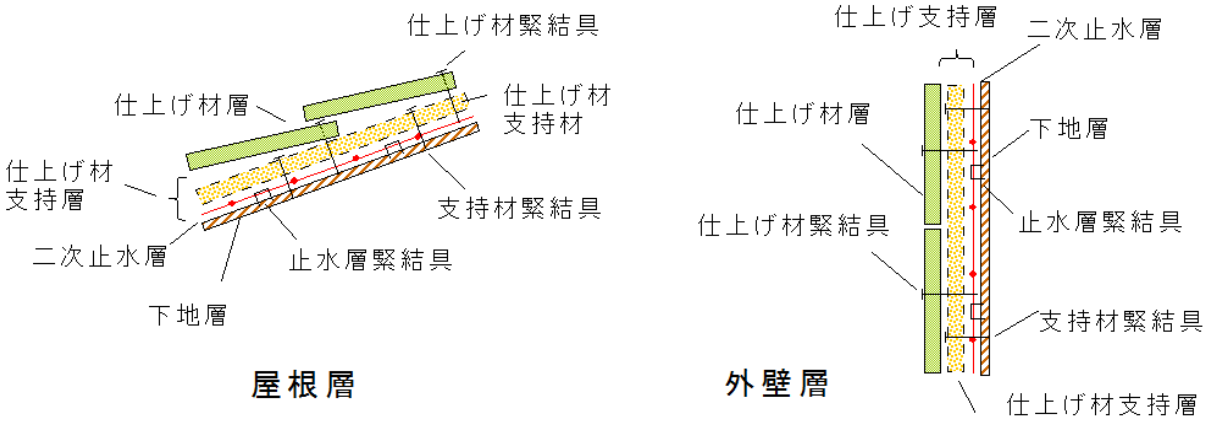


図 2.1 外皮の基本的構成

実際にはこれらの層の形態、寸法は材料種別や構法によって多様なバリエーションがある。また、各層の部材は緊結具によって直接、または下層の部材を介して間接的に躯体に支持される。

2.2 浸入・移動の経路と形態

雨水は屋根層、外壁層の仕上げ層、仕上げ支持層、二次止水層に存在する隙間、あるいは部材自体を透過して、最終的に下地、あるいは躯体に到達して木部の劣化環境を形成する。また、屋根層、外壁層は端部や中間部（たとえば開口部）で他の部材と取り合い、この取り合い部に生ずる隙間もしばしば雨水の浸入経路となる。

表 2.1 住宅外皮で想定される主要な雨水の浸入・移動経路

部位		浸入・移動の経路		
		仕上げ層からの浸入	仕上げ支持層内の移動	二次止水層からの浸入
屋根		瓦、スレートの重ね部	下葺き材上面	葺き材緊結具（釘、ビス）貫通孔
		金属板のハゼ部	瓦桟木上縁	支持材緊結具（釘）貫通孔
		葺き材緊結材用孔	スレート上縁	下葺き材固定具（ステープル）貫通孔
		葺き材の破損部		下葺き材重ね部隙間
		葺き材ー納まり役物の隙間		下葺き材損傷部
		葺き材ーPV固定金物の隙間		PV固定金物緊結具貫通孔
外壁	湿式外壁（直張り構法）	モルタル中の細孔	モルタル層と防水紙の肌離れ部	ラス固定具（ステープル）貫通孔
		貫通ひび割れ		防水紙固定具（ステープル）貫通孔
				防水紙の重ね部
				防水紙損傷部
	乾式外壁（通気構法）	サイディング相じゃくり目地	サイディング裏面	防水紙固定具（ステープル）貫通孔
		サイディングシール目地の欠損部	防水紙表面	胴縁緊結具（釘）貫通孔
		通気層下端の開口	縦胴縁表面	サイディング留め金物緊結具（釘、ビス）貫通孔
			横胴縁上縁	防水紙の重ね部
				防水紙損傷部
				防水紙下端のめくれ部分
	開口部まわり	外壁仕上げーサッシ枠の隙間	サッシ上枠上面	防水紙ー防水テープの接着不完全部
		外壁仕上げー配管、配線貫通部の隙間	サッシ縦枠側面	サッシ枠ー防水テープの浮き部（枠突起部、ビス頭）
			サッシ下枠下面	防水紙ー防水テープ張り合わせ面しわによる浮き部分
			配管、ダクトの表面	防水紙の配管、配線貫通部の隙間
	その他	幕板、役物等取り付け金物貫通孔		金物固定釘貫通孔
屋根ー外壁取り合い		雨押さえー葺き材の隙間	捨て谷板上面	防水紙下端のめくれ部分
		雨押さえー外壁材の隙間	捨て谷板下端と外壁材の隙間	壁防水紙と屋根下葺き材の逆重ね部
		けらば包み、棟包み板と外壁材の隙間（軒O納まり）		下葺き材コーナー部立ち上がりピンホール
		軒天井ー外壁仕上げの隙間		
バルコニー	手すり壁・笠木	笠木継ぎ手	防水紙、鞍掛シート上面	笠木取り付け金物緊結具（釘）貫通孔
		笠木と外装材の隙間	サイディング裏面	防水紙三面交点のピンホール
			胴縁表面	
			防水紙層表面	
	防水層	防水層のひび割れ	ー	ー
		立ち上がり端末シール目地の欠損部		

表 2.1 に実際の住宅外皮で問題となる主要な雨水の浸入・移動経路を、部位、構法、位置別に整理して示す。外皮の各部に極めて多様な経路が存在することが分かる。

外皮各部で生ずる雨水の浸入・移動の形態も、隙間の形態や構成部材等により様々である。表 2.2 に主要な浸入・移動の形態と該当する部位を要約して示す。

表 2.2 外皮における雨水の浸入・移動の形態

雨水の浸入・移動形態	発生部位
圧力差による間隙への圧入・透過	屋根葺き材間隙、壁材目地間隙、ひび割れ、各種部材取り合いの開口
間隙水膜内の圧入気流、透過気流による水滴の飛散、吹き上げ	通気層下端開口、外壁—雨押さえの間隙
毛細管現象による浸透	平板形屋根材重ね部、壁材目地間隙、ひび割れ、密着した部材の間隙
雨滴、跳ね返り雨水の運動エネルギーによる吹き込み	屋根葺き材間隙、防水層端部
流下水の運動エネルギーによる回り込み	屋根材—けらば役物間隙、捨て谷下端、防水紙水みち、サッシ枠垂直面、下面
材料細孔内への吸水	多孔質壁材の表面、未塗装の小口面、ひび割れ内面
圧力差による材料細孔内の透過（材料の透水）	多孔質の壁材、仕上げ塗り層
滞留水の水頭圧による浸透	防水紙の各種貫通孔
流下水のせき止めによる横方向移動	瓦桟木、スレート上縁、埃の堆積部
雨水で湿潤した仕上げ材層から放散した水蒸気の透過	透湿防水紙

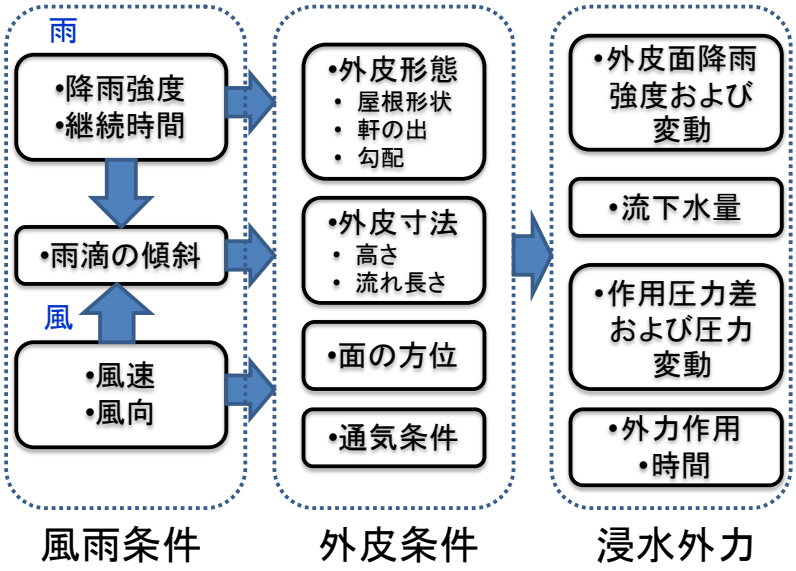


図 2.2 住宅外皮の浸水外力

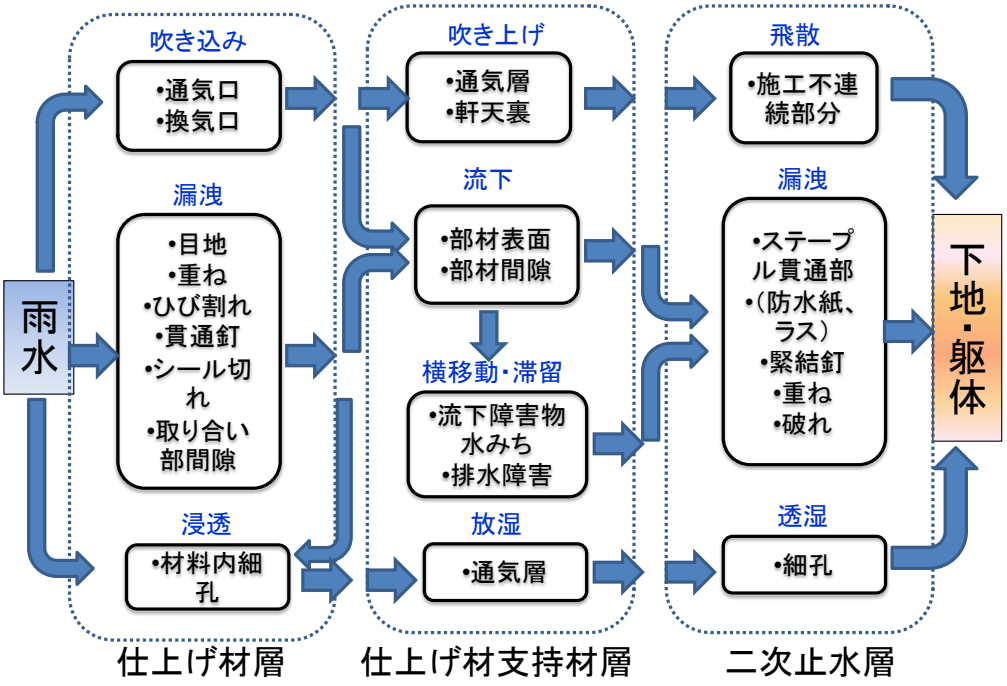


図 2.3 木造住宅外皮内における雨水の移動

図 2.2 に、住宅外皮面に作用する浸水外力、図 2.3 に外皮内部の雨水の挙動を模式的に示す。これらの図において、浸水外力、および仕上げ層における浸水現象については、既往の知見に基づいてある程度の精度で定量的に評価することが可能である。

本章第 3 節、第 4 節においては降雨および風のそれぞれについて、浸水外力の評価方法について述べる。第 5 節では、外装仕上げ材の一般的な間隙部からの雨水浸入量の評価方法を提案する。

一方、外装材支持層における浸入雨水の移動、および二次止水層における漏洩のリスクに関しては構法の多様性、施工要因等による不確定要素に影響される部分が多く、実態調査と個別のリスク構成要素に関わる再現実験が主な評価手段になるが、これらについては部分的に解明されているだけで、今後の知見の蓄積に待つ部分が大きい。

これまで、外皮構成部材について相当数の防水性試験が行われているが、その中で浸水量を評価している例は少ない。本章第 6 節ではいくつかの具体的外皮構造を対象として、浸水量を評価した事例を示す。

引用文献

1) 齋藤宏昭：漏水を考慮した勾配屋根の湿気性状に関する研究（その 3） 予測モデルの概要と野地板含水率の試算、日本建築学会大会学術講演梗概集（環境Ⅱ）、2013

3. 外皮におよぼす降雨の負荷

3.1 雨・風の基礎資料

外力としての雨風を考える場合、気象庁の観測値を参考にすることになる。地域差を配慮するとともに想定される事象の時間にあった観測値を利用する必要がある。

このため、研究課題の一つとして外皮からの雨水浸入をもたらす外力を的確に評価するための基礎資料整備を取り上げ、全国 153 地点の気象庁測候所における 10 年間の気象観測記録に基づいて、降雨の強さ、頻度、継続性、降雨と風の強さ別出現頻度、壁面雨量計算値の極値に関する 10 項目のデータベースを構築した。このデータベースは、PDF ファイルで記載されており、この国総研資料の web 上からダウンロードすることが可能である。なお、製本ではデータベースを収録した CD を添付する。

また、代表地点として東京に関するデータベースの雛形を、関連報告に収録している。

一例として表 3.1.1 に東京の降水量と風速の極値を、表 3.1.2 に全国の極値を示す。東京と全国の極値では異なっているし 1 時間の降水量は 10 分間の 6 倍よりはかなり少ない。また、風速については高台など局地的な建物の立地によっても建物各部に想定される風速が異なる。

風を伴った雨については、落下する角度や風との同時性を考慮する必要がある。落下速度 Ur の雨は、十分な高さから落下する場合には水平方向には風 Uw と同じ速さで移動すると考えられるので、雨滴の落下する角度 θ との関係は、$\tan\theta = Ur / Uw$　と考えられる（図 3.1.1）。

雨滴の落下速度については、雨滴の半径が 0.1mm より小さい場合は空気の粘性の影響を強く受けるので落下速度は「 半径の 2 乗に比例」して変化する。半径が 0.7mm 以上では球状の物体の自然落下ととらえ「半径のルートに比例」する。また、2mm 以上となると、空気抵抗により水滴がゆがんで球形ではなくなるのでこの関係よりも幾分遅くなるといわれている。表 3.1.3 に雨滴の半径ごとの落下速度を示す。微細な水滴は落下速度が小さいことから通気口や通気層の微弱な気流でも落下せずに気流とともに流れ込む。

東京における雨量別の風速の超過頻度を、図 3.1.2 に例示する。

表 3.1.1 東京の降水量と風速の極値

日最大10分間降水量	35mm	日最大風速・風向	31.0m/s 南
日最大1時間降水量	88.7mm	日最大瞬間風速・風向	46.7m/s 南

表 3.1.2 全国の降水量と風速の極値（富士山を除外）

日最大10分間降水量	50mm(新潟 室谷)	日最大風速・風向	69.8m/s西南西(高知 室戸岬)
日最大1時間降水量	153mm(千葉 香取)	日最大瞬間風速・風向	85.3m/s 北東(沖縄 宮古島)

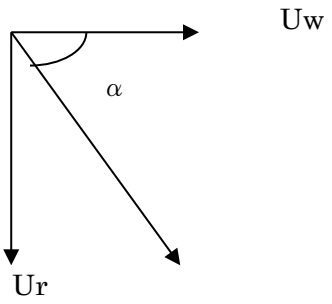


図 3.1.1 雨滴の落下する角度

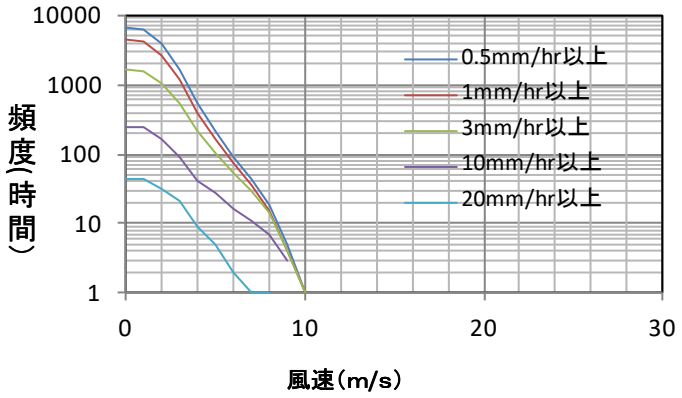


図 3.1.2 東京における雨量別の風速の超過頻度（10 年間）

表 3.1.3 雨滴の落下速度

水滴直径 (mm)	終端速度 (cm/sec)	水滴直径 (mm)	終端速度 (cm/sec)	水滴直径 (mm)	終端速度 (cm/sec)	水滴直径 (mm)	終端速度 (cm/sec)
0.01	0.3	0.30	115	1.80	609	4.0	883
0.02	1.2	0.40	160	2.0	649	4.2	892
0.03	2.6	0.50	204	2.2	690	4.4	898
0.04	4.7	0.60	246	2.4	727	4.6	903
0.05	7.2	0.70	286	2.6	757	4.8	907
0.06	10.3	0.80	325	2.8	782	5.0	909
0.08	17.5	0.90	366	3.0	806	5.2	912
0.10	25.6	1.00	403	3.2	826	5.4	914
0.12	34.5	1.20	464	3.4	844	5.6	916
0.16	52.5	1.40	517	3.6	860	5.8	917
0.20	71	1.60	565	3.8	872	1013mb,20℃	

本データベースは建築物の防雨計画および耐久計画全般に有用なものと考えているが、具体的な活用例として、本章第 4 項「風雨を受ける外装部材表裏の圧力差」、第 5 項「風雨を受ける外皮表面間隙部からの雨水浸入量の評価方法」において、外皮面各部に作用する雨水の量および風圧力の評価を行う際の基礎資料とすることができる。なお、本章第 6 節ではいくつかの具体的外皮構造を対象として、浸水量を評価した事例を示しているので、参考とされたい。

3.2 屋根面におよぼす降雨の負荷

図 3.2.1 において、風を伴った雨が勾配 θ の屋根に落下する場合、屋根面に対する降水量は、水平面降水量を Ph、雨滴の落下角度を α とすると　Ph（cosθ＋sinθtanα）となる。風向が流れ

方向からδだけそれているときはcosδ倍と小さくなる。風が強くなることに伴って屋根面の降水量は増加することになる。屋根面の流下水は上部の降水量の累計となる。また、外壁に取り付いた下屋の場合風を伴った雨の場合には外壁面を流下してくる水量も合わせて計算する必要がある。

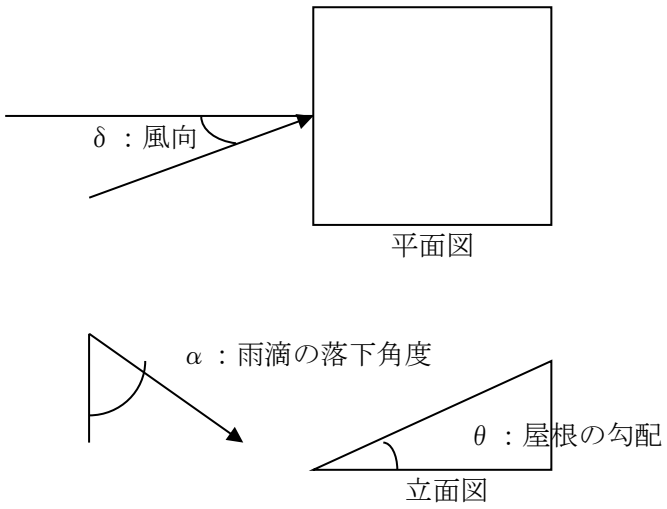


図 3.2.1 風を伴った雨と屋根面の降水の関係

3.3 外壁面におよぼす降雨の負荷

外壁面の降水量は、風を伴った雨が外壁面に正面から当たる場合、Ph/tanα となる。風向が正面からδずれている場合は、cosδ を乗じた値に小さくなる。実際の壁で行われた観測結果では、風は建物にあたって回り込むので風がすり抜けていく壁の周辺で多くなる傾向がある。

3.4 壁面の雨がかり負荷

壁面からの雨水浸透および壁体の隙間部からの雨水浸入現象には壁面雨量が関係するため、壁面各部における雨水浸入リスク、外皮構成部材の水分に起因する劣化リスクを定量的に評価するためには壁面各部の雨がかり程度を建物の立地や壁面の諸条件に応じて評価する手法が必要である。壁面に衝突する雨滴の挙動には雨滴の寸法、風速、風向、壁面の形状・寸法などが複雑に関係し、壁面の雨がかりは敷地の風雨条件、壁面の方位、軒や庇の出寸法、壁面内の位置によって大きく異なる。

壁面雨量と風雨条件の関係、および壁面内の分布については 1960 年代から国内外で多くの実測例がある[3)]、近年では建物周辺気流内の雨滴の挙動を理論的に解析して建物外面に達する雨滴の分布状況を厳密に求める手法の開発が進んでおり[4, 5)]、特定の風雨条件、壁面の条件に応じて壁面各部の雨がかり性状を詳細に把握出来るようになっている。しかし、この手法は甚大な計算労力を伴うと共に、個別の建築物への適用に限られ，普遍的な応用性を欠く。

石川は壁面に実質的な濡れをもたらす雨滴の傾斜角に関する研究成果[6)]、および壁面雨量の対水平面雨量比とその面内分布に関する既往の知見[7, 8)]に基づいて、一定期間内の毎時の降雨

量、風速、風向のデータを用い、小規模単純形状壁面内の雨がかり分布の概略値を軒の形状・寸法に応じて簡易に算定する手法を開発した。[9)]

図 3.4.1、図 3.4.2 は本手法による算定例を示す。軒の出寸法、壁面方位による壁面各部の雨がかりの差が明確に表れている。

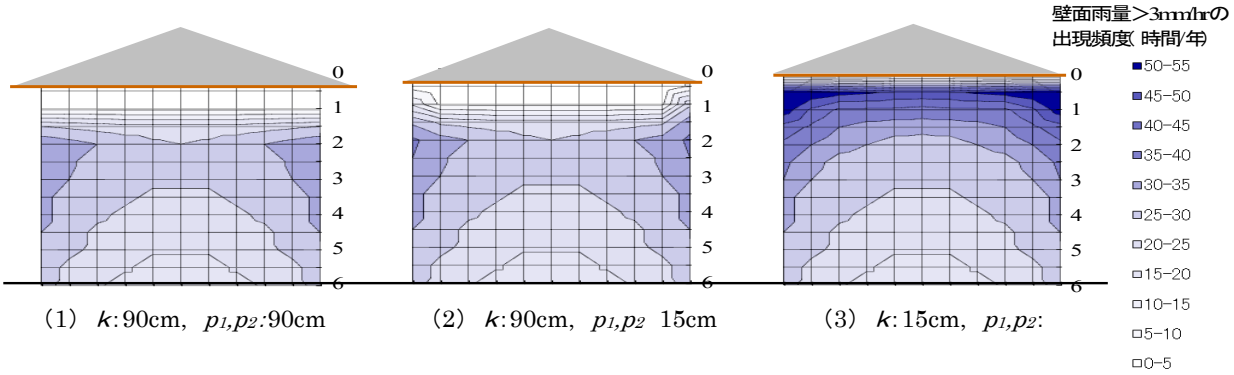


図 3.4.1 軒の出寸法による雨がかり分布の相違
（東京 2004 年，北壁面，寄棟屋根，屋根勾配 20°）
ここで、*k*:壁面に直角の軒の出、*p1*，*p2*：壁面の左右方向の軒の出

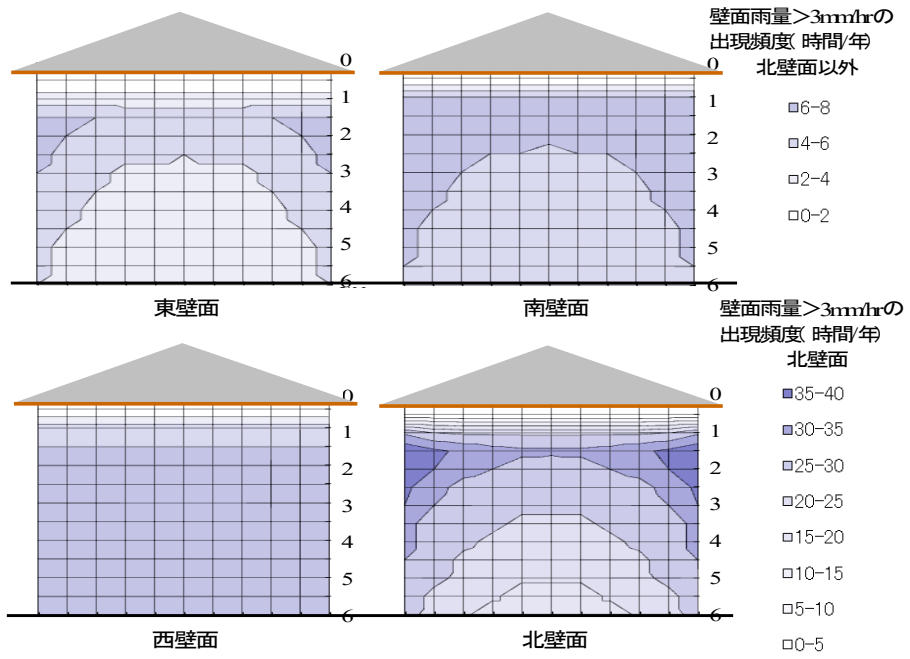


図 3.4.2 方位による雨がかり分布の相違
（東京 2004 年，寄棟屋根，軒の出寸法：*k, p1, p2* とも 60cm，屋根勾配 20°）

この手法によれば、住宅敷地の風雨条件、壁面方位、屋根の形状や軒の出寸法に応じて壁面各部の受ける雨量の推定が可能であり、浸水外力の評価上有用と考えられる。

引用文献

1）雨仕舞の仕組み　基本と応用、石川廣三、2004 年 5 月

2）教養の気象学、日本気象学会教育と普及委員会編 1982 年 1 月

3）Lacy, R. E.：Driving rain maps and the onslaught of rain on buildings. Proc. of CIB/RILEM Symposium on Moisture Problems in Buildings, Paper 3-4, Helsinki, 1965

4）Choi, E. C. C.：Simulation of wind-driven-rain around a building. J. Wind Eng. & Ind. Aerod. Vol. 46 and 47,　pp. 721-729, 1993

5）Blocken, B., Carmeliet, J.：Spatial and temporal　distribution　of driving rain on a low-rise building, Wind Struct. 5, 5 pp.441-462, 2002

6）石川廣三，橋本　佳大： 壁面に衝突する雨滴の傾斜角の推定－外壁面におよぼす雨がかり負荷の評価に関する基礎的研究－日本建築学会構造系論文報告集、611 号,pp.13-20, 2007

7）Blocken, B., Carmeliet, J., The influence of the wind-blocking effect by a building on its wind-driven rain exposure.，Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 94（2）, pp.101-127, 2006.

8）Blocken, B., Carmeliet, J., On the validity of the cosine projection in wind-driven-rain calculations on buildings. Building and Environment 41（9）, pp.1182-1189, 2006

9）石川廣三：軒の形状・寸法に応じた外壁面内の雨がかり分布の算定方法、日本建築学会構造系論文集 664 号, pp.1069-1075, 2011

4. 風雨を受ける外装部材表裏の圧力差

4.1 外装材表面に作用する風について

3節で述べた通り、雨水浸入発生する要因は、外装材に作用する風の強さが重要である。風は、気圧の差によって生じる自然現象だが、その地域の地形や建物などの影響を大きく受ける。風の種類を以下に挙げる。

【地域性による風（地方風）】

1. からっ風
2. 春一番
3. 木枯し
4. 六甲颪
5. やませ
6. 海陸風

【地形による風】

1. 高台の吹き上がりの風、
2. 高層ビルの周辺の狭い範囲に発生するビル風

【気象による風】

1. 台風
2. 竜巻

外装材の間隙部からの浸水に関係する風の主な作用として以下の3つが考えられる。

①雨滴に水平方向の力を与え、外装材間の比較的大きな開口部から浸入しやすくする。

②屋根面上の流下水を停滞させ、局部的に流層厚を増大させるとともに、水膜から飛沫を発生させ、①の雨滴と同様の作用をもたらす。

③外装材間の比較的密着した開口部を塞いだ水膜に局部的な正圧を作用させ、隙間に押し込む。

彰国社発刊の「雨仕舞のしくみ」[1)] の論説に「風雨の同時性」が掲載されている。図4.1.1は、壁面が雨を受ける風向範囲に限定して風速の超過頻度（東京）を調べた結果である。東京では最も頻度が高いのは北面で、南面が最も低くなっており、時間雨量10mm以上において平均風速が10m/sを超えるのは5年間で最大10回（北面）、東面や南面では平均風速が10m/sを超えることが報告している。

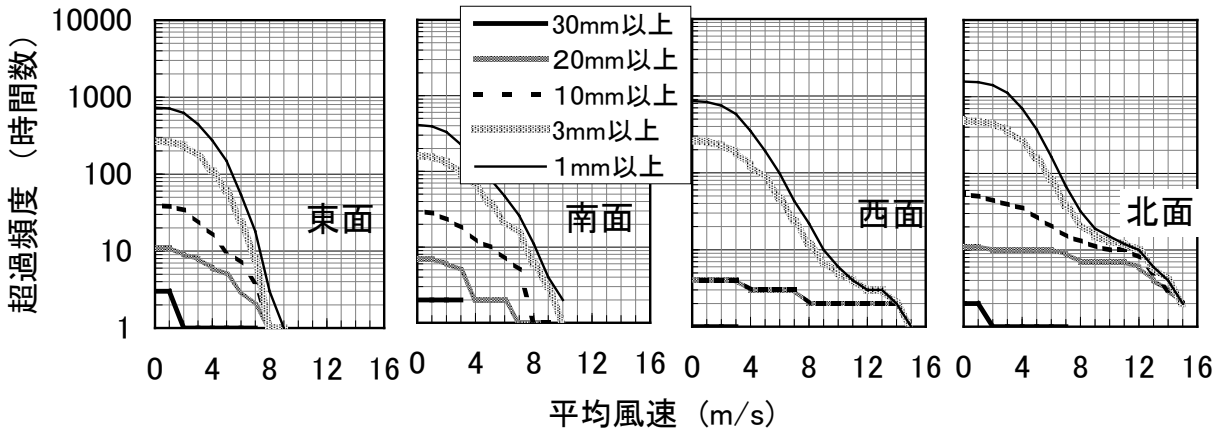


図4.1.1 壁面方位別風向範囲における降雨時平均風速の超過頻度（時間数／5年間）

東京（１９９６～１９９９）

4.2 屋根表裏面の圧力差

外皮面間隙部前後の空気の圧力差は主に風圧力によってもたらされる。風圧力は建物外表面で正圧になったり、負圧になったりする。雨水浸入で問題なのは隙間の入り口側の圧力が出口側より高い条件、つまり正圧が作用する位置が雨で濡れる場所ということになる。雨が濡れる場所と隙間のどの位置に存在するかと絡むと、風雨により外皮が受ける漏水リスクに大きな影響を生むことになる。

石川[2)]は、瓦葺きについて、送風装置による風速30m/s時の2/10・4/10・10/10勾配における防水試験の結果から、葺材表面と葺材裏面に対する圧力差をそれぞれ15.7・21.6・25.8　kgf/m^2、スレート葺きについて、送風装置による風速30m/s時の2.5/10と5/10勾配における防水試験の結果から、葺材表面と葺材裏面に対する圧力差をそれぞれ9.2と16.3 kgf/m^{2}と報告している。

伊藤ら[3)]は、銅板葺きについて、送風装置による風速35m/s時の2/10勾配における防水試験の結果から、葺材表面と葺材裏面に対する圧力差を8kgf/m^{2}であったと報告している。

屋根の最大風速時の差圧係数（Cc-Ce）を算出したのが、表4.2-1である。

差圧係数が大きいと屋根材表面とその裏面の圧力差が大きいことになり、雨水浸入リスクが高いことになる。銅板葺き屋根は最も圧力差が低く、雨水浸入しにくい屋根材であることがわかる。その次にスレート瓦、粘土瓦の順になる。

また、屋根勾配が大きくなると屋根材表裏面の圧力差が大きくなる。

表4.2.1 屋根の最大風速時の差圧係数

葺き屋根の防水構法に関する研究（石川）					
風速 30m/s	勾配	⊿P1max	⊿Pcmax	⊿P1max－⊿Pcmax	Cc-Ce
粘土瓦	2	22	6.3	15.7	-0.0369
	4	30.2	8.6	21.6	0.0681
	10	38.8	13	25.8	0.2793
石綿スレートＫ形	2.5	17.3	8.1	9.2	-0.0072
	5	25.3	9	16.3	0.1043
強風雨発生装置による銅板葺き屋根の防水性能実験（伊藤ら）					
風速 35m/s	勾配	Pa	Pc	Pa-Pc	Cc-Ce
銅板縦葺屋根	2	－	－	8	-0.0207

また、伊藤ら[3] は、銅板葺きについて、送風装置による風速35m/s時の2/10勾配における防水試験の結果から、葺材表面の重ね部分に対する圧力を最大で20kgf/㎡と局部的に大きくなることを報告している。風荷重の計算で用いる係数は、面に作用する荷重を算定するため局部圧を平準化していることから、葺き材の重ね部の漏水可能性の評価に風荷重の計算で用いる係数をそのまま利用することは、漏水に作用する風圧の過小評価につながる場合がある。

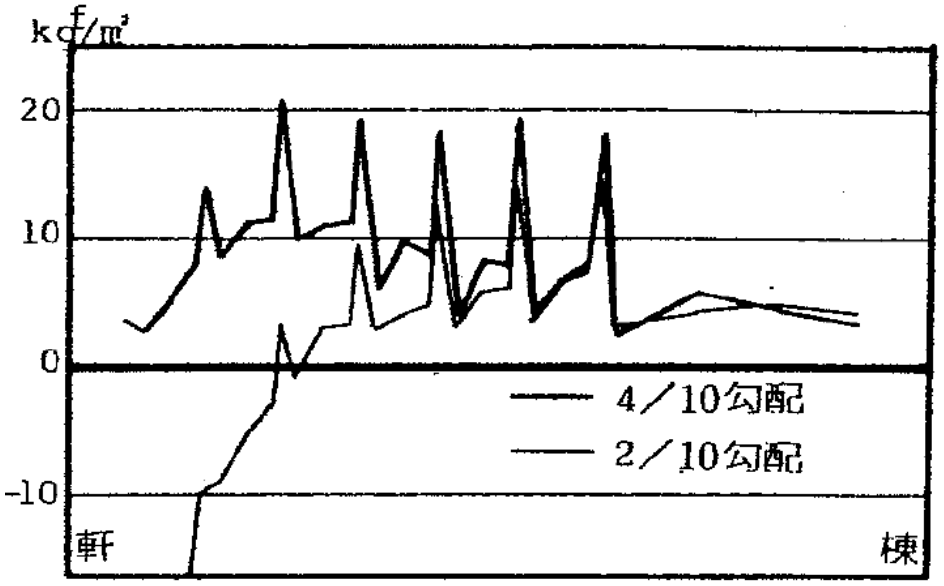


図4.2.1 銅板葺屋根に作用する風圧力

飯塚[4] は、銅板一文字横葺屋根の風洞実験の結果から、軒から棟にかけての葺材表面および裏面風圧計測を行った。軒から棟への平行風による表裏の風圧係数差が、図4.2-2である。7/10勾配の場合の軒から棟への平行風による表裏の風圧係数差は、ほとんどが正圧となり、軒先で最大の1.0の正圧となるほか、棟に向って減少傾向にあると報告している。

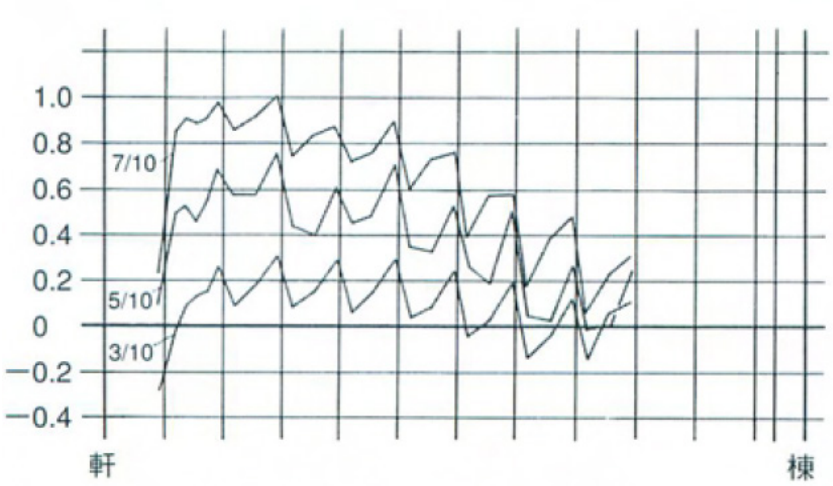


図4.2.2 軒から棟への平行風による表裏の風圧係数差Cpe－Cpi

伊藤ら[5)]は、瓦葺屋根面について、送風装置による防水試験の結果から、葺材重ね部表裏面の圧力差の圧力計測を行った。屋根表裏面の風圧係数測定結果が、図4.2.3である。2.5/10勾配の場合の風圧係数は、軒先近くでは-0.5の負圧となり、棟に向かって上昇し正圧となり、棟部分で最大0.2になると報告している。瓦の重ね部は一種のオープンジョイントになっているため一般部では、圧力差による多量の漏水は発生しにくいが、棟部分で圧力差が大きくなり漏水が発生している。石川[1)]らの研究では、4/10勾配時の瓦三段目の差圧係数は、0.0681となっており、ほぼ同じ値を示している。

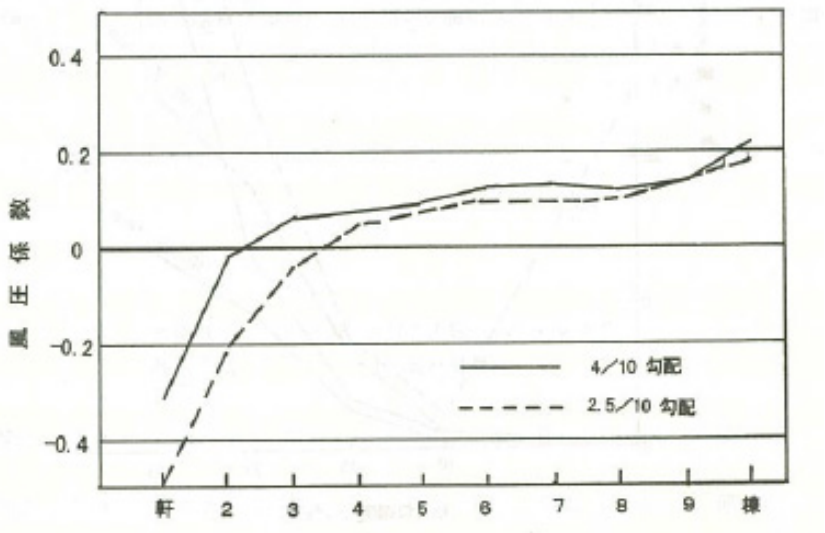


図4.2.3 屋根面の風圧力測定結果

伊藤ら[6)]は、風向による裏面圧の変化について、風洞実験の結果から、瓦表裏面圧力の計測を行った。図4.2.4は、最小ピーク外圧係数および最小ピーク風力係数である。瓦裏面の風圧係数は、中央の軒先（測定点A36）の正対する部分（θ＝0°～50°およびθ＝310°～360°）で1.0の正圧となるが、その他測定点や風向に関しては負圧となることが報告している。瓦の裏面圧は負

圧となるので、瓦を押し上げる作用が働き、継ぎ手部の隙間を大きくさせる。

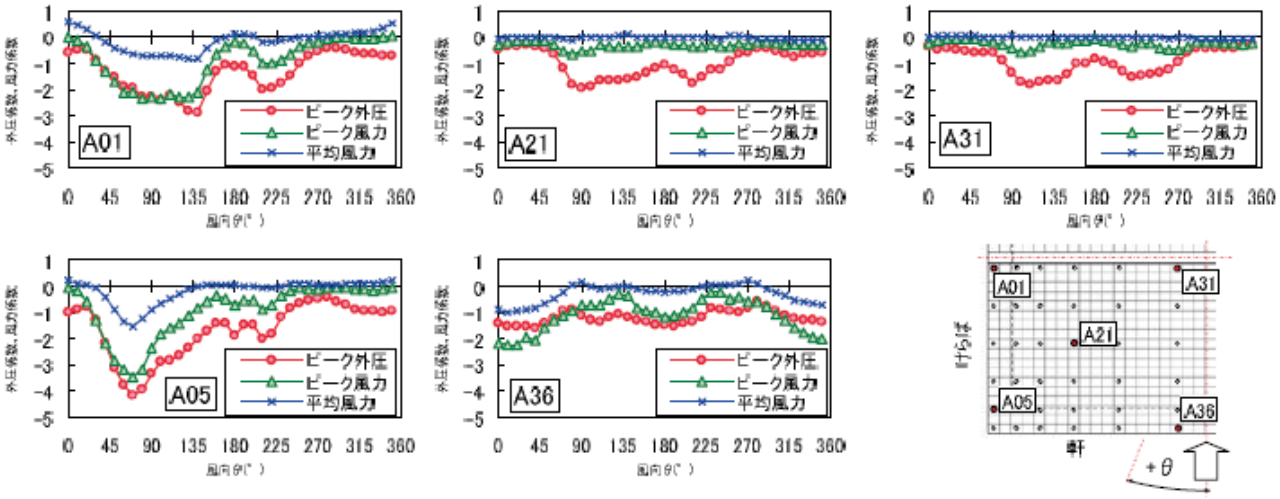


図4.2.4 最小ピーク外圧係数および最小ピーク風圧係数（隙間　ｇ＝０mm）

岡田ら[7] は、特定の瓦裏面条件について風圧予測の検討を行った。外圧の空間平均値を裏面圧と見なすことの妥当性を報告している。

岡田ら[8] は、瓦裏面圧発生機構について風洞実験とシミュレーションの結果から検討を行った。瓦裏面の風圧は、けらば、軒先からあるいは、瓦と瓦の間から、それら部分の表面に作用した風圧が瓦裏面に伝達されることを報告している。図4.2.5は、瓦裏面の圧力変化である。瓦裏面圧力変化は下記式で近似できる。

$$p_e(t) = p_{e0} \qquad t \le t_0$$

$$= p_{e0} exp(-at) \qquad t > t_0$$

ここで、p_{e0}：初期の圧力

a：漸減の程度を表す定数

t_0：圧力の回復が始まる時刻

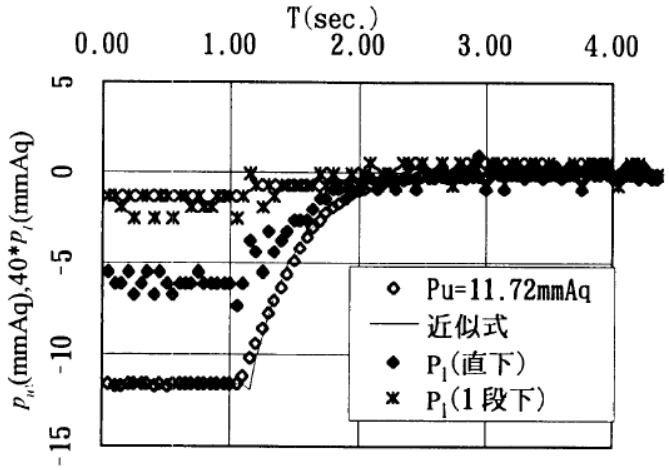


図4.2.5 瓦裏面の圧力変化

以上の結果から、差圧係数は、0.1～0.5の範囲が妥当だと判断できる。

4.3 外壁表裏面の圧力差

大西ら[9)]は、自然風速（最大風速4m/s）の実大住宅について、梅田・神戸ら[10)]は、風速10m/sの送風試験による模擬試験体について、壁材表面と壁材裏面（通気層）の圧力計測を行った結果を報告している。壁の最大風速の差圧係数（Cc-Ce）を算出したのが、表4.3.1と表4.3.2である。

一般外壁部に作用する差圧係数は、実大実験（表4.3.1）で0.0945であるが、模擬試験体（表4.3.2）で0.5709である。実大住宅の実測調査は、あまり差圧が生じなかったが、送風試験は、大きく差圧が生じている。これは、風速4m/s以下の場合は、漏水リスクが低いが、風速10m／sになると漏水リスクが高まることが確認できる。

隅角部（風向と同一面の外壁）に作用する差圧係数は、実大住宅（表4.3.1）で0.2547であるが、模擬試験体（表4.3.2）では、0.4897である。隅角部になると風速4m/s以下であっても漏水の危険があることも示している。

バルコニー手すり壁に作用する差圧係数は、実大住宅（表4.3.1）で0.0395であるが、模擬試験体（表4.3.2）では、0.4546である。バルコニー手すり壁部分は、一般外壁部分に比べ圧力係数は小さい。これは通気層の長さが影響し、通気経路が長い外壁一般部はやや大きい値となったと考えられる。

上記より、外壁に生じやすい雨水浸入を評価するうえでの圧力差は、一般外壁部が最も大きく、隅角部、バルコニー手すり壁の順になる。外壁一般部、隅角部、バルコニー手すり壁の差圧係数の最大は、それぞれ0.5709、0.4897、0.4546である。

表4.3.1 外壁の最大風速時の差圧係数

実大住宅の外壁面に作用する圧力差の実測調査（大西）				
測定点（風速4m/s）	測定位置	壁面方位	比例係数 a	Cc-Ce
1	バルコニー1	南	0.0015	0.0032
2			0.0141	0.0296
4			-0.1215	-0.2552
6	バルコニー2	南	0.0188	0.0395
7			0.0557	0.1170
8		東	0.1213	0.2547
10	外壁	南	0.045	0.0945

表4.3.2 外壁の最大風速時の差圧係数

外壁通気構法におけるバルコニー周辺部の浸入雨水の挙動について（梅田、神戸）												
測定点 風速 10m/s	測定位置	壁面方位	条件 8		条件 9		条件 10		条件 11		条件 12	
			差圧 ①－②	Cc-Ce	差圧 ①－②	Cc-Ce	差圧 ①－②	Cc-Ce	差圧 ①－②	Cc-Ce	差圧 ①－②	Cc-Ce
1	外壁	垂直	49.95	0.5709	－	－	－	－	－	－	－	－
2			-15.72	-0.1797	－	－	－	－	－	－	－	－
3			－	－	5.51	0.0630	－	－	－	－	－	－
4			3.6	0.0411	－	－	－	－	－	－	－	－
2 基準点			-37.33	-0.4266	－	－	－	－	－	－	－	－
2－Ⅰ			-11.34	-0.1296	－	－	－	－	－	－	－	－
2－Ⅱ			-31.43	-0.3592	－	－	－	－	－	－	－	－
5			－	－	25.29	0.2890	－	－	－	－	－	－
6			－	－	38.73	0.4426	－	－	－	－	－	－
7			－	－	1.01	0.0115	－	－	－	－	－	－
8			－	－	-7.48	-0.0855	－	－	－	－	－	－
9			－	－	-11.11	-0.1270	－	－	－	－	－	－
10	バルコニー手すり壁	平行	－	－	－	－	-10.61	-0.1213	1.67	0.0191	－	－
11			－	－	－	－	-8.49	-0.0970	1.77	0.0202	－	－
12		垂直	－	－	－	－	-14.79	-0.1690	-5.36	-0.0613	－	－
13			－	－	－	－	39.78	0.4546	33.77	0.3859	－	－
14			－	－	－	－	11.68	0.1335	6.92	0.0791	－	－
15		平行	－	－	－	－	2.16	0.0247	3.35	0.0383	－	－
16			－	－	－	－	1.4	0.0160	1.98	0.0226	－	－
17		垂直	－	－	－	－	0.39	0.0045	1.55	0.0177	－	－
18			－	－	－	－	-0.36	-0.0041	0.23	0.0026	－	－
19			－	－	－	－	3.14	0.0359	2.07	0.0237	－	－
20	外壁	平行	－	－	－	－	－	－	42.85	0.4897	27.13	0.3101
21			－	－	－	－	－	－	8.22	0.0939	-4.29	-0.0490

引用文献

1）石川廣三：雨仕舞のしくみ、彰国社(2004)

2）石川廣三：葺屋根の防水構法に関する研究　屋根葺材の防水性に関する実験、日本建築学会 1978 年大会学術講演梗概集

3）伊藤弘、西田和生：強風雨発生装置による銅板葺屋根の防水性能実験、日本建築学会 19838 年大会学術講演梗概集

4）飯塚五郎蔵：銅板屋根構法マニュアル、日本銅センター　平成 16 年

5）伊藤弘、西田和生：強風雨発生装置による瓦屋根の防水性能実験、日本建築学会 1982 年大会学術講演梗概集

6）伊藤真二、奥田泰雄、喜々津仁密：瓦裏面と棟瓦をもつ風洞模型による切妻屋根瓦のピーク風力係数の検討、平成 24 年風工学シンポジウム資料集

7）岡田恒、山口修由、岡部実：屋根葺材の強風飛散防止に関する研究　屋根葺材の下地圧の推定、住宅総合研究財団　研究年報 NO.23　1996 年

8）岡田創、大熊武司、片桐純治：屋根瓦の裏面に作用する風圧予測に関する研究、日本建築学会 2008 年大会学術講演梗概集

9）大西祥史、石川廣三、宮村雅史、齋藤宏昭：木造住宅の耐久性向上に関わる建物外皮の構造・仕様とその評価に関する研究　実大住宅の外壁面に作用する圧力差の実測調査、日本建築学会 2015 年大会学術講演梗概集

10）梅田泰成、神戸睦史、石川廣三、宮村雅史、大西祥史：木造住宅の耐久性向上に関わる建物外皮の構造・仕様とその評価に関する研究　外壁通気構法におけるバルコニー周辺部の浸入雨水の挙動について（実験概要）（実験結果)、日本建築学会 2015 年大会学術講演梗概集

11）日本建築学会：勾配屋根の材料・構法・性能、丸善(1999)

5. 風雨を受ける外皮表面間隙部からの雨水浸入量の評価方法

5.1 適用

この評価方法は、木造住宅の外皮構成部材、特に木部の劣化進行予測に不可欠な要因である外皮各部からの雨水浸入量のうち、外皮の一般部に通常存在する外装材の目地部、湿式仕上げ層の貫通ひび割れ部等に存在するスリット状の間隙からの浸水量の概略値を、外皮表面に対する風雨の作用、および間隙の流量に関する既往の知見に基づいてある程度の精度で算出する目的に適用する。部材取り合い部に集中的に発生する欠陥部からの漏水のように、浸入口の大きさが不確定で、かつ浸入の主要因が滞留水の水頭圧であるような現象は対象外とする。

5.2 雨水浸入量に関係する要因と浸入の形態

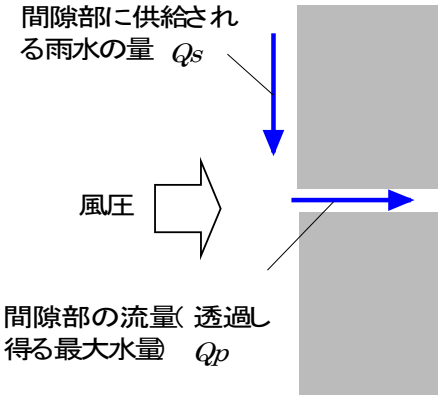


図 5.2.1　風雨を受ける外皮間隙部の雨水浸入状況

図 5.2.1 に風雨を受ける外皮間隙部の雨水浸入状況を模式的に示す。ここで Q_p は間隙内の流量で、間隙の形状・寸法および作用風圧により生ずる間隙前後の圧力差により決まる。また、Q_s は間隙に流入する雨水の量で、外皮表面が受ける雨の強さ、雨を受ける外皮の面積、間隙の雨水の流下方向となす角度等によって決まる。

実際に間隙内に浸入する雨水の量は、Q_p と Q_s のうち少ない方で決定する。ここで Q_p と Q_s は独立した要因で定まるため、浸入量はその時点の作用風圧や表面が受ける雨の強さに応じて変動することになる。

この際、Q_p と Q_s の大小関係により、間隙内の雨水の浸入状況は図 5.2.2 の a）～d）のように変化する。

a）は、Q_p に対して Q_s が十分多い場合で、雨水は間隙内を充満して浸入する。これに対して Q_p より Q_s が少ない場合には、雨水は間隙の形態や寸法に応じて b）～d）のような各種の状態で浸入する。

b）は間隙幅の水膜が形成される程度に狭く、立ち上がりがない場合で雨水は不連続な水膜状に浸入する。

c）は間隙幅の水膜が形成される程度に狭く、かつ、立ち上がりがある場合で立ち上がり底部に滞留する雨水に気泡が圧入される結果、滞留水が攪乱され、上方にしぶきが飛散する。

d）は間隙の幅が広く水膜が張らない場合で、間隙内には圧力差で透過気流が生じ、気流の速度が一定以上になると間隙内の水滴と内面に付着した水膜が内部に移動する。

このような浸入水の状態の違いによって、浸入量は同程度であっても、浸入水が屋内側に拡散する範囲に大きな差が生ずることに注意すべきである。

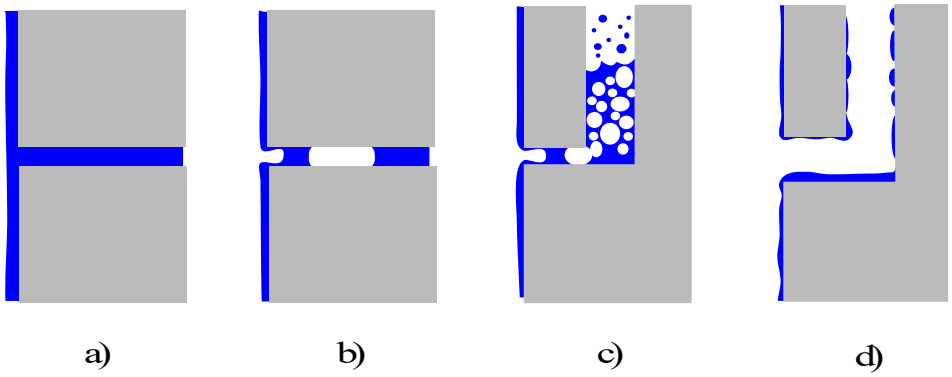


図 5.2.2 間隙部に浸入した雨水の状態

5.3 間隙部の流量計算式

5.3.1 一般的な部材間隙

一般に開口の流量は次式で表わされる。

$$Q = c \cdot A\sqrt{2\frac{\Delta P}{\rho}} \quad \cdots (5.1)$$

ここで、Q：流量（m^3/s）

c：流量係数（主に開口の形状によって決まる値）

A：開口面積（m^2）

ρ：流体の密度（kg/m^3）

ΔP：開口前後の圧力差（Pa）

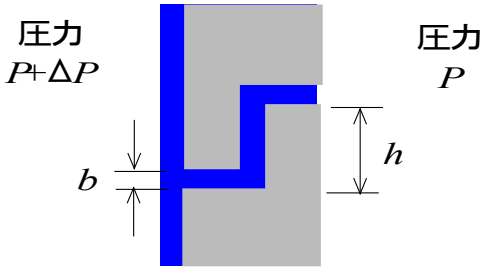


図 5.3.1 立ち上がりのある間隙部の透過水量

図 5.3.1 のような、立ち上がりのあるスリット状の間隙の入り口が連続的に水膜で覆われ、かつ十分な量の水が供給される条件で、間隙の前後に圧力差 ΔP が作用している場合の見つけ長さ 1m 当りの透過水量は、

$$Q_p = \mathrm{c}\cdot b\sqrt{2\left(\frac{\Delta P}{\rho_{\mathrm{w}}} - \mathrm{g}\cdot h\right)} \quad \cdots \text{(5.2)}$$

ここで、Q_p：透過水量（$m^3/m\cdot s$）

c：間隙の流量係数

b：最小間隙幅（m）

ρ_w：水の密度（kg/m^3）

ΔP：圧力差（Pa）

g：重力加速度（m/s^2）

h：立ち上がり高さ（m）

$g\cdot h$は立ち上がり内の水の位置水頭で、圧力差と反対向きに作用するので圧力水頭から差し引いている。

5.3.2 微細な平行間隙

ひび割れやシールの肌離れ部など、奥行きに比して幅がごく狭い間隙内では、流れは粘性が支配的となり、層流として扱われる。平行２平面間の層流の流量は次式で与えられる。

$$Q = \frac{b^3\cdot \Delta P}{12\mu k} \quad \text{------(5.3)}$$

ここで、Q：流量（$m^3/m\cdot s$）

b：２面の間隙幅（m）

ΔP：流路前後の圧力差（Pa）

μ：流体の粘性係数（Pa･s）

k：流路の長さ（m）

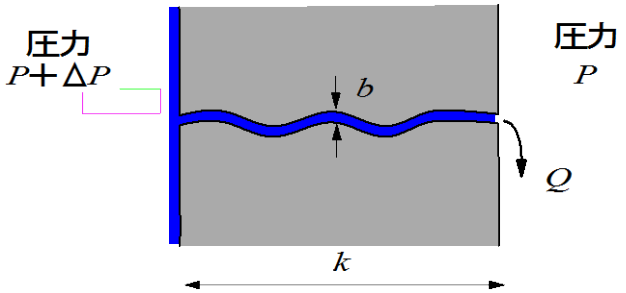


図 5.3.2 ひび割れ間隙部の透過水量

図 5.3.2 のような、ほぼ平行で密接した屈曲のある２平面の間隙の入り口が連続的に水膜で覆われ、かつ十分な量の水が供給される条件で、間隙の前後に圧力差 ΔP が作用している場合の見つけ長さ 1m 当りの透過水量は、

$$Q_p = \frac{b^3 \cdot \Delta P}{12\sigma \ \mu k} \quad \text{-----（5.4）}$$

ここで、Q_p：透過水量（$m^3/m \cdot s$）

b：平均間隙幅（m）

ΔP：圧力差（Pa）

μ：雨水の粘性係数（Pa･s）

k：間隙の奥行き長さ（部材厚さ）（m）

σ：面の屈曲性状により異なる常数

σ は実験で求められるが、モルタルや川砂利川砂コンクリートに生じたひび割れ面については 7～9 程度が得られている。[1)] 一方、シール剥離面のように平滑な面については、ほぼ 1 に近いと見なせる。

5.4 間隙に供給される雨水の量

5.4.1 雨水の流下方向と直角をなす連続した間隙

外壁部材の横目地、屋根葺き材の縦重ねの間隙等が該当する。間隙の直上にある間隙との間の雨がかりとなる外皮面が受ける雨水が、全て間隙の位置に流下すると仮定し、供給水量を以下のように求める。

1）外壁面上の間隙の場合

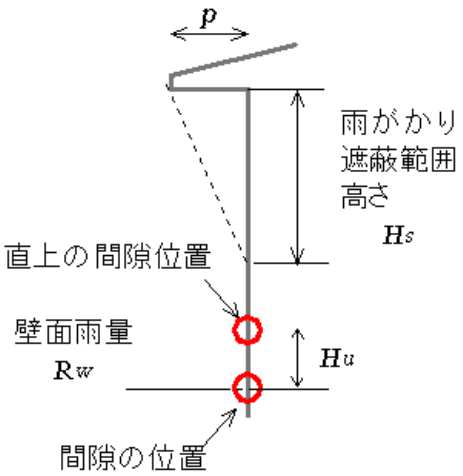


図 5.4.1 壁面の水平方向間隙の供給水量

図 5.4.1 において、軒下から下方 H_s までの範囲では

$$Q_{sw} = 0$$

H_s より下方の範囲では

$$Q_{sw} = R_w \cdot H_u \quad \text{------（5.5）}$$

ここで、Q_{sw}：間隙に供給される雨水の量（$m^3/m \cdot s$）

R_w：間隙上方の平均壁面雨量　（$m^3/m^2 \cdot s$）

H_u：壁面上の間隙の間隔　（m）

平均壁面雨量 R_w、および間隙上方の壁面の雨がかり遮蔽範囲高さ H_s は、既往の知見[2)、3)]に基づいて次式で算定する。（関連資料 32 参照）

$$R_w = 0 \quad (\delta \leq -67.5°,\ \delta \geq 67.5°)$$

$$R_w = \frac{U_{10}}{13.5} R_h \quad (-67.5° < \delta < 67.5°) \quad \text{------（5.6）}$$

$$H_s = \frac{9}{U_{10}} p \quad \text{------（5.7）}$$

ここで、U_{10}：地上高さ 10m における平均風速（m/s）

p：壁面からの軒の出（m）

δ：壁面の方位と平均風向がなす角度（°）

2)　屋根面上の間隙の場合

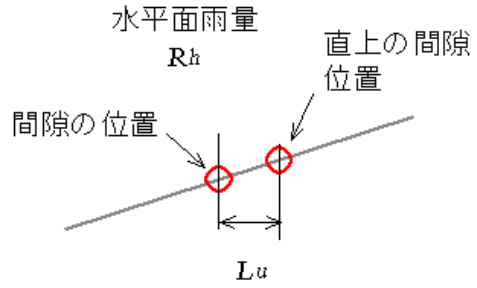


図 5.4.2 屋根面上の水平方向間隙の供給水量

図 5.4.2 において、

$$Q_{sr} = R_h \cdot L_u \quad \text{------（5.8）}$$

ここで、Q_{sr}：間隙に供給される雨水の量（$m^3/m \cdot s$）

R_h：水平面雨量　（$m^3/m^2 \cdot s$）

L_u：屋根葺き材の縦重ねの間隔（水平方向）　（m）

5.4.2 雨水の流下方向と角度をなす連続した間隙

図 5.4.3 に示すような外壁面に斜め方向に生じたひび割れでは、雨水の流下方向となす角度によって、単位長さあたりの供給水量が変化する。

この場合、供給水量は以下により求める。

$$Q_{sc} = Q_{sw} \cdot \cos\beta \quad \text{------（5.9）}$$

ここで、Q_{sc}：ひび割れ間隙に供給される雨水の量（$m^3/m \cdot s$））

Q_{sw}：壁面水平方向間隙に供給される雨水の量（ひび割れの中央位置高さ基準）（$m^3/m\cdot s$）

β：ひび割れ発生角度（°）

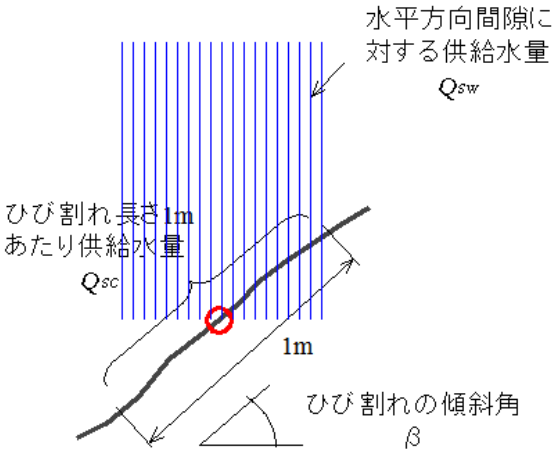


図 5.4.3 壁面に斜め方向に生じたひび割れ間隙の供給水量

5.4.3 雨水の流下方向と平行な連続した間隙

外壁部材の縦目地、屋根葺き材の横重ねの間隙等が該当する。既往の知見によれば、この種の間隙において、流下雨水が外皮表面に沿った気流の影響で斜め方向に誘導され、間隙に達することが判っているが、その影響範囲については情報が少ない。

石川[4]は、平滑な外壁面の縦目地（高さ 2m）についての実験で、風速 12m/s までの条件で、このような斜め流下により、目地片側につき壁面幅約 14cm の受水量相当の水が目地内へ流入したことを報告している。

また、神谷らが行った実験[5]では、平板系屋根葺き材を用いた屋根のけらば納まり部分に、風向・風速に応じて、単位屋根面積あたり雨量の最大 25%の水が流入する結果が得られている。

これらの知見に基づき、間隙の単位長さあたり供給水量を次式で求める。

$$Q_{svw} = e_w \cdot R_w \quad \text{------（5.10）}$$

$$Q_{svr} = e_r \cdot \frac{R_h}{\cos\alpha} \quad \text{------（5.11）}$$

ここで、Q_{svw}：壁面上の垂直方向間隙に供給される雨水の量（$m^3/m\cdot s$）

Q_{svw}：屋根面上の垂直方向間隙に供給される雨水の量（$m^3/m\cdot s$））

e_w：壁面流下水の影響範囲係数

e_r：屋根面流下水の影響範囲係数

α：屋根勾配　（°）

e_w、e_rは壁面や屋根面の表面性状に応じて定めるものとし、最大値はそれぞれ 0.2,　0.3 とする。

5.4.4 部分的に水封される間隙

J 形瓦葺きのような、谷部がある形状の屋根材では、外皮表面上の雨水は谷部に集まって流れるため、図 5.4.4 に示すように、屋根材横重ね間に形成される間隙は、流水域の部分だけが水封され、残りの部分は流下水が作用しない。

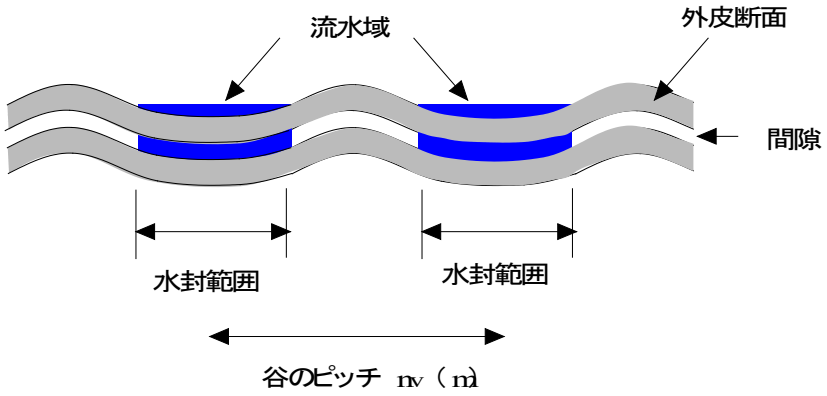


図 5.4.4 谷がある形状の屋根材の横重ね部間隙の流下水による水封状態

この水封範囲は流量、勾配、流下面の粗さ、屋根材谷部のピッチ、形状・寸法等、多くの要因が関係し、実験的に求めるほかは無い。屋根面に降る雨が均等に谷部に分散して流れるとすれば、瓦 1 枚あたりの谷部の流量（m^3/s）は、

$$Q_{sv} = R_h \cdot L_u \times p_v \quad \cdots\cdots (5.12)$$

ここで、L_u：縦重ねの間隔＝瓦の働き長さ（m）

p_v：谷のピッチ（m）

水封範囲の供給水量 Qss （$m^3/m \cdot s$）は、

$$Q_{ss} = \frac{R_h \cdot L_u \cdot p_v}{b_s} \quad \cdots\cdots (5.13)$$

ここで、bs:水封範囲の幅 （m）.

一方、水封範囲とならない間隙は直接降りかかる雨滴のみが供給されるので、

$$Q_s = \frac{R_h}{A} \quad \cdots\cdots (5.14)$$

ここで A:水封されない間隙の面積（m^2/m）

一例として J 形瓦 53A 判（働き幅 265mm、働き長さ 235mm）の谷部の水封範囲の供給水量を求める。経験的に、降雨時、瓦屋根面の雨水は谷部中央の数 cm の幅に集中して流れることが知られている。この幅を 50mm と仮定すると、水平面雨量毎分 1mm の場合、（5.13）式から Q_{ss} は次のように求められる。

$$Q_{ss} = \frac{(0.001/60) \times 0.235 \times 0.265}{0.05} = 0.0000207 \ (m^3/m \cdot s)$$

5.5 風雨条件に対応した外皮面間隙部からの浸水量の評価

特定の一定時間について、時間内の降水量、平均風速、平均風向に基づいて浸水量を評価する方法は以下による。

5.5.1 風向に応じた評価

1）壁面上の間隙について

式（5.6）において、平均風向と壁面方位がなす角度δが±67.5°以上の時、壁面雨量を0としているため、浸水量も0とする。δが±67.5°未満の範囲については、簡易化のため浸水量の評価において風向の差を考慮しない。

2）屋根面上の間隙について

間隙開口が正対する方位と平均風向がなす角度δが±90°を超える（風向が間隙開口の背後からとなる）場合、浸水量は0とする。δが±90°以下の範囲については、簡易化のため浸水量の評価において風向の差を考慮しない。

5.5.2 間隙前後に作用する平均圧力差の推定

外皮表面各部に作用する風圧力は建物の形状、寸法、風向その他の要因により、正圧から負圧まで著しく変化する。雨水浸入に関係する風圧は正圧のみである。

外皮面の正の外圧P_eの時間的平均値$\overline{p_e}$を平均風速の速度圧の関数と仮定し、次式で表す。

$$\overline{P_e}=C_{p_e}\cdot\frac{\rho_a}{2}\cdot U^2 \quad \cdots\cdots (5.15)$$

ここで$\overline{p_e}$：平均外圧　（Pa）

C_{pe}　：外圧係数

ρ_a　：空気の密度（kg･m^3）

U　：平均風速　（m/s）

C_{Pe}には上記の各種の要因が関係するため、外皮の個別の条件および風工学の知見に基づいて定めるものとするが、このような知見が得られない場合、以下の値を用いる。

（1）　壁面について

$$C_{Pe}=0.8 \quad \cdots\cdots (5.16)$$

（2）　屋根面について

$$C_{Pe}=0.014(\alpha-15) \quad \cdots\cdots (5.17)$$

ここでα：屋根勾配（°）

この値は低層建物外装部材の風荷重計算において、外皮面の全ての範囲についての正の外圧係数として採用される値である。従って、この値を用いる場合、最大の圧力差が生じる面内位置を想定していることになる。

雨水浸入に関係する圧力差ΔPは外圧と外装材の裏面圧の差である。外装材裏面の圧力は裏面の空間の寸法や通気条件により変化する。報告3に収録されている知見[6)]によれば、通気構法の外壁の多くの部分において、外装材の裏面圧は外圧に近づき、圧力差は相当低減されると

考えられるが、通気層がない場合や、外装材背後の下地構造により局部的に通気が不十分な範囲も存在して差が多いことから、ここでは圧力差の時間的平均値$\overline{\Delta P}$を次式で表すこととした。

$\overline{\Delta P}=C_d\cdot\overline{P_e}$ ・・・・（5.18）

ここで$\overline{\Delta P_e}$：間隙前後の圧力差の時間的平均値（Pa）

C_d：裏面圧の発生条件に応じて異なる常数（但し、C_d=0～1）

C_dの値は、外装材の裏面が外気と通気し、かつ内部気流が生じない条件、いわゆる等圧状態となる場合は0、裏面空間が完全に密封されている場合は1とし、その中間の条件については現況に応じて0から1の範囲で定める。

5.5.3 圧力差および供給水量の変動に応じた評価

風速の時間的変動に伴い、間隙前後の圧力差も変動し、これに応じて（5.2）、（5.4）式等で計算される間隙の浸水量Q_pが増減する。横目地等で間隙に立ち上がりがある場合は立ち上がり分の水頭相当の圧力差以下では浸水は生じない。また、風雨の強さの変化に応じて、間隙部への供給水量Q_sも変動し、Q_sがQ_pを下回る時間においての浸水量はQ_sで決まる。図5.5.1はこの関係の説明図である。

実際風の変動は不規則で評価に取り入れることは難しいが、圧力変動が浸水量に対する影響は大きいため、ここでは通常外装材の水密性能試験等で採用されている、平均圧力差$\overline{\Delta P}$を中心とし、上限圧1.5×$\overline{\Delta P}$、下限圧0.5×$\overline{\Delta P}$、周期2秒の正弦波で近似させた圧力変動を採用する。

供給水量の変動については関係する要因が多く、また、風圧変動との時間的な関連性も明らかになっていないため、変動は考慮せず、ここでは5.4項の各評価式で求める値が定常に供給されるものとする。

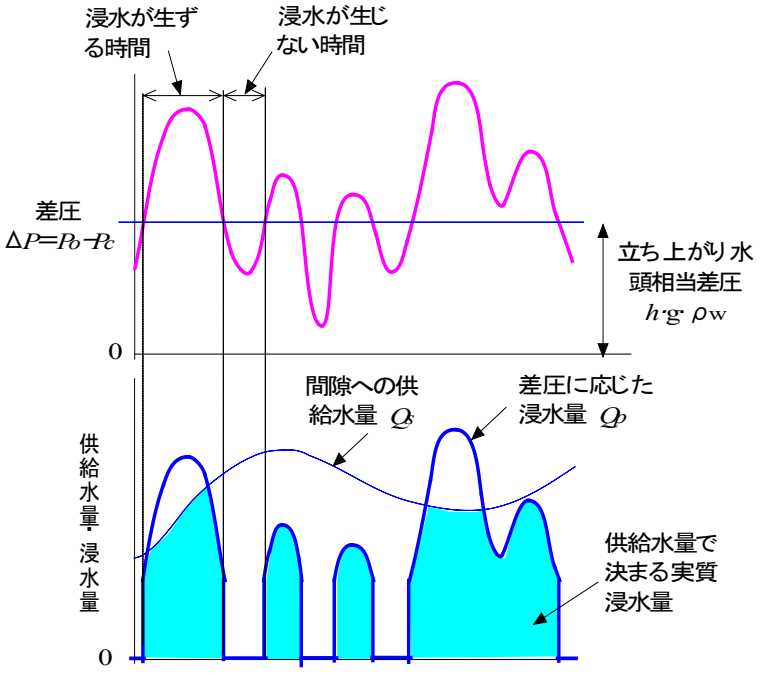


図 5.5.1 圧力差、供給水量の時間的変動と浸水量の関係

5.5.4 計算のフロー

以上の評価方法に従い、単位時間あたりの水平面雨量および平均風速が与えられている所定の時間について、各種外皮表面間隙部からの雨水浸入量を算定するフローを図 5.5.2 に示す。

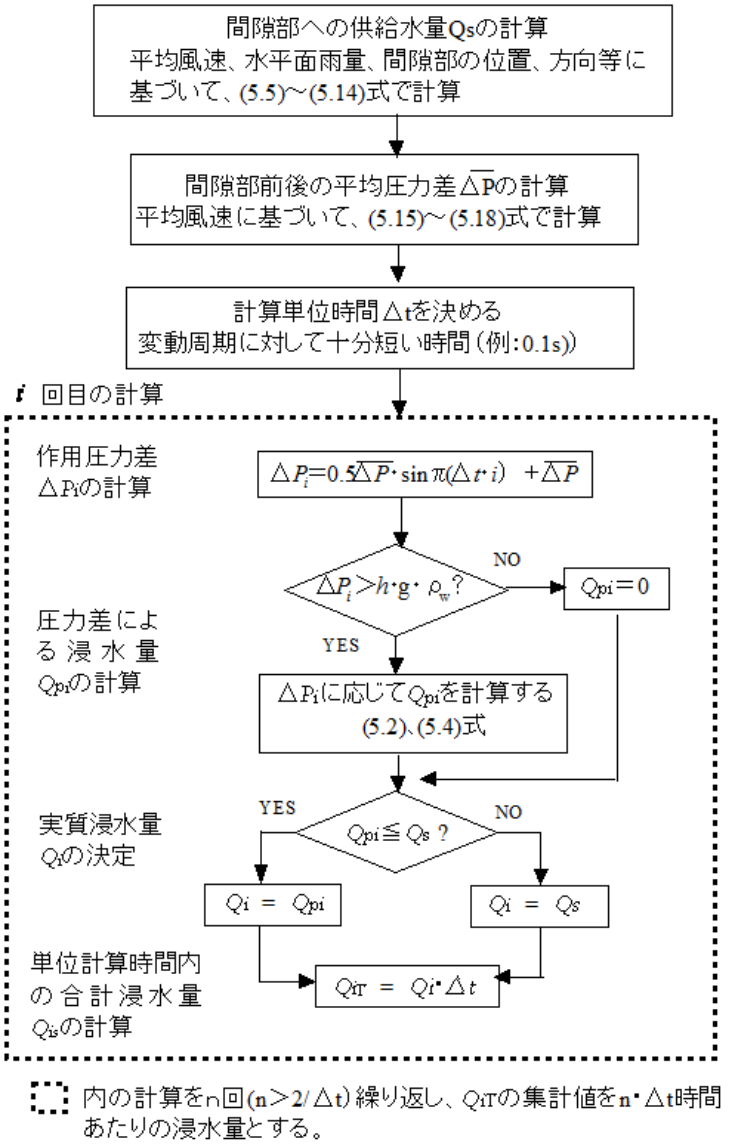


図 5.5.2 変動圧力差に対する浸水量の一般的計算フロー

引用文献

1）石川廣三：モルタル・コンクリート外壁の微細ひび割れからの漏水性状、日本建築学会構造系論文報告集第.610 号,pp.21-27,　2006.12

2）石川廣三，橋本　佳大：　壁面に衝突する雨滴の傾斜角の推定－外壁面におよぼす雨がかり負荷の評価に関する基礎的研究－日本建築学会構造系論文報告集、611 号,pp.13-20, 2007

3）石川廣三：軒の形状・寸法に応じた外壁面内の雨がかり分布の算定方法、日本建築学会構造系論文集 664 号, pp.1069-1075, 2011

4）Hirozo Ishikawa: Variability of Performance of Open Drained Joints under Different Driving Rain Tests.、日本建築学会構造系論文報告集第 397 号, pp.20-31, 1989

5）神谷昭範ほか：平板系屋根葺き材けらば納め部からの雨水浸入機構の検討 その 1、日本建築学会 2016 年度大会梗概集、

6）大西祥史ほか：実大住宅の外壁面に作用する圧力差の実測調査、日本建築学会 2016 年度大会梗概集、日本建築学会 2015 年度大会梗概集

6. 外皮各部における雨水浸入量の評価例

6.1 屋根葺き材重ね部からの浸水量

6.1.1 はじめに

屋根葺き材重ね部からの浸水の有無について、数多くの防水性試験が行われている。そのほとんどが屋根の平部において、大量の雨量時、風速何 m/s の強風で漏水するかという試験であった。しかも、その中で浸入量を評価している例は少ない。しかし、『勾配屋根の材料・構法・性能 1999（日本建築学会)』第 3 章の雨仕舞・防水性能の中で、撒水試験による浸入量が記載されている。

ここでは、実際の散水試験結果と「5. 風雨を受ける外皮表面間隙部からの雨水浸入量の評価方法」での屋根葺き材重ね部からの浸入量を比べることとする。

6.1.2 瓦葺き屋根の散水試験による浸入量

既往の散水試験による浸入量の実験値として、『勾配屋根の材料・構法・性能 1999（日本建築学会)』の第 3 章で雨仕舞・防水性能の中で、記載されている実験結果（P167　図 3.4.4　屋根勾配および風速と漏水量の関係）を図 6.1.1 に示す。

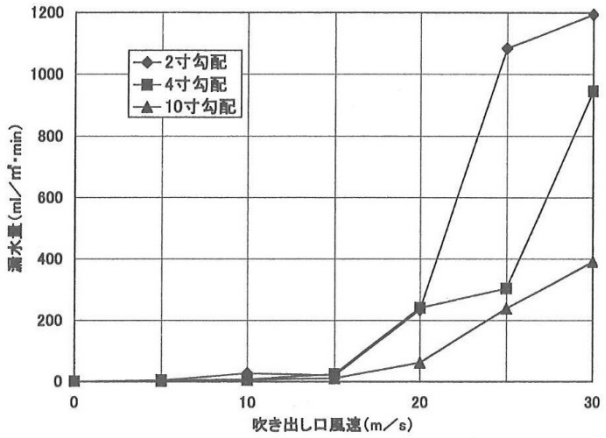


図 6.1.1 屋根勾配および風速と漏水量の関係

この実験は粘土瓦（J 形瓦)、軒先流量 5l/m・min の条件下で行われた。

4 寸勾配で考えてみると風速 5m/s までは漏水量 0、10m/s から 15m/s まで若干の漏水（20ml/㎡・min）が確認されている。風速 20m/s では、220ml/㎡・min、25m/s では 300ml/㎡・min、30m/s では 950ml/㎡・min となっている。

6.1.3 計算による浸入量

粘土瓦の縦重ねの隙間等は雨水の流下方向と直角をなす連続した間隙と見なせる。

図 6.1.2 において、間隙に供給される雨水の量は次式で求められる。

$$Q_{sr} = R_h \cdot L_u \quad \text{------（6.1）}$$

ここで、Q_{sr}：間隙に供給される雨水の量（$m^3/m \cdot s$）

R_h：水平面雨量　（$m^3/m^2 \cdot s$）

L_u：屋根葺き材の縦重ねの間隔（水平方向）　（m）

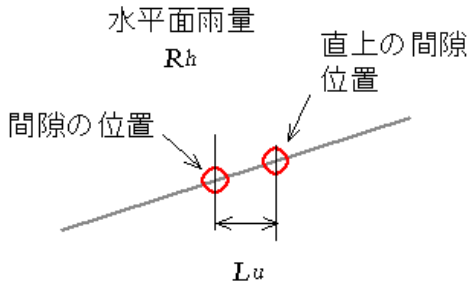


図 6.1.2 屋根面上の水平方向間隙の供給水量

J 形瓦葺きのような谷部がある形状の屋根材では、外皮表面上の雨水は谷部に集まって流れるため、図 6.1.3 に示すように、屋根材横重ね間に形成される間隙は流水域の部分だけが水封され、残りの部分は流下水が作用しない。

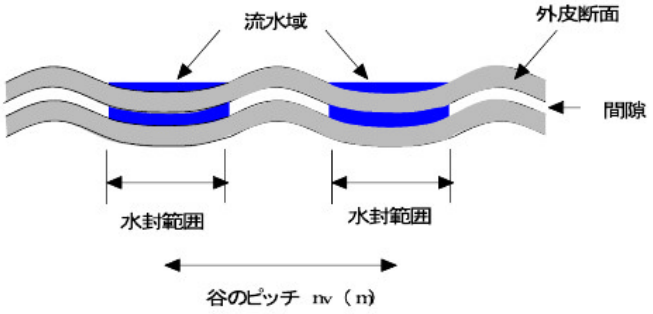


図 6.1.3 谷がある形状の屋根材の横重ね部間隙の流下水による水封状態

この水封範囲は流量、勾配、流下面の粗さ、屋根材谷部のピッチ、形状・寸法等、多くの要因が関係し、実験的に求めるほかは無い。屋根面に降る雨が均等に谷部に分散して流れるとすれば、瓦１枚あたりの谷部の流量（m^3/s）は、次式で求められる。

$$Q_{sv} = R_h \cdot L_u \times p_v \quad \cdots\cdots \text{（6.2）}$$

ここで、L_u：縦重ねの間隔＝瓦の働き長さ（m）

p_v：谷のピッチ（m）

水封範囲の供給水量 Qss　（$m^3/m \cdot s$）は、次式で求められる。

$$Q_{ss} = \frac{R_h \cdot L_u \cdot p_v}{b_s} \quad \cdots\cdots \text{（6.3）}$$

ここで、*bs*:水封範囲の幅　（m）.

一方、水封範囲とならない間隙は直接降りかかる雨滴のみが供給されるので、次式で求められる。

$$Q_s = \frac{R_h}{A} \quad \cdots\cdots (6.4)$$

ここで　*A*:水封されない間隙の面積（m^2/m）

一例としてJ形瓦53A判（働き幅265mm、働き長さ235mm）の谷部の水封範囲の供給水量を求める。経験的に、降雨時、瓦屋根面の雨水は谷部中央の数cmの幅に集中して流れることが知られている。この幅を50mmと仮定すると、水平面雨量毎分1mmの場合、（5.13）式から、Q_{ss}は次式で求められる。

$$Q_{ss} = \frac{(0.001/60)\times 0.235\times 0.265}{0.05} = 0.0000207 \ (m^3/m\cdot s)$$

一方、間隙部流量Q_pについて検討する。

雨水浸入について、流れ方向の重なり部からの浸入は、下記モデルとみなすことができる。屋根勾配を考慮しながら桟瓦の重なり部から水返しまでの高低差を*h*とする。

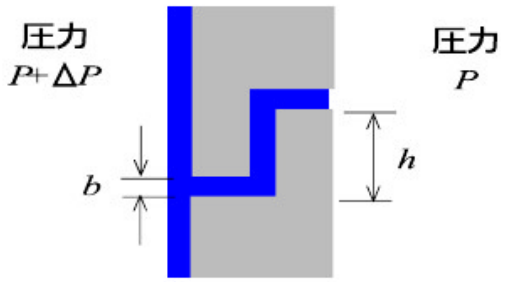


図 6.1.4　立ち上がりのある間隙部の透過水量

図6.1.4のような、立ち上がりのあるスリット状の間隙の入り口が連続的に水膜で覆われ、かつ十分な量の水が供給される条件で、間隙の前後に圧力差ΔPが作用している場合の見つけ長さ1m当りの透過水量は、次式で求められる。

$$Q_p = \mathrm{c}\cdot b\sqrt{2\left(\frac{\Delta P}{\rho_w} - \mathrm{g}\cdot h\right)} \cdots\cdots (6.5)$$

Q_p：間隙部流量

c：間隙の流量係数＝1.0

b：最小間隙幅（m）

瓦の重ね部の間隙は見つけ方向で不連続であるため、*b*の代わりに谷水封個所1個所の開口面積$A = 50mm^2 = 50\times10^{-6}m^2$を用いる。

P_w：水の密度（kg/m^3）

ΔP：圧力差（Pa）

g：重力加速度（m/s^2）

h：立ち上がり高さ（m）

この式について詳細に検討する。

ここで、h は重なり 0.07m の 4 寸勾配と水返し高さから 0.0038m とすると g・h＝0.234 になる。

上記文献の考察を読むと、風速が大きい場合の漏水状況について、「水と気流の混合した攪乱状態」の記述があり、これは図 6.1.5 の c）に示す状態である。

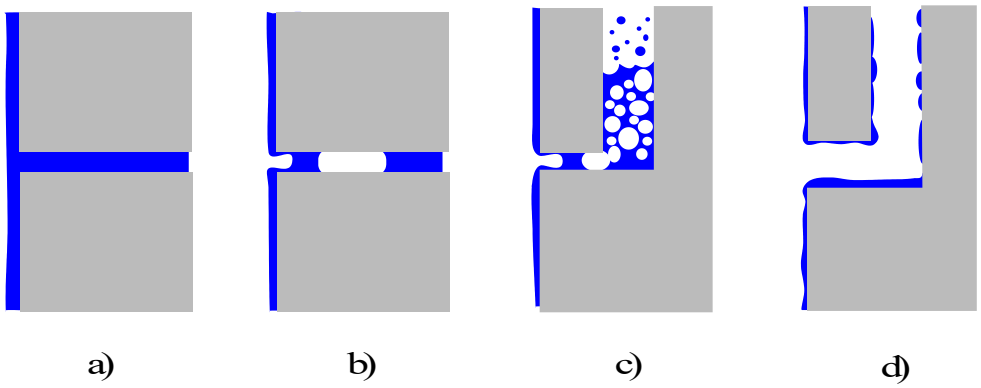


図 6.1.5 立ち上がりのある間隙部の透過水量

この場合、空気の混入によって、水の密度は実質的に減少する。別の実験で、間隙内の吹き上げ高さと差圧の関係から、密度は 200～300kg/m^3 と推定できるので、5.2 式で ρ_w をたとえば 250 と仮定すると、差圧 58.5Pa 以上なら漏水が起こり得ることになる。

また、上記図 6.1.1 の実験時の差圧実測値、（原文献 [1] P168 表 3.4.6　屋根勾配および風速と漏水量の関係）の値から瓦縦重ね開口と瓦裏面の差圧係数を算出したところ、４寸勾配では平均 0.44 となり、実験値と比較する場合の差圧係数は、0.4 と仮定する。

以上を適用すれば、風速 20m/s において、ΔP＝96Pa で圧入現象が生じることになる。ただし、この時、漏出量は密度を低く仮定しているため、実際の水の量としては、密度比（たとえば 250/1000）を掛け算することになる。

ρ_w が 250kg/m^3、内圧係数 0.4、間隙面積 50mm^2（水封幅 50mm×間隙幅 1mm）、c=1 と仮定した場合、最小漏水風速 20m/s で 411ml/分となる。㎡あたりで考えると、6576ml/分・㎡となる。これでは、試験と比較してあまりに多くなる。

そこで、間隙の流量係数を c=0.1 とすると、658ml/分・㎡となり、実験値に近いオーダーになるので、以下の計算を c ＝0.1 で行う。

次に、J 形瓦の 3 枚重ね部からの浸入量について検討する。

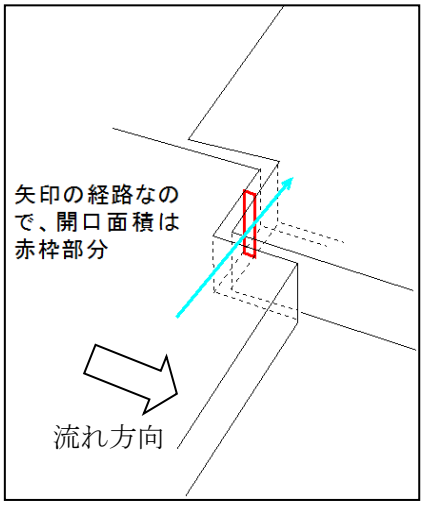


図 6.1.6　J 形瓦の 3 枚重ね部の浸入経路

隙間の高低差が少なく、比較的低い差圧で漏水が起きる可能性がある。内部の浸水状況の想定が難しいが、連続的に水で満たされる状況を想定すれば、5.2 式で開口面積を隙間の断面積（1mm×15mm）、h は横重ねの立ち上がり（9mm）として Q_p を計算する。

諸条件は縦重ねと同じとする。ここで、h は水返し高さ 0.009m とすると g・h＝0.0882 になる。差圧 22.1Pa 以上なら漏水が起こり得ることになる。風速 10m/s で ΔP は 24Pa となり、圧入現象が生じる。

ρ_w を 250kg/m^3、内圧係数 0.4、間隙面積 15mm^2（水封幅 15mm×間隙幅 1mm）、c=0.1 と仮定した場合、最小漏水風速 10m/s での漏水量は 45ml/分となる。

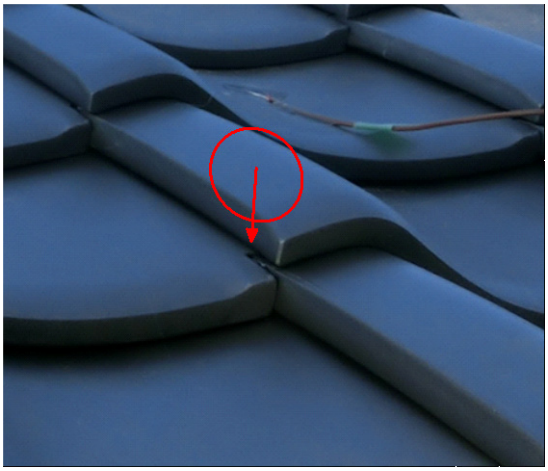


写真 6.1.1　3 枚重ね部での Qs の考え方

また、この隙間に供給される雨水の量 Q_s は写真 6.1.1 の赤丸で表示した範囲が受ける雨量と考えられ、この範囲の面積と雨量から推定できる。

赤丸表示範囲の面積を 40 ㎜×60 ㎜とすると、瓦働き面積に対する面積比は 0.039 となり、Q_s は 2000ml/分・㎡×0.039 から　＝78ml/分・㎡となる。

以上より求めた縦重ね部と 3 枚重ね部からの浸入について、風速、差圧、Q_p、Q_s の関係を表 1 にまとめた。

風速 10、15m/s では 3 枚重ね部からの漏水とし、風速 20m/s からは縦重ねからの漏水と考える。その中で、Q_p と Q_s では小さい方を選択した。表中の青丸を付した数値が実際の浸水量である。

表 6.1.1.　風速と差圧と縦重ね・3 枚重ねからの漏水量のまとめ

風速	ΔP	縦重ね		3枚重ね	
		Qp	Qs	Qp	Qs
m/s	Pa	ml/分・㎡	ml/分・㎡	ml/分・㎡	ml/分・㎡
5	6	―	2000	―	78
10	24	―	2000	45	78
15	54	―	2000	182	78
20	96	658	2000	277	78
25	150	1027	2000	364	78
30	216	1347	2000	448	78

表 6.1.1 から風速と漏水量の関係を図 6.1.7 に示す。

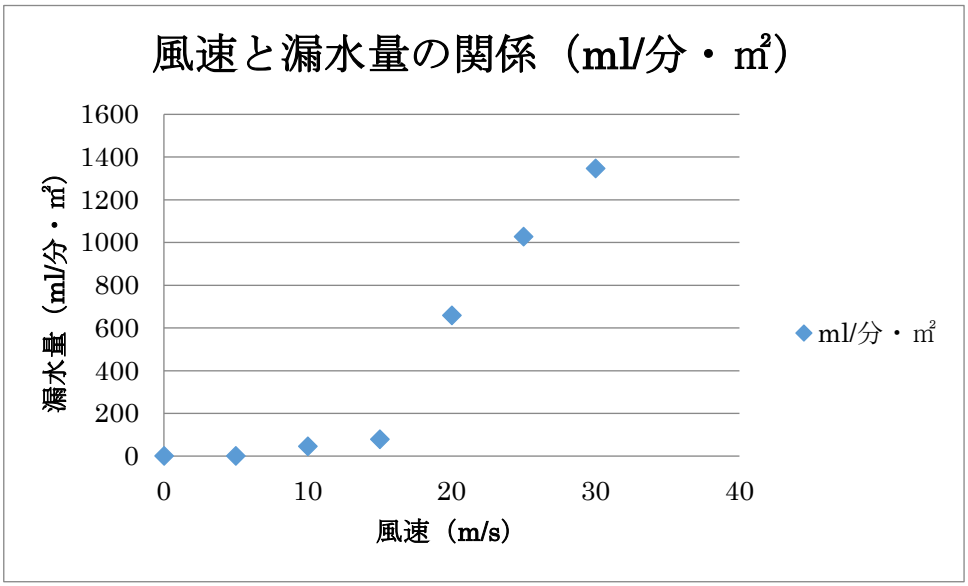


図 6.1.7 風速と計算で求めた漏水量の関係（4 寸勾配）

風速と漏水量について、計算値・実験値を比較する。

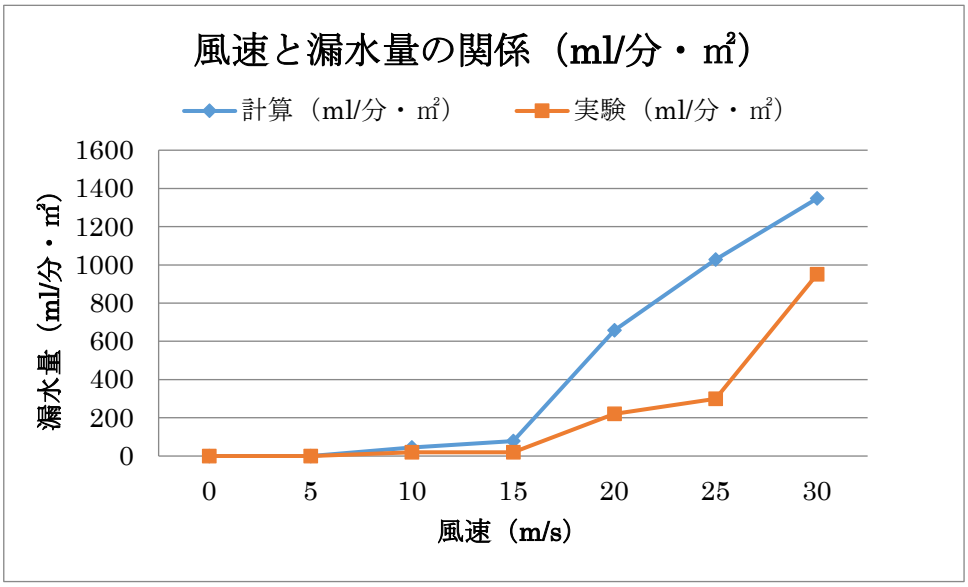


図 6.1.8　風速と計算、実験での漏水量の関係（4 寸勾配）

図 6.1.8 からわかるように、計算による漏水量と実験値は比較的同じような傾向を示していることがわかった。

浸入経路、圧力係数、空間内の流量係数、水密度を更なる実験で求め、検討することにより関係性を明確にできる。

また、圧力箱試験による漏水実験では、圧力差 30Pa で 3 枚重ねからの浸水、60Pa でわずかに縦重ねからの浸水、90Pa で縦重ねからの浸水を確認したが、今回の計算と同じ傾向であった。

6.1.4 平板系屋根葺き材けらば納め部からの浸水量

平板系屋根葺き材の役物部（軒先・けらば・棟など）においては、各条件が一定ではないため、算出することはむずかしい。各屋根の納まりにおいて、実験により求める必要がある。

共同研究では、平板系屋根葺き材けらば納め部におけるけらば捨て谷板への浸水量を求めるために、実験を行った。一般的な風雨条件において、屋根葺き材表面からけらば捨て谷板への浸水量を測定した。

実験内容については、本章の関連報告の「4.平板系屋根葺き材けらば納め部からの雨水浸入機構の検討　実験 A」に詳細に記載するが、主な結果は以下の通りである。

(1) 散水送風試験により、けらば捨て谷板とスレートの間隙への雨水浸入量を測定して、雨量・風速・風向との関係を調べた。

(2) 風向・風速ともに 0 の時は浸水率 1%程度とごく僅かであった。（浸水率とは、流れ長さ 1m あたりの浸水量とその屋根面 1 ㎡あたり降雨量に対する比率とする。）

(3) 条件により、けらばから 1.8m 以上離れた位置の散水も浸入した。

(4) 風速 8m/s において、風向が 0°、22.5°、45°の浸水率がそれぞれ 18.35%、21.07%、25.48%となった。

(5) 単位屋根面積あたりの最大浸水率は風速 8m/s、風向 45°において 25.48%であった。

また、雨水の移動経路について観察した内容を以下に示す。

(1)風向・風速が 0 の場合、雨水はスレート屋根表面を流れ方向に真直ぐ流れる。スレート軒先側のエッジでは水が溜まる現象が見られる。スレートのけらば部では、スレート側面を伝わって捨て谷板に浸水する。

(2)風向 0、風速ありの場合、雨水はスレート屋根表面を流れ方向に真直ぐ流れる。スレート軒先側のエッジでは水が溜まる現象が見られる。また、スレートの縦重ねの部分でも水が溜まる。溜まった水は風の影響で、けらば側に横走りして捨て谷板に浸水する。

(3)風向・風速ともある場合、雨水はスレート屋根表面を風下側に斜めに流れる。スレート軒先側のエッジでは水が溜まる現象が見られる。また、スレートの縦重ねの部分でも水が溜まる。溜まった水は風の影響で、けらば側に横走りする。特に、スレートの縦重ねの 5 ㎜の段差部分で、風の影響を大きく受けるため、縦重ね部分を横走りする。スレートのけらば部では、雨水は飛散してけらば水切りの垂直部にあたり谷板に滴下する。

引用文献

1) 社団法人日本建築学会：勾配屋根の材料・構法・性能（1999 年丸善発行） 第 3 章 P165～189

6.2 外皮二次止水層からの雨水浸入

6.2.1 外皮二次止水層用防水材料の種類と必要性能

1）主な防水材料の種類

外皮二次止水層は、本章 2 節、「2.1 外皮の構成」で層構成としての定義を示しているとおり、屋根葺き材、壁の外装材等の仕上げ材層と、下地層の中間に配置し、仕上げ材層から浸入した雨水が下地層や躯体に到達するのを防ぐ役割を果たす部材層の総称であり、一般に、各種のシート状防水材料が使用される。ここでは二次止水層用の防水材料の種類について述べる。

これらの防水材料の用途は、屋根下葺材、外壁防水紙（モルタル裏面、通気層室内側）、開口部の先張りシート、バルコニー手すり壁上端部の鞍掛けシートなどがあり、防水材料を使用する部位により雨水浸入リスク、結露によるリスク、劣化外力が異なる。

また、これらのリスクや劣化外力は、使用する地域、時期、季節、仕様、組み合わせる材料により影響を受ける。防水材料を選択する際は、各種の影響要因とそれに伴う必要性能を考慮する必要があると思われる。建設時や建設後の防水材料に求められる各種の性能を表 6.2.1 に示す。防水材料の種類は、大別するとアスファルト系と透湿系がある。

2）防水材料の規格と性能確認

a. アスファルト系防水材料の規格と性能確認

アスファルト系防水材料は、JIS A 6005 アスファルトルーフィングフェルトに規定されており、主なものとしてアスファルトルーフィング 940 やアスファルトフェルト 430 があるが、防水性として重要なステープル留め付け時の強度、釘孔止水性、寸法安定性、紫外線・熱劣化に関する試験が無い。（940 などは耐熱性試験があるが、80℃±3℃で 2 時間懸垂し、被覆物のずれ落ち、発泡、アスファルトのしみ出しなどの確認であり、その後の防水性は確認されない）

一方、ARK 規格改質アスファルトルーフィング下葺材 04^{S}-03（屋根）では、JIS に対して釘孔シーリング性、寸法安定性に関する試験が追加されている（耐熱性試験は、JIS よりも 10℃低い 70℃±3℃で確認されている）。ARK 規格改質アスファルトフェルト 14^{W}-03：2014（外壁）では、JIS に対して、アルカリ浸せき後の引張強さの変化率、留め付け部のせん断強さ、ステープル孔止水性、寸法安定性が追加されている。

b. 透湿系防水シートの規格と性能確認

透湿系防水シートは、JIS A 6111 透湿防水シート：2004 と透湿ルーフィング協会規格：2016 で規定されており、屋根用の透湿ルーフィング、外壁通気層用の透湿防水シートがある。透湿ルーフィング協会規格では、透湿ルーフィングの防水性を確保する上で重要な釘孔止水性、寸法安定性、熱劣化後（紫外線（UV22Mj）、熱処理 80℃、90℃）後の引張強度、引張伸度、引裂強度が確認されている。JIS A 6111 透湿防水シートでは、つづり針保持強さ、耐久性試験（紫外線 44MJ/㎡、102 分水噴霧、18 分照射および水噴霧）後の防水性、引張強度残存率、引張伸度残存率、収縮率（促進暴露→70℃24 時間放置→標準状態）が確認されている。これまで透湿ルーフィングに関する JIS 規定は無かったが、2016 年の JIS A 6111 透湿防水シートの改訂に伴い、透湿防水シート屋根用として規格化された。

アスファルト系防水材料は、透湿系防水材料と比較して、一般的に釘孔止水性が高いとされている。一方、透湿系防水材料は、雨水が釘孔を通過しても、透湿性が高いため、アスファルト系防水材料と比較すると、下地材などが乾燥しやすい。屋根面の下葺材に対する防水性、耐久性への要求性能は、アスファルト系であっても、透湿系であっても同じであり、総合的な規準規格の見直しが必要と思われる。外壁においては、アスファルトフェルトはモルタル裏面に使用され、透湿防水シートは通気層室内側に使用されるため、条件が異なる。各種の防水材料は、表 6.2.1 に示される性能以外にも必要な項目があるので、表 6.2.2 を参照して頂きたい。

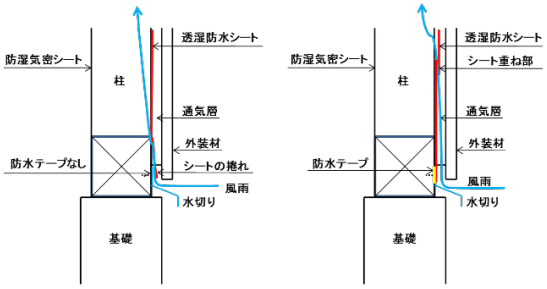
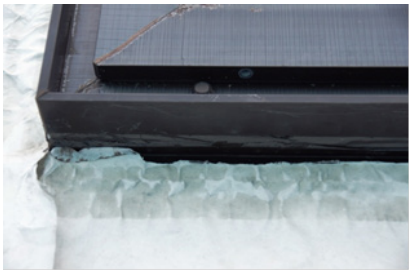
表 6.2.1 防水材料の種類

使用部位	対象部位	規格	品名	規格の主な試験
屋根下葺材	全ての屋根材に適応可能	JIS A 6005 アスファルトルーフィングフェルト：2005	アスファルトルーフィング 940 アスファルトルーフィング 1500	引張強さ 耐折り曲げ性 耐熱性
		ARK 規格 改質アスファルトルーフィング下葺材 04^{S}-03：2006	改質アスファルトルーフィング	引張強さ（無処理） 引張強さ（加熱処理後） 引裂強さ 釘孔シーリング性 耐折り曲げ性、耐熱性 寸法安定性
	瓦屋根、屋根材の室内側に通気層がある金属屋根、住宅屋根用化粧スレート屋根、シングル屋根など	透湿ルーフィング協会規格：2016	透湿ルーフィング	引張強度、引張伸度 引裂強度、耐水圧 透湿抵抗値、綴り針強度 寸法安定性、釘穴止水性 熱老化後：引張強度 熱老化後：耐水圧 熱老化後：引張伸度 熱老化後：引裂強度
外壁防水紙	モルタル外壁裏面	JIS A 6005 アスファルトルーフィングフェルト：2005	アスファルトフェルト 430 アスファルトフェルト 650	加熱減量 引張強さ 耐折り曲げ性
		ARK 規格 改質アスファルトフェルト 14^{W}-03：2014	改質アスファルトフェルト	引張強さ アルカリ浸せき後の引張強さの変化率 留付け部のせん断強さ 耐折り曲げ性 寸法安定性 ステープル穴シーリング性
	通気層室内側	JIS A 6111 透湿防水シート：2004	透湿防水シート	透湿性、結露防止性 引張強さ、つづり針保持強さ 防水性 耐久性：防水性 耐久性：引張強度残存率 耐久性：引張伸度残存率 収縮率、防風性
開口部下部	窓台、柱・間柱	JIS A 6005	先張り防水シート 改質アスファルトルーフィング	改質アスファルトルーフィングと同じ
手すり壁上端	バルコニー手すり壁、笠木下部	JIS A 6005	鞍掛けシート 改質アスファルトルーフィング	改質アスファルトルーフィングと同じ

注：建設現場では、誤って JIS 外のアスファルト系防水紙 8kg/巻品、17kg 巻品が使用されることがある。これらは、安価であるがアスファルト 430 よりも諸性能が低く、建築用ではない（梱包用）ので、注意が必要である。

表 6.2.2 防水材料の必要性能（外壁）

部位	要求性能	試験名など	概　要
屋根外壁共通	防水性	防水性試験	防水材料自体も防水性であるが、劣化しない限り問題とならないことが多い。
	寸法安定性	寸法安定性	防水材料の湿潤乾燥、熱による膨張収縮により釘孔が拡大する恐れがある。
	釘孔止水性	釘孔シーリング性 釘穴止水性	釘およびステープル孔から雨水が浸入することがある。改質アスファルトルーフィング、改質アスファルトフェルト、透湿ルーフィングは、関係機関により釘孔止水性の試験が定められている。 風速 5m/s、4 分間撒水後、ステープルの留め付けの孔より雨水が浸入
	ステープル保持強さ	つづり針保持強さ	防水材料を張る際にステープルからの破れを防ぐための強度が必要となる。
	紫外線劣化防止	紫外線照射、加熱処理後の防水性、引張強度残存率、引張伸度残存率	紫外線が多い期間に防水紙を張った後、長期間、外装材が張られない場合、防水紙が紫外線による影響を受ける恐れがある。透湿防水シートは、紫外線劣化防止剤などの含有量が少ない場合、劣化が著しくなる。
	撥水性		防水材料を購入当初は、少し撥水性があるが、経年により撥水性が低下する恐れがある。経年により撥水性が低下した場合、その種類により防水材料自身が吸水して浸透しやすくなるとともに、釘孔周辺から漏水しやすくなることが考えられる。
	耐熱性	紫外線照射、加熱処理後の防水性、引張強度残存率、引張伸度残存率	建設後、屋根および外壁内にある防水材料は、夏期の外気および日射により、繰り返し高い温度となり、熱劣化する恐れがある。

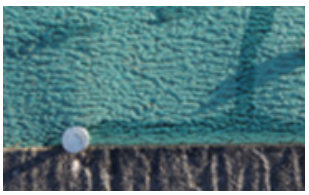
通気層がある場合	透湿性（通気層室内側）	透湿抵抗値	躯体材や下地材が既に濡れている場合は、乾燥させるための防水材料の透湿性能が必要となる。
外壁	耐薬剤性		木材保存剤（防腐・防蟻剤）が施された後、乾燥が不十分な場合や木材・木質材料が雨に晒された場合、溶け出した薬剤が透湿防水シートへ接触し、防水性能が低下する恐れがある。建設後も通気層内に雨水が流下する恐れがあるので、木材・木質材料に薬剤処理しない方法、防腐防蟻性の高い樹種の木材・木質材料を使用する方法がある。サイディングの場合は、通気金物を採用するなどの方法を選択することが考えられる。
	カールのしにくさ		透湿防水シートの種類によって、シートの上下にカールが生じることがある。カールしている場合、強風時に土台水切り付近の通気層吸気口から雨水が吹き上げ、隙間から壁内に雨水が浸入する恐れがある。 
	シワが発生しにくい性能		防水テープと透湿防水シートの相性により、防水テープに含まれる軟化剤や可塑剤などの薬剤が経年の熱により溶け出し、透湿防水シートへシワを発生させ、防水性を低下させる恐れがある。透湿防水シートメーカー等が推奨する製品を使用することが望まれる。 築 11 年、茨城県の住宅の窓まわりのシワ 
	モルタルがひび割れても破断しない性能		モルタルと防水材料が密着し、ひび割れに伴い防水材料が破断することがある。今後、破断しないための工夫が必要と思われる。

6.2.2 外皮二次止水層における浸入経路

1）屋根

屋根材、構法別の雨水浸入の可能性を表 6.2.3 に示す。

表 6.2.3 各構法による雨水浸入の可能性

屋根材	構法	納まりの特徴	雨水浸入、乾燥の可能性
瓦屋根	瓦桟木直打ち構法	瓦桟が屋根下葺材に接触し、瓦桟および瓦留め付け用の釘が下葺材を貫通する。	瓦屋根は、瓦どうしの隙間が大きく下葺材上へ雨水が浸入しやすいが、瓦と下葺材の空間が確保されているため、乾燥しやすい。瓦桟の棟側には、雨水が滞留しやすいので、防水通気瓦桟構法が推奨される。
	縦桟構法（3mm 程度）	瓦桟が流し桟により下葺材よりテープの厚さ分だけ浮き、瓦留め付け釘が下葺材を貫通する。	瓦桟が下葺材から浮いているため、下葺材上の雨水が屋外へ排出されやすいが、瓦を留め付ける釘孔からの雨水浸入する可能性もある。
	防水通気流し桟構法（流し桟の高さ 9mm 以上、ホールレス）	瓦桟が下葺材より浮き、瓦留め付け釘が下葺材を貫通していない。	瓦桟が下葺材から浮き、また、瓦桟の留め付け釘による下葺材の貫通も無いため、瓦屋根で最も推奨される構法となる。
化粧スレート屋根	一般構法（直張り構法）	下葺材の上に直接、スレートを置き、釘で下葺材を貫通し留め付ける。 	隙間が少なく下葺材上へ雨水が浸入しにくいが、スレートを下葺材へ直接、留め付けているため、下葺き上の雨水は、スレート上部に滞留しやすい。また、重ね部の厚さが少ないため、砂や泥が堆積し、雨水の流下を阻害する可能性がある。
	通気構法屋根	下地材の上に縦桟などを留め付けて、通気層を設ける。	屋根材からの雨水浸入のしやすさは、一般構法変わらないが、下地材などが雨水浸入により濡れた場合でも、通気層により野地が乾燥しやすくなる。

金属屋根	一般構法 （直張り構法）	下葺材の上に直接、金属屋根を葺き、釘で下葺材を貫通し留め付ける。 	隙間が少なく下葺材上へ雨水が浸入しにくいが、屋根材を下葺材へ直接、ビスなどで留め付けているため、浸入雨水は、屋根材上部に滞留しやすい。
	通気構法	下地材の上に縦桟などを留め付けて、通気層を設ける。	下葺材上への雨水浸入のしやすさは、一般構法変わらないが、下地材などが雨水浸入により濡れた場合でも、通気層により野地が乾燥しやすくなる。
シングル屋根	一般構法	下葺材の上に直接、シングルを葺き、釘で下葺材を貫通し留め付ける。	隙間が少なく下葺材上へ雨水が浸入しにくいが、屋根材を下葺材へ直接、留め付けているため、浸入雨水は、屋根材上部に滞留しやすい。
	通気構法 （二重野地構法）	野地の上に縦桟や野地などを留め付けて、通気層を設ける。	下葺材上への雨水浸入のしやすさは、一般構法変わらないが、野地や下地材などが雨水浸入により濡れた場合でも、通気層により野地が乾燥しやすくなる。

2）外壁

外装材、構法別の雨水浸入の可能性を表 6.2.4 に示す。

表 6.2.4 外装材、構法による雨水浸入の可能性

外装材	外装・胴縁	雨水の浸入と通気の可能性
乾式外壁	横張り 縦胴縁	縦胴縁のため、雨水が滞留しにくい。強風時は下から上に吹き上げる可能性があり、透湿防水シートの重ね部の隙間が少ないことを確認する必要がある。
	縦張り 横胴縁	横胴縁のため、雨水が胴縁上部に滞留しやすいので、胴縁または透湿防水シートに何れかに凹凸を設けて、雨水を流下させるなどの工夫することが推奨される。また、通気が確保されるように、一定間隔で切り欠きを設ける必要がある。
	胴縁なし 通気金物	通気金物を使用することにより、通気胴縁が必要無くなる。施工精度が必要となるが、上下左右に通気が確保される。

湿式外壁	通気構法二層下地	縦胴縁のため、雨水が滞留しにくい。強風時は下から上に吹き上げる可能性があり、重ね部の隙間が少ないことを確認する必要がある。
	通気構法単層下地	基本的に縦胴縁であるが、リブラスの剛性が低いため、通気層給気口（土台まわり）、通気層排気口（軒天まわり）、開口部まわりには、水平に補助胴縁が必要となる。その補助胴縁の上部に水が溜まりやすくなる。補助胴縁により著しく通気量が少なくならないように注意が必要となる。
	通気構法シート	通気層の厚さが薄いシート状の製品が流通している。通気量が適切に確保されているかを確認する必要がある。特に、釘孔などから通気層に雨水が浸入した場合、通気層を通過して室内側へ雨水が浸入しないことを確認する必要がある。
	非通気	防水紙より室内側へ雨水が浸入した場合、通気層から雨水が屋外へ流下して土台水切りより排出される機能が無いため、最も雨水浸入の可能性が高い。また、壁内に浸入した雨水は、透湿抵抗の高いアスファルト系防水材料に阻まれ、乾燥しにくい状態となる。

6.2.3 透湿防水シートまくれ部への吹き込み浸入水量の推定

透湿防水シートを横張りした際、製品により上下端部がまくれることがある。土台水切り周辺部は、土台水切りと透湿防水シートの間に防水テープを張り付けることにより、雨水浸入を防ぐことが可能となるが、外壁に下地面材が無い場合は、透湿防水シートどうしの重ね分を防水テープで留め付けることが困難となる。

ここでは、透湿防水シートがまくれた状態の場合の雨水浸入量について推定をする。

想定する浸入形態

（1）止水層の固定が不十分な場合、端部がまくれて口が開いている

（2）開口寸法を仮定し、風速、雨量から推定する方法を図 6.2.1 に示す

面積当たりに分布する雨滴の量は、水平面雨量と等しいとする。

気流速度が雨滴寸法に応じて異なる落下速度を上回ると R・A だけの量の雨が吹き込む。

（3）雨滴の寸法は大小混合し、降雨強度により分布が異なり、小さい雨滴ほど落下速度が小さく、大きくなると速く落下する。

（４）細かい雨滴は低い流速で、大粒の雨滴は高い流速で浸入するので、雨量と流速で浸入量が変化する。

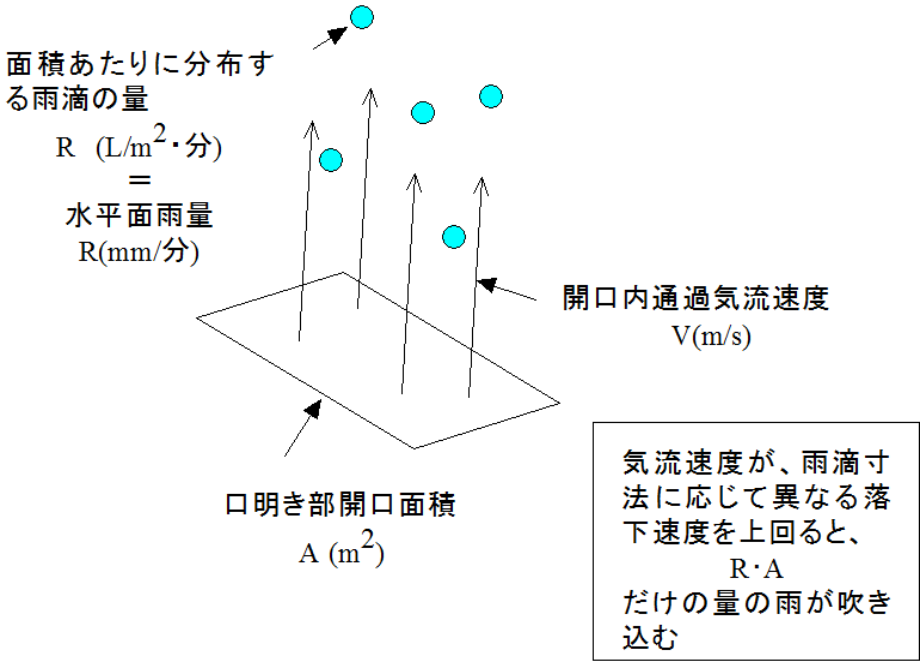


図 6.2.1 雨水の吹き上げの想定

開口内の気流流速を次式により推定する。

$$V = c\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_a}}$$

V：気流流速（m/s）

c（単純形態の開口の値）：0.7

ΔP（開口内外の差圧）：速度圧×差圧係数により求められる。

ρ a（空気の密度）：1.205 kg/m³（20℃）

ΔP を求めるため、先ず、速度圧を計算する。

速度圧 q は次式とする

$$q = \rho_a \cdot V^2 / 2$$

q：速度圧（N/m²）

下記のように仮定する。

ρ_a（空気の密度）：1.205 kg/m³（20℃）

V（屋外の風速）：15 m/s

q＝135.56　N/m²

差圧係数を 1.0 と仮定すると、

ΔP＝135.56 Pa

開口内通過気流流速は、以下の通りとなる。

$$V = c\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_a}} = 0.7\sqrt{\frac{2\times 135.56}{1.205}} = 10.5 \text{ m/s}$$

空気中を落下する雨滴の落下終速度は、図 6.2.2 のように雨粒の直径が 6mm を越えると約 9m/s で一定に近づく[1)]。従って、上記で仮定した開口内通過気流流速においては、降雨強度に関係なく、雨水はまくれた開口内面積に従い全て開口内へ浸入することになる。

開口への浸入雨量は、雨水浸入量は R（雨量）×A（開口面積）となる。

なお、開口への雨滴の量は、前述した通り、水平面雨量と等しいとする。

水平面雨量を仮に 10 分間の雨量を 5mm/10min とすると、30mm/hr（30L/㎡）となる。今回、仮定している風速 15m/s 以上で、かつ雨量 5mm/10min 以上に該当する条件がどの程度発生するのか確認するため、基準風速が 40m/s の高知県室戸市の気象庁のデータを参照した結果、表 6.2.5 の通りとなった。

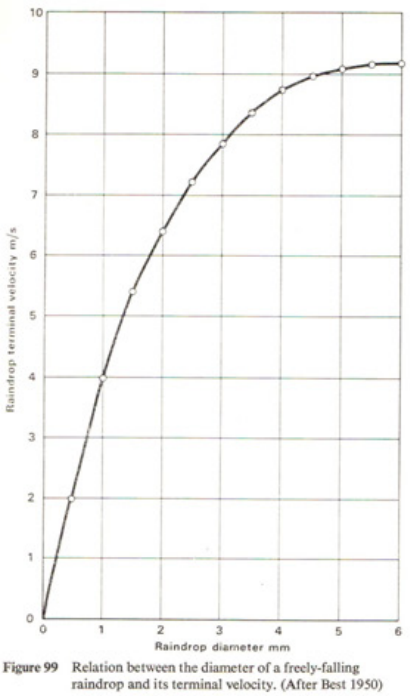


Figure 99 Relation between the diameter of a freely-falling raindrop and its terminal velocity. (After Best 1950)

図 6.2.2 雨粒の径と落下速度
（ Best 1950 による）

表 6.2.5 高知県室戸岬における強風雨（2015 年）
降水量 5.0mm/10min 以上かつ、風速 15m/s 以上

日	時間	10 分間降水量（mm）	平均風速（m/s）	最大瞬間風速（m/s）
1 月 6 日	11:10	5.0	20.0	30.8
4 月 3 日	22:20	6.0	13.1	17.7
5 月 12 日	11:30	6.0	15.3	20.2
6 月 3 日	3:10 9:00	9.5 6.0	12.8 13.7	17.2 22.3
6 月 5 日	18:00	5.5	14.9	23.5
7 月 16 日	16:10 18:10	5.5 5.0	22.3 21.8	42.6 33.9
8 月 30 日	11:00	6.0	9.4	20.1
9 月 6 日	14:30 14:40	7.0 7.5	19.2 11.4	23.6 16.9
9 月 24 日	6:40 14:10	6.0 7.5	11.0 10.0	19.6 15.1
10 月 27 日	22:10	9.0	13.3	16.2
11 月 7 日	20:10	7.0	11.4	17.1
11 月 8 日	13:40	5.5	16.8	21.8
11 月 13 日	16:50	5.5	10.2	20.1
12 月 10 日	19:10	7.0	18.3	21.6

間柱－間柱間の通気層の半分の面積が透湿防水シートのまくれにより開いていると仮定すると、開口の面積 A は、以下の通りとなる。

R（面積当たりに分布する雨滴の量）＝0.5 L/㎡･min

A＝（0.455m－0.045m）×0.0075 m＝0.003075 ㎡

従って、浸入水量 R ･ A は、下記の通りとなる。

R ･ A＝0.5×0.003075 L/min＝92 ml/hr

6.2.4 しわ発生による止水層重ね部、またはテープ張り合わせ部からの浸入水量の推定

防水材料は、下記の要因によりしわなどによる隙間が生じることがあり、雨水浸入の要因となり得る。

(1) 防水材料は、施工時や施工後に吸湿・吸水して膨張したり、日射や周辺の温湿度に伴う乾燥により収縮したりすることがある。その寸法変化により、防水材料などにしわが生じることがある。

(2) 防水テープの種類によって、可塑剤や軟化剤などが含まれることがあり、長期間の熱の影響によりこれらが透湿防水シートへ作用し、数年後、しわが生じることがある。

(3) 防水テープの施工が不適切な場合、しわが生じることがある。

ここでは、しわによる防水材料重ね部や開口部まわりに張り付ける防水テープのしわなどから浸入する雨量を推定する。

しわの発生部周辺の流下水量（外装材下に入り込んでその部分に流れてくる可能性のある量）、しわによる水みち開口寸法の概要を図 6.2.3 に示す。

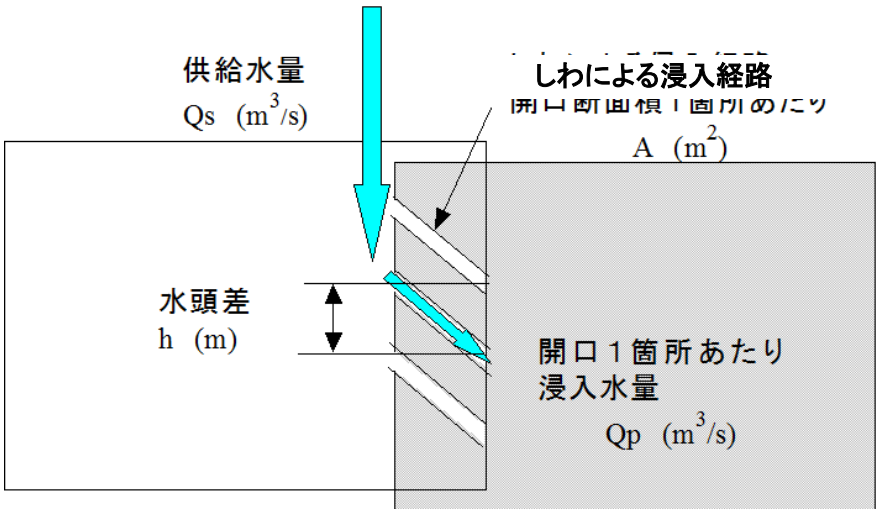


図 6.2.3 浸入形態の概要

供給水量 Qs は、たまたまその位置に流れてきた水だけが対象であり、Qs を 5ml/min と仮定する。浸入水量 ΣQp と供給水量 Qs の小なる方が浸水量となる。

しわなどによる開口 1 箇所あたりの浸入水量 Qp は、次式による。

$$Q_p = c \cdot A\sqrt{2gh}$$

Q_p：開口 1 箇所当たりの浸入水量（㎥/s）

c：1.0（ノズル状の開口）

A（しわによる浸入経路開口部の 1 箇所当たりの断面積：（㎡）

直径 1mm^2 のしわが生じたと仮定すると、

A＝3.14×0.0005^2＝7.85E-7 ㎡

g：9.80665（m/s^2）

h：0.01（m）と仮定

Q_p＝3.47652E-7（㎥/s）＝20.86ml／min

Qs：5ml/min＜Qp：20.86ml／min、Qs が小なので、浸水量は 5.0ml／min

6.2.5 各種接合具貫通部からの浸透水量の推定

外装材、防水材料などを釘やステープルなどの接合具で留め付ける際、接合具周辺に隙間が生じることがある。

特に下記の納まりの場合、雨水が部分的に滞留しやすくなり、隙間や水頭差が大きいと雨水が浸入しやすくなる。

バルコニー

(1) バルコニー手すり壁の上面に傾斜が無い部分にビスやステープル等が留め付けられている場合

(2) 水平面に笠木固定具が接合具で留め付けられている場合

屋根

(1) 緩勾配の屋根

(2) 瓦桟が下葺材に接触し、接合具などで留め付けられている場合

(3) 屋根葺材が下葺材に接触し、その付近に接合部による貫通部がある場合

(4) 下葺材の寸法変化により、接合部に凹みが生じている場合

外壁

(1) モルタル直張り外壁など、外装と防水紙が接触している場合

(2) 横胴縁や補助胴縁が透湿防水シートに密着している場合

取り合い部

(1) 外壁とバルコニー手すり壁上端の取り合い部

(2) 外壁と屋根の取り合い部

以下に接合具貫通部からの浸透水量の推定例を示す。

1) バルコニーおよび屋根下葺き材貫通部の透水量の推定

下葺き材、鞍掛シートによる想定する雨水の滞留の形態および滞留水位 h（瓦桟木によるせき止めあり）を図 6.2.4 に示す。

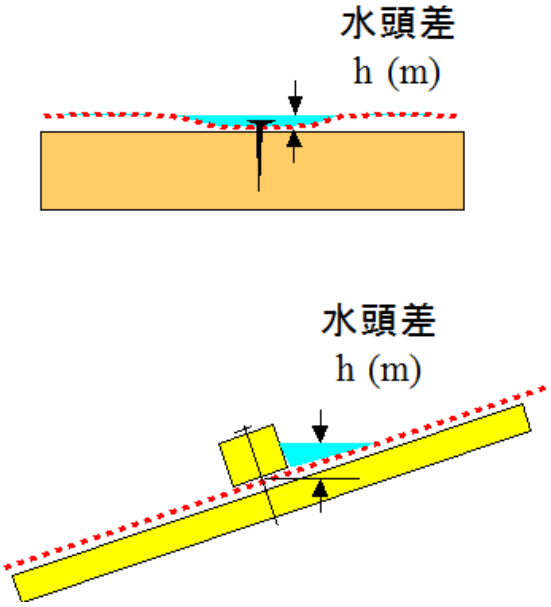


図 6.2.4 雨水の滞留の形態と水頭差

「勾配屋根の材料・構法・性能 1999（日本建築学会）」第 3 章に記載されている瓦屋根（4 寸勾配）の試験によると、屋根材裏面への漏水量は 250ml/㎡・min であった。この値を下葺材への供給水量 Q_s と仮定する。

ステープルの周辺 1cm² 当たりが吸水すると仮定すると、供給水量 Qs：0.025ml/min

浸入水量 Qp は、次式による。

$$Q_p = c \cdot A\sqrt{2gh}$$

Q_p：最大漏水量（㎥/s）

$c \cdot A$：流量係数×隙間面積

g（重力加速度）：9.80665（m/s2）

h（水頭差）：（m）

「一財）住宅都市工学研究所が実施した「真壁木造の長期優良住宅実現のための技術基盤強化事業」において、経年した下葺き材の緊結部材貫通部における浸水リスクを評価するため、構造用合板を下地として下葺き材に各種緊結部材を 6～8 箇所貫通させた試験体を用い、温湿繰り返し処理を行った後の状態で貫通部の透水試験を実施している。この実験における貫通部の漏水量の平均値から、上記の式で c･A 値を逆算した結果が表 6.2.6 のように示されている。以下の検討においては、この実験結果に基づく c･A 値を用いる。

表 6.2.6 実験より算出した 1 か所当たりの *cA* 値（単位：㎡）

（出典：「一財）住宅都市工学研究所：平成２２年度国土交通省補助事業「真壁木造の長期優良住宅実現のための技術基盤強化事業」報告書）

	Case1	Case2	Case3	Case4
防水材料	アスファルトルーフィング 940	改質アスファルトルーフィング	透湿ルーフィング	ｱｽﾌｧﾙﾄﾙｰﾌｨﾝｸﾞ 940+ブチル防水テープ
ステープル	2.94E-11（③*）	1.76E-11	1.40E-10	2.40E-11
桟木、釘	2.20E-11（②*）	1.60E-11	3.41E-11	3.01E-11
桟木、スクリュー	1.87E-11	1.40E-11（①*）	2.02E-10	3.47E-11
最大値より算出	4.01E-11	4.01E-11	4.81E-10	4.81E-11
打ち損じ				3.05E-10

＊（注）①～③は下記の試算で使用した *cA* 値を示す。

試算例①

バルコニー手すり壁上端部に改質アスファルトルーフィングによる鞍掛けシートを施し、スクリューにより留め付けた場合

下葺材、接合具：改質アスファルトルーフィング+ステープル

水頭差：0.003 m

$Q_p = c \cdot A\sqrt{2gh} = 1.40E-11\sqrt{2gh}$（㎥/s）＝3.40E-4（ml/min）＝0.000204 ml/min

$Qs > Qp$ であるので、浸水量は 0.000204 ml/min

試算例②

瓦屋根の下葺材としてアスファルトルーフィング 940 を用い、その上に瓦桟を配置して釘留めした場合

下葺材+瓦桟：アスファルトルーフィング 940+釘+瓦桟（Case1）

水頭差：0.01 m

$Q_p = c \cdot A\sqrt{2gh} = 2.20E-11\sqrt{2gh}$（㎥/s）＝5.85E-4（ml/min）＝0.000585 ml/min

$Q_s > Q_p$ であるので、浸水量は 0.000585 ml/min

試算例③

屋根の野地にアスファルトルーフィング 940 をステープルで留め付けた場合

下葺材：アスファルトルーフィング 940+ステープル

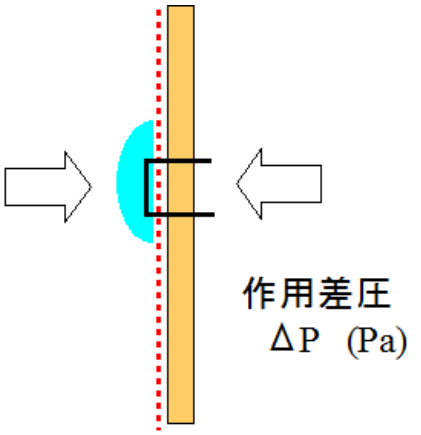
水頭差：0.003 m

$Q_p = c \cdot A\sqrt{2gh} = 2.94E-11\sqrt{2gh}$（㎥/s）＝4.28E-4（ml/min）＝0.000428 ml/min

2)　外壁防水紙貫通部の透水量の推定

防水紙の場合、作用圧力差Δｐの仮定（葺き材施工前、施工後）

想定する浸入形態



防水材料表面を流下し、貫通部を塗らした水が両面空気の差圧で押し込まれる。

図 6.2.5 雨水浸入の形態

浸入水量 Q_p は、次式による。

$$Q_p = c \cdot A \sqrt{2 \frac{\Delta P}{\rho_w}}$$

仮定

c：0.6

A は、防水紙の寸法変化に伴う、ステープル留め付け孔まわりの隙間の断面積（㎡）

ステープルの足の幅：0.001m、寸法変化を 0.001m、釘孔 2 箇所とする。

$c \cdot A = 0.6 \times 0.001\text{m} \times 0.001\text{m} \times 2 = 1.2\text{E-}06$ ㎡

ρ_w（水の密度）：1000 kg/㎥

ΔP は、外装材施工前は外面と室内の差圧。外装材施工後は通気層内圧と室内の差圧であり，次式で求める。

ΔP：速度圧×差圧係数

試験建物による実測値から求めた施工後の差圧係数：0.905

速度圧 q は次式とする。

$q = \rho_a \cdot V^2 / 2$

q：速度圧（N/㎡）

ρ_a：空気の密度、1.29 kg/㎥

V：屋外の風速（m/s）

屋外の風速を 10m/s と仮定

$q = 1.29 \times 100/2 = 64.5$ Pa

ΔP＝64.5×0.905＝58.37 Pa

Q_p＝c･$A\sqrt{2\frac{\Delta P}{\rho_w}}$＝1.2E-06$\sqrt{2\frac{\Delta P}{\rho_w}}$＝25×$10^{-6}$（㎥/s）＝25 ml/min

Q_s：5 ml/min と仮定

Q_s＜Q_p、よって浸水量は 5 ml/min

引用文献

*1）：Department of the Environment, Building Research Establishment Report「Climate and building in Britain」,1977

6.3 モルタル外壁ひび割れ部からの雨水浸透量の評価

6.3.1 はじめに

モルタル・コンクリート壁体に多く発生するひび割れ部からの漏水に関する知見として、気乾状態の壁体のひび割れ部では浸入水がひび割れ内面に吸収されるための漏水開始遅れが生じ、微細ひび割れでは実質的に漏水に至らないことが明らかになっている。[1)]

しかし、木造外壁では、外装材に過剰に吸収された水分は、その後の晴天時に日射熱等により蒸散し、壁内へ放散して低温部材面で結露することにより下地の劣化リスクとなり得る[2)]ため、モルタル塗り層のひび割れ面から塗り層内に吸収される雨水の量の評価が必要である。また、防水紙とモルタル層が密着せず間隙があり、ひび割れを透過した雨水がこの間隙に滞留する状況では、この雨水がステープル貫通部等から下地木部を湿潤させるため、同様に下地の劣化リスク要因として量的評価が必要である。このため、モルタル外壁ひび割れ部の雨水浸透量と浸透範囲について基礎的な検討を行った。

6.3.2 ひび割れ部における雨水浸透機構

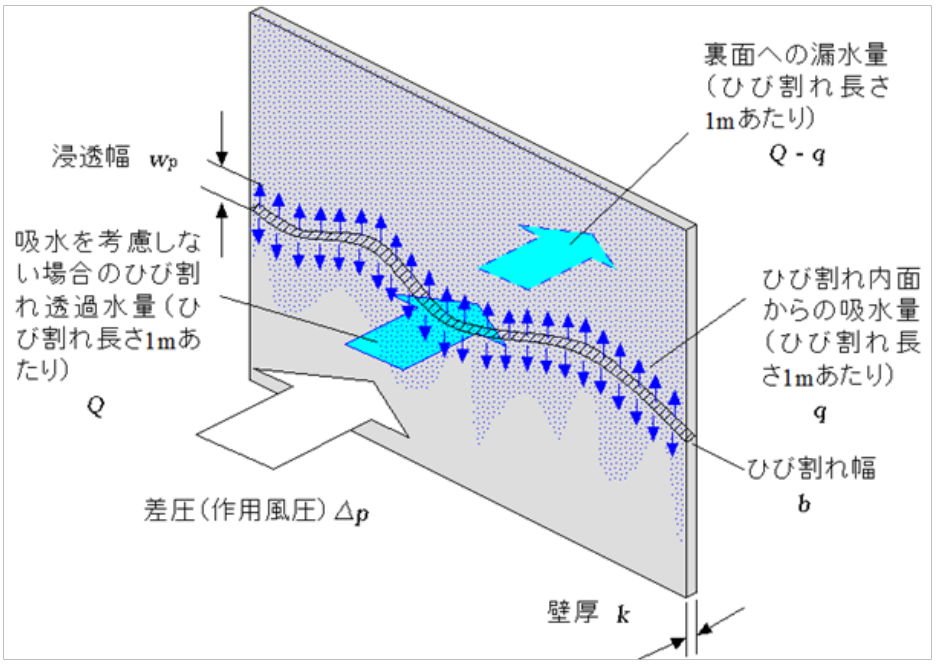


図 6.3.1　塗り壁層ひび割れ内の雨水浸入と層内への浸透

図 6.3.1 はモルタル塗り層ひび割れ部における雨水浸透状況の模式図である。

壁面を塗らす雨水はひび割れ部の間隙に風圧等がもたらす圧力差で圧入される。この雨水の量 Q（ひび割れ長さ 1m あたり）の一部はひび割れ内面から吸収され、ひび割れの両側に浸透する。この吸水量を片面につき q　（ひび割れ長さ 1m あたり）とし、浸透域の見付け面での幅を片側につき w_p とする。ひび割れ内面が吸収しきれない分の雨水　$Q - q$　はモルタル層の裏

面から漏出する。なお、モルタル層の外面は通常塗装が施されるため、外面からの雨水吸収は無いものとした。また、ひび割れ内への雨水圧入量は当然壁面上の流下雨水量でも変化するが、ひび割れ内の流量が微量であることから圧入量に対して十分な量の雨水が常時供給されるものとした。また、作用差圧は定常とした。

以上を前提として、以下ひび割れに親水が始まってからの q、w_p の経時変化について、算定式を導く。

多孔質材料の一面から継続的に吸水が進行する時、単位吸水面積あたりの吸水量 q と吸水時間 t の間に一般的に次式が成り立つ。

$$q = a\sqrt{t} \quad \cdots (6.6)$$

ここで　a：吸水速度係数　（$m^3/m^2 \cdot s^{0.5}$）、

吸水時間 t における吸水速度は（1）式の微分で与えられ、これを a と q を用いて表せば、

$$\frac{dq}{dt} = \frac{a^2}{2q} \quad \cdots (6.7)$$

一方、圧力差によってひび割れ間隙に圧入される雨水の量は、ひび割れ内の流れを粘性流と見なすと次式で求められる[1)]。

$$Q = \frac{b^3 \Delta P}{12\delta\ \mu k} \quad \cdots (6.8)$$

ここで　Q：ひび割れ間隙内への浸入水量（$m^3/m \cdot s$）

b：平均ひび割れ幅（m）

ΔP：壁体前後の空気圧力差（Pa）

μ：雨水の粘性係数（Pa･s）

k：壁厚（m）

δ：ひび割れ面の性状により異なる常数

浸入開始直後は吸水速度が Q を上回るため裏面へ漏水しない。この間の吸水量（単位面積あたり）は浸入水量で決まるため、ひび割れの片側については次式で与えられる。

$$q = \frac{Q \cdot t}{2k} \quad \cdots (6.9)$$

ここで　t：経過時間（s）

$t = t_l$　において $(dq/dt) \cdot 2k$ が Q と等しくなり、裏面へ漏水が始まるとすると、　(2)、(4)式から

$$t_l = \frac{2a^2k^2}{Q^2} \quad \cdots\cdots (6.10)$$

この時点の吸水量 q_l は

$$q_l = \frac{a^2 \cdot k}{Q} \quad \cdots\cdots (6.11)$$

その後の q と t の関係は、（2）式の積分と（5）、（6）から、次式で与えられる。

$$q = a\sqrt{t - \frac{a^2 \cdot k^2}{Q^2}} \quad \cdots\cdots (6.12)$$

また、浸透幅 w_p は、$q = w_p \cdot k \cdot B$ から、次式で求められる。

$$w_p = \frac{q}{k \cdot B} \quad \cdots (6.13)$$

ここで　　B：有効体積吸水比

6.3.3 既調合軽量モルタル塗り層のひび割れ部における雨水浸透量および浸透範囲の評価例

1）仮定

以下の仮定値を用い、6.3.2 の（6.8）,（6.9）,（6.12）,（6.13）式から ひび割れ内の浸入量、ひび割れ内面からの浸透量の時間的変化を求めた。

ひび割れ幅 b　：0.1mm, 0.2mm, 0.3mm

壁厚 k：15mm

ひび割れ面性状常数　δ：7、40

ひび割れ部の吸水速度係数　a：2.8×10^{-5} $m^3/m^2 \cdot s^{0.5}$

有効体積吸水比　B：0.20（試験による飽和体積吸水比 0.25－想定気乾時体積含水比 0.05）

壁体前後の空気圧力差　ΔP：10（Pa）

水の粘性係数　μ：　1.0×10^{-3}（Pa･s　（20℃）

既調合軽量モルタル塗り層の吸水速度係数、および飽和体積吸水比は、本章の関連報告の「既調合軽量モルタルのひび割れ面吸水試験報告書」の実験値を採用した。

δ は、ひび割れ間隙の屈曲による流路長さの平行２平面間隙に対する延長倍率に相当する値であり、仕上げのないセメント・砂モルタル板のひび割れについての実験値として 7 が得られている[1)]。一方、住宅外壁の既調合軽量モルタル塗りでは、表層部にひび割れ抑制のためのガラスクロスの伏せ込みを行い、表層には仕上げの塗材を施工することが一般的である。本章の関連報告の「各種仕上げ塗り材下地ひび割れ部の水密性試験報告」によれば、下地モルタル層のひび割れに沿って仕上げ塗材層にひび割れが生じ、漏水が生じる場合でも、δ 値は 40～1000 と仕上げのない場合に比べて著しく高い値が得られている。これはガラスクロスによるひび割れ分散効果および塗材層による実質的間隙の減少によるものと考えられる。このため、ここでは通常のモルタルについての 7 と仕上げ塗材を施工した軽量モルタル層についての最小値、40 を採用した。

壁体前後の圧力差 10Pa は風速 4m/s の速度圧に相当し、通常の風雨条件で想定される値である。

2）算定結果

図 6.3.2 に、δ=7 と δ=40 の場合について、経過時間 6000sec までのひび割れ両側への層内浸透水量の計算結果を示す。

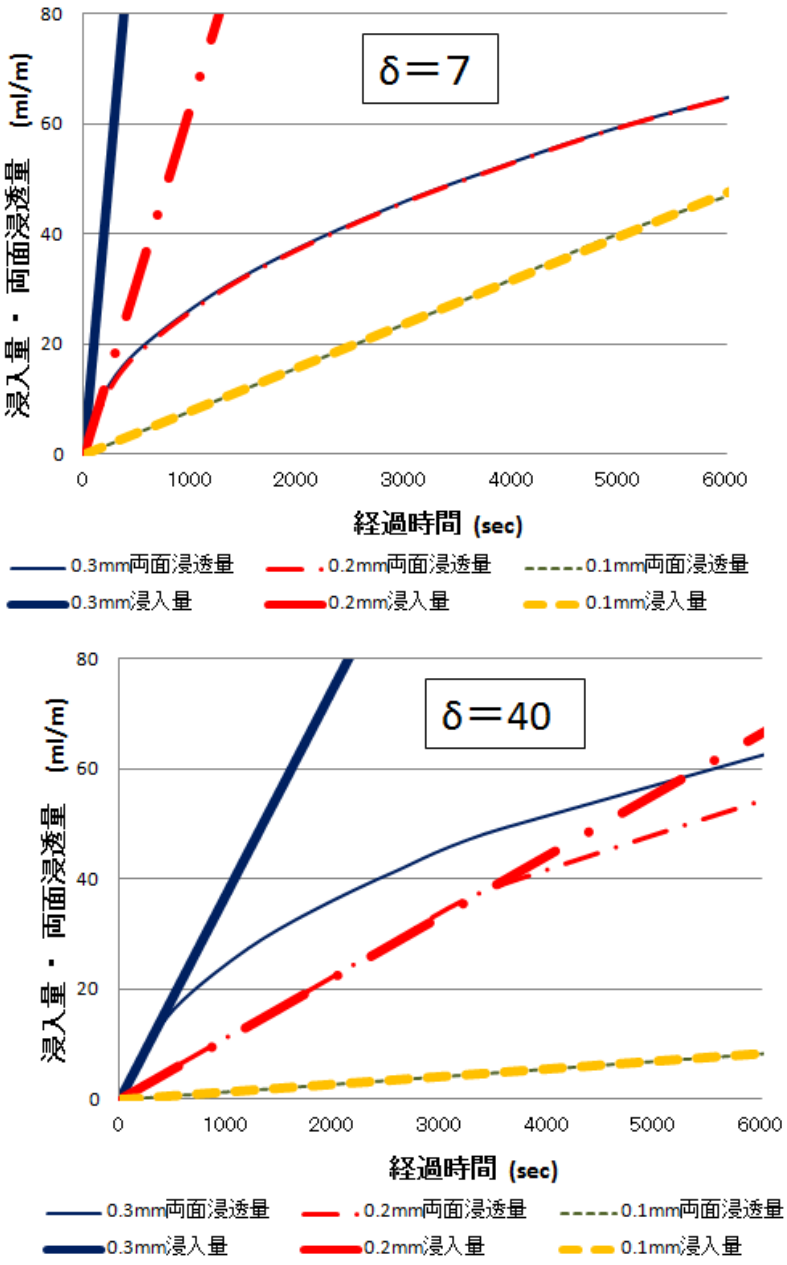


図 6.3.2　既調合軽量モルタル塗り層ひび割れ内面から層内への浸透水量算定結果

（塗り厚:15mm,　吸水速度係数:$2.8\times10^{-4}m^3/m^2\cdot s^{1/2}$、差圧:10Pa）

δ=7 の場合、ひび割れ幅 0.1mm では浸入水量と一致している。ひび割れ幅 0.2mm では最初の 90sec のみ浸入水量と一致しているが、それ以降はひび割れ内面の吸水速度に従って増加している。ひび割れ幅 0.3mm では吸水速度に対して浸入水量が多いため、ごく初期を除き浸透量は吸水速度で決まる。

δ=40 の場合、浸入水量は δ=7 の場合の 1/6 弱となり、浸透量はひび割れ幅 0.1mm では 6000sec まで浸入水量と一致しているが、ひび割れ幅 0.2mm では最初の 2900sec まで浸入水量

と一致し、それ以降はひび割れ内面の吸水速度に従って増加している。ひび割れ幅 0.3mm でも最初の 250sec まで浸入水量と一致する。

δ=7 と δ=40 の場合を比較すると、浸入水量が支配的なひび割れ幅 0.1mm では浸透量に大幅な差が見られるが、ひび割れ幅 0.2mm、0.3mm では、吸水速度が支配的となる吸水の過程では δ による浸透量の差は小さくなっている。

表 6.3.1 に、浸入開始後 10 時間までの浸透量と浸透幅の算定結果を要約して示す。モルタル層に幅 0.2mm 以上のひび割れが発生すると、１０時間経過時において、δ 値、ひび割れ幅によらず浸透量は長さ 1m あたり 150ml、また、浸透幅は 50mm 程度に達する。

壁面全体としての雨水浸入リスクは、ひび割れ発生密度に応じて変わるが、間隔 500mm で格子状に発生したひび割れの場合、壁面 1 m^2 あたり１０時間経過時の浸透水量は 600ml、浸透域の面積は 0.2m^2 となる。このような浸透量、浸透範囲は、壁体内の通気が不良であるような条件では下地木部の劣化リスク要因として無視できないものと考えられる。

表 6.3.1　既調合軽量モルタル塗り外壁ひび割れ部における雨水浸透量および浸透幅試算結果

δ 値	ひび割れ幅（mm）	両側浸透量（ml/m）			両側浸透幅（mm）		
		1hr後	3hr後	10hr後	1hr後	3hr後	10hr後
7	0.1	28.6	75.1	153.1	9.5	25.0	51.0
	0.2	50.1	87.1	159.3	16.7	29.0	53.1
	0.3	50.4	87.3	159.4	16.8	29.1	53.1
40	0.1	5.0	15.0	50.0	1.7	5.0	16.7
	0.2	39.1	81.3	156.2	13.0	27.1	52.1
	0.3	49.5	86.8	159.1	16.5	28.9	53.0

6.3.4 まとめ

モルタル塗り壁層のひび割れ部から、降雨時、裏面に透過する雨水以外に、相当量の雨水が壁層内に浸透、保持されることが分かった。今後この雨水が下地木部の劣化におよぼす影響について検討する必要がある。

引用文献

1）石川廣三：モルタル・コンクリート外壁の微細ひび割れからの漏水性状、日本建築学会構造系論文集 610 号、2006

2）石川廣三：壁面の雨がかり性状および湿害発生要因としての雨水浸入の重要性、日本建築学会第 44 回熱シンポジウム講演資料集、2014.10、大阪

6.4 サイディング材目地部からの浸水量

6.4.1 はじめに

木造住宅の外壁に多く用いられている窯業系サイディング材は、通気構法を標準構法とし防水紙と防水テープで防水層を形成し、切断部の目地はシーリング材を用いて止水性を確保している。サイディング材相互の嵌合部は、合じゃくり形状が一般的となっている。合じゃくり部の立ち上りは 10mm～15mm 程度で、止水性を向上させるため弾力性のある気密材が設置されている仕様が多く用いられている。

雨水の大半は横目地嵌合部から内側には浸入しないと考えらえるが、風雨が強い気象条件では嵌合部の隙間の程度により雨水が合じゃくり部の立ち上がりを超えて通気層内へ浸入することが考えらえる。通気層を介して透湿防水シートと防水テープにて防水層を形成しているが、防水層の仕様を検討するためにも、サイディング材目地部からの雨水浸入量の評価が必要である。このため、５節「風雨を受ける外皮表面間隙部の浸水量の評価方法」に基づき検討を行った。

6.4.2 サイディング材横目地部における雨水浸入量の評価方法

1）基本式

一般に開口の流量は次式で表わされる。

$$Q = c \cdot A\sqrt{2\frac{\Delta P}{\rho}} \quad \cdots (6.14)$$

ここで、Q：流量（m^3/s）

c：流量係数（主に開口の形状によって決まる値）

A：開口面積（m^2）

ρ：流体の密度（kg/m^3）

ΔP：開口前後の圧力差（Pa）

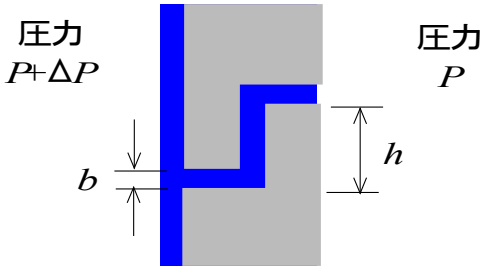


図 6.4.1　立ち上がりのある間隙部の透過水量

サイディング材目地の合じゃくり嵌合部は、図 6.4.1 と考える事が出来る。ここで、立ち上がりのあるスリット状の間隙の入り口が連続的に水膜で覆われ、かつ十分な量の水が供給される条件で、間隙の前後に圧力差 ΔP が作用している場合の見つけ長さ 1m 当りの透過水量は、

$$Q_p = \mathrm{c}\cdot b\sqrt{2\left(\frac{\Delta P}{\rho_\mathrm{w}} - \mathrm{g}\cdot h\right)} \quad \cdots (6.15)$$

ここで、Q_p：透過水量（$m^3/m\cdot s$）

c：間隙の流量係数

b：目地内の最小間隙幅（m）

ρ_w：水の密度（kg/m^3）

ΔP：圧力差（Pa）

g：重力加速度（m/s^2）

h：立ち上がり高さ（m）

2）圧力差および供給水量の変動に応じた評価

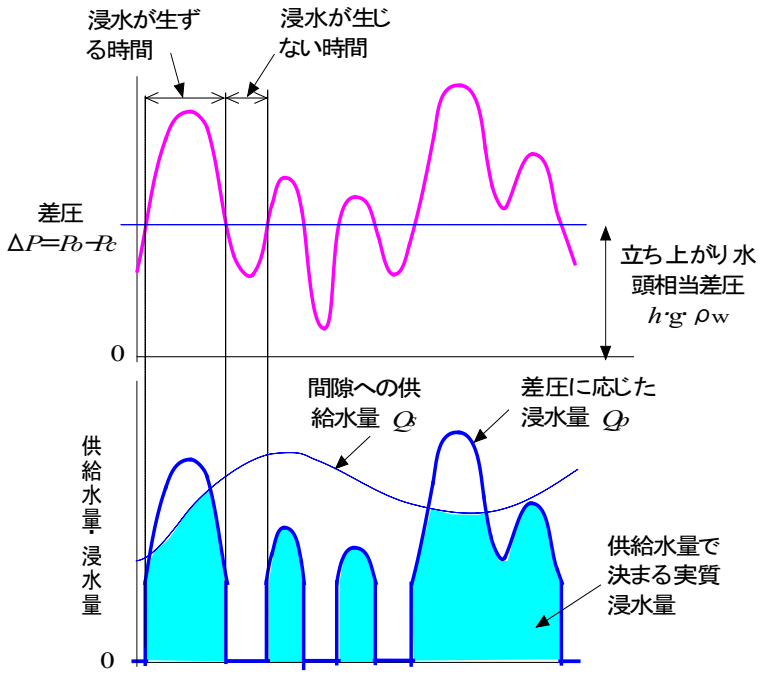


図 6.4.2　圧力差、供給水量の時間的変動と浸水量の関係

風速の時間的変動に伴い、間隙前後の圧力差も変動し、これに応じて（2）式で計算される間隙の浸水量 Q_p が増減する。横目地立ち上がり分の水頭相当の圧力差以下では浸水は生じない。また、風雨の強さの変化に応じて、間隙部への供給水量 Q_s も変動し、Q_s が Q_p を下回る時間においては浸水量は Q_s で決まる。図 6.4.2 はこの関係の説明図である。

実際風の変動は不規則で評価に取り入れることは難しいが、圧力変動が浸水量に対する影響は大きいため、ここでは通常外装材の水密性能試験等で採用されている、平均圧力差$\overline{\Delta P}$を中心とし、上限圧 $1.5\overline{\Delta P}$、下限圧 $0.5\overline{\Delta P}$、周期 2 秒の正弦波で近似させた圧力変動を採用する。
供給水量の変動については関係する要因が多く、また、風圧変動との時間的な関連性も明らかになっていないため、変動は考慮せず、ここでは定常に供給されものとする。

3）計算のフロー

以上の評価方法に従い、単位時間あたりの水平面雨量および平均風速が与えられている所定の時間について、各種外皮表面間隙部からの雨水浸入量を算定するフローを図 6.4.3 に示す。

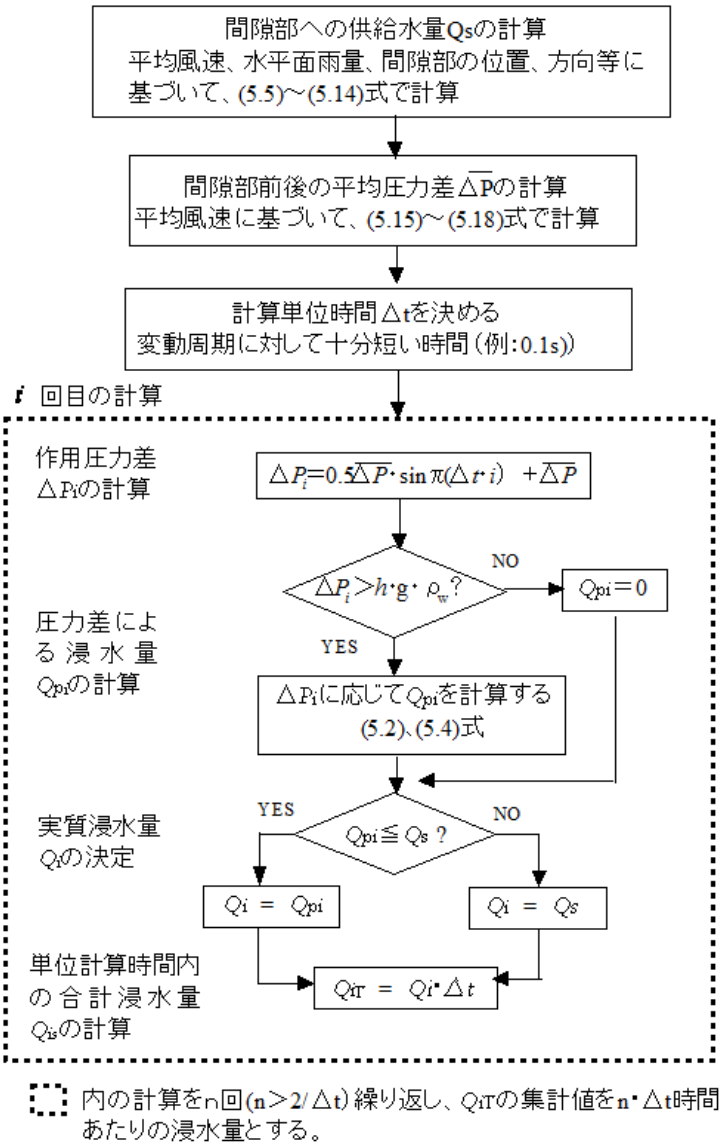


図 6.4.3　変動圧力差に対する浸水量の一般的計算フロー

6.4.3 サイディング外壁目地部からの雨水浸透量の評価

サイディング横目地からの浸水量を以下の条件にて、図 6.4.3 のフローに従い試算した。

1）試算条件

a．壁面の条件

壁面の構成を図 6.4.4 に示す。壁面高さは 1820mm とする。サイディング材の高さは上段・下段が 227.5mm で他は 455mm とし、横目地は 4 ヶ所である。横目地嵌合部の合じゃくり高さは 15mm および 11mm の 2 条件とする。横目地気密材の欠損開口幅を 0.1mm、横目地全長での欠損率を 10%と、5%、1%の 3 条件とし、目地 1m あたりの開口面積を間隙幅に換算したものを b とした。すなわち、

b：相当間隙幅（m）＝ $(0.1/1000)\times(10/100)=0.00001$

$(0.1/1000)\times(5/100)=0.000005$

$(0.1/1000)\times(1/100)=0.000001$

間隙の流量係数は 1.0 とする。

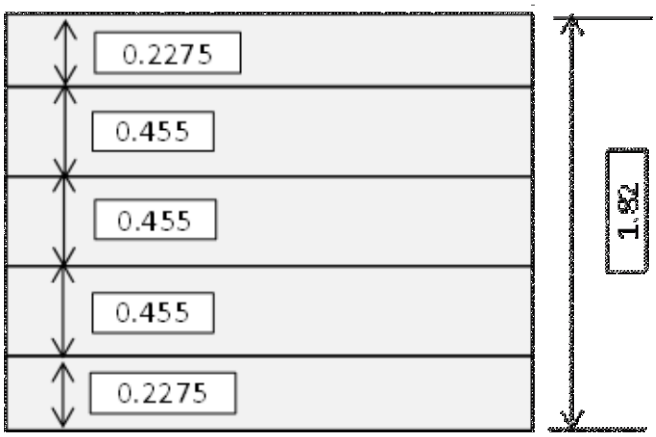


図 6.4.4 サイディング材壁面　単位:m

b. 圧力差

平均圧力差 ΔP を中心とし、上限圧 $1.5\times\Delta P$ 、下限圧 $0.5\times\Delta P$ 、周期 2 秒の正弦波で近似させた脈動圧力とする。ΔP は 150、240Pa の 2 条件とする。

c. 壁面雨量

20、240mm/hr の 2 条件とする。

d. その他

計算単位時間 Δt：0.1sec、水の密度 ρ_w： 1000kg/m^3、重力加速度 g： 9.8m/s^2

2）計算結果

a．圧力差および浸水量の時間的変化

目地立ち上がり高さ 0.015m、横目地間隔 0.455m、相当間隙幅 5×10^{-6}m（シール欠損率 5%、開口幅 0.1mm）、壁面雨量 20mm/hr、平均圧力差 240Pa の例を図 6.4.5 に示す。

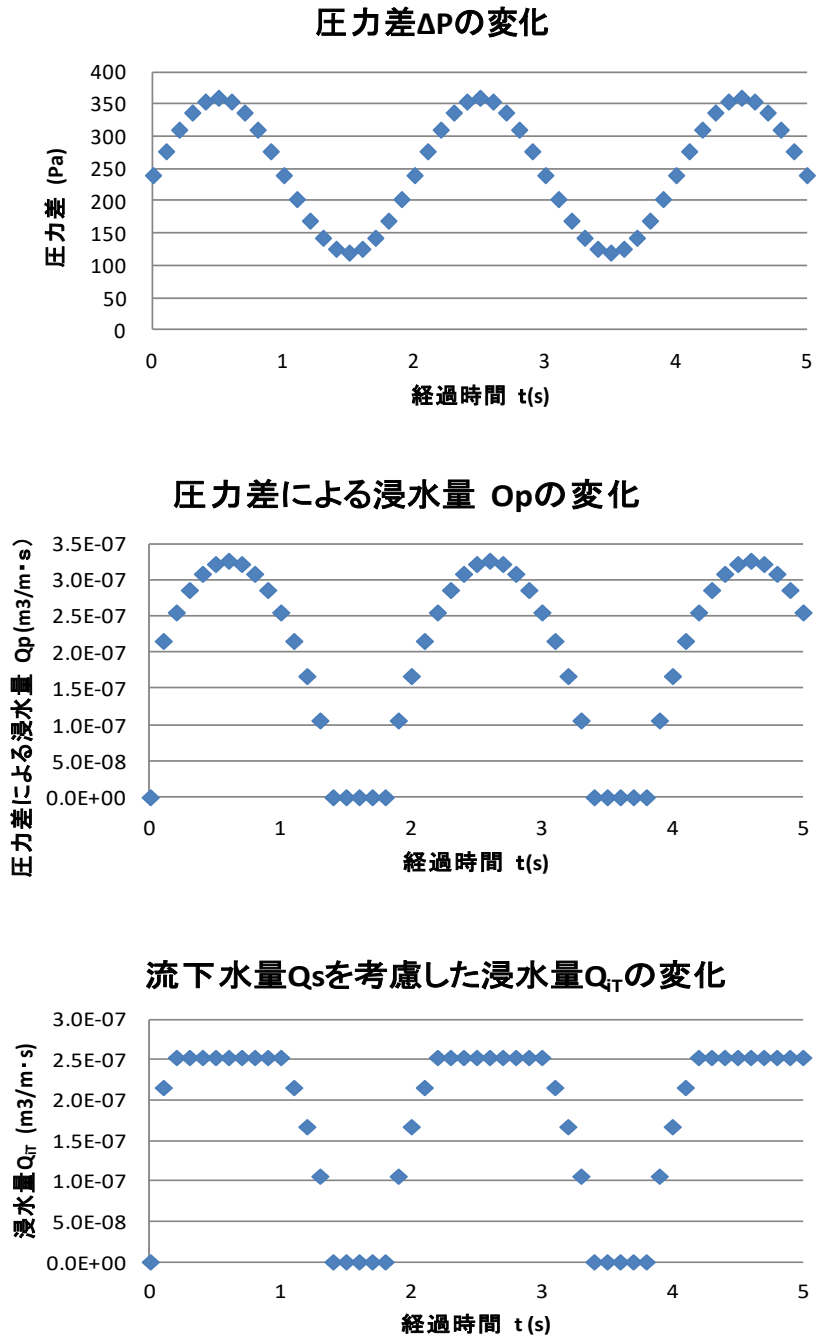


図 6.4.5 浸水量の経時変化計算例

立ち上がり寸法と流下水量の影響を受けた浸水量の変化傾向があきらかである。

各計算単位時間内の浸水量を累積し、2 秒間の累積浸水量の平均値を目地 1 列の毎秒あたり浸水量とした。

b. **目地 1 列あたりの浸水量**

各計算条件についての目地 1 列あたりの浸水量（$m^3/m\cdot s$）の試算結果を表 6.4.1 に示す。

表 6.4.1 目地１列あたりの浸水量（$m^3/m \cdot s$）

横目地立上り高さ（m）	横目地シール欠損率(%)	シール欠損開口幅（mm）	目地相当間隙幅（m）	壁面雨量 R(mm/時)	平均圧力差（Pa）	圧力j上限時浸水量（m3/m･s）	圧力下限時浸水量（m3/m･s）	横目地間隔（流下高さ）（m）	目地1列あたり流下水量（m3/m･s）	目地1列あたり浸水量（m3/m･s）
0.015	10	0.1	1.E-05	240	240	6.53E-07	0	0.455	3.03E-06	3.65E-06
	5		5.E-06			3.26E-07	0	0.455	3.03E-06	1.82E-06
	1		1.E-06			6.53E-08	0	0.455	3.03E-06	3.65E-07
	10		1.E-05			6.53E-07	0	0.228	1.52E-06	3.65E-06
	5		5.E-06			3.26E-07	0	0.228	1.52E-06	1.82E-06
	1		1.E-06			6.53E-08	0	0.228	1.52E-06	3.65E-07
	10		1.E-05		150	3.97E-07	0	0.455	3.03E-06	1.57E-06
	5		5.E-06			1.99E-07	0	0.455	3.03E-06	7.86E-07
	1		1.E-06			3.97E-08	0	0.455	3.03E-06	1.57E-07
	10		1.E-05			3.97E-07	0	0.228	1.52E-06	1.57E-06
	5		5.E-06			1.99E-07	0	0.228	1.52E-06	7.86E-07
	1		1.E-06			3.97E-08	0	0.228	1.52E-06	1.57E-07
	10		1.E-05	20	240	6.53E-07	0	0.455	2.53E-07	1.86E-06
	5		5.E-06			3.26E-07	0	0.455	2.53E-07	1.63E-06
	1		1.E-06			6.53E-08	0	0.455	2.53E-07	3.65E-07
	10		1.E-05			6.53E-07	0	0.228	1.26E-07	9.48E-07
	5		5.E-06			3.26E-07	0	0.228	1.26E-07	9.28E-07
	1		1.E-06			6.53E-08	0	0.228	1.26E-07	3.65E-07
	10		1.E-05		150	3.97E-07	0	0.455	2.53E-07	1.20E-06
	5		5.E-06			1.99E-07	0	0.455	2.53E-07	7.86E-07
	1		1.E-06			3.97E-08	0	0.455	2.53E-07	1.57E-07
	10		1.E-05			3.97E-07	0	0.228	1.26E-07	6.54E-07
	5		5.E-06			1.99E-07	0	0.228	1.26E-07	6.01E-07
	1		1.E-06			3.97E-08	0	0.228	1.26E-07	1.57E-07
0.011	10		1.E-05	240	240	7.10E-07	1.56E-07	0.455	3.03E-06	4.79E-06
	5		5.E-06			3.55E-07	7.81E-08	0.455	3.03E-06	2.39E-06
	1		1.E-06			7.10E-08	1.56E-08	0.455	3.03E-06	4.79E-07
	10		1.E-05			7.10E-07	1.56E-07	0.228	1.52E-06	4.79E-06
	5		5.E-06			3.55E-07	7.81E-08	0.228	1.52E-06	2.39E-06
	1		1.E-06			7.10E-08	1.56E-08	0.228	1.52E-06	4.79E-07
	10		1.E-05		150	4.86E-07	0	0.455	3.03E-06	2.45E-06
	5		5.E-06			2.43E-07	0	0.455	3.03E-06	1.22E-06
	1		1.E-06			4.86E-08	0	0.455	3.03E-06	2.45E-07
	10		1.E-05			4.86E-07	0	0.228	1.52E-06	2.45E-06
	5		5.E-06			2.43E-07	0	0.228	1.52E-06	1.22E-06
	1		1.E-06			4.86E-08	0	0.228	1.52E-06	2.45E-07
	10		1.E-05	20	240	7.10E-07	1.56E-07	0.455	2.53E-07	2.42E-06
	5		5.E-06			3.55E-07	7.81E-08	0.455	2.53E-07	2.05E-06
	1		1.E-06			7.10E-08	1.56E-08	0.455	2.53E-07	4.79E-07
	10		1.E-05			7.10E-07	1.56E-07	0.228	1.26E-07	1.26E-06
	5		5.E-06			3.55E-07	7.81E-08	0.228	1.26E-07	1.21E-06
	1		1.E-06			7.10E-08	1.56E-08	0.228	1.26E-07	4.79E-07
	10		1.E-05		150	4.86E-07	0	0.455	2.53E-07	1.59E-06
	5		5.E-06			2.43E-07	0	0.455	2.53E-07	1.22E-06
	1		1.E-06			4.86E-08	0	0.455	2.53E-07	2.45E-07
	10		1.E-05			4.86E-07	0	0.228	1.26E-07	8.22E-07
	5		5.E-06			2.43E-07	0	0.228	1.26E-07	7.94E-07
	1		1.E-06			4.86E-08	0	0.228	1.26E-07	2.45E-07

c. 壁面全体の浸水量

図 6.4.4 に示す壁面における合計浸水量を以下より求めた。

壁面合計浸水量（m^3/m）

＝0.2275m 高さ浸水量（$m^3/m\cdot s$）×1 段＋0.455 高さ浸水量（$m^3/m\cdot s$）×3 段

結果を表 6.4.2 に示す。

表 6.4.2 壁面合計浸水量（通算時間 1 秒あたり）（m^3/s）

横目地立上り高さ(m)	横目地シール欠損率(%)	シール欠損開口幅(mm)	横目地相当間隙幅 (m)	壁面雨量 R(mm/時)	平均圧力差 (Pa)	壁面合計浸水量 (通算時間1秒あたり) (m3/s)
0.015	10	0.1	1.E-05	240	240	1.46E-05
	5		5.E-06			7.29E-06
	1		1.E-06			1.46E-06
	10		1.E-05		150	6.29E-06
	5		5.E-06			3.14E-06
	1		1.E-06			6.29E-07
	10		1.E-05	20	240	6.51E-06
	5		5.E-06			5.81E-06
	1		1.E-06			1.46E-06
	10		1.E-05		150	4.26E-06
	5		5.E-06			2.96E-06
	1		1.E-06			6.29E-07
0.011	10		1.E-05	240	240	1.92E-05
	5		5.E-06			9.58E-06
	1		1.E-06			1.92E-06
	10		1.E-05		150	9.79E-06
	5		5.E-06			4.90E-06
	1		1.E-06			9.79E-07
	10		1.E-05	20	240	8.51E-06
	5		5.E-06			7.36E-06
	1		1.E-06			1.92E-06
	10		1.E-05		15.81	5.59E-06
	5		5.E-06			4.47E-06
	1		1.E-06			9.79E-07

6.4.4 試算結果についての考察

1）圧力差と浸水量の関係

圧力差と浸水量の関係を図 6.4.6～図 6.4.9 に示す。グラフ中には、関連報告に収録されている、サイディング目地の水密試験報告から、計算条件と同一条件で実験が行われた 4 体の試験体についての浸水量計測値を、壁面幅 1m あたりに換算した値を示した。

圧力差による浸水量変化の傾向が、計算値と実験値で一致していることから、試算に適用した評価方法がおおむね妥当であると考えられる。また、実験に供したサイディング材の目地部の相当間隙幅は、$1\sim5\times10^{-6}$m 程度の範囲にあると考えられる。

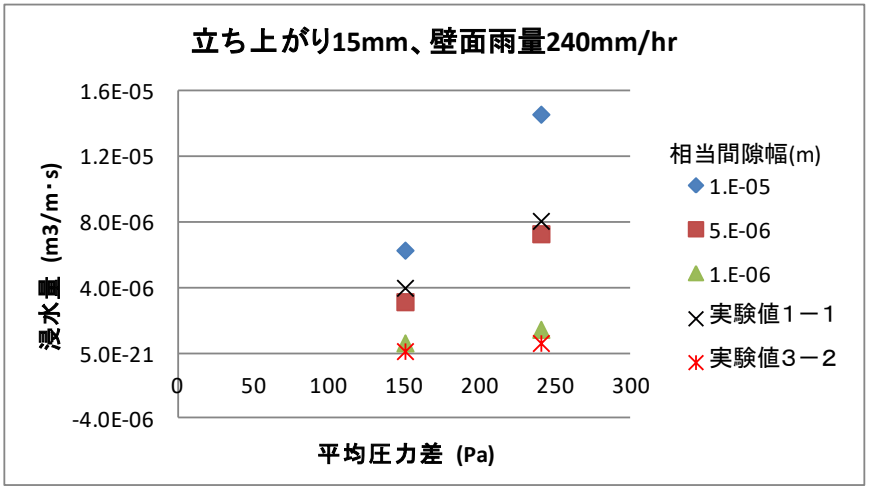


図 6.4.6　平均圧力差と壁面合計浸水量（計算値と実験値）の関係

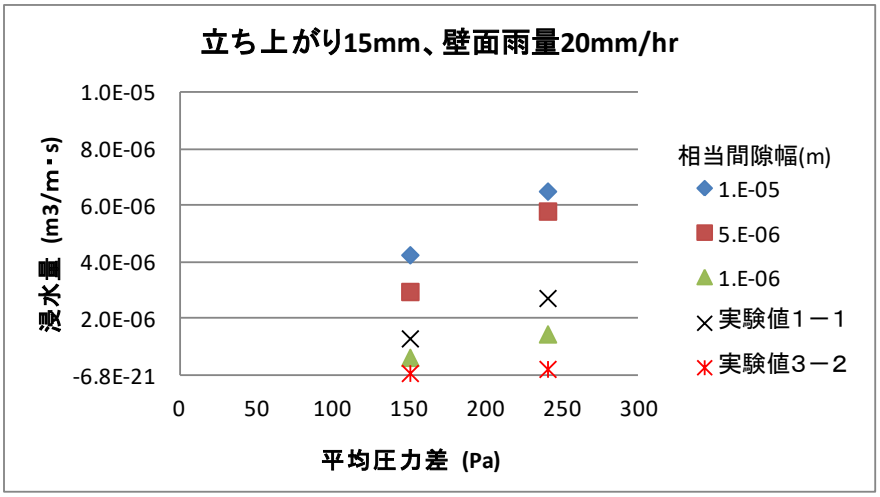


図.6.4.7　平均圧力差と壁面合計浸水量（計算値と実験値）の関係

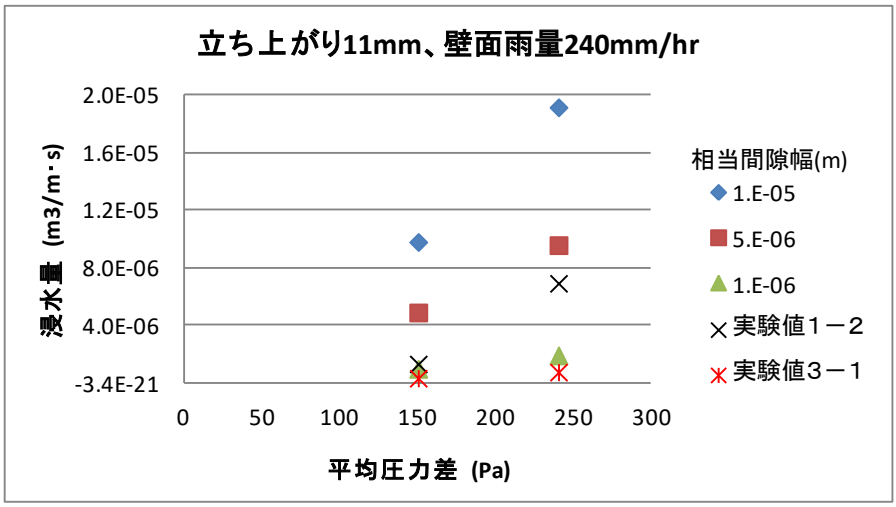


図 6.4.8　平均圧力差と壁面合計浸水量（計算値と実験値）の関係

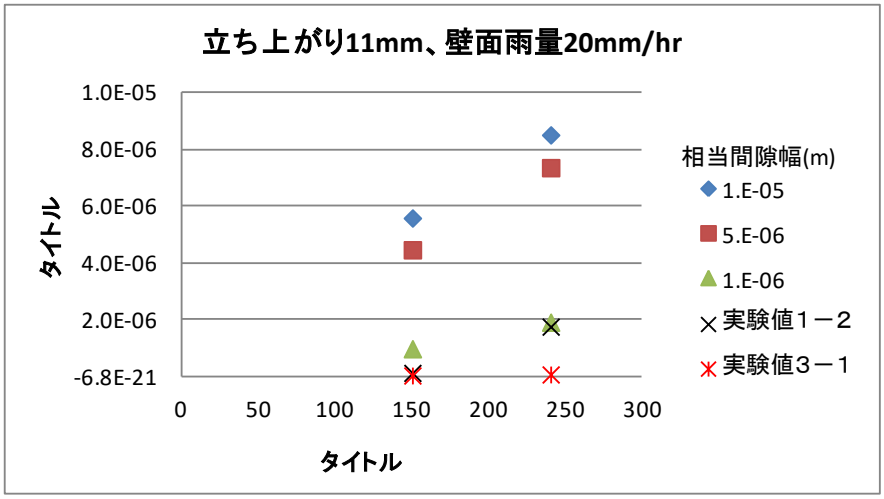


図 6.4.9　平均圧力差と壁面合計浸水量（計算値と実験値）の関係

2）壁面雨量と浸水量の関係

図 6.4.10、図 6.4.11 に壁面雨量 240mm 時に対する壁面雨量 20mm 時の浸水量の比（%）を、平均圧力差との関係で示す。

計算値においては横目地部の欠損率が小さいほど圧力による浸水量自体が小さいので、壁面雨量の減少が浸水量に与える影響は少なくなっている。実験値では計算値より更に浸水量比が小さい値を示している。計算値においては、流下水量はすべて間隙に供給されると仮定しているが、実験では間隙は金具付近など部分的に生じており、間隙以外の位置の流下水は浸入量に寄与しないためと考えられる。特に散水量が少ない場合には壁面上の流れが筋状流れになることも関係していると考えらえる。

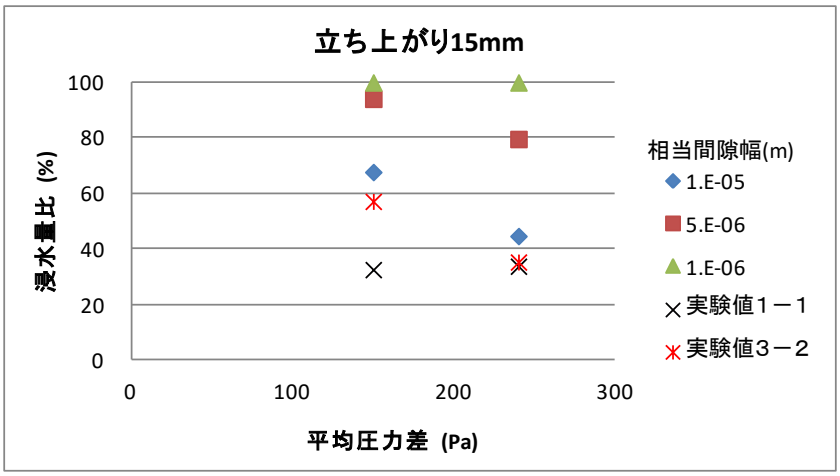


図 6.4.10　平均圧力差と浸水量比（計算値と実験値）の関係

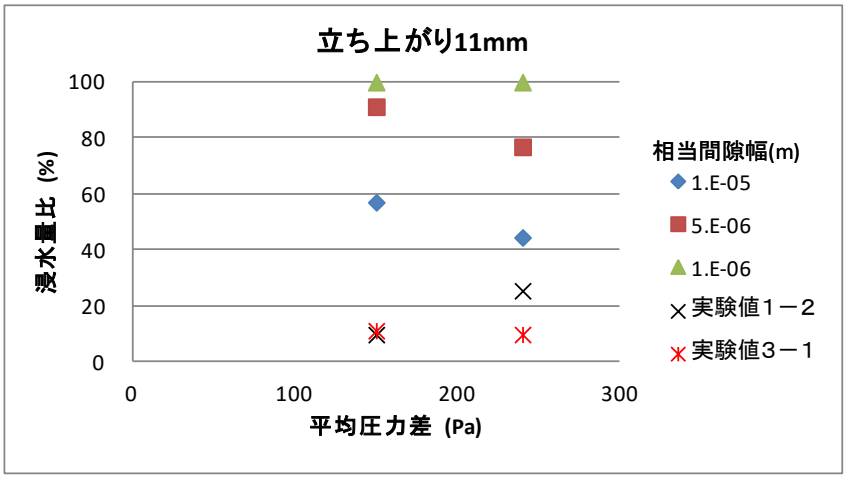


図 6.4.11　平均圧力差と浸水量比（計算値と実験値）の関係

6.4.5 まとめ

5 節「風雨を受ける外皮表面間隙部の浸水量の評価方法」に基づき、サイディング材横目地部からの浸水量の試算を行った。計算値は実験値と比較的良い対応を示し、本評価方法がある程度妥当なものであることが分かった。壁面雨量が少ない条件についての評価に際しては、間隙に対する供給水量の仮定に関して更に検討が必要である。

引用文献

1）本章第 5 節「風雨を受ける外皮表面間隙部の浸水量の評価方法」
2）本章関連報告「13．サイディング目地部の水密性試験報告」